



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AMBIENTAL**

Mauro da Silva Barreto Júnior

**Utilização do Geoprocessamento para acompanhar a transformação da
Paisagem oriunda do processo de instalação de Parques Eólicos na Serra De
Santa Luzia/PB**

**POMBAL – PB
2018**

Mauro da Silva Barreto Júnior

**UTILIZAÇÃO DO GEOPROCESSAMENTO PARA ACOMPANHAR A
TRANSFORMAÇÃO DA PAISAGEM ORIUNDA DO PROCESSO DE
INSTALAÇÃO DE PARQUES EÓLICOS NA SERRA DE SANTA
LUZIA/PB**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador (a): Prof. Dr. Luís Gustavo de Lima Sales

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

B273u Barreto Júnior, Mauro da Silva.
Utilização do geoprocessamento para acompanhar a transformação da paisagem oriunda do processo de instalação de parque eólicos na Serra de Santa Luzia/PB / Mauro da Silva Barreto Júnior. – Pombal, 2018.
79 f.: il. Color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, 2018.

"Orientação: Prof. Dr. Luís Gustavo de Lima Sales".
Referências.

1. Sensoriamento Remoto. 2. Vegetação. 3. Energia Eólica. I. Sales, Luís Gustavo de Lima. II. Título.

CDU 528.8(813.3)(043)

Mauro da Silva Barreto Júnior

**Utilização do Geoprocessamento para acompanhar a transformação da
Paisagem oriunda do processo de instalação de Parques Eólicos na Serra De
Santa Luzia/PB**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado aos membros da comissão examinadora da Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Aprovado em: ___/___/_____

COMISSÃO EXAMINADORA:

**Prof. Dr. Luís Gustavo de Lima Sales – UACTA/CCTA/UFCG
(Orientador)**

**Ms. André Lucena Pires – UACS/PPGCS/UFCG
(Examinador externo)**

**Prof^ª. Dra. Ricélia Maria Marinho Sales – UACTA/CCTA/UFCG
(Examinador interno)**

Pombal, 06 de março de 2018.

Respeito é para quem tem!

AGRADECIMENTOS

Primeiramente para minha amada minha mãe, Ivanete da Silva Barreto, por me abraçar e me apoiar em todos meus momentos, tanto acadêmicos, quanto durante toda a vida. Só agradecer por estar comigo sempre, me incentivando, dando carinho e atenção, e dando o melhor amor que existe, o amor materno. Ao meu pai, Mauro da Silva Barreto, por me aconselhar e dividir momentos inesquecíveis. Eles foram a base de tudo, sempre me apoiando emocionalmente nessa jornada árdua e duradoura de saudades, dando sempre suporte necessário para a conclusão desta fundamental etapa em minha vida.

A minhas irmãs Janine Barreto, Anne Barreto e Caroline Menezes que estiveram sempre ao meu lado, me apoiando e dando força, principalmente em momentos difíceis, amo vocês manas. A todos os tios, tias, primos e primas que fizeram parte da minha formação e contribuíram de alguma forma em minha vida.

Ao meu professor orientador, Luís Gustavo por me fornecer conhecimento e a atenção dada durante a monitoria e sequencialmente para a conclusão deste trabalho. A Andrea por me auxiliar durante as visitas ao laboratório.

A todos os profissionais da educação do Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar (CCTA/UFCG), pela colaboração, ensinamentos e pelo esforço em transmitir conhecimento muitas vezes sem as condições ideais, mas com amor a profissão. Vocês foram importantíssimos para a minha formação, obrigado.

Agradecer, a cidade de Pombal e ao povo Pombalense, e, por me oferecer uma ótima estadia, imensa carinho e apoio dos meus amigos desportistas que conquistei durante da minha vida acadêmica. Muito grato por se tornar o meu segundo lar.

Por ultimo e mais importante, a todos meus amigos e amigas que fiz durante minha formação. E que fizeram ser minha família na Paraíba, Rayan Araujo, Tassio Almeda e Ulisses Guimarães por dividirem o mesmo teto durante alguns anos durante a formação. Agradecer, principalmente aos amigos irmãos Batista, Djalminha, Elan, Juninho Trigueiro, a galera da humildade e os demais que fizeram a diferença e que dividiram comigo momentos inesquecíveis que levarei como ensinamentos e descontração até o fim da vida. A Fabiana Thais por seu companheirismo, sua atenção, carinho, afeto, paciência, compartilhar três longos anos ao meu lado, momentos cujo quais jamais esquecerei. Muito obrigado, morena!

E a todos que de alguma forma contribuíram para este trabalho e na minha graduação em Engenharia Ambiental.

SUMÁRIO

| | |
|------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO | 15 |
| 2. REFERENCIAL TEÓRICO | 17 |
| 2.1 Energia Eólica | 17 |
| 2.2 Energia Eólica No Brasil | 17 |
| 2.3 Energia Eólica na Paraíba | 20 |
| 2.4 Principais impactos da implantação de parques eólicos | 22 |
| 2.5 Geoprocessamento | 24 |
| 2.6 Satélites Landsat | 30 |
| 2.6.1 Principais Sistemas e Sensores | 33 |
| 2.7 Ferramenta Orfeo Monteverdi do Quantum Gis (QGIS) | 38 |
| 2.8 Índice de Vegetação | 39 |
| 2.8.1 NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) | 39 |
| 2.8.2 SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index) | 40 |
| 2.9 Classificação Digital de Imagens | 41 |
| 2.9.1 Classificação Supervisionada e Não Supervisionada | 42 |
| 2.9.2 Métodos de Classificação de Imagens de Satélite | 42 |
| 3. MATERIAL E MÉTODO | 45 |
| 3.1 Localização Geográfica | 45 |
| 3.2 Caracterização do Entorno da Área do Estudo | 45 |
| 3.2.1 Município de Santa Luzia | 45 |
| 3.2.2 Município de Junco do Seridó | 46 |
| 3.2.3 Município de São José do Sabugi | 47 |
| 3.2.4 Área do Estudo | 48 |
| 3.3 Fornecimento de Dados | 48 |
| 3.3.1 Operacional Terra Imager (OLI) | 49 |

| | | |
|--------|-------------------------------------|----|
| 3.3.2. | Thermal Infrared Sensor (TIRS)..... | 49 |
| 3.4. | Imagens Landsat-8 Utilizadas..... | 49 |
| 3.5. | Dados Vetoriais e Matriciais | 50 |
| 3.6. | Classificação das imagens | 54 |
| 4. | RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 56 |
| 4.1. | Fusão de Imagens..... | 56 |
| 4.2. | Mapeamento das Estradas | 57 |
| 4.2.1. | <i>Calculo de largura</i> | 59 |
| 4.3 | Classificação das Imagens..... | 60 |
| 5. | CONCLUSÃO..... | 69 |
| 6. | RECOMENDAÇÕES..... | 70 |
| | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 71 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Figura 1. Atlas eólico brasileiro (1998)..... | 19 |
| Figura 2. Regiões com Potencial Eólico na Paraíba | 21 |
| Figura 3. Caminho da Radiação Eletromagnética | 25 |
| Figura 4. Espectro eletromagnético. | 27 |
| Figura 5. Diferença de resolução radiométrica, em área urbana. | 29 |
| Figura 6. Sensor MMS (Multispectral Scanner System). | 34 |
| Figura 7. Sensor TM (Thematic Mapper)..... | 35 |
| Figura 8. Sensor OLI - (Operational Land Imager). | 37 |
| Figura 9. Método de Classificação Por Treinamento de Imagem..... | 44 |
| Figura 10. Mapa Destacando o Estado da Paraíba..... | 45 |
| Figura 11. Mapa destacando o Município de Santa Luzia, PB | 46 |
| Figura 12. Mapa destacando o Município de Junco do Seridó, PB | 47 |
| Figura 13. Mapa destacando o Município de São José do Sabugi, PB. | 47 |
| Figura 14. Mapa Destacando a Área de Estudo na Serra de Santa Luzia, PB..... | 48 |
| Figura 15. Recorte da Área Limite. | 51 |
| Figura 16. Fluxograma descrevendo os procedimentos metodológicos utilizados no procedimento de reamostragem das imagens LANDSAT..... | 52 |
| Figura 17. Recorte de imagem obtida pelo Sensor OLI do Satélite Landsat-8 para a região da Serra de Santa Luzia em outubro/2017. Composição de bandas: 4-3-2. Imagem fusionada com resolução espacial de 15m. | 53 |
| Figura 18. Método de Coleta para Classificação Supervisionada..... | 55 |
| Figura 19. Recorte de imagem obtida pelo Sensor OLI do Satélite Landsat-8 para a região da Serra de Santa Luzia outubro/2017. Composição de bandas: 4-3-2. Diferença entre Imagem não Fusionada com resolução espacial 30x30m e Imagem Fusionada com resolução espacial de 15x15m nas áreas 1, 2 e 3. | 57 |
| Figura 20. Mapeamento das estradas nas áreas 1,2 e 3 respectivamente nos anos de 2013 e 2017. | 58 |
| Figura 21. Localização das Torres Eólicas na Área 3. | 60 |
| Figura 22. Resultado da Classificação obtida para a área 1 de estudo no ano de 2013. .. | 61 |
| Figura 23. Resultado da Classificação obtida para a área 2 de estudo no ano de 2013. .. | 62 |
| Figura 24. Resultado da Classificação obtida para a área 3 de estudo no ano de 2013 ... | 63 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Figura 25. Resultado da Classificação obtida para a área 1 de estudo no ano de 2017... | 64 |
| Figura 26. Resultado da Classificação obtida para a área 2 de estudo no ano de 2017... | 65 |
| Figura 27. Resultado da Classificação obtida para a área 3 de estudo no ano de 2017... | 66 |
| Figura 28. Área de estudo do Parque Eólico em 2013, na Serra de Santa Luzia.. | 67 |
| Figura 29. Área de estudo do Parque Eólico em 2017, na Serra de Santa Luzia.. | 68 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Tabela 1. Resumo das grandezas radiométricas e fotométricas básicas em Sensoriamento Remoto. | 27 |
| Tabela 2. Características dos satélites LANDSAT-1 AO LANDSAT-8 | 32 |
| Tabela 3. Vida útil dos Satélites LANDSAT. | 33 |
| Tabela 4. Características dos sensores MSS das Bandas Espectrais LANDSAT-1 AO LANDSAT-5..... | 34 |
| Tabela 5. Características dos sensores TM das Bandas Espectrais LANDSAT-4 e LANDSAT-5..... | 33 |
| Tabela 6. Características dos sensores ETM das Bandas Espectrais LANDSAT-6..... | 36 |
| Tabela 7. Características do sensor ETM+ das Bandas Espectrais LANDSAT-7. | 36 |
| Tabela 8. Características do sensor OLI das Bandas Espectrais LANDSAT-8. | 37 |
| Tabela 9. Características do sensor TIRS das Bandas Espectrais LANDSAT-8. | 37 |
| Tabela 10. Características dos Sensores Imageadores Multiespectrais na Faixa Óptica (0,45 – 2,5μm)..... | 49 |
| Tabela 11. Classes Temáticas. | 55 |
| Tabela 12. Chave de interpretação sintetizada..... | 56 |
| Tabela 13. Pontos de coleta Aleatórios. | 59 |
| Tabela 14. Comparação entre a quantidade de hectares de uso e ocupação do solo. | 66 |

LISTA DE GRAFICOS

| | |
|---------------------------------------------------------------------|-----------|
| Grafico 1. Distribuição dos parques eólicos por estado. | 18 |
|---------------------------------------------------------------------|-----------|

LISTA DE SIGLAS

Abeolica - Associação Brasileira de Energia Eólica
ANEEL - Agencia Nacional de Energia Elétrica
DN - Digital Number
ERTS - Earth Resources Technology Satellite
ETM - Enhanced Thematic Mapper
ETM+ - Enhanced Thematic Mapper Plus
GWEC - Global Wind Energy Council
Ha - Hectare
IAF - Índice de Área Foliar
IVAS - Índice de Vegetação Ajustado ao Solo
IVDN - Índice de Vegetação da Diferença Normalizada
LDCM - Landsat Data Continuity Mission
MAXVER. - Máxima Verossimilhança
MSS - Multispectral Scanner System
NASA - National Aeronautics and Space Administration
NDVI - Normalized Difference Vegetation Index
NIR - Reflectância do Infravermelho Próximo
OLI - Operational Land Imager
ONR - Office of Naval Research
PAN. - Pacromática
PDI - Processamento Digital de Imagem
QGIS. - Quantum Gis
RBV - Return Beam Vidicom
SAVI - Soil Adjusted Vegetation Index
SCP – Semi Automatic Classisfication
SIG - Sistema de Informações Geográficas
SR - Sensoriamento Remoto
TIRS - Thermal Infrared Sensor
TM - Thematic Mapper
USGS - United States Geological Survey

BARRETO JÚNIOR, Mauro da Silva. **Utilização do geoprocessamento para acompanhar a transformação da paisagem oriunda do processo de instalação de parques eólicos na serra de Santa Luzia/PB.** 2018. 79 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Pombal-PB. 2018.

RESUMO

Atualmente as questões ligadas ao meio ambiente e a preservação da vida na Terra estão se tornando cada vez mais prioritárias. A busca pela redução dos problemas ecológicos provenientes de fontes de energia abre espaço para as fontes renováveis, aquelas em que seu processo de produção e de consumo gera um menor impacto ao meio ambiente. Entre as energias mais limpas, a energia eólica, energia proveniente dos ventos, vem atraindo cada vez mais investidores, e o Brasil, por ser um país de alto potencial eólico, vem se destacando nesse aspecto. O Nordeste é a região brasileira de maior capacidade eólica, o que contribui para o grande número de parques eólicos instalados. Dessa forma, o objetivo do trabalho foi analisar a transformação que ocorreu na paisagem de um trecho da Serra de Santa Luzia, localizado no Planalto da Borborema, lado paraibano decorrentes do processo de instalação e funcionamento de parques eólicos com o auxílio das ferramentas de Geoprocessamento. As análises foram feitas com o uso exclusivo de imagens do satélite Landsat-8 em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG), a partir das quais se realizou a Classificação Supervisionada Máxima Verossimilhança para diferenciar e, posteriormente, quantificar os dois tipos de feições pré-estabelecidas e identificadas: índice de vegetação e solo desnudo. Os resultados da pesquisa demonstraram que houve redução na área de vegetação, conseqüentemente, aumentando o índice de solo exposto. Assim, conclui-se que a metodologia utilizada, combinando técnicas de sensoriamento remoto mostrou-se satisfatória para atingir os objetivos propostos.

Palavras-chave: Sensoriamento Remoto. Vegetação. Energia Eólica.

BARRETO JÚNIOR, Mauro da Silva. **Use of geoprocessing to accompany the transformation of landscape from the process of installation of wind farms in serra de Santa Luzia/PB**. 2018. 79 f. Graduation in Environmental Engineering - Federal University of Campina Grande, Pombal-PB. 2018.

ABSTRACT

Nowadays, issues related to the environment and the preservation of life on Earth are becoming more and more priorities. The search for the reduction of ecological problems from energy sources makes room for renewable sources, where their production and consumption processes generate less impact on the environment. Among the cleaner energies, wind energy, energy from the winds, has been attracting more and more investors, and Brazil, being a country with high wind potential, has been highlighting in this aspect. The Northeast is the Brazilian region with the highest wind capacity, which contributes to the large number of wind farms installed. Thus, the objective of this work was to analyze the transformation that occurred in the landscape of a stretch of Serra de Santa Luzia, located on the Borborema Plateau, on the Paraíba side of the process of installation and operation of wind farms with the help of Geoprocessing tools. The analyzes were performed using Landsat-8 satellite images in a Geographic Information System (GIS) environment, from which the Supervised Maximum Likelihood Classification was carried out to differentiate and subsequently quantify the two types of pre-established and identified: vegetation index and bare soil. The results of the research showed that there was a reduction in the vegetation area, consequently increasing the level of exposed soil. Thus, it is concluded that the methodology used, combining remote sensing techniques proved to be satisfactory to reach the proposed objectives.

Keywords: Remote Sensing. Vegetation. Wind Energy.

1. INTRODUÇÃO

As discussões sobre as mudanças climáticas estão cada vez mais presentes nas agendas políticas e científicas mundiais. Os impactos advindos de tal mudança estão cada vez mais perceptíveis e parte deles são frutos de como a humanidade gera as suas energias.

Portanto, entender a energia significa entender os recursos energéticos e suas limitações, bem como as consequências ambientais da sua geração e utilização. Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento estão intimamente conectados (HINRICHS; KLEINBACH, 2010).

A sociedade atual necessita cada vez mais de fontes de energia para manter, prolongar e tornar mais confortável seu estilo de vida. Desde então, a velocidade do desenvolvimento tecnológico que norteia as conquistas humanas cresce em ritmo acelerado, principalmente pós década de 1970.

Inúmeras são as fontes de energia disponíveis no nosso planeta, sendo elas divididas em dois tipos, as renováveis e não renováveis. As oriundas de energia renováveis são àquelas em que a sua utilização e o uso é renovável e pode se manter e ser aproveitado ao longo do tempo sem possibilidade de esgotamento, exemplos deste tipo de fontes são a energia eólica e solar.

Por outro lado, as fontes de energias não renováveis têm recursos teoricamente limitados, sendo que esse limite depende dos recursos existentes no nosso planeta, como é o exemplo dos combustíveis fósseis.

Diante desse contexto, pensar nas energias renováveis e, em particular, na energia eólica dentro da temática da energia - meio ambiente - desenvolvimento, a priori, poderia ser analisado pelo prisma da sustentabilidade. Porém, quando se coloca a discussão numa outra visão, a dos impactos da implantação dos parques eólicos na realidade socioambiental local, tem-se outro foco de análise em que necessita um aprofundamento para que o “discurso” ambiental das energias renováveis não “atrole” a qualidade de vida das comunidades impactadas por tais empreendimentos.

A energia eólica é uma fonte mais limpa e renovável comparada a outras, cuja qual permite a geração de eletricidade utilizando turbinas eólicas de pequeno, médio e grande porte. Os parques eólicos são formados por um conjunto de aerogeradores de grande porte utilizado em sistemas interligados com a rede elétrica convencional.

Na atualidade, a indústria da energia eólica cresce no mundo com taxas em torno de 25% ao ano. Entretanto, é necessário fazer um estudo aprofundado de possíveis impactos socioambientais que a instalação deste empreendimento pode causar na área.

As usinas eólicas quando em operação ou em processo de instalação podem degradar consideravelmente a área ocupada, causado pelo processo de desmatamento, pois é necessária a criação e manutenção de uma rede de vias de acesso para passagem dos aerogeradores e de veículos. Os impactos gerados é devido a abertura de vias de acesso, área de manobra para caminhões, pás mecânicas e tratores de esteira, e preparação do terreno para a instalação do canteiro de obras. Desta forma, a implantação de usinas geradoras de energia eólica pode promover interferência das mais diversas possíveis, o que traz a necessidade de além de estudos técnicos precedentes, que haja monitoramento contínuo da área afetada.

O objetivo geral deste trabalho foi aplicar as ferramentas de geoprocessamento para analisar a instalação recente de parques eólicos no estado da Paraíba através da transformação da paisagem na Serra de Santa Luzia, compreendendo os municípios de São José do Sabugi, Junco do Seridó e Santa Luzia.

Para tanto, foram formulados alguns objetivos específicos, quais foram:

- a) Realizar de um histórico da implantação da energia eólica no Brasil, Nordeste e Paraíba, entendendo todo o processo de inserção dos parques eólicos brasileiros e, especificamente, os que estão sendo implantados na Serra de Santa Luzia, inclusive servindo para determinar a fase inicial da análise da transformação da paisagem local;
- b) Acompanhar a transformação da paisagem oriunda do processo de instalação recente dos parques eólicos na serra de Santa Luzia/PB.
- c) Produzir mapas temáticos da transformação da Paisagem referentes aos períodos selecionados em virtude do histórico de implantação dos parques eólicos na área da Serra de Santa Luzia, bem como, em virtude da existência de imagens de satélite de qualidade para tal objetivo.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Energia Eólica

A utilização, no século XIX, da eletricidade e da aerodinâmica fez renascer o interesse nas máquinas eólicas. A eletricidade se expandiu rapidamente devido a sua versatilidade como transdutor de energia entre a fonte primária e o local de utilização da energia. A aerodinâmica foi desenvolvida com o interesse de aperfeiçoar as aeronaves. O desenvolvimento dessas duas tecnologias serviu de base para o desenvolvimento dos aerogeradores no século XX (SHEPHERD, 1994).

Segundo um grupo de investigadores da Universidade de Stanford, num trabalho publicado no *Journal of Geophysical Research*, o vento produz cinco vezes a energia necessária na Terra e, portanto é susceptível de satisfazer todas as necessidades energéticas a nível mundial (PINHO, 2008).

Um parque eólico tem como objetivo a produção de energia elétrica através da conversão de energia cinética de translação - contida nas massas de ar em movimento (vento) – em energia cinética de rotação, com o emprego de turbinas eólicas, também denominadas aerogeradores, ou através de cata-ventos e moinhos para trabalhos mecânicos, como bombeamento de água (ANEEL, 2002).

Em 2016, o Brasil ultrapassou a Itália no ranking e passou ocupar a 9ª posição. Atualmente, o país conta com 12,76 GW de capacidade de energia instalada. A China ocupa a primeira posição, com 188,23 GW; seguida pelos Estados Unidos, com 89,07 GW, e a Alemanha, com 56,132 GW de capacidade instalada. A Índia, Espanha, o Reino Unido e a França completam o ranking dos sete primeiros (BRASIL, 2018).

2.2 Energia Eólica No Brasil

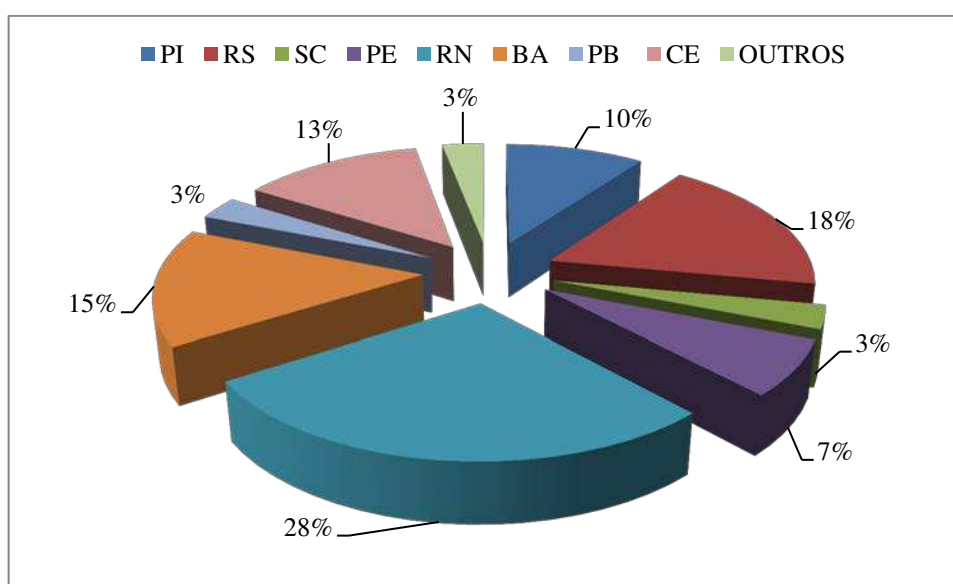
Segundo a Aneel, (2002), *apud* Nascimento (2011), os diversos levantamentos de informações e estudos realizados e em andamento (locais, regionais e nacionais) tem fortalecido a exploração da energia eólica no Brasil. Por conta disto, em 1998, realizou-se em Brasília nos dias 22 a 25 de novembro o “Encontro Técnico e de Negócios Brasileiro-Alemão de Energia Eólica” que deu início aos debates e discussões a respeito dos desafios e barreiras a serem superados para a instalação de parques eólicos no Brasil.

Nessa reunião foi visado interesses de muitas empresas estrangeiras do ramo energético em abrirem suas filiais no Brasil, tendo em vista o potencial eólico brasileiro. Diante dessa discussão, foi necessária a criação de uma Política Nacional com leis

especializadas, com a intenção de desenvolver tecnologias e expandir, tanto a Energia eólica, quanto as outras matrizes energéticas brasileiras.

Ao fim de 2009 o Brasil possuía uma potência de 600 MW, o que o colocou na 21ª posição no ranking mundial (PINTO, 2013). Em agosto de 2017, com base nos dados contidos no Banco de Informações da Geração (BIG) da ANEEL, o Brasil possuía um total de 451 usinas em operação com potência 10.943,243 MW. Dessa forma, pode-se perceber um crescimento de 1.823,8% ao longo de 8 anos, isso representa 6,76 % do total da capacidade instalada no país, conforme apresentado no (Gráfico 1).

Gráfico 1. Distribuição dos parques eólicos por estado



*Outros: PR, RJ, SP, MG, MA.

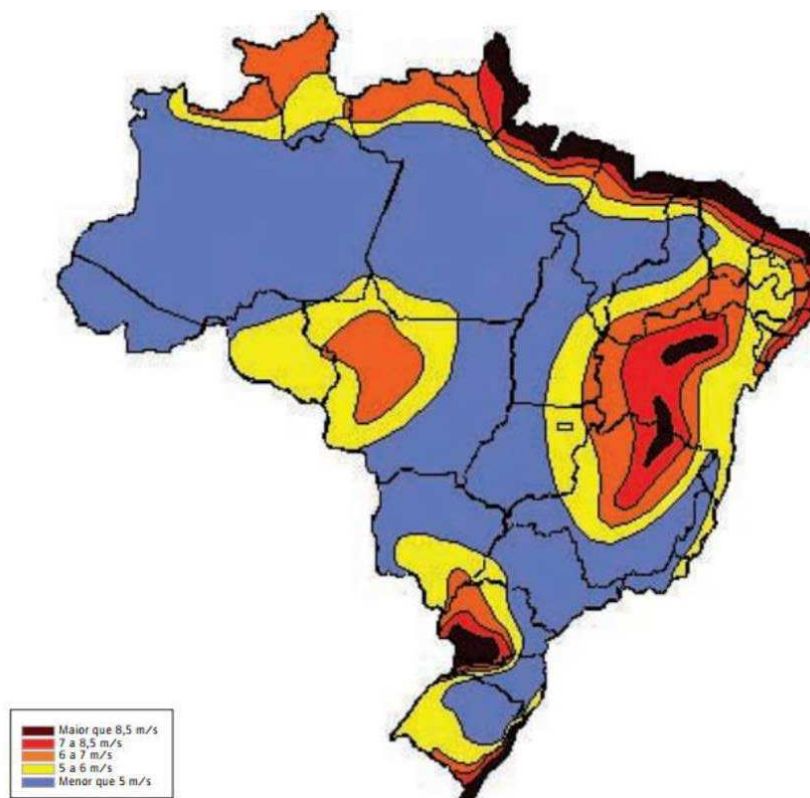
Fonte: ANEEL (2017).

De acordo com Brasil (2018), o país subiu uma posição, passando o Canadá, e agora ocupa o oitavo lugar no *ranking* mundial que afere a capacidade instalada de produção de energia eólica, segundo o *Global Wind Statistic 2017*, documento anual com dados mundiais de energia eólica produzida pelo *Global Wind Energy Council (GWEC)*. Em 2017, o país conseguiu “adicionar 52,57 GW de potência eólica à produção mundial, totalizando 539,58 GW de capacidade instalada”, informou a Associação Brasileira de Energia Eólica (Abeeolica), que reúne empresas do setor. Os números apontam para um crescimento da matriz de energia eólica no país. O segmento já é responsável por 8,3% da energia produzida no Brasil, percentual ainda distante dos 60,9% produzido pelas hidrelétricas, mas já próximo dos 9,3% da produção das usinas de biomassa, que ocupam o segundo posto no *ranking* nacional.

Atualmente, o Brasil possui 147 parques eólicos em construção, representando assim um acréscimo na potência de 3.395.900 KW, o que equivale a 10,98% do total que será instalado no país (BRASIL, 2018).

A maior parte da energia eólica utilizada no Brasil (Figura 1) vem da região Nordeste. Grande parte dessa energia provém dos parques eólicos da Bahia, Ceará e do Rio Grande do Norte, no qual possuem mais de 200 usinas (ANEEL, 2017).

Figura 1 – Atlas eólico brasileiro (1998)



Fonte: Adaptado de ANEEL, 2002.

O Brasil possui um dos maiores potenciais para aproveitamento Eólico em todo o mundo, já comprovado em diversos estados, bem como pelo desempenho e produção das usinas eólicas em Camocim (Ceará) com potência fiscalizada de 100.650 (kW) na usina Alegria II, Tubarão (Santa Catarina) com potência de 2.099,50 (kW) na usina Tubarão P&D e Aracati (Ceara) com Potência de 50.000(kW) na usina de Bons Ventos (ANEEL, 2017).

A energia produzida pelas usinas eólicas chegou a ser responsável por 64% da energia consumida na região nordeste, em setembro de 2017. A Abeolica estima que o Brasil, cuja capacidade instalada é 12 GW, tenha potencial eólico superior a 500 GW. A Região Nordeste aparece na frente na capacidade de produção de energia a partir dos ventos. Com 135 parques, o Rio Grande do Norte é o estado que mais produziu energia usando a força dos ventos. São 3.678,85 MW de capacidade instalada. Em seguida, com 93 parques e 2.410,04 MW de

capacidade instalada, vem a Bahia. Em terceiro lugar vem o Ceará, que conta com 74 parques e tem 1.935,76 MW de capacidade instalada. (BRASIL, 2018)

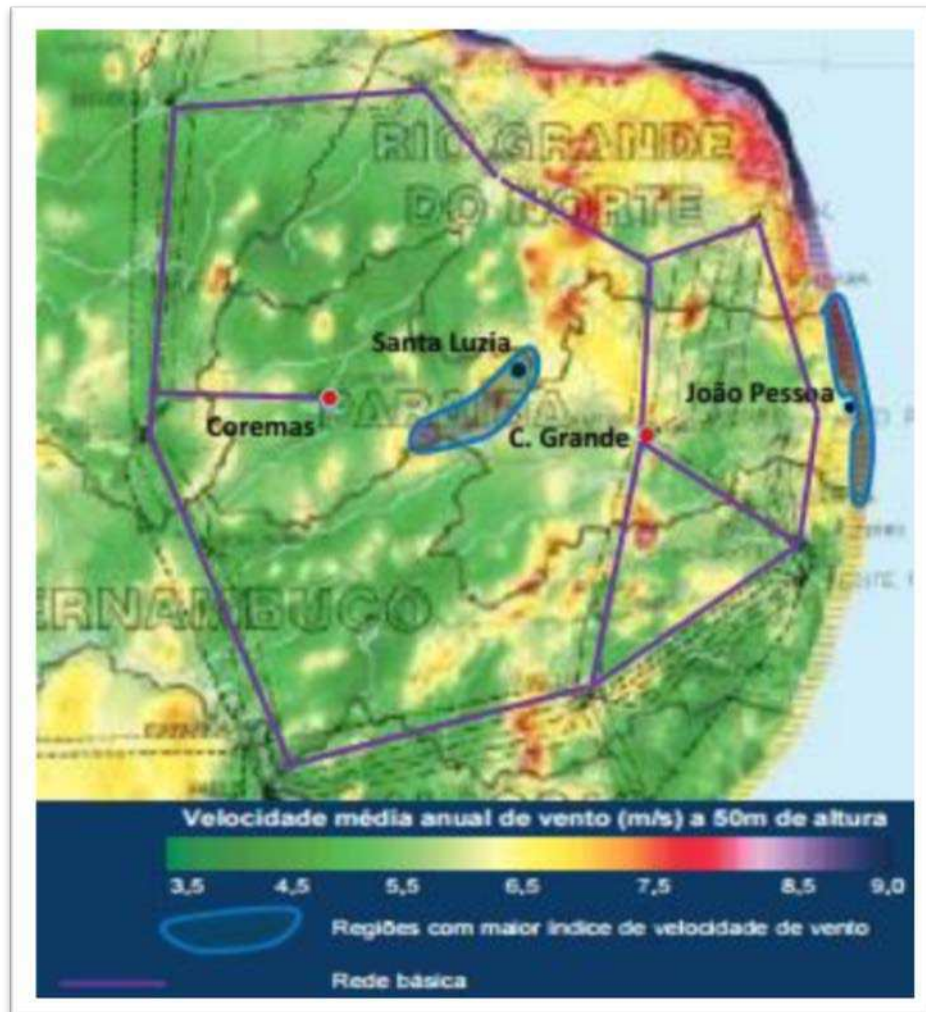
2.3. Energia Eólica na Paraíba

Apesar da baixa demanda em projetos eólicos, a Paraíba é um dos estados com maior número de empreendimentos deste segmento de energia. Segundo dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), são 13 usinas em operação, destas, 12 localizadas no município de Mataraca e uma em Alhandra (JORNAL DA PARAÍBA, 2015).

Essas 13 usinas em operação na Paraíba, produzem o equivalente a 69 mil KW, o que representa 10,74% da produção total do Estado. As áreas de maior potencial no Estado se encontram no Norte. A depender da altura considerada, é possível identificar outras áreas com potencial igual ou maior que as da região de Mataraca. Essas áreas estão localizadas no interior do Estado com preponderância na região do Planalto da Borborema, esta que vai ser o objeto de estudo desse trabalho, onde se encontra três novas usinas eólicas (NUNES, 2017).

Apesar de não possuir um Atlas Eólico - documento que traz as informações a respeito dos locais mais interessantes para os projetos de fonte eólica – para mostrar de maneira mais detalhada os principais lugares com potencial eólico. Pelo Atlas Eólico Nacional (Figura 2), observa-se que a Paraíba apresenta duas regiões principais de alto potencial eólico. A primeira situada no litoral, principalmente no norte, e a segunda na região de Santa Luzia.

Figura 2 – Regiões com Potencial Eólico na Paraíba



Fonte: Nogueira (2014).

A Serra de Santa Luzia está localizada em um “corredor” de vento situado na região do Planalto da Borborema, no lado paraibano. Com velocidade média anual de vento em torno de 7,7 m/s, tornando-se favorável para implantação de parques eólicos. Porém, essa região encontrava-se distante da rede básica de transmissão de energia, dificultando a conexão de usinas à mesma (NOGUEIRA *et al*, 2014).

O estado da Paraíba recebeu três novos parques eólicos, Canoas, Lagoa 1 e Lagoa 2, localizados nos municípios de Santa Luzia, São José do Sabugi e Junco do Seridó, respectivamente.

A cerca de 700 metros acima do nível do mar, em pleno sertão paraibano há uma “mina de ouro” quase inexplorada, mas que é encontrada na forma de ventos. Mapeamento feito pela Iberdrola aponta que ali naquela região há um enorme potencial no melhor estilo do pólo de João Câmara localizado no estado do Rio Grande do Norte.

Segundo estimativas da companhia são 2 GW que podem ser viabilizados nessa região, mas o investimento nessa área encontra duas principais barreiras, a primeira é a atual ausência de leilões (apesar de ter tido um leilão recentemente), uma situação que deverá ser revertida com o tempo, a outra é estrutural, pois não há uma quantidade de linhas de transmissão suficiente para o escoamento desse potencial (GODÓI, 2017).

Os empreendimentos estão sendo implementados pelo grupo Força Eólicos do Brasil, formado pelas empresas Neoenergia e Iberdrola, com investimento total nos projetos de R\$ 300 milhões, já funcionando desde 2017, com um total de 45 geradores e potencial total para gerar 94,5 MW de energia (SÁ, 2016).

O potencial dos novos parques eólicos é grande. De acordo com a diretora de Operações da Força Eólica do Brasil, Laura Porto, apenas a usina instalada na região do Vale do Sabugi será capaz de fornecer energia limpa para 150 mil pessoas (CICLO VIVO, 2015).

De acordo com SÁ (2016) o empreendimento deverá gerar impactos positivos na região, a exemplo de maior geração de energia elétrica, estímulo ao desenvolvimento econômico local e regional, além de geração de novos postos de emprego no Estado.

A Agência Nacional de Energia Elétrica liberou para operação em teste, a contar do dia 14 de outubro de 2017, a usina de geração eólica Lagoa 1 que compreende as unidades geradoras UG1 a UG15, de 2.100 kW cada, totalizando 31.500 kW de capacidade instalada, localizada no município de Santa Luzia (PB) (CANALENERGIA, 2017).

2.4. Principais impactos da implantação de parques eólicos

Os benefícios das fontes renováveis de energia acima exposta a tornam essencial para o caminho da sustentabilidade energética, pois são de certa forma inesgotáveis e garantem a manutenção dos processos biológicos básicos que são responsáveis pela vida das espécies. Além disso, trazem benefícios sociais e econômicos que se mostram indispensáveis para se atingir essa meta (BERMANN, 2001). Certo desses impactos positivos, a introdução dos Parques Eólicos causam impactos também negativos.

Um desses primeiros impactos é a retirada da cobertura vegetal (natural e/ou produtiva) para a implantação e/ou ampliação de vias de acesso e canteiro de obras, além da remobilização de um grande volume de areia quando instalados em áreas litorâneas com a presença de ambientes naturais frágeis como as Dunas, provocando o soterramento da vegetação a qual existia naquele local.

Essas atividades foram realizadas em um sistema ambiental de preservação permanente (Código Florestal e a resolução do CONAMA nº 303/2002), promovendo a extinção de setores de dunas fixadas pela vegetação bem como a supressão de setores antes ocupados por fauna e flora específicas. Na maioria dos casos, há os impactos sociais relacionados com a privatização de extensos trechos do litoral e de Serras, entre as comunidades litorâneas e rurais, dificultando ou, até mesmo, impedindo o livre acesso aos sistemas ambientais de usufruto ancestral (MEIRELES, JEOVAH, 2008).

Meireles (2008, 2011) cita alguns impactos causados por obras desse porte, dos quais se destacam:

- a) Alterações topográficas e morfológicas da área de implantação, bem como nas áreas circunvizinhas;
- b) Eliminação da vegetação natural e/ou produtiva;
- c) Alteração do nível hidrostático do lençol freático, o que pode influenciar no fluxo de água subterrânea e no volume e armazenamento de águas superficiais e de poços;
- d) Impermeabilização dos solos, que pode rebaixar o nível de água doce nos aquíferos sub-superficiais devido a ausência de recarga em períodos chuvosos.

Além desses impactos outros são apontados por diversos estudos, desde impactos de ordem ambiental até impactos sociais, políticos e psicológicos quando da instalação dos parques eólicos em localidades muito próximos às áreas residenciais com baixo poder aquisitivo e político, apontando assim para o alto grau de complexidade dos mesmos.

Em termos de área geográfica, os parques representam extensão considerável, já que as torres respondem por espaços mínimos entre os equipamentos, equivalentes de 5 a 10 vezes a altura das próprias torres, além dos geradores, que devem estar distantes entre meio ou um quilômetro. Embora grandes construções não sejam possíveis no entorno das torres eólicas, agricultura é viável nas áreas dos parques entre os aparatos (CARVALHO, 2003).

Impactos visuais são decorrentes do agrupamento de torres e aerogeradores, principalmente no caso de centrais eólicas com um número considerável de turbinas, também conhecidas como fazendas eólicas. Os impactos variam muito de acordo com o local das instalações, o arranjo das torres e as especificações das turbinas. Apesar de efeitos negativos, como alterações na paisagem natural, esses impactos tendem a atrair turistas, gerando renda, emprego, arrecadações e promovendo o desenvolvimento regional (ANEEL, 2002).

O ruído no interior ou em torno de uma usina eólica varia consideravelmente dependendo de uma série de fatores, como: o *layout* da usina, o modelo de turbinas instaladas,

o relevo do terreno, a velocidade e a direção do vento e o ruído de fundo. O aumento das emissões de som das turbinas eólicas está relacionado com aumento da velocidade do vento. No entanto, o ruído de fundo que normalmente aumenta mais rápido que o som da turbina, tende a mascarar o ruído das mesmas com o crescimento da velocidade do vento (NOISE ASSOCIATION, 2006).

Diante de todos esses impactos positivos e negativos da implantação e funcionamento de parque eólicos em determinada área viu-se a necessidade neste trabalho de iniciar um acompanhamento/monitoramento, iniciando-se com a análise da transformação da paisagem da Serra de Santa Luzia, com o apoio de ferramentas do Geoprocessamento.

2.5. Geoprocessamento

Uma ferramenta que vem sendo usada com êxito no controle e monitoramento ambiental é o Geoprocessamento. Segundo Silva (2003), Geoprocessamento representa qualquer tipo de processamento de dados georreferenciados. Envolve técnicas e conceitos de Cartografia, Sensoriamento Remoto (SR), e Sistema de Informações Geográficas (SIG).

De maneira sucinta, pode-se dizer que SIG's são ferramentas que manipulam objetos (ou feições geográficas) e seus atributos (ou registros que compõem um banco de dados) por meio de seu relacionamento espacial (topologia) (VEIGA & SILVA, 2004).

De acordo com Carvalho (2000), o Geoprocessamento é um termo amplo que através de programas computacionais engloba diversas tecnologias de tratamento e manipulação de dados geográficos. Dentre essas tecnologias, destacam-se o Sensoriamento Remoto, a digitalização de dados, a automação de tarefas cartográficas, a utilização de Sistemas de Posicionamento Global - GPS e o SIG.

Moura (2003) acredita que o Geoprocessamento representa hoje um caminho a ser necessariamente percorrido pelas análises espaciais de qualquer natureza, dentre eles destaca-se nesse trabalho o estudo da transformação da paisagem através da técnica do Sensoriamento Remoto.

O desafio (...) está em realizar um corte espaço-temporal para as análises, mas, ao mesmo tempo, não perder a noção de que a realidade é sistêmica e que está em constante mudança. Uma realidade percebida aqui e agora não é mais percebida em um momento seguinte ou em um outro espaço (...) E o sentido nos estudos geográficos está em caracterizar uma realidade espacial de modo a gerar subsídios para estudos de predições: as alterações e as implicações dessas intervenções. Uma metodologia para a realização desses estudos está na construção de modelos que, devidamente calibrados, podem chegar bem próximos da representação da realidade. O desafio é a construção de modelos que espelhem a dinâmica das mudanças, as relações sistêmicas e o papel dos diferentes componentes da teia ou rede de inter-relações. (MOURA, 2003, p. 35)

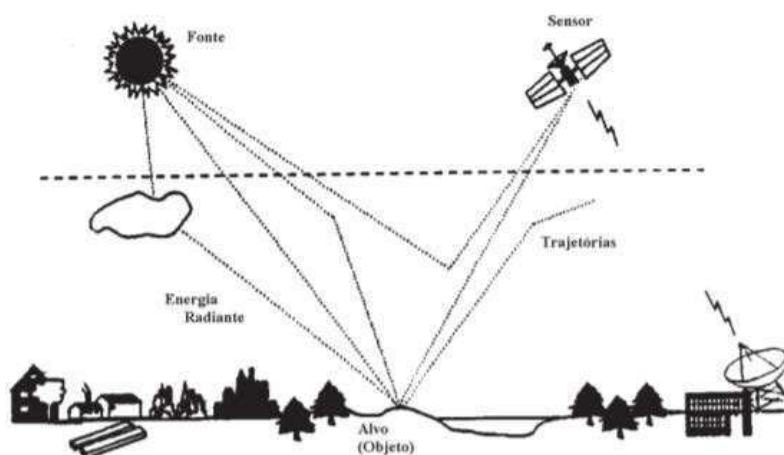
Vários autores vêm empregando análises temporais através de dados obtidos por Sensoriamento Remoto, a fim de detectar mudanças na paisagem de determinada região. Giotto (1981) ressalta que o monitoramento do uso e cobertura do solo é de grande relevância, pois permite mapear as alterações provocadas por ações antrópicas, além de fornecer informações para o manejo eficiente dos recursos naturais.

Os recursos de Geoprocessamento aparecem como importantes instrumentos que podem proporcionar associações, sínteses e correlações entre as diferentes análises temporais, além de permitir uma visão integrada de fatores geográficos. Neste sentido, o Geoprocessamento tem sido empregado em diversas áreas das Ciências, dentre as quais se podem citar a Cartografia, a Geografia, a Agricultura e a Geologia, contribuindo para estudos de planejamento territorial, estudos ambientais, meios de transporte, comunicação e energia. Contudo, é importante salientar que as operações de Geoprocessamento necessitam de um Sistema de Informação Geográfica para integração dos dados.

Recorrente disso, o uso de técnicas de geoprocessamento se torna muito importante para auxiliar no estudo de áreas degradadas em diversos tipos de espaços, inclusive, no monitoramento de transformação paisagística na instalação de parques eólicos.

Sensoriamento Remoto é uma técnica de obtenção de imagens dos objetos da superfície terrestre sem que haja um contato físico de qualquer espécie entre o sensor e o objeto de acordo com a (Figura 3) (MENESES; ALMEIDA, 2012).

Figura 3 – Caminho da Radiação Eletromagnética



Fonte: Queiroz (2013).

Atualmente, existe uma grande variedade de sistemas de satélites com sensores que permitem analisar alvos em diferentes escalas e características, direcionados aos estudos em áreas urbanas, agrícolas, geológicas, ecológicas, florestais, cartográficas, oceanográficas,

hidrológicas entre outras áreas de possível estudo e análise de dados através das imagens satélite (NOVO, 2008).

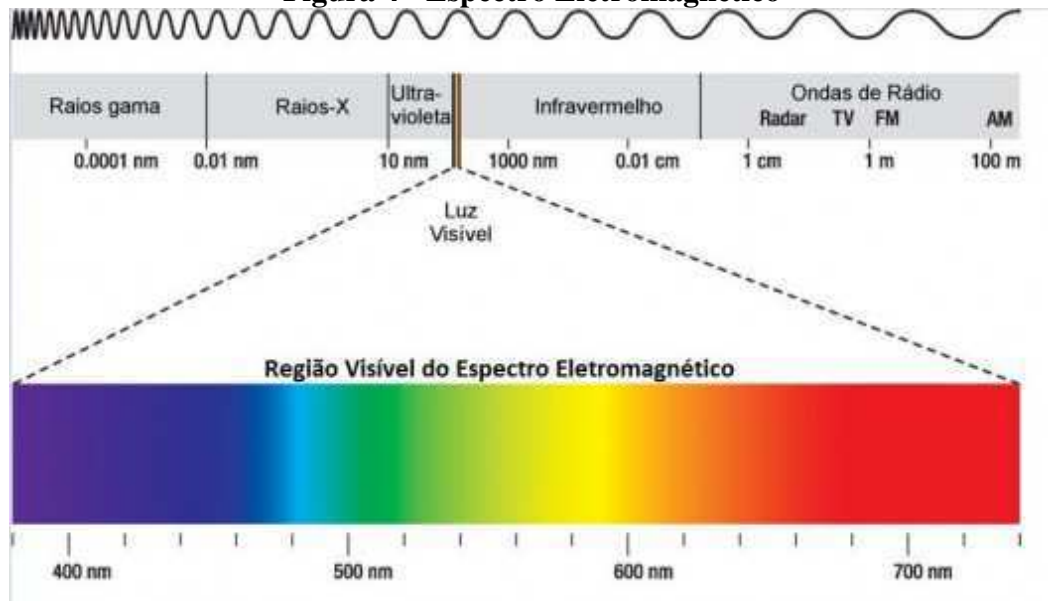
A origem do termo Sensoriamento Remoto está relacionado ao surgimento da fotografia aérea, que por um longo período foi estreitamente de uso militar. Florenzano (2007) afirma que a primeira fotografia aérea foi tirada em 1856 de um balão. No ano de 1862, período de guerra civil americana, o exército formado pelo corpo de balonistas, fez o reconhecimento das tropas utilizando fotografias aéreas. Por consequência, no ano de 1909, as fotografias já foram tiradas de aviões, intensificando-se na Primeira Guerra Mundial e na Segunda Guerra Mundial houve um grande desenvolvimento da ciência sensoriamento remoto.

Em 1960, o grupo *Office of Naval Research* (ONR), introduzido por Evelyn Pruitt discutiu o termo SR em um artigo não publicado, mas com os avanços das fotografias aéreas e o lançamento de satélites, o grupo expandiu as pesquisas promovendo uma série de simpósios disseminando o conhecimento do SR (JENSEN, 2009).

Florenzano (2007) frisa que os sensores foram desenvolvida para fins de espionagem, porém, com o fim do período da Guerra Fria entre os EUA e a antiga União Soviética muitos dos dados de segredo militar foram liberados para o uso civil. Assim, a aquisição das imagens orbitais incentivou a construção de vários satélites com o objetivo de mapeamento e avaliação de recursos terrestres.

O princípio basilar do SR se dá pela utilização da energia advinda, em sua maioria, pela transferência de energia por radiação eletromagnética (REM) que se propaga em forma de ondas eletromagnéticas na velocidade da luz (300.000 km/s), medidos através da frequência (Hz) e do comprimento de onda (m), assim denominados de faixas de energia ou espectro eletromagnético (Figura 4), pois todo corpo com temperatura superior a 0K (-273°C) emite radiação eletromagnética como a água, solo, rocha, vegetação e a superfície do Sol (NOVO, 2010).

Figura 4 - Espectro Eletromagnético



Fonte: Sepúlveda (2016).

O espectro eletromagnético é dividido em regiões de curto comprimento de onda como os raios gama, raios x e os cósmicos, considerados de alta frequência, já os longos comprimentos de ondas (ondas de rádio) são de baixa frequência, logo, a frequência é inversamente proporcional ao comprimento de onda.

O maior destaque do espectro eletromagnético para a utilização em trabalhos que utilizam das técnicas do Sensoriamento Remoto para a análise das transformações da paisagem são as faixas do visível (0,4 - 0,77 μm), no qual o olho humano enxerga a energia (luz) eletromagnética e as faixas do canal termal, faixa do infravermelho (0,77 - 15 μm), denominados também de espectro óptico relacionado aos componentes de reflexão e refração sendo as lentes, os espelhos e os prismas (COLTRI, 2006).

Para obtenção de dados por meio dos sensores remotos é necessário uma fonte de energia. Essa energia pode ser de origem natural (o Sol ou o calor emitido pela superfície terrestre) ou de uma fonte artificial (*flash* de uma máquina fotográfica), assim registrado por meio de imagens e armazenado em formatos digitais ou analógicos (FLORENZANO, 2007; FITZ, 2008).

Neste sentido, os sensores são classificados em ativos e passivos, segundo Jensen (2009) e Florenzano (2007), os sensores ativos possuem sua própria energia, na região de microondas (faixa do espectro eletromagnético), como por exemplo, o RADAR que cobre o terreno com energia eletromagnética gerada pelo próprio equipamento. Já os sensores passivos necessitam de fonte de energia externa, no qual os sensores (câmeras fotográficas, de vídeo ou os scanners multiespectrais) captam e registram a energia proveniente de um objeto

ou área, esses por sua vez localizam na faixa do visível e do infravermelho citado anteriormente.

Novo (2010) explica que o fluxo radiante ao ser interceptado por uma superfície é dividido pela área, fornecendo uma ideia de densidade média do fluxo radiante, denominado de Irradiância (E), expresso em (W.m⁻²). Já a radiância (Lλ) Jensen (2009) define como sendo a intensidade radiante por unidade de área-fonte projetada numa direção específica e num ângulo sólido específico. Vale ressaltar, a afirmação de Novo (2010):

Embora a Irradiância seja afetada pela distância entre a fonte e a superfície, a Radiância não é afetada pela distância entre o sensor e o alvo. Este fato é importante, porque em Sensoriamento Remoto, a grandeza radiométrica medida por um grande número de sensores é a Radiância. Isto permite admitir que, na ausência de atenuação atmosférica, a radiância do alvo na superfície é igual à radiância registrada na imagem. Ou seja, a distância entre o alvo e o sensor não altera o valor de radiância. (NOVO, 2010, p. 57).

A informação que o sensor detecta é gerada pelo fluxo radiante (Φ) de energia, que ao deixar um corpo atinge um sensor. Essa energia é transportada pela REM, sendo a capacidade que a radiação tem de realizar trabalho. Jensen (2009) afirma que esse fluxo de energia é dado em watts (W) que chega (incidente) em comprimentos de onda e interage com o terreno, possibilitando as informações sobre a área. De acordo com a (Tabela 1) mostra o resumo das grandezas radiométricas em sensoriamento remoto.

Tabela 1- Resumo das grandezas radiométricas e fotométricas básicas em Sensoriamento Remoto

| Grandeza | Símbolo | Conceito |
|-------------------------|---------|----------------------------------------------------------------------------|
| Energia Radiante | Q | Energia transportada em forma de ondas eletromagnéticas ou fótons |
| Fluxo Radiante | Φ | Taxa de variação de energia no tempo |
| Irradiância | E | Fluxo incidente sobre uma superfície por unidade de área |
| Radiância | L | Intensidade Radiante por unidade de área normal á fonte, numa dada direção |
| Excitância ou Emitância | M | Fluxo deixando uma superfície por unidade de área |
| Emissividade | ε | Razão entre a excitância de um material e a excitância do corpo negro |
| Reflectância | p | Razão entre o fluxo refletido e o fluxo incidente sobre a superfície |

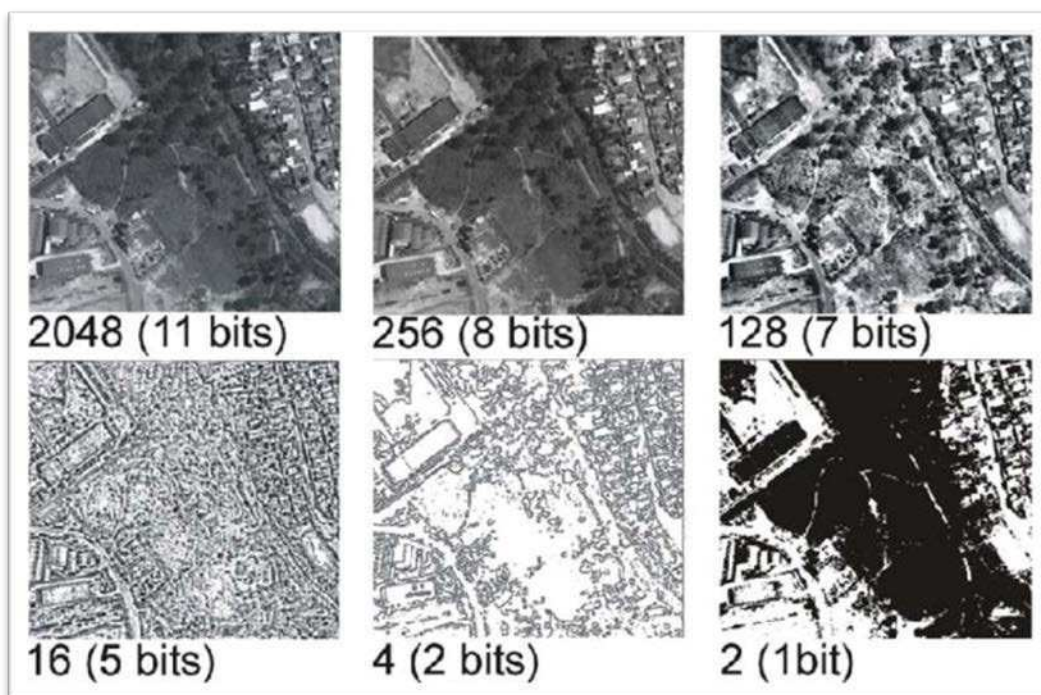
Fonte: Novo (2010).

As imagens adquiridas por sensores remotos contêm erros geométricos e radiométricos oriundos por falhas instrumentais (posicionamento do satélite, movimentos da Terra, curvatura da Terra, largura da faixa de imageamento) ou limitações próprias do processo de imageamento (NOVO, 2010).

A resolução radiométrica Refere-se à capacidade do sistema sensor em detectar as variações da radiância espectral recebida. A radiância de cada *pixel* (menor elemento de uma imagem, de um dado matricial) passa por uma codificação digital, obtendo um valor numérico, expresso em bits, denominado de Número Digital (ND). Este valor é facilmente traduzido para uma intensidade visual ou ainda a um nível de cinza, localizado num intervalo finito (0, K-1), onde K é o número de valores possíveis, denominados de níveis de quantização (SCHOWENGERDT, 1983).

O número de níveis de cinza está expresso em bits, ou seja, expresso em função do número de dígitos binários necessários para armazenar, em forma digital, o valor do nível máximo de cinza. O seu valor é sempre em potência de 2, por exemplo 8 bits significam $2^8 = 256$ níveis de cinza e varia do ND = 0 (preto) até o ND = 255 (branco), entre esse intervalo de 0 ao 255 tem-se os diferentes níveis de cinza. A (Figura 5) ilustra essa diferença de níveis de cinza.

Figura 5 - Diferença de resolução radiométrica, em área urbana



Fonte: Melo (2002).

As cenas originais coletadas pelos sensores possuem erros de diversas origens (NOVO 2008). Esses erros interferem na identificação dos elementos presentes na região de coleta do satélite e, conseqüentemente, dificultam as atividades de interpretação da vegetação, superfície aquática e cobertura do solo em geral. Para refrear a influência destes erros da cena coletada, são realizados procedimentos de manipulação nas características das imagens. O

conjunto de etapas e processos incluídos nesses procedimentos consiste no Processamento Digital de Imagens (PDI).

Por PDI entende-se a manipulação de uma imagem por computador de modo que a entrada e a saída do processo sejam imagens. O objetivo de se usar o PDI é melhorar o aspecto visual de certas feições estruturais para o analista humano e fornecer outros subsídios para a sua interpretação, inclusive gerando produtos que possam ser posteriormente submetidos a outros processamentos (SPRING, 1996).

Silva (2001) reforça essa ideia de PDI mencionando que sua função primordial é a de fornecer ferramentas para facilitar a identificação e a extração da informação contida nas imagens, para posterior interpretação. O resultado desse processo é a produção de outras imagens contendo informações específicas, extraídas e realçadas a partir das imagens brutas.

Para Jensen (2009) indica que as técnicas em PDI, procuram detectar e identificar fenômenos importantes em uma cena, de modo a torna-la visualmente melhor. Ao melhorar possibilidade de interpretação destes dados, os mesmos serão medidos e a informação será usada na solução de problemas (JENSEN, 2009).

Em uma abordagem mais detalhada, Jensen (2009) define que os objetivos do PDI são:

- Melhorar a qualidade geométrica e radiométrica dos dados brutos;
- Melhorar a aparência visual das imagens para facilitar a interpretação visual, realçando as feições de interesse;
- Automatizar certos procedimentos de extração de informações;
- Permitir a integração de dados de diferentes fontes;
- Facilitar o desenvolvimento de modelos e a geração de produtos que representem a grandeza de interesse do usuário, a informação.

2.6. Satélites Landsat

O LANDSAT foi desenvolvido pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) e pelo Serviço Geológico conhecido como *United States Geological Survey* (USGS) tendo como objetivo a realização da cobertura quase que global da superfície terrestre, classificado na categoria de resolução espacial intermediária.

A princípio a missão foi denominada de *Earth Resources Technology Satellite* (ERTS), que no ano de 1975 passou a ser chamada de Landsat. O lançamento do primeiro satélite foi o Landsat-1 ou ERTS-1 que aconteceu no ano de 1972, levando a bordo duas

câmeras a *Return Beam Vidicom* (RBV) e a *Multispectral Scanner System* (MSS), usadas também no Landsat-2 (lançado em 1975) e no Landsat-3 (lançamento em 1978).

O Landsat 4 começou a operar em 1982, com o MSS e também com o sensor TM (*Thematic Mapper*), projetado para dar suporte às pesquisas nas mais diversas áreas temáticas, especializado em recursos naturais. Dois anos mais tarde entraria em órbita o Landsat-5, com os mesmos instrumentos sensores do L4.

O sensor MSS do satélite L5 deixou de enviar dados em 1995, e o sensor TM manteve-se ativo até novembro de 2011, atingindo a marca de 28 anos em operação. Posteriormente, o sensor MSS foi religado a bordo do satélite Landsat 5, coletando imagens apenas dos Estados Unidos, oferecendo continuidade aos trabalhos e produtos do Landsat.

Já o Landsat-6, lançado em 05 de outubro de 1993, carregava a bordo o sensor *Enhanced Thematic Mapper* (ETM), melhor que o sensor TM, pois possuía uma banda a mais a 8 (pancromática de 15 metros de resolução), mas devido à falha de colocação em órbita caiu no mar. Assim, segundo Jensen (2009) o presidente dos Estados Unidos Bill Clinton, assinou um decreto referente à Política de Sensoriamento Remoto Terrestre autorizando a construção do Landsat-7, sendo lançado em 15 de abril de 1999, que carregava a bordo um sensor um pouco melhor que seu antecessor o *Enhanced Thematic Mapper Plus* (ETM+). O que diferencia o Landsat-7 dos L-4 e L-5 é a banda 6 (infravermelho termal) que tem uma resolução espacial de 60m e também uma banda pancromática de 15m (0,52-0,90 μ m).

A continuidade de série (Tabela 2) ocorreu com o lançamento em 11/02/2013, do satélite LDCM (*Landsat Data Continuity Mission*) ou também denominado Landsat 8 que opera com os instrumentos OLI (*Operational Land Imager*) e TIRS (*Thermal Infrared Sensor*). O sensor OLI dará continuidade aos produtos gerados a partir dos sensores TM e ETM+, a bordo das plataformas anteriores, além de incluir duas novas bandas espectrais, uma projetada para estudos de áreas costeiras e outra para detecção de nuvens do tipo cirrus (EMBRAPA, 2013).

Tabela 2 - Características dos satélites LANDSAT-1 AO LANDSAT-8

| Missão Land Remote Sensing Satellite (Landsat) | | | | | | | | |
|------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|------------------------------------------------------|---------------------------------|
| Instituições Responsáveis | NASA (National Aeronautics and Space Administration) e USGS (U.S. Geological Survey) | | | | | | | |
| Pais/Região | Estados Unidos | | | | | | | |
| Satélite | LANDSAT 1 | LANDSAT 2 | LANDSAT 3 | LANDSAT 4 | LANDSAT 5 | LANDSAT 6 | LANDSAT 7 | LANDSAT 8 |
| Lançamento | 23/07/1972 | 22/01/1975 | 05/03/1978 | 16/07/1982 | 01/03/1984 | 05/10/1993 | 15/04/1999 | 11/02/2013 |
| Local de Lançamento | Vandenberg Air Force Base | Vandenberg Air Force Base | Vandenberg Air Force Base | Vandenberg Air Force Base | Vandenberg Air Force Base | Vandenberg Air Force Base | Vandenberg Air Force Base | NASA Kennedy Space Center (KSC) |
| Veículo Lançador | Delta 900 | Delta 2910 | Delta 2910 | Delta 3920 | Delta 3920 | Titan II | Delta-II | Atlas-V 401 |
| Situação Atual | Inativo (06/01/1978) | Inativo (25/02/1982) | Inativo (31/03/1983) | Inativo (1993) | Inativo (22/11/2011) | Inativo (05/10/1993) | Ativo (Interrompeu recepção no Brasil em 31/05/2003) | Ativo |
| Órbita | Polar, helios-síncrona | Polar, helios-síncrona | Polar, helios-síncrona | Polar, helios-síncrona | Polar, helios-síncrona | Polar, helios-síncrona | Polar, helios-síncrona | Circular |
| Altitude | 917 km | 917 km | 917 km | 705 km | 705 km | 705 km | 705 km | 705 km |
| Inclinação | 99,2° | 99,2° | 99,2° | 98,20° | 98,20° | 98,20° | 98,2° | 98,2° |
| Tempo de Duração da Órbita | 103,3 min | 103 min | 103 min | 99 min | 99 min | 98,9 min | 98,9 min | 99 min |
| Horário de Passagem | 9:30 AM | 9:30 AM | 9:30 AM | 9:45 AM | 9:45 AM | 10:00 AM | 10:00 AM | 1:40 PM |
| Período de Revisita | 18 dias | 18 dias | 18 dias | 16 dias | 16 dias | 16 dias | 16 dias | 16 dias |
| Tempo de vida projetado | 1 ano | 1 ano | 1 ano | 3 anos | 3 anos | s.d. | 5 anos | 5 anos |
| Instrumentos Sensores | RBV e MSS | RBV e MSS | RBV e MSS | MSS e TM | MSS e TM | ETM | ETM+ | OLI e TIRS |

*s/d: sem dados/informações

Fonte: EMBRAPA (2013).

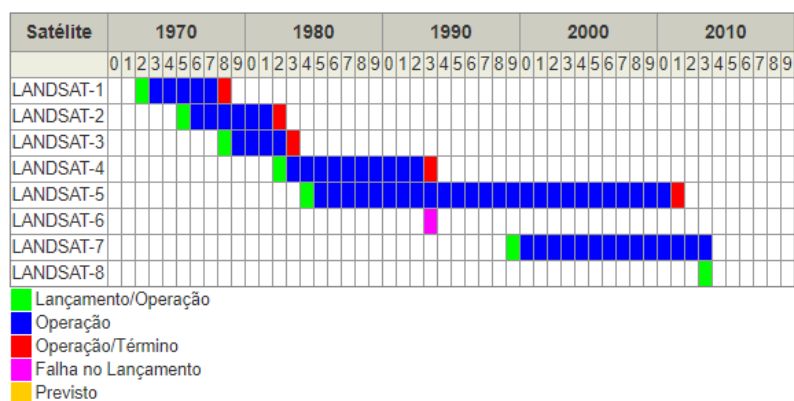
Lançado em fevereiro de 2013 o satélite Landsat-8 apresenta órbita praticamente polar, posicionando-se de maneira heliossíncrona a uma altitude de aproximadamente 705 km. Existem dois sensores embarcados no satélite Landsat-8 o OLI e o TIRS. Os sensores a bordo do satélite Landsat-8 possuem faixa de imageamento de 170 km norte-sul por 185 km leste-oeste, resolução temporal de aproximadamente 16 dias, resolução espacial de 30m para as bandas do visível, 15m para banda pancromática e 100m para as bandas termais (TIRS).

As imagens provenientes dos sensores instalados no satélite Landsat-8 trazem inovações importantes para usuários que demandam de mapeamentos em mesoescala. O sensor espectral OLI e sensor termal TIRS apresentam resolução espectral melhor que seus antecessores, além disso, foram adicionadas duas bandas espectrais: a new coastal (banda 1), projetada especificamente para estudos dos recursos hídricos e investigação da zona costeira, e, um novo canal de infravermelho (banda 9) para a detecção de nuvens. Há também o acréscimo de uma banda de garantia de qualidade (Banda QA) que apresenta informações

sobre a presença de nuvens, água e neve. A partir do sensor termal TIRS, foram criadas duas bandas espectrais para o comprimento de onda antes coberto por uma única banda nos sensores TM e ETM (USGS, 2013).

Segundo a USGS (2013) os sensores OLI e TIRS proporcionam um melhor desempenho radiométrico (16 bits) possibilitando uma maior caracterização de alvos da imagem, também contribuindo bastante para a diminuição do efeito de sombras. Pode-se identificar a vida útil dos satélites Landsat de acordo com a (Tabela 3).

Tabela 3 - Vida útil dos Satélites LANDSAT



Fonte: EMBRAPA (2013).

2.6.1. Principais Sistemas e Sensores

De acordo com a Embrapa (2013), o sensor RBV esteve a bordo dos três primeiros satélites da série Landsat e foi decisivo para definir as bases dos sensores que seriam lançados no futuro. As câmeras tinham capacidade de obter imagens diurnas que captavam dados de forma instantânea para a área total das cenas, com revisitas de 18 dias. Nos dois primeiros satélites (L1 e L2), o sensor RBV operou no modo multiespectral, com três canais/câmeras (nas regiões do visível e infravermelho próximo) e resolução espacial de 80 metros:

- 1 - o canal 1 (475 – 575 nm) na região do azul/verde;
- 2 - o canal 2 (580 – 680 nm) na região do verde/vermelho;
- 3 - o canal 3 (690 – 830 nm) na região do vermelho/infravermelho próximo.

No terceiro satélite da série (L3), o sensor RBV operou com duas câmeras RCA, em uma única banda pancromática (0,505 – 0,750 nm) e ofereceu 30 metros de resolução espacial.

O sensor MSS (Tabela 4) foi lançado a bordo dos cinco primeiros satélites da série Landsat e passou por algumas atualizações durante o tempo. Com exceção do L3 que foi projetado com a banda 8 termal, os demais foram desenhados com quatro canais dispostos nas

regiões do visível e infravermelho próximo. Embora projetado com a banda 8, o sensor MSS a bordo do L3 também operou com quatro bandas devido à falha no sensor termal ter ocorrido após o lançamento.

Tabela 4 - Características dos sensores MSS das Bandas Espectrais LANDSAT-1 AO LANDSAT-5

| Sensor | Bandas Espectrais | Resolução Espectral | Resolução Espacial | Resolução Temporal | Área Imageada | Res. Radiométrica |
|------------------------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------|-------------------------------------|---------------|-----------------------------------|
| MSS (Multispectral Scanner System) | (B4) VERDE | 0.5 - 0.6 μm | 57 x 79 m | 18 dias (L1-L3); 16 dias (L4-L5) | 185 km | 6 bits (L1-L3); 8 bits (L4-L5) |
| | (B5) VERMELHO | 0.6 - 0.7 μm | | | | |
| | (B6) INFRAVERMELHO PRÓXIMO | 0.7 - 0.8 μm | | | | |
| | (B7) INFRAVERMELHO PRÓXIMO | 0.8 - 1.1 μm | | | | |
| | (B8) INFRAVERMELHO TERMAL | 10.41-12.6 μm | | | | |
| s.d. = sem dados/informações | | | | | | |

Fonte: EMBRAPA (2013).

Algumas alterações verificadas entre as versões do MSS (Figura 6) durante o tempo dizem respeito às próprias características dos satélites, que reduziram o tempo de revisita de 18 para 16 dias e aumentaram a acurácia no armazenamento dos dados de 6 para 8 bits.

Figura 6 - Sensor MMS (Multispectral Scanner System)



Fonte: National Air And Space Museum (2013).

O sensor TM (Figura 7) e foi lançado a bordo dos satélites Landsat 4 e Landsat 5.

Figura 7 - Sensor TM (Thematic Mapper)



Fonte: NASA (2013).

Possui separação espectral adequada para oferecer subsídios aos mapeamentos temáticos na área de recursos naturais. Operou com 7 bandas nas regiões do visível (Tabela 5), infravermelho próximo, médio e termal. Apresentou melhor resolução espacial, acurácia radiométrica e posicionamento geométrico em relação ao seu antecessor, o sensor MSS. Os dados do sensor TM foram utilizados em pesquisas e definições de metodologias em amplas áreas do conhecimento científico e tiveram importância singular para a evolução das técnicas desenvolvidas e utilizadas no sensoriamento remoto mundial.

Tabela 5 - Características dos sensores TM das Bandas Espectrais LANDSAT-4 e LANDSAT-5

| Sensor | Bandas Espectrais | Resolução Espectral | Resolução Espacial | Resolução Temporal | Área Imageada | Res. Radiométrica |
|------------------------------|----------------------------|---------------------------|--------------------|--------------------|---------------|-------------------|
| TM (Thematic Mapper) | (B1) AZUL | 0.45 - 0.52 μm | 30 m | 16 dias | 185 km | 8 bits |
| | (B2) VERDE | 0.52 - 0.60 μm | | | | |
| | (B3) VERMELHO | 0.63 - 0.69 μm | | | | |
| | (B4) INFRAVERMELHO PRÓXIMO | 0.76 - 0.90 μm | | | | |
| | (B5) INFRAVERMELHO MÉDIO | 1.55 - 1.75 μm | 120 m | | | |
| | (B6) INFRAVERMELHO TERMAL | 10.4 - 12.5 μm | 30 m | | | |
| | (B7) INFRAVERMELHO MÉDIO | 2.08 - 2.35 μm | | | | |
| s.d. = sem dados/informações | | | | | | |

Fonte: EMBRAPA (2013).

O sensor ETM (Tabela 6) foi projetado para ser levado a bordo do Landsat 6, no entanto, não entrou em operação devido à falha ocorrida no lançamento do satélite. Em relação ao seu antecessor, o sensor TM, foi incluída uma nova banda pancromática (banda 8) com 15 metros de resolução espacial e mantidas as demais configurações técnicas.

Tabela 6 - Características dos sensores ETM das Bandas Espectrais LANDSAT-6

| Sensor | Bandas Espectrais | Resolução Espectral | Resolução Espacial | Resolução Temporal | Área Imageada | Res. Radiométrica |
|--------------------------------|----------------------------|---------------------------|--------------------|--------------------|---------------|-------------------|
| ETM (Enhanced Thematic Mapper) | (B1) AZUL | 0.45 - 0.52 μm | 30 m | 16 dias | 184 km | 8 bits |
| | (B2) VERDE | 0.52 - 0.60 μm | | | | |
| | (B3) VERMELHO | 0.63 - 0.69 μm | | | | |
| | (B4) INFRAVERMELHO PRÓXIMO | 0.76 - 0.90 μm | | | | |
| | (B5) INFRAVERMELHO MÉDIO | 1.55 - 1.75 μm | 120 m | | | |
| | (B6) INFRAVERMELHO TERMAL | 10.4 - 12.5 μm | 30 m | | | |
| | (B7) INFRAVERMELHO MÉDIO | 2.08 - 2.35 μm | 15 m | | | |
| | (B8) PANCROMÁTICO | 0.52 - 0.90 μm | | | | |
| s.d. = sem dados/informações | | | | | | |

Fonte: EMBRAPA (2013).

O sensor ETM+ (Tabela 7), a bordo do satélite Landsat 7, foi o sucessor operacional do instrumento TM e manteve configurações técnicas muito semelhantes a ele oferecendo a versatilidade e eficiência obtidas nas versões anteriores. Além disso, contribuiu para ampliar o uso dos produtos, pois conseguiu melhorar a acurácia do sistema, ampliou a resolução espacial da banda 6 (infravermelho termal) para 60 metros, além de tornar a banda pancromática operante e permitir a geração de composições coloridas com 15 metros de resolução. Em 31/05/2003 o sensor apresentou problemas de funcionamento e a partir dessa data as cenas do Landsat 7 foram enviadas em modo SLC-Off para serem utilizadas necessitam de correções prévias e análise de acurácia no posicionamento e calibração dos pixels.

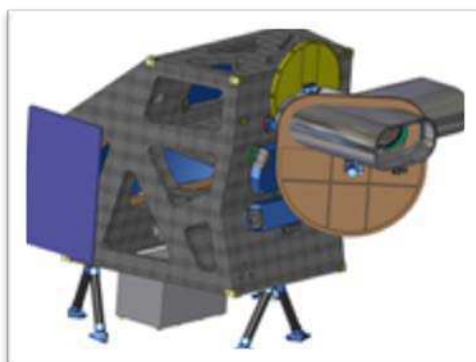
Tabela 7 - Características do sensor ETM+ das Bandas Espectrais LANDSAT-7

| Sensor | Bandas Espectrais | Resolução Espectral | Resolução Espacial | Resolução Temporal | Área Imageada | Res. Radiométrica |
|--------------------------------|----------------------------|---------------------------|--------------------|--------------------|---------------|-------------------|
| ETM (Enhanced Thematic Mapper) | (B1) AZUL | 0.45 - 0.52 μm | 30 m | 16 dias | 184 km | 8 bits |
| | (B2) VERDE | 0.52 - 0.60 μm | | | | |
| | (B3) VERMELHO | 0.63 - 0.69 μm | | | | |
| | (B4) INFRAVERMELHO PRÓXIMO | 0.76 - 0.90 μm | | | | |
| | (B5) INFRAVERMELHO MÉDIO | 1.55 - 1.75 μm | 120 m | | | |
| | (B6) INFRAVERMELHO TERMAL | 10.4 - 12.5 μm | 30 m | | | |
| | (B7) INFRAVERMELHO MÉDIO | 2.08 - 2.35 μm | 15 m | | | |
| | (B8) PANCROMÁTICO | 0.52 - 0.90 μm | | | | |
| s.d. = sem dados/informações | | | | | | |

Fonte: EMBRAPA (2013).

O sensor OLI de acordo com a (Figura 8) possui bandas espectrais para coleta de dados na faixa do visível, infravermelho próximo e infravermelho de ondas curtas, além de uma banda pancromática.

Figura 8 - Sensor OLI - (Operational Land Imager)



Fonte: NASA (2013).

Avanços tecnológicos demonstrados por outros sensores experimentais da NASA foram introduzidos no sensor OLI (Tabela 8), que passou a ter quantização de 12 bits. A entrada em operação do sensor a bordo do Landsat 8, permite a continuidade dos trabalhos em sensoriamento remoto iniciados na década de 1970, com a missão Landsat.

Tabela 8 - Características do sensor OLI das Bandas Espectrais LANDSAT-8

| Sensor | Bandas Espectrais | Resolução Espectral | Resolução Espacial | Resolução Temporal | Área Imageada | Res. Radiométrica |
|-------------------------------|----------------------------|-----------------------------|--------------------|--------------------|---------------|-------------------|
| OLI (Operational Land Imager) | (B1) COSTAL | 0.433 - 0.453 μm | 30 m | 16 dias | 185 km | 12 bits |
| | (B2) AZUL | 0.450 - 0.515 μm | | | | |
| | (B3) VERDE | 0.525 - 0.600 μm | | | | |
| | (B4) VERMELHO | 0.630 - 0.680 μm | | | | |
| | (B5) INFRAVERMELHO PRÓXIMO | 0.845 - 0.885 μm | | | | |
| | (B6) INFRAVERMELHO MÉDIO | 1.560 - 1.660 μm | | | | |
| | (B7) INFRAVERMELHO MÉDIO | 2.100 - 2.300 μm | | | | |
| | (B8) PANCROMÁTICO | 0.500 - 0.680 μm | 15 m | | | |
| | (B9) Cirrus | 1.360 - 1.390 μm | 30 m | | | |

s.d. = sem dados/informações

Fonte: EMBRAPA (2013).

O sensor TIRS possui bandas espectrais na faixa do infravermelho termal. Oferece continuidade a aquisição de dados captados pela banda 6 do TM e ETM+. Os dados do sensor TIRS (Tabela 9) possuem 100m de resolução espacial, com resolução radiométrica de 12 bits e correção com os dados oriundos do sensor OLI.

Tabela 9 - Características do sensor TIRS das Bandas Espectrais LANDSAT-8

| Sensor | Bandas Espectrais | Resolução Espectral | Resolução Espacial | Resolução Temporal | Resolução Radiométrica | Área Imageada |
|--------------------------------|-------------------|-----------------------------|--------------------|--------------------|------------------------|---------------|
| TIRS (Thermal Infrared Sensor) | (B10) LWIR - 1 | 10.30 - 11.30 μm | 100 m | 16 dias | 12 bits | 185 km |
| | (B11) LWIR - 2 | 11.50 - 12.50 μm | | | | |

s.d. = sem dados/informações

Fonte: EMBRAPA (2013).

2.7. Ferramenta Orfeo Monteverdi do Quantum Gis (QGIS)

De acordo com Foss4g (2015) o *Orfeo ToolBox* é fornecido com Monteverdi, uma ferramenta leve de renderização e processamento de imagens escrita em Qt e *OpenGL*. Monteverdi faz uso do mecanismo de renderização de gelo, também disponível na *Orfeo ToolBox*, que oferece:

- Navegação suave em conjuntos de dados muito grandes usando recursos de visão geral do GDAL.
- Ferramentas de renderização locais e globais reativas, como aprimoramento de contraste local ou mapeamento de cores, com base em recursos *OpenGL* avançados, como texturas de ponto flutuante e *OpenGL Shading Language*.
- Exibição de imagem múltipla com registro em movimento de qualquer imagem cujo sistema de referência de coordenadas seja entendido pela *Orfeo ToolBox*, que inclui imagens de geometria de sensor projetadas e projetadas a terra.

O Monteverdi é uma ferramenta do dia-a-dia para uma rápida visualização dos resultados do processamento, que pode exibir imagens na geometria do sensor. O Monteverdi também facilita o processamento usando as aplicações, que serão o foco da próxima seção. Não pretende substituir o software GIS, como o QGIS, que são mais adequados para editar, exibir e relacionar diferentes fontes de informações geográficas (raster ou vetor).

O processo de *Pansharpening* (Fusão) pode ser realizado no QGIS através dos algoritmos do *Orfeo Monteverdi*, uma robusta aplicação de Sensoriamento Remoto. Sobre o processo, podemos assegurar que os resultados são satisfatórios (PROCESSAMENTODIGITAL, 2015).

Para fusionar imagens com os algoritmos do Monteverdi através da “interface” do QGIS, você precisa seguir esta ordem:

1. Realizar uma Composição Colorida/Empilhamento de Bandas/*Layer Stack*;
2. Utilizar o *Superimpose*, que dimensiona a imagem colorida para a extensão e resolução da banda PAN;
3. Utilizar o *Pansharpening* RCS para mesclar as cenas Pancromática e Multiespectral.

A fusão de imagens tem por objetivo aumentar a resolução espacial das bandas multiespectrais, fusionando a informação espacial detalhada da banda pancromática com a informação espectral das bandas multiespectrais (DIGITALGLOBE, 2010).

Dos diferentes métodos de fusão de imagens existentes, foi utilizado o método *Pansharpening* (RCS). Assim, os critérios para a seleção dos procedimentos de fusão

avaliados foram a acessibilidade do algoritmo e a capacidade de fusionar as bandas espectrais simultaneamente, possuir boa capacidade de transferência de detalhes da imagem pancromática para a imagem sintética, preservando a informação espectral da imagem multiespectral original (ZHANG, 2004).

2.8. Índice de Vegetação

Os índices de vegetação de maneira geral realçam o comportamento espectral da vegetação presente na imagem correlacionando-se com os aspectos biofísicos como biomassa, Índice de Área Foliar (IAF), vigor da vegetação, cobertura do solo, atividade fotossintética, dentre outros aspectos. Esses índices normalmente são utilizados para caracterizar a presença de vegetação fotossinteticamente ativa na superfície bem como sua distribuição espaço-temporal a qual é inerente às condições climáticas e aos ciclos fenológicos anuais.

Os valores obtidos para índices de vegetação estão diretamente ligados à disponibilidade hídrica do sistema, portanto, a escolha de imagens de satélite de períodos úmidos ou de estiagem apresentarão resultados diferenciados. Contudo, geralmente a escolha das melhores imagens de satélite coincide com o período de estiagem, visto que normalmente neste período há uma menor cobertura de nuvens sobre a área alvo. Segundo Huxman *et al.* (2004) a sazonalidade climática influencia a fenologia da vegetação com períodos de maior produtividade vegetal e brotação de folhas, quando são registrados maiores valores do índice de vegetação (estação chuvosa), e períodos de menor produtividade e senescência de folhas, apresentando valores baixos do índice de vegetação (estação seca).

A modelagem dos índices de vegetação é obtida por meio de processamento de informações contidas nas bandas que apresentam refletância na região do visível (vermelho) e do infravermelho próximo do espectro eletromagnético. Na faixa espectral do vermelho, há alta absorção de energia solar devido à presença da clorofila e isso ocasiona baixa refletância. Por sua vez, na faixa do infravermelho próximo, essa absorção é baixa e resulta em alta refletância. Portanto, a combinação dessas duas faixas espectrais realçam as áreas de vegetação nas imagens e, quanto maior o contraste maior é a vigor da vegetação na área imageada.

2.8.1. NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*)

O NDVI ou IVDN (*Índice de Vegetação da Diferença Normalizada*) proposto por Rouse *et al.* (1973) é um índice utilizado principalmente em pesquisas de cunho

ambiental, pois permite fazer análises sobre a cobertura vegetal de determinada região em diversas escalas. Em se tratando de pesquisas utilizando imagens de satélite, o NDVI é um índice muito utilizado, pois, reduz o efeito topográfico e apresenta uma escala de medida linear entre -1 e 1.

O NDVI é obtido pela razão entre a diferença da reflectância do infravermelho próximo (NIR) e a reflectância do vermelho (R), dividida, respectivamente, pela soma das mesmas, destaca Allen *et al.* (2002). Para o cálculo do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada, Rouse (1973) propôs a expressão:

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{R}) / (\text{NIR} + \text{R}).$$

O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) é um indicador da proporção e da condição da vegetação verde. Geralmente para superfícies com presença de alguma vegetação o valor do NDVI é positivo, para superfícies sem vegetação o valor é nulo, já para a água e nuvens o valor geralmente é negativo. Quanto mais próximo do extremo positivo, maior a densidade da cobertura vegetal, ou seja, condiz com seu estágio denso e desenvolvido. Esse valor diminui gradativamente para cobertura vegetal menos densa, que apresenta valores positivos, porém não muito elevados.

Embora o NDVI seja bastante utilizado no sensoriamento remoto, o mesmo apresenta algumas limitações. Segundo Jensen (2009) o índice sofre influência de radiância de trajetória atmosférica, apresenta saturação em relação a altos valores de IAF e tem sensibilidade às mudanças do substrato do dossel, como o solo. Elmore *et al.* (2000) afirma que outra desvantagem do índice NDVI está no fato deste ser altamente influenciado pelo brilho e efeito espectral do solo, fato que prejudica as avaliações sobre a vegetação.

2.8.2. SAVI (*Soil Adjusted Vegetation Index*)

O SAVI ou IVAS (*Índice de Vegetação Ajustado ao Solo*) desenvolvido por Huete (1988) foi proposto devido às limitações observadas no Índice de NDVI. Desenvolveu-se então um índice que pudesse melhorar os valores de NDVI sem necessidades de medições em campo, aponta Jensen (2009). Para tanto, foi proposto um índice melhorado a partir de uma constante, determinada “L”, para o fator de ajuste com o substrato do dossel. Criou-se, portanto o SAVI que busca amenizar os efeitos do plano de fundo do solo. A constante L pode apresentar valores variáveis de 0 a 1, variando segundo a própria cobertura vegetal. De acordo com Huete (1988) *apud* Ponzoni, Shimabukuro (2009), os valores ótimos de L são: L

= 1 (para baixas densidades de vegetação); L = 0,5 (para médias densidades de vegetação); L = 0,25 (para altas densidades de vegetação).

O Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) é obtido pela multiplicação de $1 + L$ pela razão entre a diferença da NIR pela reflectância do vermelho (R), dividida, respectivamente, pela soma das mesmas + “L”. Para este índice, Huete (1988) propôs a expressão: $SAVI = (1+L) \times (NIR - R) / (NIR + R + L)$

Segundo Huete (1988) *apud* Ponzoni, Shimabukuro (2009), em geral o fator $L = 0,5$ é mais utilizado, uma vez que agrupa maior variação de vegetação. Contudo, o Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) limita-se em função dos diferentes biomas e situações de uso e ocupação, uma vez que os valores da constante são generalizados, não considerando as características dos ambientes analisados, mas apenas a densidade vegetada aponta Ponzoni, Shimabukuro (2009).

Assim como o NDVI o Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) é um indicador da proporção e da condição da vegetação verde, porém faz parte de um grupo de índices considerados híbridos, pois utiliza um fator de ajuste para minimizar o efeito da presença de solo em meio à vegetação. Segundo Huete (1988), o Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) mede ou aproxima a distância entre o pixel e a linha do solo retirando o efeito dos solos claros ou escuros amenizando assim os efeitos do plano de fundo do solo. Os valores obtidos da classificação SAVI também variam em range negativo-positivo (-1,5 à 1,5), onde áreas com presença de alguma vegetação o valor é positivo e áreas sem vegetação, corpos d’água e nuvens o valor geralmente é negativo.

2.9. Classificação Digital de Imagens

De acordo com Crósta (1992) a classificação de imagens multiespectrais consiste em associar cada pixel da imagem a um “rótulo” descrevendo um objeto real. Portanto, os valores numéricos definidos pelo pixel da imagem, que, por sua vez é associado à informação espectral dos alvos captados pelo sensor, são identificados e associados a temas distintos, configurando assim regiões homogêneas.

A classificação subdivide-se em supervisionada e não-supervisionada, dependendo do algoritmo que será aplicado. Ambos os casos demandam duas fases: a do treinamento e a da classificação (MOREIRA, 2003).

2.9.1. *Classificação Supervisionada e Não Supervisionada*

Os dois tipos de classificação possuem regras de decisão para que o classificador associe certo pixel a certa classe ou regiões de similaridade de níveis de cinza. Essas regiões consideram as características espectrais do pixel (classificação pixel-a-pixel) ou do pixel e seus vizinhos (classificação por região). Se por um lado, na classificação pixel-a-pixel o pixel é considerado de forma isolada, na classificação por região considera-se tanto a informação espectral do pixel, como também a de seus vizinhos. Este último classificador procura simular o comportamento de um fotointérprete ao reconhecer áreas homogêneas dentro da imagem. O algoritmo mais utilizado é o de máxima verossimilhança (maxver) (MOREIRA, 2003).

2.9.2. *Métodos de Classificação de Imagens de Satélite*

De várias as formas de extração de informações de dados orbitais, a classificação de imagens se apresenta como um diferencial. Isso porque, “(...) o principal objetivo dos procedimentos de classificação de imagens é classificar automaticamente todos os pixels de uma imagem em classes ou temas de cobertura do solo” (LILLESAND, KIEFER; CHIPMAN, 2008). Sendo assim, o uso do método estatístico, ligado à procura de padrões espaciais favorecem a otimização do processo de extração de informações, que pode ser identificada no aumento da qualidade e precisão dos resultados.

A primeira busca o reconhecimento de padrões através de princípios de que diferentes feições manifestam diferentes combinações de Digital Number (DN), baseado em sua refletância espectral inerente e propriedades de emitância. (LILLESAND, KIEFER, e CHIPMAN, 2008).

Outro procedimento de classificação de imagens encontrado na literatura diz respeito ao reconhecimento de padrões espaciais. Segundo Lillesand, Kiefer e Chipman (2008), essa metodologia agrega a classificação dos pixels da imagem baseado no relacionamento espacial com seus vizinhos. Nessa perspectiva, os classificadores com essa concepção devem considerar aspectos como textura, proximidade, tamanho, forma, direção, repetição (frequência) e contexto (LILLESAND; KIEFER, e CHIPMAN, 2008). Estes classificadores se aproximam da análise cognitiva realizada durante o processo de interpretação de imagens. Dessa forma, tendem a ser muito mais complexos e intensos em termos de processamento computacional que os procedimentos de reconhecimento de padrão espectral.

Apesar das peculiaridades de cada uma dessas linhas de classificação de imagens, deve-se ressaltar que a primeira etapa do procedimento de classificação, o procedimento escolhido

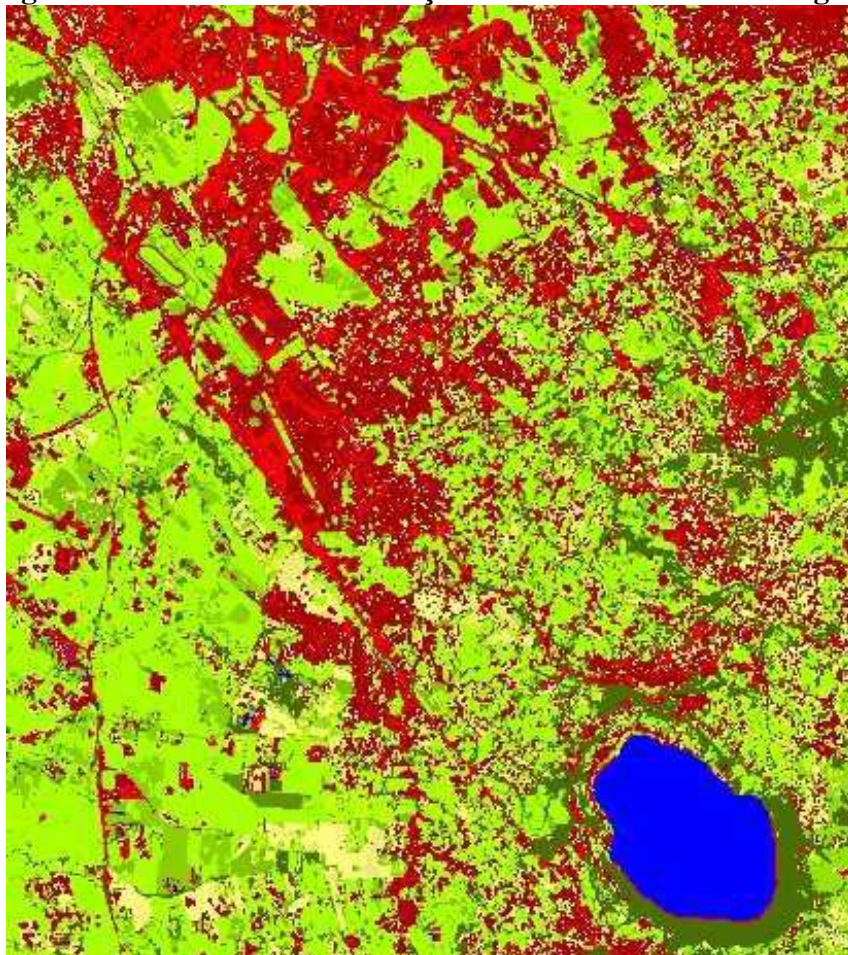
para esse estudo, consiste na fase de treinamento. Deste modo, obtêm-se duas vertentes de trabalho para o processo de classificação. Na primeira, denominada método de classificação supervisionada, “o analista utiliza seu conhecimento à priori derivado da pesquisa de campo, fotointerpretação, e outras fontes, em pequenas regiões da imagem a ser classificada para identificar aqueles pixels que pertencem a classe de interesse” (SCHOWENGERDT, 1983). Assim, o analista coleta amostras que vão “treinar” o algoritmo de classificação a buscar em toda a imagem alvos semelhantes.

Começando pelo método utilizado nesse trabalho, a Máxima Verossimilhança. Esse método pressupõe a ponderação das distâncias entre médias dos níveis digitais das classes, utilizando parâmetros estatísticos. Como esse é um método de classificação supervisionada pixel-a-pixel, é fundamental que se use amostras de treinamento para definir o diagrama de dispersão das classes e a probabilidade de pertencimento. Para que nessa metodologia se tenha uma boa classificação é imprescindível o número de amostras seja um pouco elevado. Alguns trabalhos são desenvolvidos pegando-se 20 amostras de 5 x 5 pixels, o que dá um total de 500 pixels no total das amostras, é importante frisar que essas amostras não podem conter contaminações, ou seja, apresentarem muita informação pertencente a outras classes, sendo assim, é sempre bom dar uma olhada na estatística das amostras antes de partir para a classificação (SADECKGEO, 2010).

Segundo Sadeckgeo (2010), outro método de classificação, também supervisionado pixel-a-pixel, é o por Distância Euclidiana, segundo a matemática, é a distância entre dois pontos provada pela aplicação repetida do teorema de Pitágoras. No sensoriamento remoto esse conceito se traduz da seguinte forma, é a distância medida para associar um pixel a uma determinada classe, pois nas amostras de treinamento foram determinados grupos de pixel que representam as classes. Para ficar mais claro, o que acontece é que o algoritmo de classificação compara a Distância Euclidiana do pixel à media de cada agrupamento e quanto menor for a distância maior será a probabilidade de pertencimento, esse procedimento é repetido até que toda a imagem seja classificada.

Existem várias perspectivas para a classificação de imagens, dessas, foi utilizada apenas uma para essa pesquisa (Figura 9).

Figura 9 - Método de Classificação Por Treinamento de Imagem



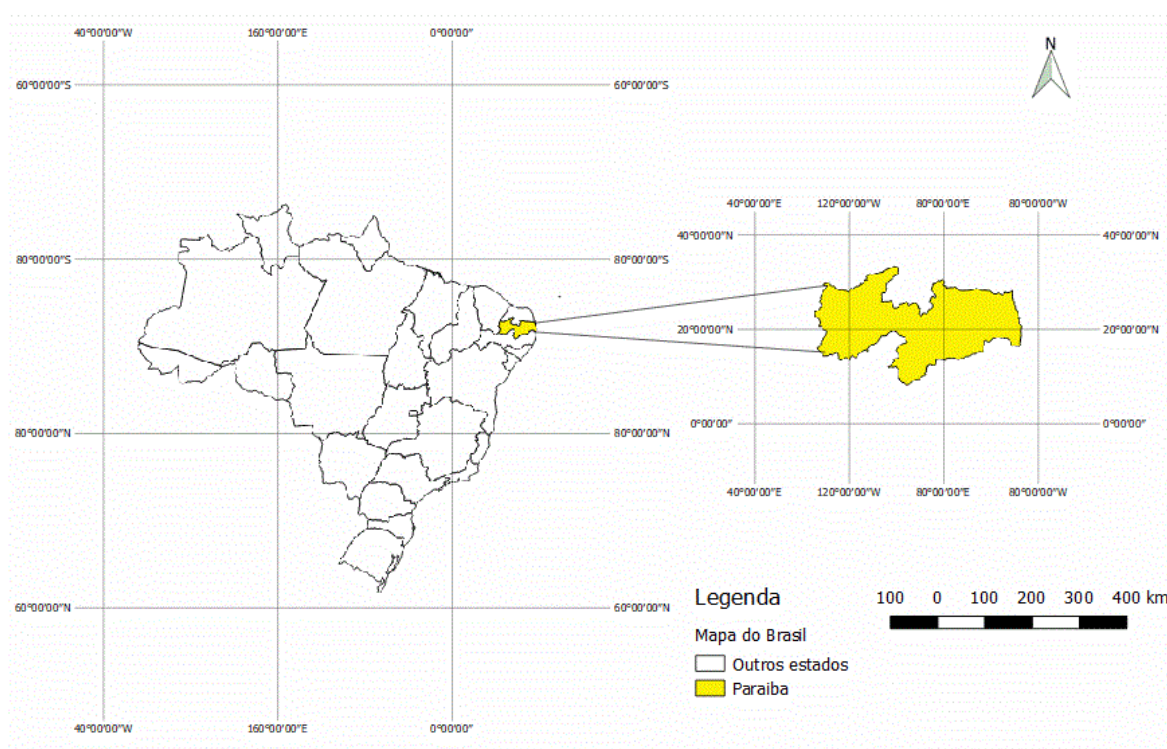
Fonte: Adaptado de USGS (2017).

3. MATERIAL E MÉTODO

3.1. Localização Geográfica

A área de estudo compreende o Estado da Paraíba (Figura 10) que está localizado na região Nordeste do Brasil, e apresenta uma área de 56.372 km², que corresponde a 0,662% do território nacional. Seu posicionamento encontra-se entre os paralelos 6°02'12" e 8°19'18" S, e entre os meridianos de 34°45'54" e 38°45'45" W. Ao norte, limita-se com o estado do Rio Grande do Norte; a leste, com o Oceano Atlântico; a oeste, com o estado do Ceará; e ao sul, com o estado de Pernambuco (FRANCISCO, 2010).

Figura 10 - Mapa Destacando o Estado da Paraíba no Brasil



Fonte: Barreto Júnior, adaptado dos dados vetoriais do IBGE (2018).

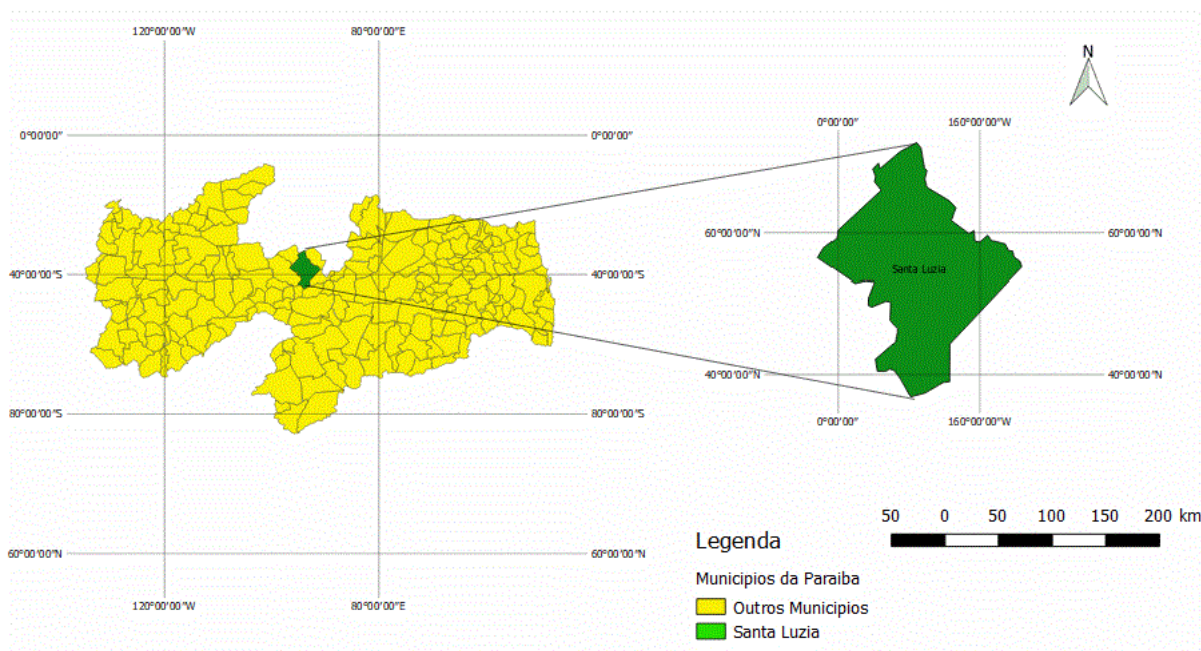
3.2. Caracterização do Entorno da Área do Estudo

3.2.1. Município de Santa Luzia

O município de Santa Luzia (Figura 11) foi criado pela Lei Provincial nº 410, em 24 de dezembro de 1871, na categoria de Vila de Santa Luzia e como Santa Luzia em 1949, pelo Decreto-Lei nº 318. Segundo o Atlas Geográfico da Paraíba (1985) tem, como limites, ao norte: os municípios de São José do Sabugi, Várzea e Ouro Branco (RN); ao sul, os municípios de Areia de Baraúna e Salgadinho; a leste, com Junco do Seridó e a oeste com São Mamede. Sua população é de 14.719 hab (IBGE, 2010), dentre os quais 91,51% estão concentrados na zona urbana; a densidade demográfica é de 32,3 hab/km².

O município está localizado entre as coordenadas de 06°45' a 07°05' de latitude sul e 36°46' a 37°02' de longitude oeste e altitude de 304m, possuindo uma área de 455,702 km² (IBGE) 2010, percentual que representa 3,6% da microrregião e 0,8% da área do Estado; significando 3,6% da microrregião e 0,8% da área do Estado.

Figura 11 - Mapa destacando o Município de Santa Luzia, PB



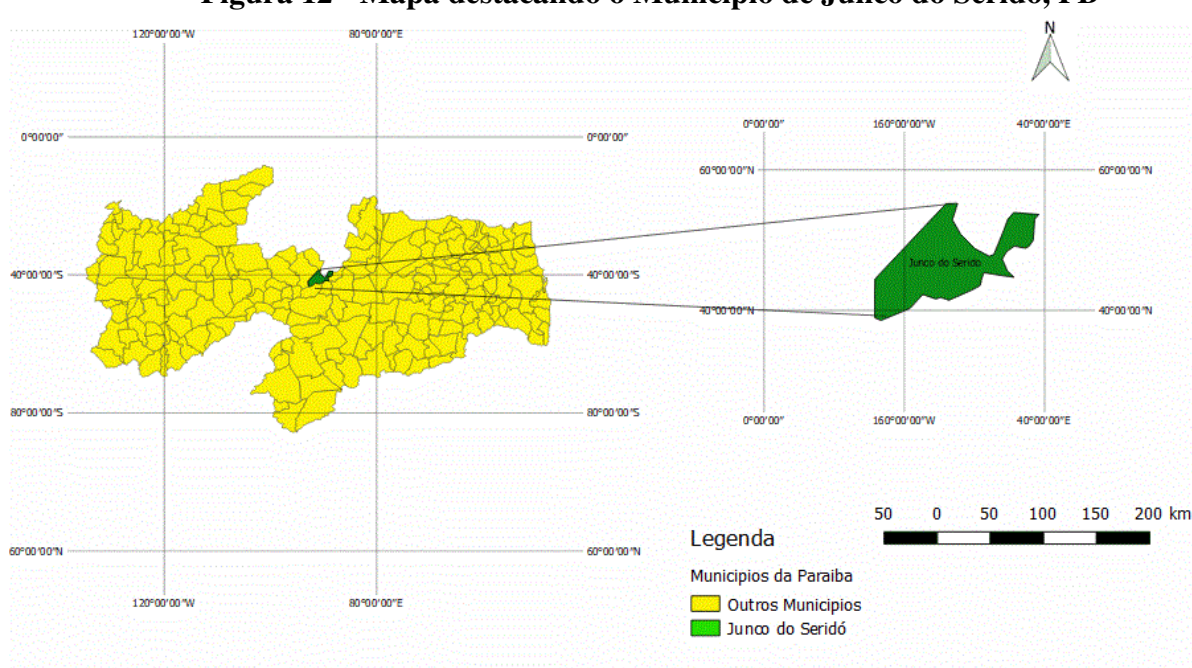
Fonte: Barreto Júnior, adaptado dos dados vetoriais do IBGE (2018).

3.2.2. Município de Junco do Seridó

O município de Junco do Seridó (Figura 12) foi criado pela lei número 2.680 de 22 de Dezembro de 1961 e instalado em 01 de Janeiro de 1962. Com área de 160,1 km², está a 265 km da Capital. De acordo com o censo (IBGE, 2000), a população total residente é de 5.968 habitantes dos quais 3.479 (58,29%) residem na zona urbana e 2.489 na zona rural. A densidade demográfica é de 37,28hab/km².

O município de Junco do Seridó situa-se na porção central-norte do Estado da Paraíba, Mesorregião Borborema e Microrregião Seridó Oriental Paraibano. Limita-se ao norte com Equador (RN), leste com Tenório e Assunção, Sul com Assunção e Salgadinho, e, oeste, com Santa Luzia. A base física do município possui área de 160,10km². Situado a 590 metros de altitude, de Junco do Seridó tem as seguintes coordenadas geográficas: Latitude: 6° 59' 41" Sul, Longitude: 36° 42' 41" Oeste.

Figura 12 - Mapa destacando o Município de Junco do Seridó, PB

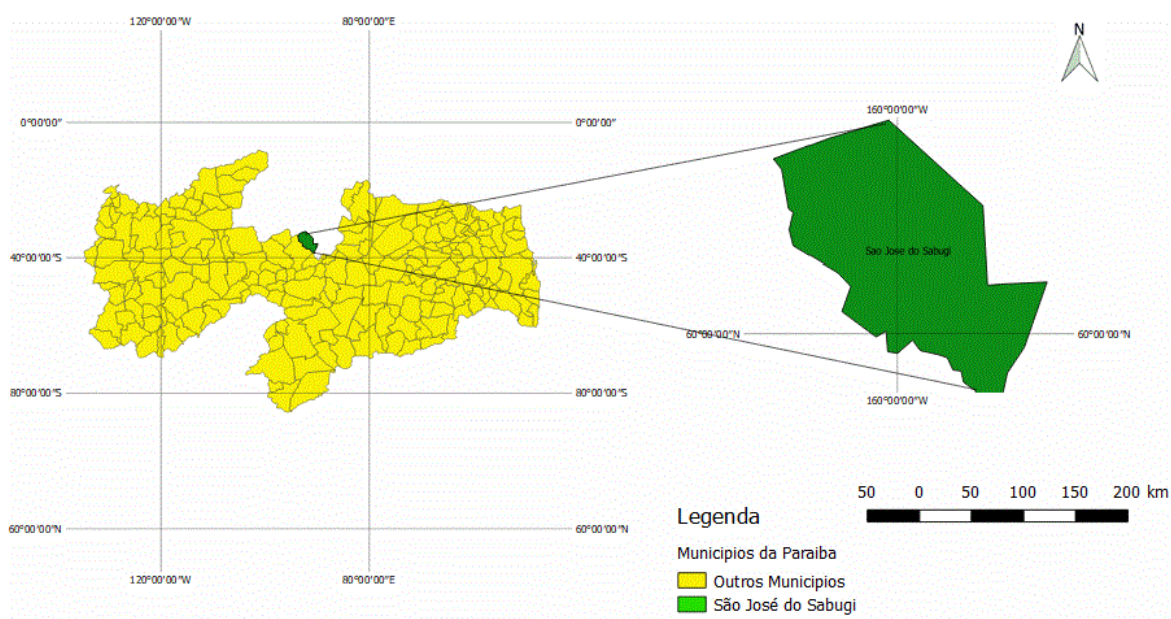


Fonte: Barreto Júnior, adaptado dos dados vetoriais do IBGE (2018).

3.2.3. Município de São José do Sabugi

O município de São José do Sabugi está localizado no estado da Paraíba (Figura 13). Está inserido na região do Seridó Ocidental Paraibano com área territorial de 206 km² e é integrante da Região Metropolitana de Patos. De acordo com o censo realizado pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) no ano de 2010, sua população é de 4.114 habitantes.

Figura 13 - Mapa destacando o Município de São José do Sabugi, PB

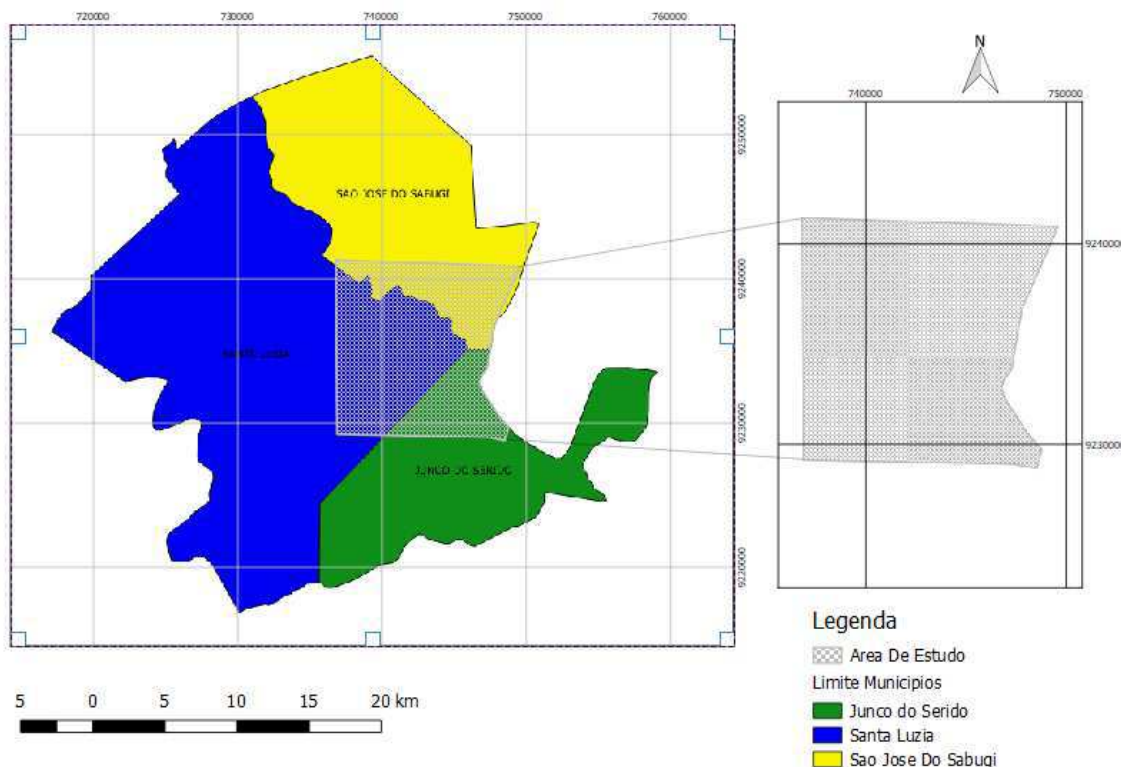


Fonte: Barreto Júnior, adaptado dos dados vetoriais do IBGE (2018).

3.2.4. Área do Estudo

Localizado na Serra de Santa Luzia com uma área de 13.408,07 hectares, ou seja, 134,08 km², com um alto potencial para geração de energia eólica, devido a região estar localizada numa passagem de ventos, a área escolhida para o estudo fica situada entre esses três municípios do estado da Paraíba, destacada na (Figura 14).

Figura 14 - Mapa Destacando a Área de Estudo na Serra de Santa Luzia, PB



Fonte: Barreto Júnior, adaptado dos dados vetoriais do IBGE (2018).

3.3. Fornecimento de Dados

O fornecimento de imagens pelo USGS é de forma gratuita. Nesse estudo foram utilizadas imagens do satélite Landsat-8 que entrou em operação em 2013, logo possuem imagens a partir do segundo semestre do devido ano. O satélite leva 16 dias para realizar outra passagem pela mesma região, por esse motivo, nem todas as imagens podem ser trabalhadas com perfeição, pois pode ter características que impeçam o estudo da área no momento da passagem do satélite, tal como, nuvens. A plataforma Landsat-8 opera com dois instrumentos imageadores: Operacional (OLI) e (TIRS).

3.3.1 Operacional Terra Imager (OLI)

Produtos OLI consistem de nove bandas multiespectrais com resolução espacial de 30 metros (bandas de 1 a 7 e 9).

3.3.2. Thermal Infrared Sensor (TIRS).

De acordo com Usgs (2017), as faixas térmicas do instrumento TIRS são úteis no fornecimento de temperaturas de superfície mais precisas e os dados são coletados no pixel de 100 metros. Abaixo seguem as características espectrais dos instrumentos imageadores OLI e TIRS. A plataforma Landsat-8 opera com dois instrumentos imageadores.

3.4. Imagens Landsat-8 Utilizadas

Para esse estudo consistir em utilizar as bandas espectrais que mostram com maior qualidade às características relevantes a paisagem (Tabela 10), deste modo, foram utilizadas apenas as bandas espectrais 4, 3, 2 e uma imagem pancromática banda 8 referente a cada ano.

Tabela 10 - Características dos Sensores Imageadores Multiespectrais na Faixa Óptica (0,45 – 2,5µm)

| Satélite <u>Landsat</u> - Sensor TM | | |
|-------------------------------------|----------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| Canal | Faixa Espectral (um) | Principais aplicações |
| <u>2</u> | 0.52 - 0.60 | Reflectância de vegetação verde sadia |
| <u>3</u> | 0.63 - 0.69 | Absorção de clorofila Diferenciação de espécies vegetais |
| <u>4</u> | 0.76 - 0.90 | Levantamento de biomassa Delineamento de corpos d'água |
| <u>5</u> | 1.55 - 1.75 | Medidas de umidade da vegetação Diferenciação entre nuvens e neve |
| <u>6</u> | 10.4 - 12.5 | Mapeamento de estresse térmico em plantas Outros mapeamentos térmicos |
| <u>7</u> | 2.08 - 2.35 | Mapeamento hidrotermal |

Fonte: USGS (2017).

Dessa forma, o desenvolvimento da pesquisa foi utilizado imagens orbitais dos satélites Landsat-8. Na seleção das imagens buscou-se o mês com o período menos chuvoso do ano, contudo, a imagem não estava boa qualidade para se trabalhar então se optou por

imagens do mesmo período de cada ano. Sendo assim, encontraram-se disponíveis imagens atualizadas referentes ao mês de agosto dos anos 2013, 2014, 2016, 2017 e uma do mês de outubro de 2015. As imagens foram adquiridas através do site do USGS.

3.5. Dados Vetoriais e Matriciais

Para realização desta pesquisa, foram utilizadas imagens orbitais captadas pelo sensor operacional Land Imager (OLI), instalado a bordo do satélite landsat-8 e disponibilizadas pela United States Geological Survey (USGS). As imagens foram captadas na data de 20/09/2017 e a escolha destas imagens deve-se ao fato das mesmas serem as mais atuais sem a presença de nuvens sobre a região de estudo. As bandas 4R, 3G e 2B foram consideradas para compor a visualização em cor natural e para obter os índices de vegetação as bandas 4R e 5NIR.

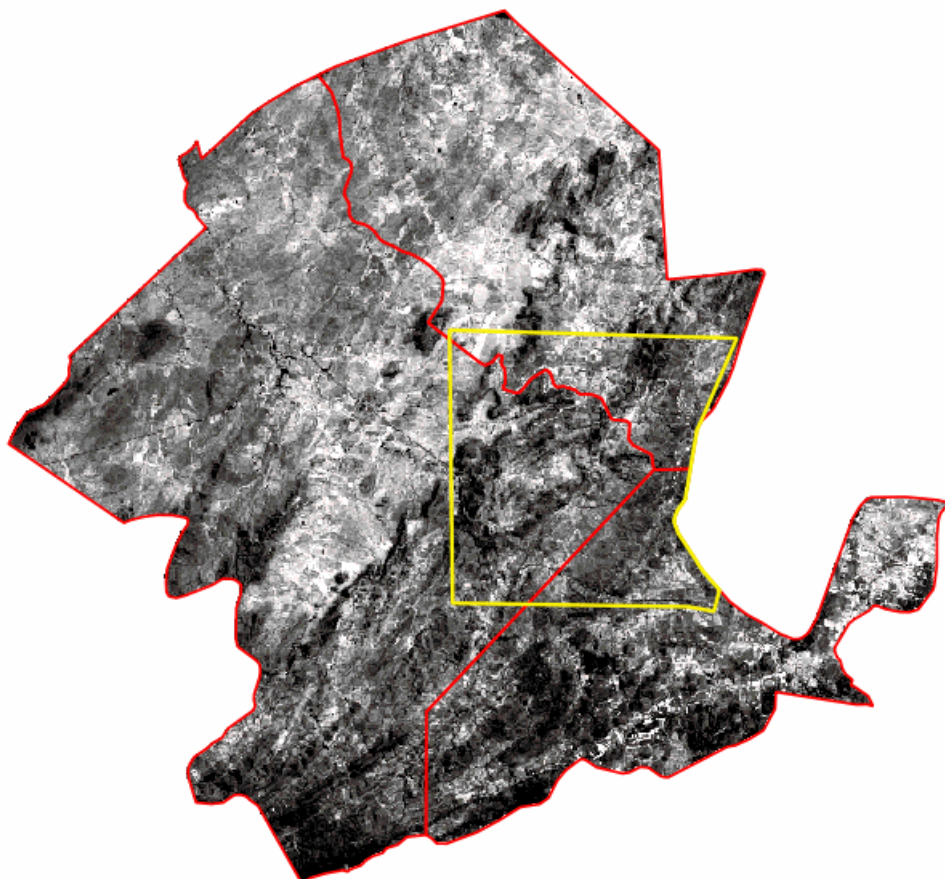
Para realizar o processamento digital das imagens foi utilizado o software de sistema de informação geográfica com código aberto e licenciado sob a licença pública geral DNU. O Quantum Gis ou QGIS versão 2.8.14. é um projeto oficial da Open Source Geospatial Foundation (osgeo).

Dessa forma, o desenvolvimento da pesquisa foi utilizado imagens orbitais dos satélites Landsat-8. Na seleção das imagens buscou-se o mês com o período menos chuvoso do ano, contudo, não havia imagens com tal qualidade, então se optou por imagens do mesmo período de cada ano. Sendo assim, encontraram-se disponíveis imagens atualizadas referentes a cada mês e ano. Através do portal (USGS) foram feitos o download das seguintes imagens landsat-8 ID: (LC82150652013216LGN01) referente a data 04/08/13, ID: (LC82150652014235LGN01) referente a data 23/08/14, ID: (LC82150652015302LGN01) referente a data 04/10/15, ID: (LC82150652016225LGN01) referente a data 12/08/16, ID: (LC82150652017227LGN00) referente a data 15/08/16.

Inicialmente a primeira etapa foi a reprojeção das imagens passando de UTM WGS84, Zona 24 Sul para SIRGAS 2000 / UTM zone 24S e correção atmosféricas das mesmas. O recorte das imagens foi realizado por meio do software Qgis 2.18.14 onde se usou os arquivos vetoriais dos limites municipais de Santa Rita, Junco do Seridó e São Jose do Sabugi com referências as localizações das torres eólicas fornecidas pelo site da ANEEL, onde se retirou o limite, pois a área de interesse está dentro desses três municípios. Assim, através de um polígono envolvente gerado, criou-se uma camada máscara da área de interesse para extensão da camada da Serra de Santa Luzia através dos municípios vizinhos.

Feito o limite para a união dos três municípios identificado com a linha vermelha e o recorte da área do parque eólico da Serra de Santa Luzia em linha amarela conforme a (Figura 15).

Figura 15 - Recorte da Área Limite

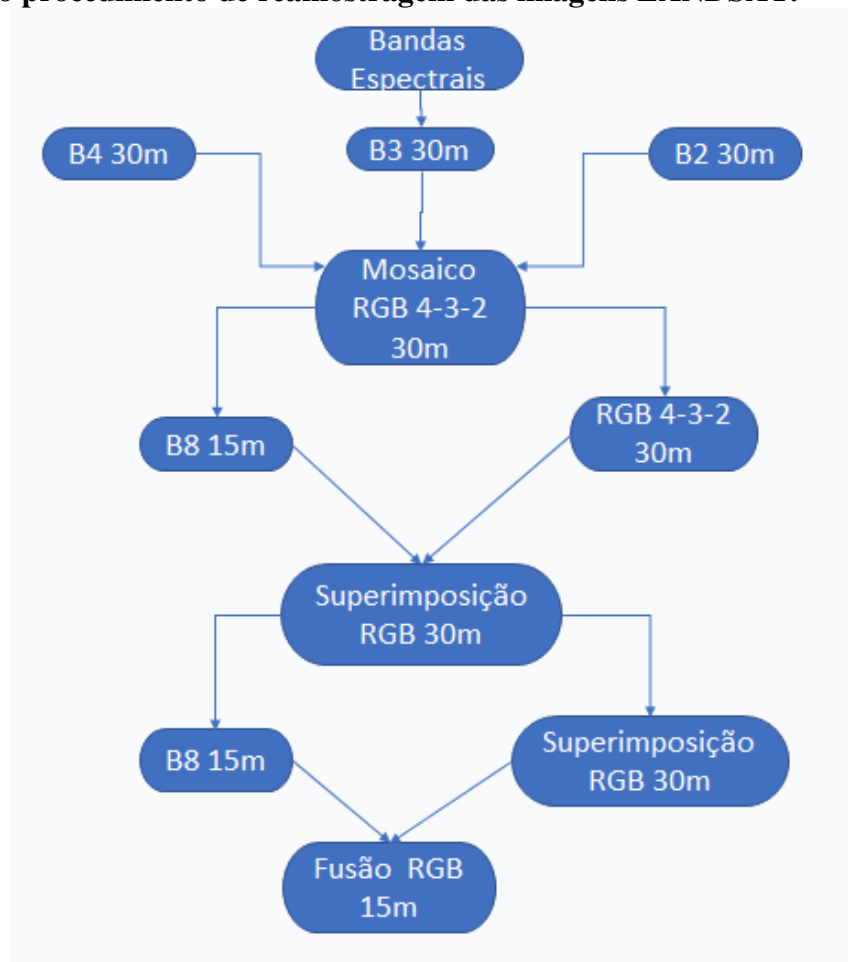


Fonte: Barreto Júnior, adaptado dos dados raster do site do USGS (2017).

Em seguida, foi Realizado uma Composição Colorida/Empilhamento de Bandas/*Layer Stack* através da ferramenta *mesclar* do Qgis 2.18.14 utilizando as bandas 4, 3, 2 ambas com resolução espacial 30x30 m. Sequencialmente, através da ferramenta *Orfeo Monteverdi* com o algoritmo *superimpose sensor* foi dimensionado a superimposição da imagem colorida do empilhamento (multiespectral) 30x30m gerado através da etapa anterior para a extensão e resolução da banda pancromática (PAN) 8 com resolução espacial 15m. Dessa forma, com o auxílio método do algoritmo *Pansharpening RCS* é feita a fusão para mesclar as cenas Pacromática com a Multiespectral RGB 4-3-2, para colorir as faixas pancromáticas com as multiespectrais com o intuito de gerar uma imagem sem erro e resolução 15x15m realçando a qualidade da imagem (Figura 16). Para um melhor manipulação de imagens foi feita uma redução de inteiro sinalizado 32 bits, para inteiro sinalizado 16 bits, através da ferramenta do

Qgis 2.18.14 *conversão de formato*, tornando assim a imagem 50% menor, facilitando a manipulação das mesmas. A transformação pode combinar diferentes sensores e diferentes resoluções espaciais, permitindo uma melhora na identificação de feições na paisagem.

Figura 16 - Fluxograma descrevendo os procedimentos metodológicos utilizados no procedimento de reamostragem das imagens LANDSAT.



Fonte: Barreto Júnior (2018).

Figura 17 – Recorte de imagem obtida pelo Sensor OLI do Satélite Landsat-8 para a região da Serra de Santa Luzia em outubro/2017. Composição de bandas: 4-3-2. Imagem fusionada com resolução espacial de 15m



Fonte: Barreto Júnior, adaptado dos dados raster do site do USGS (2017).

Para visualizar e analisar as mudanças ocorridas na área após a instalação do parque eólico utilizou-se o *shapefile* fornecido pela ANEEL, cujo qual mostra os pontos de instalação através das coordenadas das turbinas eólicas na área estudada. Houve a necessidade de criar *shapefiles* para cada respectivo ano identificado por estradas, para definir o crescimento e o alargamento das mesmas ao longo dos anos e o quanto a vegetação foi modificada para esse devido desenvolvimento. Com auxílio da ferramenta Google Earth e com as informações fornecidas pelas imagens Landsat-8 foi possível traçar o trajeto das estradas da área limite com foco na localização da expansão dos parques eólicos.

3.6. Classificação das imagens

Com o objetivo de mostrar a atenuação da diferença entre a vegetação durante o intervalo dos anos estudados, criaram-se três polígonos ao redor de onde ocorreram mais mudanças na paisagem.

A classificação foi feita com a imagem landsat-8 fusionada de 15 m dos anos de 2013 e 2017 através do plugin Semi Automatic Classification (SCP), definindo as três áreas como base para as comparações, utilizando o método de classificação supervisionada Máxima Verossimilhança.

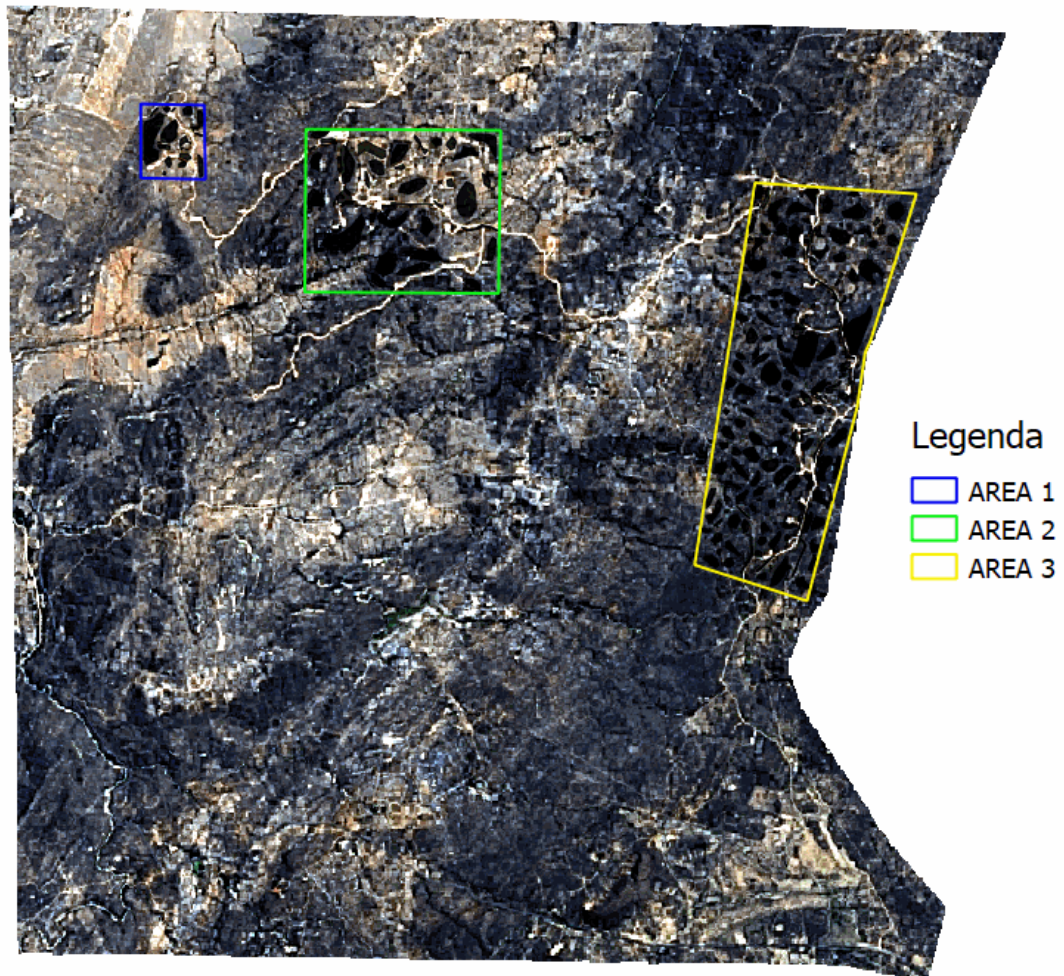
Este método parte do princípio que a classificação errada de um pixel não tem mais significado do que a classificação errada de qualquer outro pixel na imagem. O método considera a ponderação das distâncias médias, utilizando parâmetros estatísticos de distribuição dos pixels dentro de uma determinada classe (CRÓSTA, 1993).

Para o ano de 2013 foram criadas 170 amostras de treinamento em pontos característicos e identificados previamente como solo desnudo e vegetação, e para o ano de 2017 foram criadas 50 amostras de treinamento, no entorno do recorte das áreas avaliadas não houve características do tipo água. As assinaturas espectrais de todos os alvos foram obtidas na imagem Landsat (Figura 18).

Para a obtenção de um bom resultado com esta classificação é necessária a escolha de um número razoavelmente elevado de pixels para cada amostra de treinamento da classe, e que estes tenham uma distribuição estatística próxima da distribuição normal (CRÓSTA, 1993).

Este método de classificação parte do pressuposto que o usuário conheça previamente a área analisada, bem com a distribuição das classes, para que desta forma, quando da aplicação da classificação, a seleção de amostras de treinamento possa ser o mais eficiente possível (CRÓSTA, 1993).

Figura 18 – Método de Coleta para Classificação Supervisionada



Fonte: Barreto Júnior, adaptado dos dados raster do site do USGS (2017).

No treinamento, foram selecionadas as amostras para cada classe nos respectivos anos, sendo criados três tipos de classes com diferentes cores de identificação para coleta: uma para a vegetação, solo desnudo e água de acordo com a (Tabela 11).

Tabela 11 - Classes Temáticas

| Identificação | Tipologia | Cor |
|----------------------|---------------------|---------------|
| 1 | VEGETAÇÃO | VERDE |
| 2 | SOLO DESNUDO | MARROM |
| 3 | ÁGUA | AZUL |

Fonte: Barreto Júnior (2018).

Tabela 12 - Chave de interpretação sintetizada

| Classe | Descrição |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Vegetação | Caracterizada por florestas e fragmentos florestais arbóreos naturais ou regenerados após intervenção antrópica |
| Solo Desnudo | Caracterizado por regiões em que se observa solo exposto, estradas de barro, áreas desmatadas, bancos de areia ao longo dos rios, pasto sujo e uso possivelmente agropecuário. |
| Água | Caracterizado por rios, lagos e demais corpos d'água encontrados na imagem. |

Fonte: Barreto Júnior (2018).

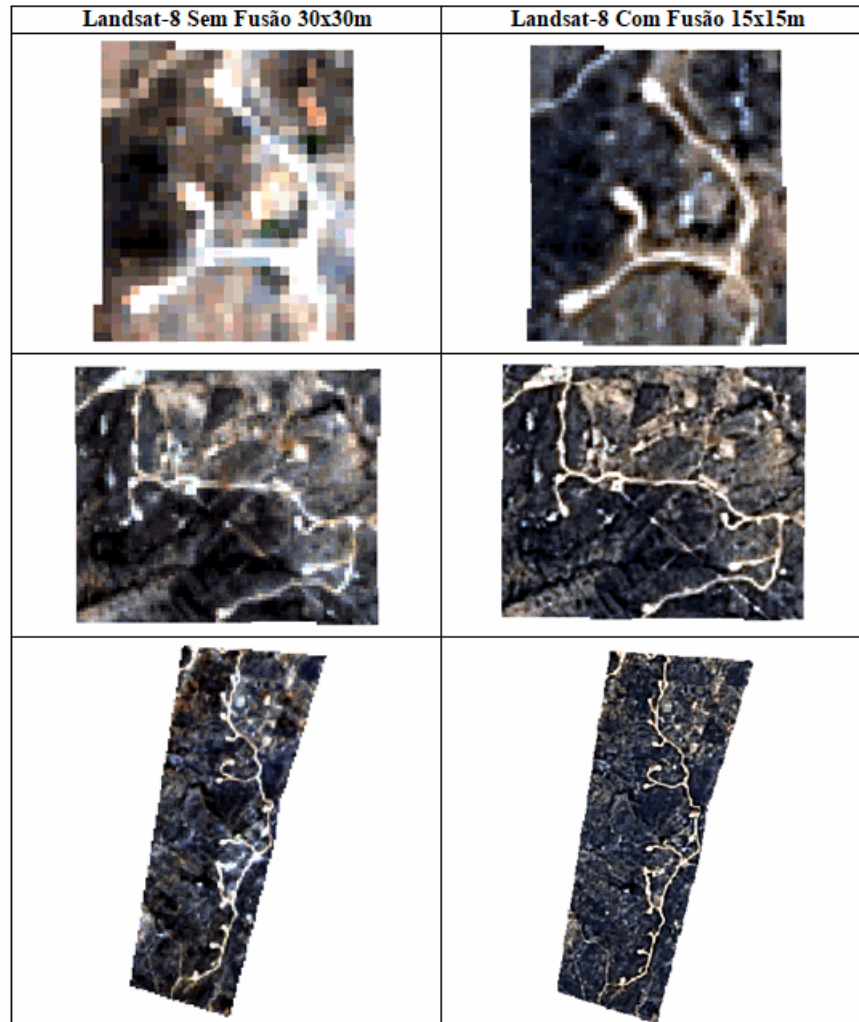
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nessa seção serão apresentados os resultados obtidos de acordo com o desenvolvimento desse trabalho, tomando como base para a discussão os dados obtidos através da análise temporal geradas durante o estudo pelo *Software* Qgis. O resultado obtido avalia o processo de construção do parque eólico na Serra de Santa Luzia, dessa forma, a pesquisa pretende revelar-se o resultado da transformação paisagística do local entre os períodos de 2013 a 2017.

4.1. Fusão de Imagens

Os resultados da fusão das imagens de satélite Landsat-8 através das bandas espectrais 4 (**Red**), 3 (**Green**), 2 (**Blue**) de 30x30m de resolução, em formato RGB com o cruzamento da banda 8 (Pan) de 15x15m de resolução trouxe um melhor desempenho visual em forma de detalhes, facilitando a identificação dos componentes a serem analisados, tais como índice de vegetação e solo desnudo, conforme a (Figura 19), mostra a diferença entre as imagens com o método da fusão e somente a mesclagem das imagens RGB. Para esse trabalho, analisamos apenas índices de solo e vegetação, certo disso, após o tratamento das imagens ficou visualmente identificável, através de pixels variando de cores mais claras representando o solo desnudo, tais como azul claro, e diferentes escalas de cinza. Por outro lado, tons mais escuros representando os diferentes níveis de vegetação. Para uma melhor visualização, foi feita um desmembramento de três áreas do contorno envolvente do limite estudado onde ficou visualmente identificado maiores níveis de mudanças de uso do solo para que seja feita uma comparação temporal entre elas.

Figura 19 – Recorte de imagem obtida pelo Sensor OLI do Satélite Landsat-8 para a região da Serra de Santa Luzia outubro/2017. Composição de bandas: 4-3-2. Diferença entre Imagem não Fusionada com resolução espacial 30x30m e Imagem Fusionada com resolução espacial de 15x15m nas áreas 1, 2 e 3



Fonte: Barreto Júnior, adaptado dos dados raster do site do USGS (2017).

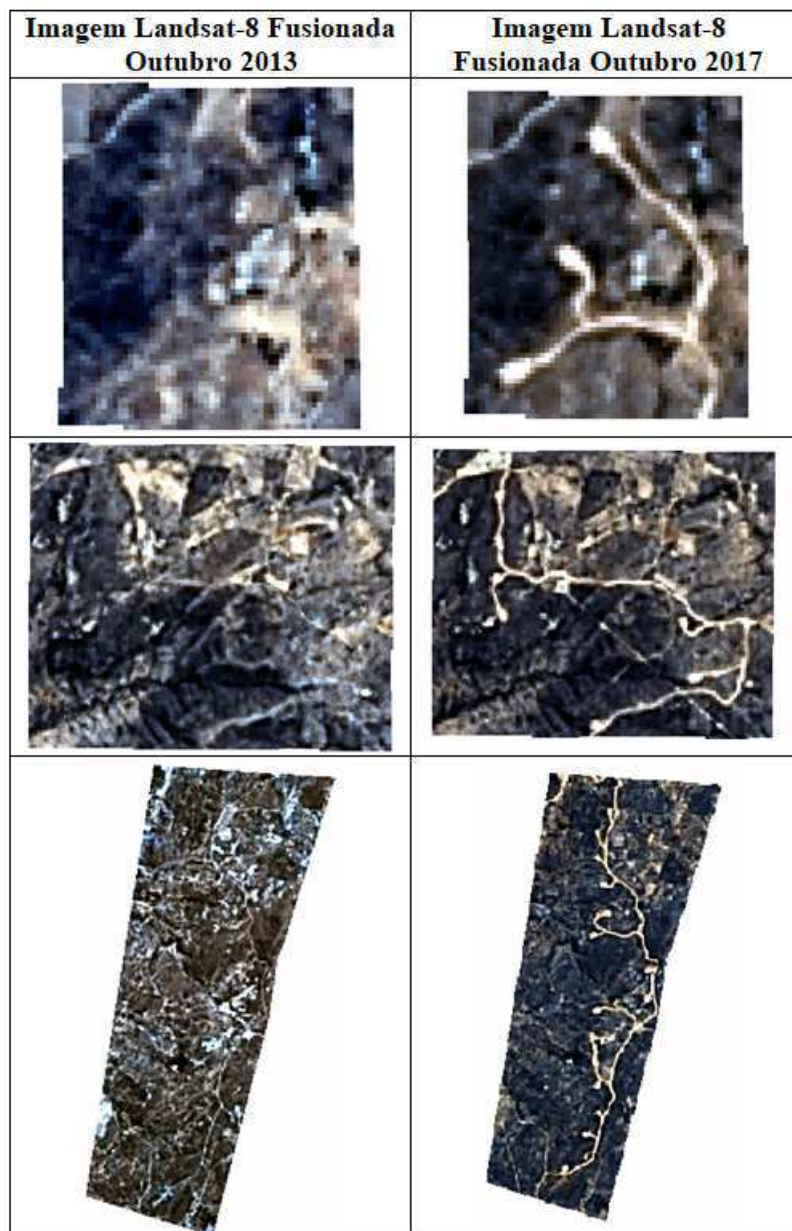
Numa avaliação visual dos resultados é possível afirmar, que os produtos oriundos da fusão no QGIS são satisfatórios. Os resultados obtidos demonstram a funcionalidade da utilização desse *software* para geração de imagens com maior qualidade para diferentes tipos de trabalhos futuros.

4.2. Mapeamento das Estradas

Com o crescimento dessa energia alternativa, há uma necessidade de transporte cada vez mais de materiais para a construção e instalação das usinas geradoras de energia. Sendo assim, há uma necessidade de áreas maiores para a passagem e transporte das torres de energia eólica, considerando que atualmente essa fonte de energia está em seu estágio máximo de crescimento e propulsão. Dessa forma, houve uma ampliação nas estradas que levam as turbinas para o seu destino final, que é o ponto de instalação. Conforme a (Figura

20) fica mais notório que com o passar do tempo, existiu um crescimento nas estradas para dar passagem às torres tanto quanto no alargamento das mesmas.

Figura 20 – Mapeamento das estradas nas áreas 1, 2 e 3 respectivamente nos anos de 2013 e 2017



Fonte: Barreto Júnior, adaptado dos dados raster do site do USGS (2017).

4.2.1. *Calculo de largura*

Para comprovar que houve mudanças na largura do trajeto, foi traçado três pontos aleatoriamente em locais do trajeto, através da ferramenta de *medição* do Qgis para medir o comprimento da estrada comparando o ano de 2013 com o ano de 2017 (Tabela 13).

Tabela 13 – Pontos de coleta Aleatórios

| Ano | 2013 | 2017 |
|----------------|-------------|--------------|
| Ponto 1 | 15 | 44,1 |
| Ponto 2 | 37,5 | 110,5 |
| Ponto 3 | 20,1 | 61,3 |

Fonte: Barreto Júnior (2018).

Através das análises dos dados obtidos, podemos concluir que houve um crescimento considerável do solo e uma redução da quantidade de vegetação. De acordo com o ponto 1, houve um crescimento de 194%, no ponto 2, cerca de 328% e no ponto 3, por volta de 205%, tendo assim um crescimento abundante com relação ao ano anterior.

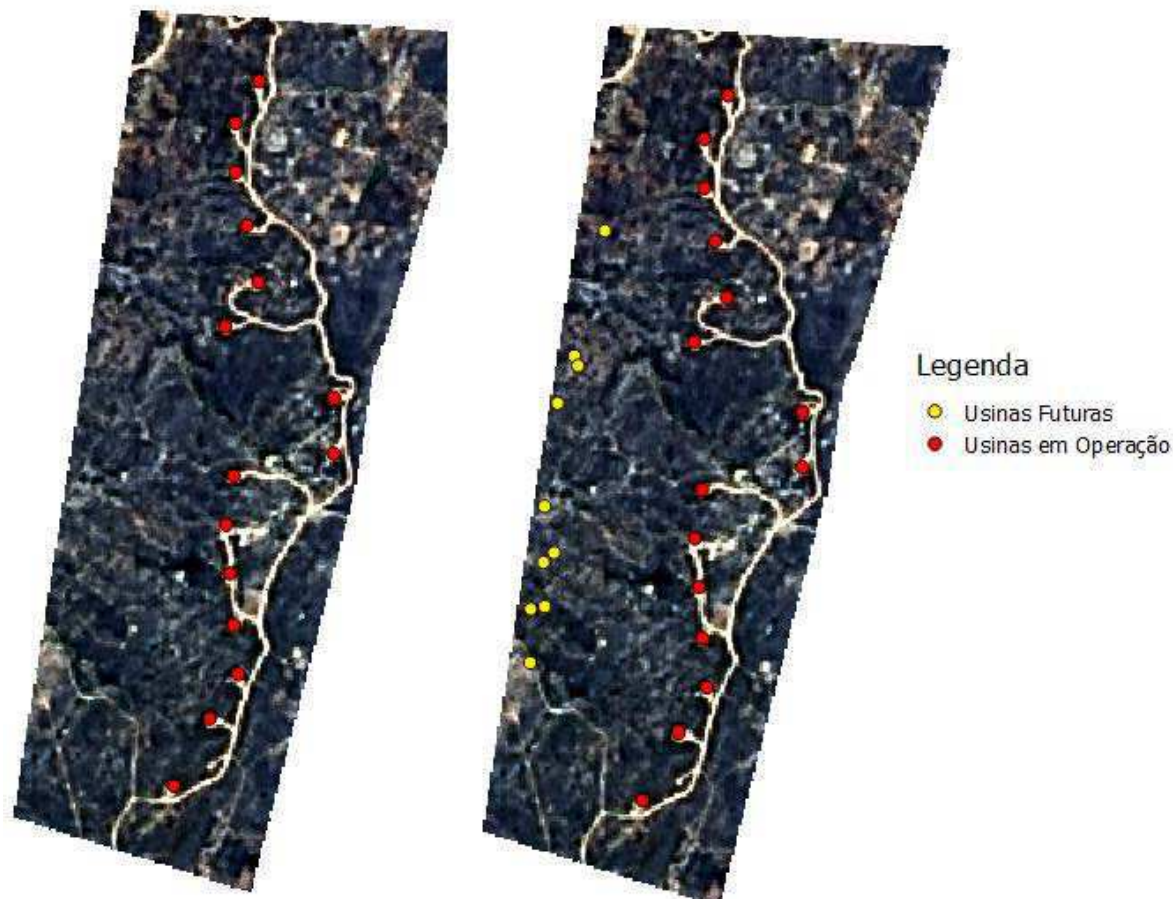
Com torres de 140 metros de altura, e turbinas que chegam a uma altura de ponta de 220 metros, o corpo principal onde fica instalado o gerador, tem 8 metros de altura x 8 metros de largura x 20 metros de comprimento, e pesa 390 toneladas. Cada lâmina da hélice mede 80 metros de comprimento e pesa 35 toneladas. A área varrida de mais de 21.000 m², o equivalente a três campos de futebol, aumenta a quantidade de energia captada, enquanto reduz os custos operacionais e de manutenção, permitindo que os clientes precisem de menos turbinas para gerar a mesma quantidade de energia elétrica. Isso reduz o custo com manutenções (TRANSPORTEPESADO, 2014).

Viu-se que, é necessária uma área de grande volume para suportar e transportar materiais desse porte, atenuando ainda mais o desmatamento e o uso do solo, todavia, é uma fonte de energia renovável alternativa que polui ainda menos o ambiente que outros geradores de energia para o consumo humano.

A identificação dos locais onde se instalou as torres eólicas ficou atenuada com relação ao resto da estrada, levando em conta os dados fornecidos pela ANEEL, mostram através de coordenadas onde está fixada cada torre, causado por uma drástica mudança da vegetação identificada na (Figura 21), tal processo foi o responsável pela grande modificação na paisagem ficando de fácil identificação no mapa com pontos em vermelho. Em amarelo, estão as torres que irão ser implantadas futuramente de acordo com a ANEEL por ser uma área de potencial eólico a Serra de Santa Luzia tem um diferencial direcionado a fonte de

energia renovável, tornando dela uma área bastante explorada tanto atualmente quanto futuramente, deixando um aval para estudos e fonte de futuros trabalhos.

Figura 21 – Localização das Torres Eólicas na Área 3



Fonte: Barreto Júnior, adaptado de USGS com dados da ANEEL (2017).

4.3 Classificação das Imagens

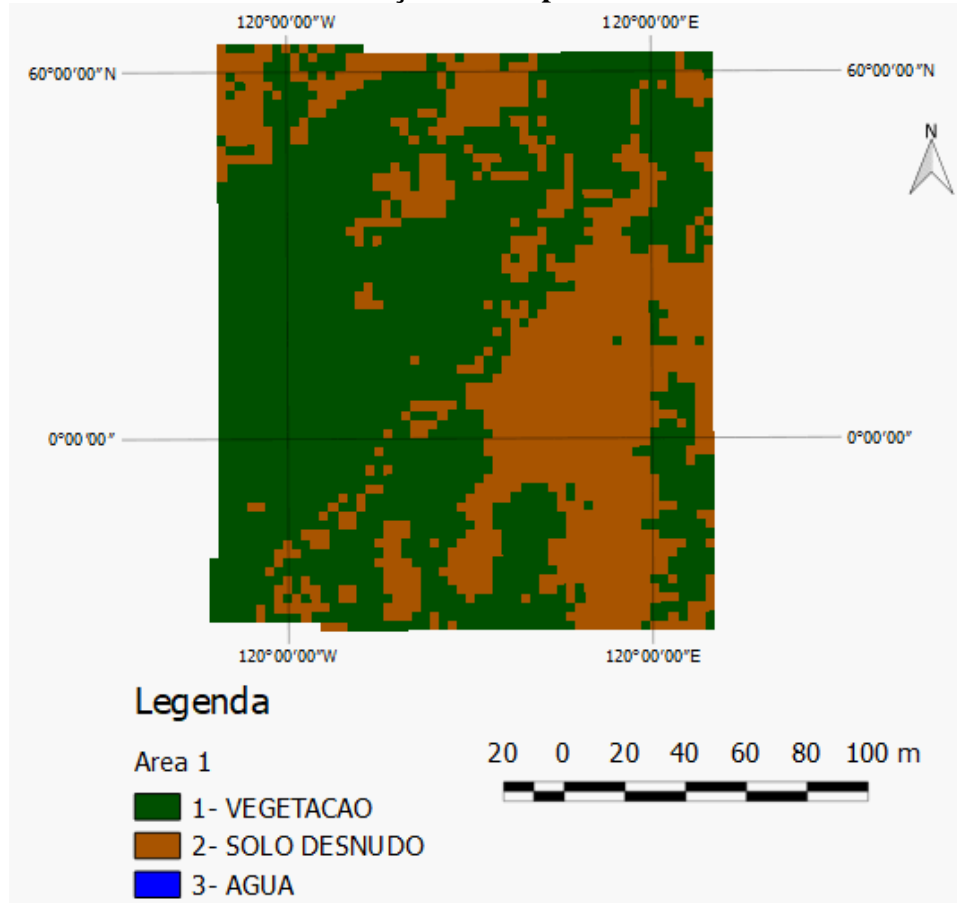
Devido à área estudada ser muito grande com o total de 13408.07 ha, foi analisado apenas três menores áreas onde houve maiores níveis de mudança, ou seja, onde as torres eólicas foram diretamente instaladas. Distinguindo três localidades do mapa, nomeando-as de Área 1, Área 2 e Área 3.

Nessa classificação digital das imagens serão mostradas separadamente as devidas áreas no ano de 2013 e 2017, correspondente a solo desnudo e vegetação, pois não foi identificadas quantidades de água na área ou se houve a quantidade era pouca, portanto tornou-se desconsiderável.

Área 1: Com um tamanho de 76,8 hectares (ha), após a classificação foram gerados 106 feições. Dessas, 30 foram classificados como vegetação, totalizando 48,82 ha e 76

classificadas como solo desnudo, totalizando 28 ha. O resultado da classificação é apresentado na (Figura 22).

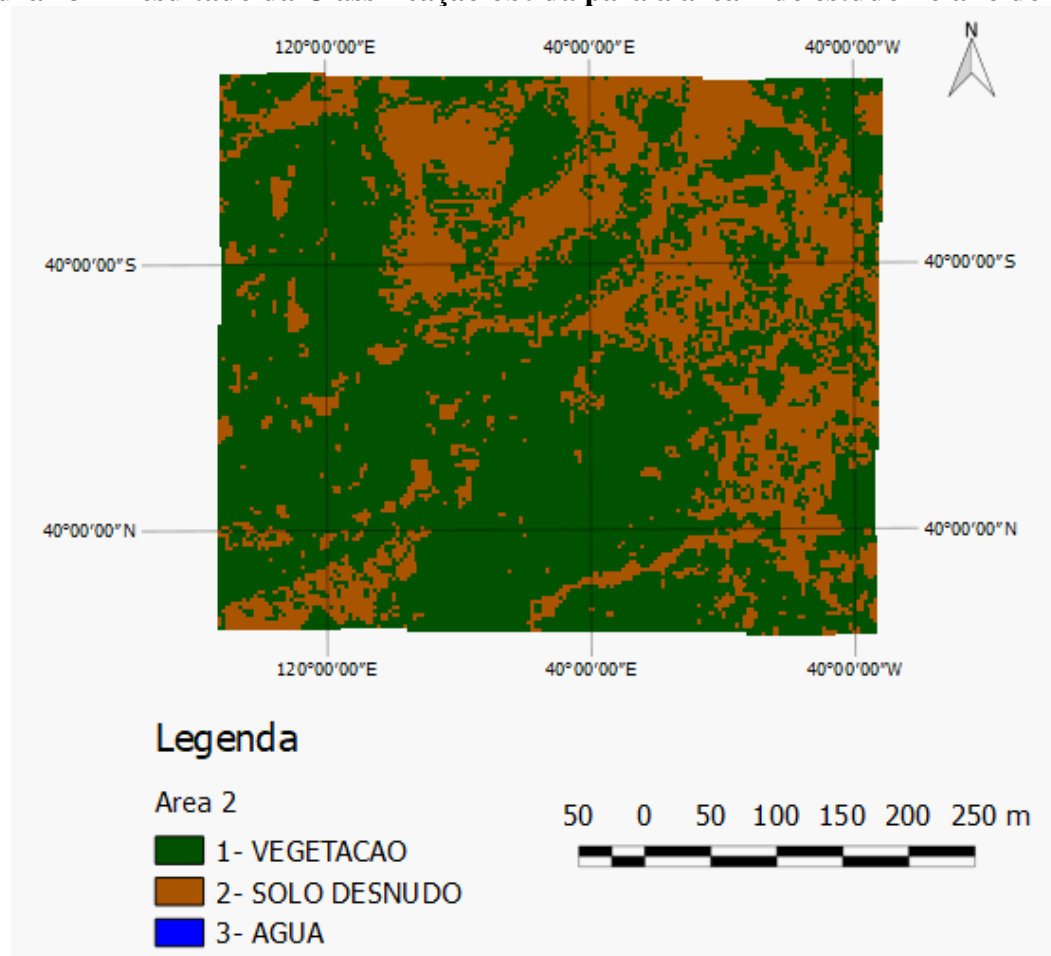
Figura 22 – Resultado da Classificação obtida para a área 1 de estudo no ano de 2013



Fonte: Barreto Júnior (2018).

Área 2: Com um tamanho de 519,98 hectares (ha) após a classificação foram gerados 616 feições. Dessas, 258 foram classificadas como vegetação, totalizando 344,13 ha e 358 classificadas como solo desnudo, totalizando 175,8 ha. O resultado da classificação é apresentado na (Figura 23).

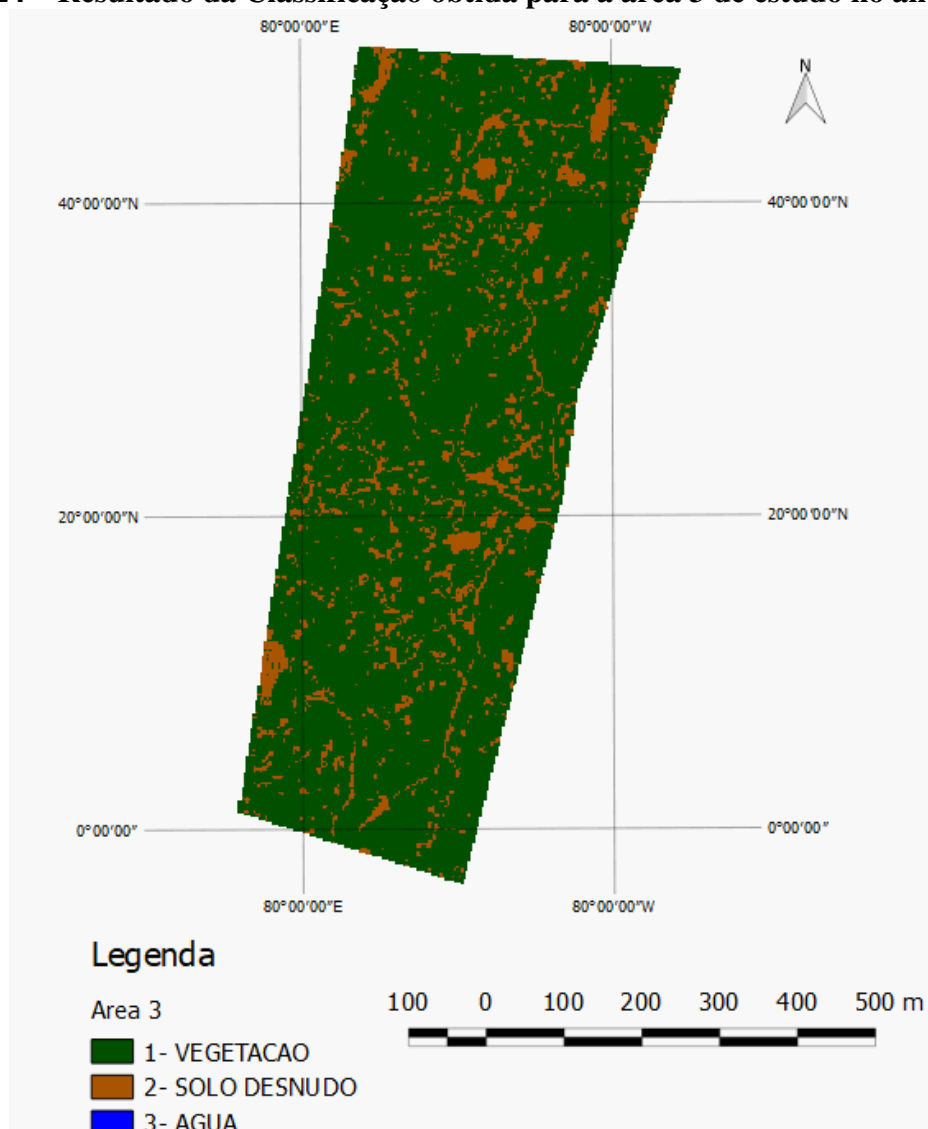
Figura 23 – Resultado da Classificação obtida para a área 2 de estudo no ano de 2013



Fonte: Barreto Júnior (2018).

Área 3: Com um tamanho de 902,92 hectares (ha), após a classificação foram gerados 995 feições. Dessas, 38 foram classificadas como vegetação, totalizando 791,01 ha e 957 classificadas como solo desnudo, totalizando 111,9 ha. O resultado da classificação é apresentado na (Figura 24).

Figura 24 – Resultado da Classificação obtida para a área 3 de estudo no ano de 2013

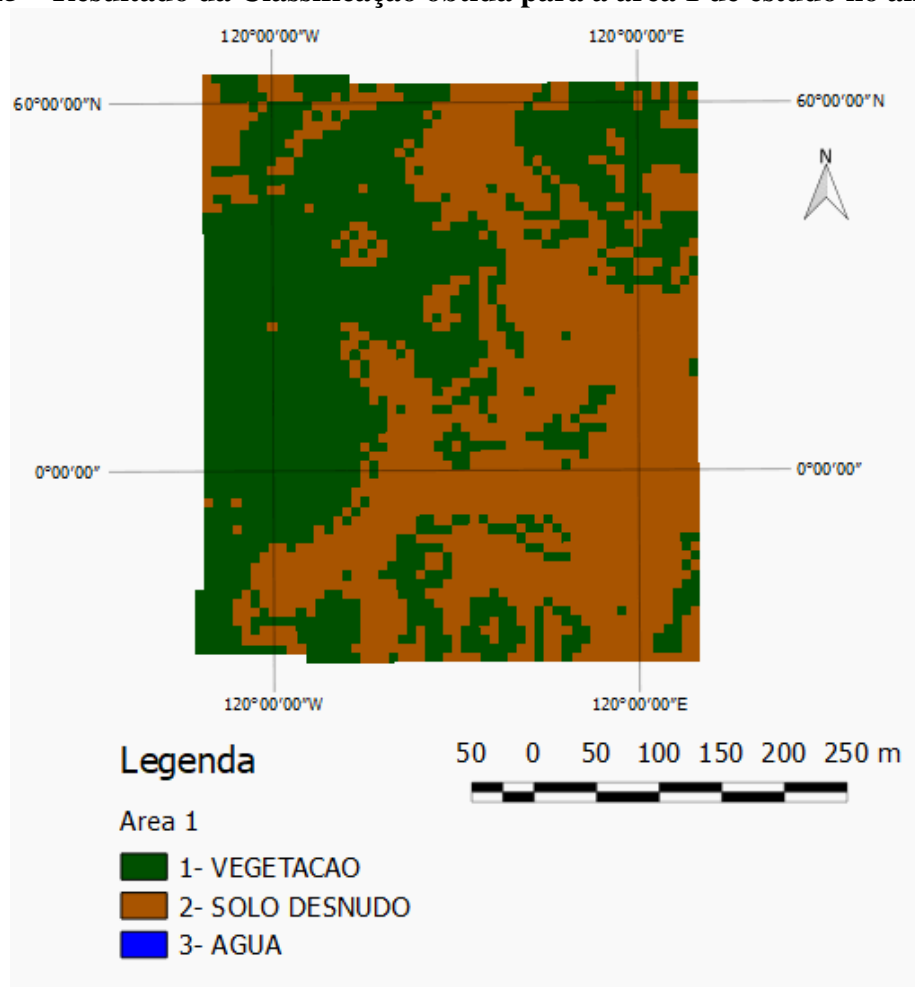


Fonte: Barreto Júnior (2018).

Para o ano de 2017, a classificação ficou da seguinte forma:

Área 1: Com um tamanho de 76,8 hectares (ha), após a classificação foram gerados 123 feições. Dessas, 71 foram classificadas como vegetação, totalizando 37,59 ha e 52 classificadas como solo desnudo, totalizando 39,2 ha. O resultado da classificação é apresentado na (Figura 25).

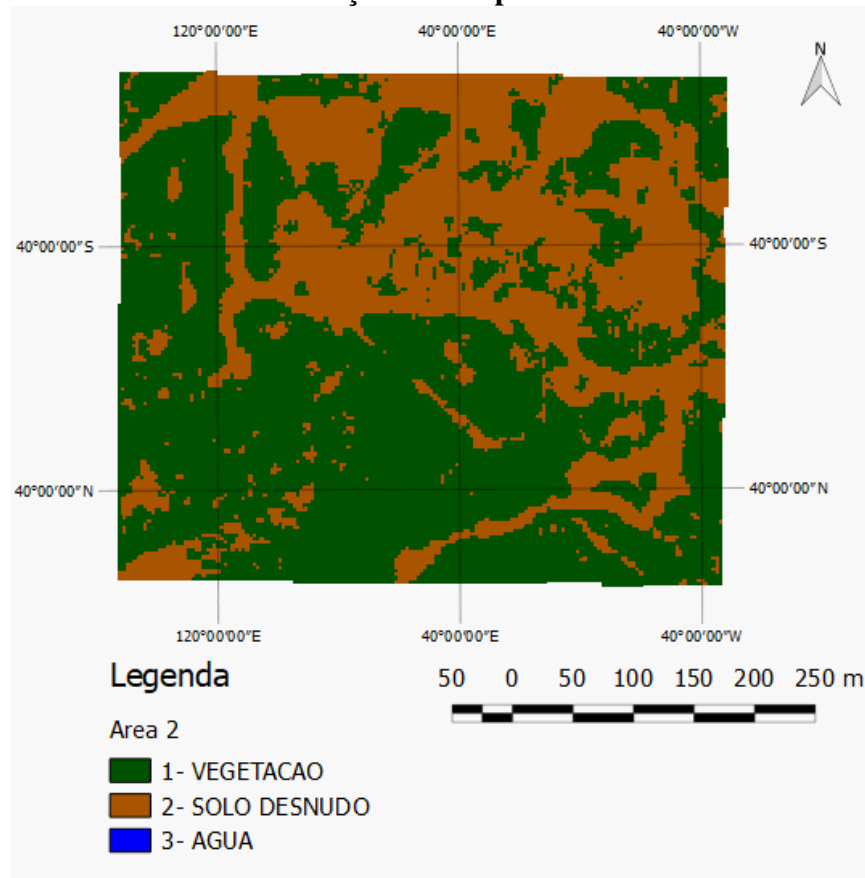
Figura 25 – Resultado da Classificação obtida para a área 1 de estudo no ano de 2017



Fonte: Barreto Júnior (2018).

Área 2: Com um tamanho de 519,98 hectares (ha), após a classificação foram gerados 616 feições. Dessas, 258 foram classificadas como vegetação, totalizando 344,13 ha e 358 classificadas como solo desnudo, totalizando 175,8 ha. O resultado da classificação é apresentado na (Figura 26).

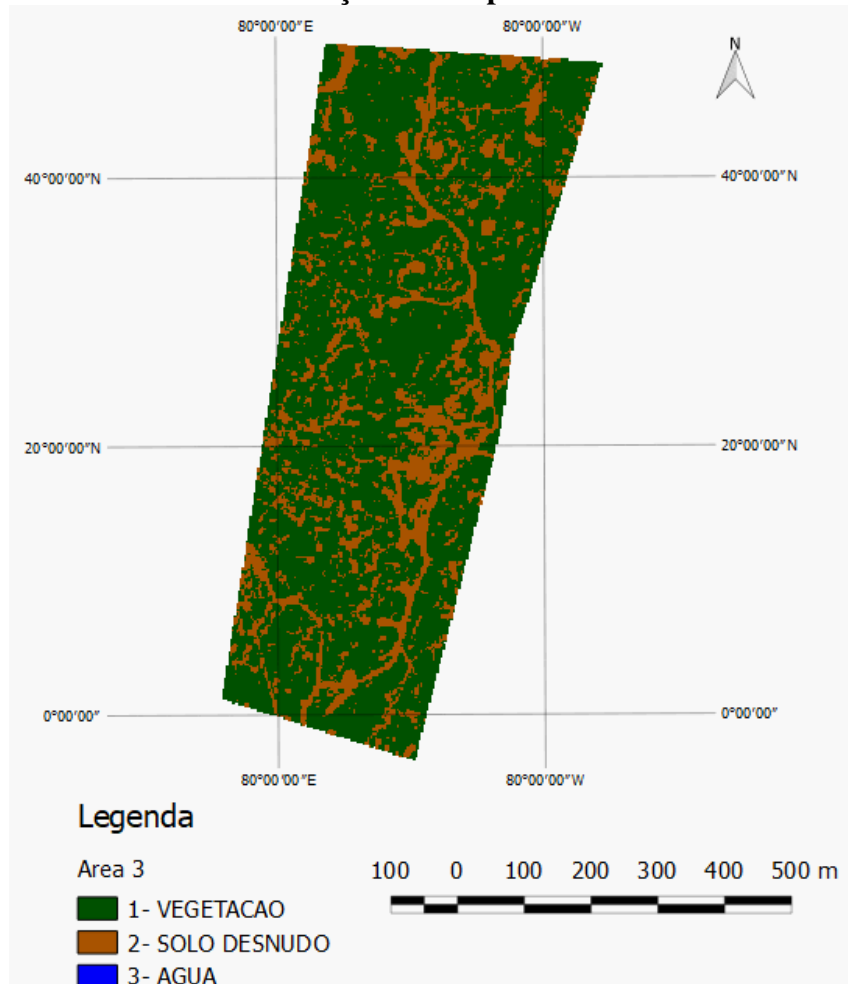
Figura 26 – Resultado da Classificação obtida para a área 2 de estudo no ano de 2017



Fonte: Barreto Júnior (2018).

Área 3: Com um tamanho de 902,92 hectares (ha), após a classificação foram gerados 911 feições. Dessas, 96 foram classificadas como vegetação, totalizando 683,82 ha e 815 classificadas como solo desnudo, totalizando 219,1 ha. O resultado da classificação é apresentado na (Figura 27).

Figura 27 – Resultado da Classificação obtida para a área 3 de estudo no ano de 2017



Fonte: Barreto Júnior (2018).

A classificação de uso e ocupação do solo (Tabela 14) entre os anos 2013 e 2017 apresentou os seguintes valores:

Tabela 14 - Comparação entre a quantidade de hectares de uso e ocupação do solo

| Ano | Tipologia | Área 1 | Área 2 | Área 3 |
|-------------------|---------------------|---------------|---------------|---------------|
| 2013 | Vegetação | 48,8 | 344.1 | 791.0 |
| | Solo Desnudo | 28 | 175.8 | 111.9 |
| 2017 | Vegetação | 37,5 | 315.8 | 683.8 |
| | Solo Desnudo | 39,2 | 204.0 | 219.1 |
| Total | | 76,8 | 519,9 | 902,9 |
| Área Total | | 1499,7 | | |

Fonte: Barreto Júnior (2018).

A partir dos mapas de uso e ocupação do solo dos anos de 2013 e 2017 e do cruzamento com as Áreas 1, 2 e 3 onde houve a maior mudança de vegetação devido à implantação das torres eólicas, foi possível fazer uma análise comparativa das mudanças espaciais e temporais.

De acordo com o uso e ocupação do solo durante esses anos, foi possível identificar que o solo desnudo está avançando em direção à vegetação, isso deve ser relacionado ao modo do homem utilizar o solo e pelo uso da terra para gerar energia eólica no campo estudado. Assim, manuseando essa área da maneira que o convém, o homem para satisfazer suas necessidades de construção, fez com que houvesse um crescimento de 11,2 ha na área 1, 28,2 ha na área 2 e 107,2 ha na área 3 de solo desnudo.

Pode-se observar que há uma mudança significativa decrescente de 30%, 9% e 16% na vegetação respectivamente das áreas 1, 2 e 3. Já o solo desnudo houve uma mudança crescente de 29%, 14% e 49% relacionados respectivamente as áreas 1, 2 e 3.

Visualmente na (Figuras 28) e (Figura 29), com os resultados obtidos nesse estudo, pode-se comparar e comprovar que a instalação do Parque Eólico foi um elemento propulsor das mudanças recentes na paisagem da Serra de Santa Luzia.

Figura 28 – Área de estudo do Parque Eólico em 2013, na Serra de Santa Luzia.



Fonte: Barreto Júnior, adaptado dos dados raster do site do USGS (2017).

Figura 29 – Área de estudo do Parque Eólico em 2017, na Serra de Santa Luzia.



Fonte: Barreto Júnior, adaptado dos dados raster do site do USGS (2017).

5. CONCLUSÃO

É possível concluir que com o uso da técnica de fusão de imagens Landsat-8 melhora a qualidade geométrica das imagens multiespectrais de baixa resolução, possibilitando que estas estejam aptas para serem utilizadas numa série de projetos. O resultado mostra o ganho de qualidade devido à melhora da resolução espacial, o que proporcionou maior distinção de detalhes na imagem a partir da transferência de informações da imagem pancromática original para a multiespectral fusionada.

Considerando a baixa resolução espacial das imagens do satélite Landsat-8, a heterogeneidade de usos do solo verificada nos parque eólico da Serra de Santa Luzia, os valores encontrados, e a similaridade com resultados de mapeamentos recentes na mesma área, considera-se que o resultado da classificação realizada foi satisfatório.

Diante dos resultados apresentados, observou-se uma expressiva alteração no uso e ocupação do solo na Serra de Santa Luzia, entre o período compreendido entre os anos de 2013 a 2017. A principal mudança observada foi à redução da vegetação nativa, consequentemente aumentando a área de solo desnudo causados pela intervenção antrópica nas três áreas analisadas.

Observa-se que, assim como nos métodos tradicionais de classificação realizada *pixel* a *pixel*, quanto maior o número de classes que se deseja separar, maior é a probabilidade de ocorrência de acertos de comissão no resultado da classificação.

Ressalta-se que o êxito de mapeamentos com uso exclusivo de *softwares* livres é bastante relevante quanto à eficiência e economicidade desses mapeamentos, sendo alternativa viável para projetos e trabalhos com orçamentos limitados.

6. RECOMENDAÇÕES

Com essa visão, é verificado um desafio para a administração pública do município, pois faz necessária a adoção de medidas que viabilizem as atividades econômicas ao mesmo tempo em que respeitem o cumprimento da legislação ambiental, a fim de promover o desenvolvimento econômico em harmonia com o meio ambiente.

As ferramentas de SIG mostraram-se essencial para o desenvolvimento dessa pesquisa, por meio delas foi possível à manipulação, o cruzamento de dados espaciais para atingir o objetivo proposto.

Assim, destaca-se a importância do uso dos SIGS por organizações nos diferentes meios administrativos, tendo em vista que essas ferramentas proporcionam informações confiáveis e precisas sobre o espaço contribuindo para atividades de planejamento e tomada de decisões.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (BRASIL). **Atlas de energia elétrica do Brasil** / Agência Nacional de Energia Elétrica. – Brasília: ANEEL, 2002. 153 p.: il. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/livro_atlas.pdf> Acesso em: 18 Ago. 2017.

ALLEN, R. G.; TASUMI, M.; TREZZA, R.; WATERS, R.; BASTIAANSEN, W. **Surface Energy Balance Algorithms for Land (SEBAL)**. Advanced Training and users Manual, Kimberly, Idaho, V.1,0, 97p. 2002

ARONOFF, S. (1989). **Geographical Information Systems: a management perspective**, Ottawa, WDI Publications, 295p.

ATLAS GEOGRÁFICO DO ESTADO DA PARAÍBA – Governo do Estado da Paraíba. **Secretaria de Educação**. Universidade federal da Paraíba. João Pessoa. Grafset. 1985.

BERMANN, C. (2001). **Energia no Brasil: Pra que? Para quem? – crise e alternativas para um país sustentável**. São Paulo: Livraria da Física.

BRASIL, Agência. **Economia: Brasil é o oitavo país do mundo em produção de energia eólica**. 2018. Disponível em: <<https://www.jornalbomdia.com.br/noticia/20729/brasil-e-o-oitavo-pais-do-mundo-em-producao-de-energia-eolica>>. Acesso em: 24 fev. 2018.

CÂMARA, G.; DAVIS, C. **Fundamentos de geoprocessamento. Introdução ao Geoprocessamento**, São José dos Campos, p. 01-05, 2004. Disponível em: Acesso em: 15 ago. 2017.

CANALENERGIA. **Aneel libera usina eólica Lagoa 1, na Paraíba, para operação em teste**. 2017. Disponível em: <<http://www.udop.com.br/index.php?item=noticias&cod=1156785>>. Acesso em: 19 fev. 2018.

CARVALHO, M. S.; PINA, M. F.; SANTOS, S. M. **Conceitos básicos de sistemas de informações geográficas aplicados à saúde**. Brasília: Organização Panamericana de Saúde/Ministério da Saúde, 2000, 124 p.

CARVALHO, P. 2003. **Geração eólica**. Ceará: imprensa Universitária, 146p.

COLTRI, P. P. **Influência do uso e cobertura do solo no clima de Piracicaba, São Paulo: análises de séries históricas, ilhas de calor e técnicas de sensoriamento remoto**. Piracicaba, 2006. Dissertação (Mestrado em Ciências do solo), Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo, 2006.

CRÓSTA, A. P. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**, Campinas, SP, UNICAMP, ed. rev., 1993.

CROSTA, A. P. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Campinas: IG/UNICAMP, ISBN 85-853-690-27, 1992.

DIGITAL GLOBE. **Spectral response for digitalglobe worldview 1 and worldview 2 earth imaging instruments**. 2010b. Disponível em: <http://www.digitalglobe.com/downloads/spacecraft/WV1_WV2_SpectralResponse.pdf> Acesso em: 21 fev. 2018.

ELMORE, A. J. et al. **Quantifying vegetation change in semiarid environments: precision and accuracy of Spectral Mixture Analysis and the Normalized Difference Vegetation Index**. Remote Sensing of Environment, v. 73, n.1, p.87-102, Jan. 2000.

EMBRAPA. **LANDSAT: Land Remote Sensing Satellite**. 2013. Disponível em: <https://www.cnpm.embrapa.br/projetos/sat/conteudo/missao_landsat.html>. Acesso em: 17 fev. 2018.

FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.
FLORENZANO, T. G. **Iniciação em Sensoriamento Remoto**. 2. ed. São Paulo: Oficina dos Textos, 2007.

FOSS4G. **Ice: lightweight, efficient rendering for remote sensing images.** 2015. Disponível em: <<https://fr.slideshare.net/otb/ice-lightweight-efficient-rendering-for-remote-sensing-images>>. Acesso em: 21 fev. 2018.

FRANCISCO, P.R.M., 2010. **Classificação e mapeamento das terras para mecanização do Estado da Paraíba utilizando sistemas de informações geográficas.** Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água). Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Areia.

FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Mapas Base dos municípios do Estado da Paraíba.** Escalas variadas. Inédito. 2000.

GIOTTO, E. **Aplicabilidade de Imagens RBV do LANDSAT 3 em levantamento do uso da terra no município de Tapera - RS.** 1981, 66p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

HINRICHS, R. A. KLEINBACH, M. **Energia e meio ambiente.** Tradução técnica Lineu Belico dos Reis, Flávio Maron Vichi, Leonardo de Freire Melo. São Paulo: Cengage Learning, 2010.

HUETE, A. R. 1988, 'Adjusting vegetation indices for soil influences', International Agrophysics, vol.4, no. 4, pp.367-376.

HUXMAN, T. E.; SMITH, M. D.; FAY, P. A; KNAPP, A. K.; SHAW, R.; LOIK, M. E.; SMITH, S. D.; TISSUE, D. T.; ZAK, J. C.; WELTZIN, J. F.; POCKMAN, W. T.;SALA, O. E.; HADDAD, B. M.; HARTE, J.; KOCH, G. W.; SCHWINNING, S.; SMALL, E. E.; WILLIAMS, D. G. **Convergence across biomes to a common rain-use efficiency.** Nature,[S.l.], v. 429, n. 6992, p. 651-654, 2004.

IBGE. **Censo Demográfico.** 2010. Disponível em: <www.ibge.gov.br>. Acesso em: 08 mar. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico 2000**. Disponível em: < www.ibge.gov.br/cidadesat >. Acesso em: 23 jan. 2018.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente**: uma perspectiva em recursos terrestres. Traduzido por José Carlos Epiphânio; Antonio R. Formaggio; Athos R. Santos; Bernardo F. T. Rudorff; Cláudia M. Almeida; Lênio S. Galvão. São José dos Campos: Parêntese. 2009.

JORNAL DA PARAÍBA. João Pessoa, Abril de 2015. Disponível em: < http://www.jornaldaparaiba.com.br/economia/noticia/145547_paraiba-deve-ganhar-15-novas-usinas-de-energia-alternativa > Acesso em: 19 fev. 2018.

LILLESAND, Thomas M; KIEFER, Ralph W; CHIPMAN, Jonathan W. **Remote sensing and image interpretation**. 6th ed. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, c2008. xii, 441- 587p.
MEIRELES, Antônio Jeovah de Andrade. **Impactos ambientais em áreas de preservação permanente (APP'S) promovidos no campo de dunas da Taíba pela usina eólica Taíba Albatroz – Bons Ventos Geradora de Energia S/A**. Parecer Técnico, 2008. Disponível em: Acesso em: 18 fev. 2018.

MELO, D. H. C. T. B. **Uso de dados Ikonos II na análise urbana**: testes operacionais na zona leste de São Paulo / D. H. C. T. B. Melo. - São José dos Campos: INPE, 2002. 146p. - (INPE-9865-TDI/870).

MENESES, Paulo Roberto; ALMEIDA, Tati de. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**, 2012.

MIGRAINE, M. V.. **Eoliennes, sons et infrasons**: effets de l'eolien industriel sur la sante des hommes, 2004. Disponível em: Acesso em: 18 fev. 2018

MONTE, Rammom. **Parques eólicos investem nos ‘vendedores de vento’ para aquecer economia na Paraíba:** Aos 71 anos, o senhor Luís, conhecido como ‘Piuga’, deixou o algodão para ‘vender vento’ e hoje tem renda de R\$ 3 mil por mês. [S.I]: Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente, 2017. Disponível em: <<http://portalcorreio.com.br/noticias/ciencia%20-tecnologia-e-meio-ambiente/geral/2017/06/17/nws,298459,41,424,noticias,2190-parques-eolicos-investem-vendedores-vento-aquecer-economia-paraiba.aspx>>. Acesso em: 02 ago. 2017.

MOREIRA, M.A. **Fundamentos de Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação.** 2ª ed. Viçosa, UFV, 2003

MOURA, A. C. **Geprocessamento na gestão e planejamento urbano** – 2 ed. – Belo Horizonte: Ed. da autora, 2003. 294p.

NASA. **Landsat 5 mostra o recorde mundial do Guinness para o "Satélite de Observação da Terra mais Longo Operacional.** 2013. Disponível em: <https://www.nasa.gov/mission_pages/landsat/news/landsat5-guinness.html>. Acesso em: 08 mar. 2018.

NASCIMENTO, Lucyellen Vieira do. **Energia eólica do Ceará:** uma alternativa para o desenvolvimento sustentável/ Lucyellen Vieira do Nascimento. Monografia (graduação) - Universidade Federal do Ceará, Faculdade de Economia, Administração, Atuária e Contabilidade, Curso de Ciências Econômicas, Fortaleza, 2011.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). **Landsat Data Continuity Mission:** Continuously Observing Your World. 2013. Disponível em: <http://ldcm.gsfc.nasa.gov/mission_details.html>. Acesso em: 23 fev. 2018.

NOGUEIRA, GUSTAVO MAURÍCIO FILGUEIRAS et. Al. **Eixos Integrados de desenvolvimento da Paraíba: uma visão estratégica para o Estado,** João Pessoa, 2014. Disponível em <http://www.paraiba.pb.gov.br/downloads/eixos_integrados/modulo_energia.pdf> Acesso em: Acesso em: 19 fev. 2018.

NOVO, E. M. L. de M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. 3. ed., rev. e ampl. São Paulo: Edgard Blucher, 2008. 1-10;256-289p.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. 4. ed. São Paulo: Editora Blucher, 2010.

NUNES, Alexandre (Ed.). **PB quer se tornar polo regional em geração de energia eólica**. 2017. Disponível em: <http://auniao.pb.gov.br/noticias/caderno_diversidade/pb-quer-se-tornar-polo-regional-em-geracao-de-energia-eolica>. Acesso em: 02 ago. 2017.

PINHO, António Monteiro. **Gestão de Projectos de Parques**. Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2007/2008 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2008.

PINTO, M. **Fundamentos de Energia Eolica**. Rio de Janeiro: LTC, 2013. PORTAL BRASIL. Brasil é o maior gerador de energia eólica da América Latina: Segundo organização internacional, Brasil ocupa 5ª colocação no ranking mundial de capacidade instalada de energia eólica. **INFRAESTRUTURA**, 2017. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/infraestrutura/2017/03/brasil-e-o-maior-gerador-de-energia-eolica-da-america-latina>>. Acesso em: 02 ago. 2017.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, YOSIO EDEMIR. **Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação**. São José dos Campos: Parêntese, 2009.

PORTAL ENERGIA. **Fontes de energia renováveis e não renováveis: Energias Renováveis**, 2015. Disponível em: <<https://www.portal-energia.com/fontes-de-energia/>>. Acesso em: 02 ago. 2017.

PRATES, Izabela. **Utilização de imagens LANDSAT – 8 para caracterização da cobertura vegetal**. 2014. Disponível em: <<http://mundogeo.com/blog/2014/06/10/processamento-digital-de-imagens-landsat-8-para-obtencao-dos-indices-de-vegetacao-ndvi-e-savi-visando-a-caracterizacao-da-cobertura-vegetal-no-municipio-de-nova-lima-mg/>>. Acesso em: 28 jan. 2018.

PROCESSAMENTODIGITAL. **Fusão de Imagens Landsat-8 com Orfeo Monteverdi**. 2015. Disponível em: <<http://www.processamentodigital.com.br/2015/03/06/qgis28-fusao-de-imagens-landsat-8/>>. Acesso em: 21 fev. 2018.

QUEIROZ, C. J. de. **Análise de transformações geométricas para o georreferenciamento de imagens do satélite CBERS-I**. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Sensoriamento Remoto). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003. 91 p.

REDAÇÃO CLICO VIVO, São Paulo, Fevereiro de 2015. Disponível em <<http://ciclovivo.com.br/noticia/paraiba-vai-produzir-mais-90-mw-de-energia-eolica-ate-2017/>> Acesso em: 19 fev. 2018.

ROSS, J. **Ecogeografia do Brasil. Subsídios para o planejamento ambiental**. São Paulo: Oficina de textos, 2009.

ROUSE, J.W.; HAAS, R.H.; SCHELL, J.A.; DEERING, D.W. **Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS**. In Earth Resources Technology Satellite- 1 Symposium,3, 1973. Proceedings. Washington, 1973, v.1, Sec. A, p. 309-317.

SÁ, S. **Energia Limpa: Paraíba terá três Parques Eólicos até 2017**. Campina Grande, 2016. Disponível em: <http://www.fiepb.com.br/noticias/2016/08/19/energia_limpa_paraiba_tera_tres_parques_eolicos_ate_2017> Acesso em: Acesso em: 19 fev. 2018.

SADECKGEO. **Classificação**. 2010. Disponível em: <<https://geotecnologias.wordpress.com/2010/02/28/classificacao/>>. Acesso em: 22 fev. 2018.

SCHOWENGERDT, R. A. **Techniques for Image Processing and Classification in Remote Sensing**. University of Arizona. 1983. 249p.

SCHOWENGERDT, Robert A. **Techniques for image processing and classification in remote sensing**. New York: Academic Press, c1983. 142-180p.

SEPÚLVEDA, Goreti. **Espectro Eletromagnético**. 2016. Disponível em: <<http://knoow.net/cienciasexactas/fisica/espectroelectromagnetico/>>. Acesso em: 08 mar. 2018

SHEPHERD, D. G. Historical development of the windmill. In: Spera, D. A. (ed.), **Wind turbine technology – fundamental concepts of wind turbine engineering**, New York: Asme Press, 1994. <Wind_2014_Report_LR.pdf>. Acesso em: 08 ago. 2017.

SILVA, Antônio Machado e. **Curso Processamento digital de imagens de satélite**. Centro de Eventos da PUCRS - de 07 a 12 de outubro de 2001. Porto Alegre - RS. Disponível em: <www.cartografia.org.br>. Acesso em: 02 ago. 2017.

SILVA, J.SV. **Análise multivariada em zoneamento para planejamento ambiental**. Estudo de caso: Bacia Hidrográfica do Rio Taquari MS/MT. 2003. 307 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

SPRING. **Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling**. Camara G, Souza RCM, Freitas UM, Garrido J . Computers & Graphics, 20: (3) 395-403, May-Jun 1996.

SULSOFT, **Guia do ENVI em Português**. Disponível em: <<http://www.envi.com.br>> . Acesso em: 21 fev. 2018.

THE NOISE ASSOCIATION. **Location**. An investigation into wind farms and noise by The Noise Association, 2006. Disponível em: Acesso em: 18 fev. 2018.

TRANSPORTEPESADO. **Transporte de torre eólica**. 2014. Disponível em: <<http://wwwo.metalica.com.br/v-164-8-o-maior-gerador-eolico-do-mundo-ja-esta-em-funcionamento>>. Acesso em: 23 fev. 2018.

USGS. **United States Geological Survey : Landsat Multispectral Scanner**, 2017. Disponível em: <https://landsat.usgs.gov/band_designations_landsat_satellites.php/>. Acesso em: 27 nov. 2017.

USGS. **Landsat Project Description**. 2013. Disponível em:
<http://landsat.usgs.gov/about_project_descriptions.php>. Acesso em: 08 mar. 2018.

VEIGA, T. C. & SILVA, J. X. da. **Geoprocessamento aplicado à identificação de áreas potenciais para atividades turísticas**: O caso do Município de Macaé – RJ. In: SILVA, J. X. & ZAIDAN, R. T. (Org.) **Geoprocessamento & Análise ambiental**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p.179-215, 2004.

ZHANG, Y. J. Understanding image fusion. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**. v. 70, n.6, p. 657-661, 2004.