

GEOPROCESSAMENTO APLICADO A ÀREA DE MEIO AMBIENTE: Impacto de projeto de assentamento no desmatamento de remanescentes do bioma caatinga

Deodato do Nascimento Aquino
deoagro@hotmail.com

Resumo

As áreas florestadas com caatinga, tem sido habitualmente substituída por pastagens e/ou culturas de ciclo curto por ocasião da ocupação de famílias assentadas, em projetos de reforma agrária, nas regiões semiáridas do Brasil. Neste contexto, técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento, têm se mostrado como ferramentas robustas para o monitoramento do desmatamento da vegetação, uso e cobertura do solo nessas áreas com grandes extensões territoriais. Diante o exposto, o objetivo deste trabalho é empregar dados de sensoriamento remoto e ferramentas de geoprocessamento para quantificar o avanço do desmatamento florestal em imóvel rural destinado a projeto de assentamento rural no bioma caatinga, identificando em cada classe de uso e ocupação, os respectivos valores de NDVI. No pré e processamento digital das imagens do TM Landsat 5 (imóvel particular) e OLI Landsat 8 (Projeto de assentamento), foram aplicadas correções atmosféricas, técnicas de restauração, filtragem, realce, classificação supervisionada através do algoritmo de máxima verossimilhança, além da validação e obtenção do índice Kappa. E para tal, empregou-se os softwares livres Spring 5.5.6 e Qgis 3.10.8. Os resultados mostram que houve um substancial aumento das áreas antropizadas (solo exposto e agropecuária) entre os anos de 1987 e 2020. Tal acréscimo foi acompanhado de uma desprezível redução das áreas com formação savânica. Frente ao exposto, constatou-se um pequeno declínio das áreas que antes eram constituídas por formação florestal arbustiva-arbórea, reduzindo de 70% (5.748,74 ha) para 67,3% (5.531,12 ha), entre os anos de 1987 e 2020. Apesar do comportamento supramencionado, constatou-se que não houve diferença estatística ao nível 1% de significância, através do Teste T de Student, quando se compara o quantitativo de área antropizada, e com formação savânica, entre os períodos estudados. O uso de imagens de sensores remotos orbitais, apresenta-se como uma ferramenta eficiente para estudos ambientais em assentamentos rurais no semiárido brasileiro.

Palavras-chave: Sensoriamento Remoto, semiárido, Landsat, reforma agrária.

Abstract

Areas forested with caatinga have regularly been replaced by pasture and/or short cycle crops due to occupation by families settled in projects of agrarian reform in the semi-arid regions of Brazil. In this context, remote sensing and techniques of geoprocessing have proven to be robust tools for monitoring deforestation of the vegetation, land use and land cover in these extensive areas. Given the above, the aim of this study was to use remote sensing data and geoprocessing tools to quantify the advance of deforestation on rural property in the caatinga biome earmarked for a rural settlement project, identifying the respective NDVI values for each class of land use and occupation. In the digital pre- and processing of the images from TM Landsat 5 (private property) and OLI Landsat 8 (settlement project), atmospheric correction, restoration techniques, filtering, enhancement, and supervised classification using the maximum likelihood algorithm were applied, in addition to validation and obtaining the Kappa index. For that, the spring 5.5.6 and Qgis 3.10.8 free software were used. The results show that there was a substantial increase in anthropic

areas (exposed soil and farming) between 1987 and 2020. This increase was accompanied by a negligible reduction in areas of savannah formation. In view of the above, there was a small decline in areas that previously comprised woody forest formation, reducing from 70% (5,748.74 ha) to 67.3% (5,531.12 ha) from 1987 to 2020. Despite the above behaviour, no statistical difference was found at a level of 1% by Student's T-test, for a quantitative comparison of the anthropic area and the savanna formation between the periods under study. The use of orbital remote sensing images is an efficient tool for environmental studies in rural settlements in the Brazilian semi-arid region.

Keywords: Remote Sensing, semi-arid, Landsat, agrarian reform.

1. Introdução

No Brasil, segundo definição contida na Convenção Mundial de Luta Contra a Desertificação, as áreas susceptíveis ao processo da desertificação, encontram-se situadas na região nordeste, particularmente, na região semiárida nacional. Atualmente, tem sido indiscutível a importância econômica, social e ecológica dos ativos florestais de caatinga, principalmente no que tange a oferta de bens e serviços econômicos, sociais e ambientais, e da contribuição destas para mitigação das mudanças climáticas.

A porção semiárida do nordeste brasileiro compreende uma área de aproximadamente 982.563 km² (PEREIRA JÚNIOR, 2007). Nesta região desenvolvem-se diferentes tipologias vegetacionais, predominando a caatinga, com uma área de aproximadamente 844.453 km² correspondendo a 70% da região nordeste, e 10% do território nacional (MMA, 2014). Esta região caracteriza-se por apresentar uma forte irregularidade climática, apresentando os valores meteorológicos mais extremos do país: a mais forte insolação (em média 2800 h ano⁻¹), as mais altas temperaturas médias (médias térmicas anuais oscilam entre 23 e 27 °C), as mais elevadas taxas de evaporação e evapotranspiração potencial (1500 a 2000 mm ano⁻¹), a mais baixa nebulosidade e, sobretudo, os mais baixos índices pluviométricos, em torno de 500 a 700 mm anuais, com grande variabilidade espacial e temporal (SAMPAIO; ARAÚJO, 2005).

Na Caatinga, a intervenção antrópica tem sido feita à custa de desmatamento indiscriminado, com consequente degradação do solo. Essa prática, utilizada para a formação de novas lavouras, pastagens, aliadas à retirada de madeira para benfeitorias, lenha e

carvão, e às queimadas sucessivas com manejo inadequado do solo e superpastoreios tem contribuído, juntamente com as secas prolongadas, para comprometer o frágil equilíbrio do meio ambiente da região (LOPES et al., 2009). Quanto às alterações provocadas pelo desmatamento, a Caatinga é o terceiro Bioma mais degradado do Brasil, perdendo apenas para a Floresta Atlântica e o Cerrado (MYERS et al., 2000). Estima-se que 80% da vegetação, encontre-se completamente modificada, devido ao extrativismo e a agropecuária, apresentando-se a maioria dessas áreas em estádios iniciais ou intermediários de sucessão ecológica (DEMARTELAERE et al., 2021).

Dentre algumas causas que tem contribuído para o avanço da degradação em regiões semiáridas, o aumento da densidade populacional em áreas rurais, decorrente da criação de projetos de assentamentos da reforma agrária, tem carecido de mais atenção e novos estudos. Muitas áreas desapropriadas, inicialmente, tratavam-se de latifúndios improdutivos, possuindo, na sua maior parte, grandes extensões com cobertura florestal bem conservada. Essas áreas, na grande maioria das vezes sofrem intervenções das famílias assentadas, tornando-se sua primeira fonte de subsistência, por meio da caça e retirada de lenha, estacas, mourões e madeiras (CARVALHO, et al., 2000). Entretanto, pouco ainda se sabe sobre o efetivo impacto dos assentamentos e sua alteração da dinâmica ambiental e socioeconômica das regiões onde estão situados. Os impactos ativos na alteração da cobertura florestal dos Assentamentos tem sido efetivamente pouco analisados. Isso ocorre porque a maioria dos trabalhos, dedica-se à dinâmica da organização produtiva e social.

A degradação das áreas ambientais quase sempre começa com o desmatamento e com a substituição da vegetação nativa por outra cultivada e de porte

e/ou ciclo de vida diferentes. A vegetação arbustiva e arbórea da caatinga, predominante no semiárido, é substituída por pastos herbáceos ou culturas de ciclo curto. O descobrimento do solo favorece o processo de erosão. O cultivo continuado, com a retirada dos produtos agrícolas e sem reposição dos nutrientes retirados, leva à perda da fertilidade (SAMPAIO et al., 2005), e conseqüentemente, a estágios mais avançados do processo de desertificação.

Em escala mundial, tornou-se consensual a urgência em discutir o problema da desertificação, buscando a promoção de medidas de reconhecimento, monitoramento das causas, conseqüências e da complexa reversão de seus efeitos (ARAÚJO; SOUZA, 2017). Diante o exposto, o monitoramento espaço-temporal do uso e cobertura da terra, apresenta-se como um indicador que revela o estado ambiental e denota fatores (força motriz e pressão) e efeitos (impactos e respostas) de vulnerabilidade mediante à apropriação humana do patrimônio ambiental (OLIVEIRA JÚNIOR et al., 2020).

Os trabalhos de mapeamento do desmatamento a partir do uso e ocupação do solo demandam tempo, alto investimento, mão de obra especializada, além de algumas metodologias diretas resultarem na eliminação de áreas com vegetação. Diante o exposto, o emprego de geotecnologias, sobretudo as técnicas de sensoriamento remoto e processamento digital de imagens, têm sido alternativa viável em estudos de monitoramento florestais (PONZONI et al., 2015) e uso e ocupação da terra (LIMA JÚNIOR e SILVA, 2014).

Neste contexto técnicas de Sensoriamento Remoto e geoprocessamento, têm se mostrado como uma ferramenta poderosa e eficiente em estudos que envolvam o monitoramento do desmatamento da vegetação, uso e ocupação da terra em grandes extensões territoriais (CHANDOLA et al., 2010), principalmente no bioma caatinga. No tocante a utilização de sensores passivos multiespectrais da plataforma Landsat, alguns estudos tem sido realizados com o objetivo de caracterizar e quantificar alterações da cobertura de dosséis vegetais em florestas tropicais secas inseridas em áreas de assentamentos, os quais alcançaram diferentes graus de sucesso, a exemplo de Lima Júnior e Silva (2014); Bezerra et al., (2014) e Almeida (2016).

Outrossim, os estudos recentes salientam ainda a possibilidade da utilização de índices espectrais de vegetação associado ao sensoriamento remoto para

estimar classes de uso e ocupação do solo em projetos de assentamentos da reforma agrária. Os índices espectrais de vegetação são um das variáveis mais utilizados no monitoramento sazonal e interanual de parâmetros fisiológicos e estruturais dos diferentes ecossistemas via sensoriamento remoto (AQUINO et al. 2018), sendo o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) o índice mais utilizado (RODRIGUES; RODRIGUES, 2012). O NDVI, portanto, permite identificar a presença de vegetação e avaliar a densidade de biomassa e o vigor da mesma (DE-MARCHI et al., 2011).

Em consonância com o estudo proposto, Almeida (2016), objetivando comparar o uso e a ocupação dos solos em áreas de assentamentos na região norte do Estado de Minas Gerais, a partir do processamento digital de imagens digitais do sensor Landsat para os anos de 2003 e 2014, constataram que os assentamentos rurais monitorados tiveram significativa mudança no uso do solo no intervalo de 11 anos. Comportamento semelhante foi observado por Lima Júnior e Silva (2014), ao utilizarem duas cenas do sensor LANDSAT 5/TM para caracterizar e mapear alterações na cobertura da terra de quatro assentamentos rurais localizados no município de Apodi/RN. Já Bezerra et al. (2014), com intuito de avaliar a dinâmica espaço-temporal por meio de técnicas e produtos de Sensoriamento Remoto, especificamente, imagens orbitais do TM LANDSAT 5, e geração de mapas temáticas da variabilidade espaço-temporal do NDVI, entre outros parâmetros, demonstraram o potencial do uso das geotecnologias para compreensão da dinâmica dos padrões espaciais e temporais dos processos biofísicos de interação solo-planta-atmosfera em florestas com Caatinga no Semiárido.

Portanto, espera-se que a utilização de técnicas de geoprocessamento, a exemplo do pré e pós processamento digital de imagem de sensores orbitais multiespectral em períodos distintos; métodos supervisionados de classificação e definição de índice espectral de vegetação, contribuam na compreensão do impacto ambiental frente a conversão de imóvel rural particular em Projeto de Assentamento da Reforma Agrária no semiárido brasileiro. Outrossim, a partir de coleta de amostras (pixel's) representativas de cada classe de uso e ocupação encontrada, seja possível definir o intervalo dos valores médios de NDVI representativo de cada classe de uso da área estudada.

Diante o exposto, o objetivo deste trabalho é empregar dados de sensoriamento remoto e ferramentas de geoprocessamento para quantificar o avanço do desmatamento florestal em imóvel rural destinado a projeto de assentamentos no bioma caatinga, identificando em cada classe de uso e ocupação, os respectivos valores de NDVI.

Esta pesquisa está estruturada em cinco seções. Além dessa introdução, a seção 2, o referencial teórico, apresenta o cenário de estudos do meio ambiente em regiões semiáridas do Brasil, bem como conceitos e definições sobre geoprocessamento, processamento digital de imagens e sensoriamento remoto. A seção 3 apresenta a metodologia da pesquisa, incluindo a representação cartográfica da área de estudo e destacando as ferramentas, softwares e procedimentos utilizados na pesquisa. Os resultados são apresentados na seção 4, sendo a conclusão apresentada na seção 5.

2. O cenário do desmatamento na região semiárida do Brasil

A Convenção das Nações Unidas para o Combate à Desertificação conceitua a desertificação como o processo de degradação das terras das regiões áridas, semiáridas e subúmidas, resultante de diferentes fatores, entre eles as variações climáticas e as atividades humanas. Estão ligados a esse conceito as degradações do solo, fauna, flora e recursos hídricos (ACCIOLY, 2010). Ao longo da história, o bioma Caatinga, vem sendo explorado de maneira não sustentável, acelerando seu processo de degradação, sucessão secundária e, conseqüentemente à desertificação (SILVA et al., 2019).

No Brasil, segundo definição contida na Convenção Mundial de Luta Contra a Desertificação, as áreas susceptíveis ao processo da desertificação encontram-se situadas na região nordeste, particularmente, no semiárido, e ao norte do estado de Minas Gerais, totalizando 15,7% do território nacional. Isto tem provocado importantes impactos ambientais, sociais e econômicos nestas regiões. Por exemplo, nos 600 mil hectares já existentes de agricultura irrigada, registram-se sinais de salinização e/ou compactação do solo em cerca de 30% da área (CIRILO, 2008). Nos últimos anos, têm-se somado a preocupação do avanço do processo de desertificação, o aquecimento global. Outrossim, tendo a região semiárida nacional como uma das mais vulneráveis aos efeitos de cenários de mudanças climáticas sobre as terras em processo de desertificação.

2.1. O Geoprocessamento na área de Meio Ambiente

A maioria dos estudos no campo ambiental pressupõe a reunião de conhecimentos de várias disciplinas. Combinar o conhecimento fragmentado em disciplinas não é preocupação exclusiva deste campo, porém; ela ocorre sempre que se reconhece que um objeto ou problema em estudo é multifacetado e que é preciso ultrapassar os limites da especialização disciplinar, explorar novos terrenos técnicos, metodológicos, teóricos e por vezes filosóficos ou políticos. Frequentemente, tais problemas e objetos se situam em terrenos inexplorados, em que tentam se posicionar atores dos campos das ciências naturais, das ciências sociais, das técnicas e das agências de financiamento (ALVES, 2014). Atualmente, uma das ferramentas bastante difundida no levantamento, monitoramento e caracterização de estudos na área ambiental, tem sido as geotecnologias, a exemplo do Geoprocessamento e Sistema de Informações Geográficas (SIG's).

O uso do geoprocessamento na delimitação e avaliação dessas áreas ambientais serve de subsídio para os instrumentos previstos nas políticas públicas direta ou indiretamente relacionadas ao meio ambiente. O uso dessas técnicas possibilita o mapeamento e análise de recursos naturais e atividades humanas, até poucas décadas atrás indisponíveis. Alocação de atividades, sistemas de suporte de decisão, integração com parâmetros e processos de outras áreas da ciência, hoje permitem aos gestores a tomada de decisão com base em informação, minimizando riscos antes presentes pela ausência dessas tecnologias (BUFFON, et al. 2011).

As geotecnologias constituem o conjunto de tecnologias para coleta, armazenamento, edição, processamento, análise e disponibilização de dados e informações com referência espacial geográfica. O geoprocessamento pode ser considerado como um ramo de atividades da geotecnologia, sendo definido como o conjunto de técnicas e métodos teóricos e computacionais relacionados com a coleta, entrada, armazenamento, tratamento e processamento de dados, a fim de gerar novos dados e ou informações espaciais ou georreferenciadas. É importante observar que informações georreferenciadas têm como característica principal o atributo de localização, ou seja, estão ligadas a uma posição específica do globo terrestre por meio de suas coordenadas (ZAIDAN, 2017). Ainda conforme os autores supramencionados, no rol das geotecnologias estão o

geoprocessamento; os Sistemas de Informações Geográficas (SIG's); Cartografia Digital ou Automatizada; Sensoriamento Remoto por Satélites; Sistema de Posicionamento Global (GPS), Aerofotogrametria, Geodésia, Topografia Clássica, entre outros. Portanto, dentre as geotecnologias destaca-se o geoprocessamento, principalmente na constituição de Sistemas de Informações Geográficas – SIG's.

A aplicação de geotecnologias e técnicas de sensoriamento remoto em imagens orbitais, por meio da análise espacial, proporcionam um diagnóstico espaço temporal da mudança na paisagem, pois permitem monitorar e diagnosticar o grau de degradação de terras, sendo assim bastante eficiente nos estudos do processo de desertificação, especificamente em ambientes semiáridos. A utilização dessas técnicas, além de facilitar o processo de análise e manipulação de dados em grandes áreas, sendo menos onerosa do que os métodos convencionais, possibilita uma análise em várias granularidades temporais, no tempo passado, presente e com simulações do futuro, permitindo uma avaliação das alterações do meio ambiente (DOURADO, 2017).

2.2. Processamento digital de imagens e sensoriamento remoto

Uma imagem pode ser definida como uma função bidimensional, $f(x, y)$, em que x e y são coordenadas espaciais (plano), e a amplitude de f em qualquer par de coordenadas (x, y) , é chamada de intensidade ou nível de cinza da imagem nesse ponto. Quando x , y e os valores de intensidade de f são quantidades finitas e discretas, denomina-se de imagem digital (GONZALES e WOODS, 2010).

A função primordial do Processamento Digital de Imagem é facilitar a identificação e a extração da informação contida nesta amplitude de nível de cinza da imagem proveniente do sensor remoto, para posterior interpretação. O Processamento Digital de Imagem (PDI) não é uma tarefa simples, na realidade envolve um conjunto de tarefas interconectadas. Neste sentido, Albuquerque et al. (2012) indicam que o PDI tem diversas etapas, como: formação e aquisição da imagem, digitalização, pré-processamento, segmentação, pós-processamento, extração de atributos, classificação e reconhecimento. A técnica de Processamento Digital de Imagens incorpora fundamentos de inúmeras ciências, a exemplo da física, biologia, computação, geografia, agronomia, bioquímica, matemática, etc... Além de navegar em conceitos como óptica, reflectância,

pigmentos fotossintetizantes, projeto de circuitos, álgebra de mapas, estatística, dentre tantos outros comumente requeridos no projeto de um sistema de processamento de imagens.

Atualmente, assumindo uma série de funções anteriormente atendidas pela aerofotogrametria, imagens processadas do sensoriamento remoto multiespectral, apresentam uma série de vantagens, a saber: baixo custo por área específica; aspectos diacrônico (alta frequência de repetitividade da tomada de imagens) e sincrônico da captação das imagens; aspecto multiespectral; caráter digital dos dados adquiridos; e, facilidade de integração com bases de dados geocodificados, cartográficos ou numéricos, através de sistemas de informações geográficas (SIGs) (AZEVEDO; MANGABEIRA, 2001). Assim, diversos estudos apresentados na literatura contemporânea, revelam que imagens orbitais processadas, tornaram-se essenciais para infindáveis campos do conhecimento, a saber: áreas ambientais; meteorológicas; ecológicas; mapeamentos da cobertura e uso das terras; compreensão da diversidade biológica; análises de padrões da paisagem, classificação e mapeamento de florestas. Outrossim, tem sido empregada na caracterização e análise espaço-temporal da ocupação de bacias hidrográficas; em fins militares; zoneamento ecológico-econômico; inventário da flora e fauna; mapeamento e modelagem ambiental; caracterização de pastagens nativas e plantadas; agricultura de precisão; monitoramento de doenças; topografia; mineralogia; geografia, engenharia, monitoramento da qualidade das águas continentais e oceânicas. Além de servir de instrumento de governança, planejamento, licenciamento e gestão ambiental, entre tantos outros usos.

Portanto, tem sido crescente na última década, a utilização de imagens processadas obtidas de sensores orbitais, principalmente em virtude da redução de custos e da possibilidade de cobertura de uma área bem maior, quando comparado com os métodos convencionais. Logo, tais técnicas podem ser empregadas no estudo particularizado de determinados alvos espectrais, como solo, água, vegetação e rochas. Isso é possível, pois cada alvo presente na superfície terrestre apresenta comportamento diferenciado, e portanto divergências nas curvas espectrais, destarte, o comportamento de sua reflectância.

Dentre as aplicações mais utilizadas no sensoriamento remoto, destacam-se os estudos sobre a detecção de mudanças e monitoramento da cobertura

vegetal (OLIVEIRA et al., 2017), e entre as principais análises atribuídas a este segmento, as aplicações de índices de vegetação são importantes para distinguir as informações espectrais da vegetação dos outros elementos da superfície terrestre, além de indicar a quantidade e qualidade da vegetação observada em determinadas épocas do ano LINS et al., 2017).

Das características presentes na curva da reflectância espectral da vegetação, duas têm sido amplamente utilizadas para seu mapeamento através do sensoriamento remoto: a absorção da energia eletromagnética no intervalo do visível e a reflectância no infravermelho próximo (PONZONI et al., 2012). A reflectância dos alvos pode ser utilizada na geração de índices de vegetação, onde esses são analisados com a finalidade de estabelecer classes temáticas dos elementos da vegetação em relação a outros alvos da superfície terrestre, sendo o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) o índice mais utilizado (RODRIGUES; RODRIGUES, 2012).

Normalmente, trata-se de um índice mais recomendado para florestas tropicais jovens secundárias, a exemplo do bioma caatinga, pois o NDVI satura com o aumento da área foliar encontrado em florestas mais densas. No entanto, em regiões semiáridas, há menos possibilidade de saturação do NDVI, por causa da baixa densidade de fitomassa e de folhas, na qual, a sua correlação com o índice de área foliar não tem sido limitado em estágios mais avançados de sucessão vegetal (COSTA et al., 2002).

Além do emprego de índices espectrais de vegetação, a técnica aplicada em classificação de imagens com intuito de se obter a categorização do uso e a ocupação do solo é uma importante ferramenta. O uso de algoritmo de classificação de imagem é altamente utilizado para conhecer as mudanças que ocorrem na paisagem, permitindo a obtenção de informações que fomentem a construção de cenários ambientais e de indicadores, como subsídios de avaliação da capacidade de suporte ambiental, com um mapeamento na interpretação técnico-visual de características de ocupação e uso de uma determinada região apresenta (ALMEIDA, 2016).

Em conformidade com a metodologia proposta neste trabalho, Lima Júnior e Silva (2014), utilizando duas cenas do sensor LANDSAT 5/TM para

caracterizar e mapear alterações na cobertura da terra de quatro assentamentos rurais localizados no município de Apodi/RN, concluíram que o uso de imagens de sensores remotos orbitais, apresenta-se como uma ferramenta eficiente para estudos ambientais em assentamentos rurais na região semiárida do estado do Rio Grande do Norte.

3. Metodologia

Este trabalho apresenta um estudo de caso, onde são apresentados produtos cartográficos e suas respectivas análises para a área do Projeto de Assentamento Serrote Branco-Luiz Ferreira, que está contabilizado no município de Jaguaratama, estado do Ceará. Trata-se de um trabalho na área de meio ambiente, utilizando técnicas de processamento digital de imagens e sensoriamento remoto.

Para isto, em 4 etapas, foram utilizados os softwares livres de Geoprocessamento Spring 5.5.6 e Qgis 3.10.8 para trabalhar complementos de técnicas de Pré-processamento e Processamento Digital de Imagens.

3.1. Área de estudo

O mapa da área de estudo apresentado é elaborado utilizando técnicas da semiologia gráfica apresentadas por Bertin (1967) que objetivam a melhor visualização e comunicação. A tarefa essencial da semiologia gráfica visa uma utilização racional da linguagem cartográfica obedecendo às três relações fundamentais da informação: Diversidade (\neq), Ordem (O), Proporcionalidade (Q).

Dessa maneira, as informações da área de estudo, basicamente, com a variação visual de forma, tamanho, orientação, cor, valor e granulação permitem localizar, ordenar e organizar a área geográfica estudada.

Para isto, princípios cartográficos relacionados à semiologia gráfica, projeção cartográfica, sistema de coordenadas e escalas, destacados por Rosette e Menezes (2011) foram seguidos. Assim, neste trabalho, o ambiente geográfico é uma área de Projeto de Assentamento da Reforma Agrária, situado no município de Jaguaratama, estado do Ceará, nordeste do Brasil, conforme mapa da figura 1.

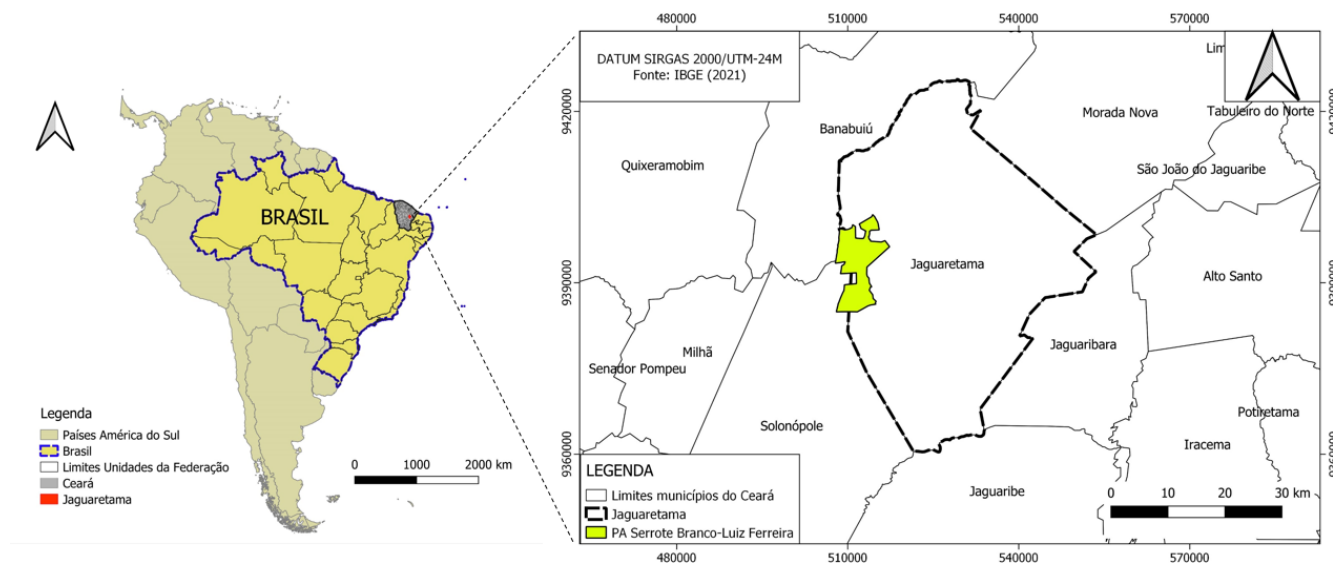


Figura 1: Mapa representativo da região estudada

O Projeto de Assentamento Serrote Branco-Luiz Ferreira com capacidade para assentar 187 famílias foi criado na data de 24 de outubro de 1988, portanto, antes deste período se tratava de uma fazenda particular de um único proprietário. O Projeto de Assentamento está inserido na jurisdição do município de Jaguetama, com área georreferenciada de 8.203,7850 ha e perímetro de 65.916,18m; sendo a altitude média de aproximadamente 100m. Tendo como referencial o último censo demográfico do IBGE (2010), a área e população do município de Jaguetama são de 1.759,7 km² e 17.863 pessoas, respectivamente. Outrossim, a cidade está localizada na microrregião do Médio Jaguaribe, e macrorregião administrativa do Litoral Leste/Jaguaribe do estado do Ceará, distando aproximadamente 250 km da capital Fortaleza. Tendo como principal via de acesso às rodovias estaduais CE 368 e CE 371. No tocante ao aspecto climático, têm-se que o clima local predominante é o tropical quente semiárido, com pluviosidade média anual de 782,8mm, temperatura média de 26 a 28°C com período chuvoso entre os meses de janeiro a abril (IPECE, 2009). O Projeto de Assentamento Serrote Branco-Luiz Ferreira constitui parte do domínio da depressão sertaneja, portanto o município de Jaguetama está disposto

sobre terreno do embasamento cristalino, em que a geologia, compreendida dentro de um contexto litológico regional, é representada por rochas cristalinas antigas do Pré-Cambriano Indiviso (rochas do tipo quartzitos, gnáissicas e migmatíticas) (SILVA e CRUZ, 2016). Torna-se importante salientar, ainda, que esse relevo se classifica como plano à suave ondulado (CPRM, 1974). Como reflexo da interação dos componentes supracitados, a vegetação do município de Jaguetama é constituída pela catinga hiperxerófila, caracterizada pela caducidade das suas folhas com formações arbóreo-arbustiva, predominando cactáceas, espécies lenhosas e espinhentas que se sobressaem em meio à presença de solos pouco profundos, cujas propriedades morfológicas, físicas e químicas desencadeiam processos erosivos (FUNCEME, 2009).

3.2. Etapas da Pesquisa

O experimento foi desenvolvido em quatro etapas, elaboradas em um conjunto de passos, sintetizados na figura 2, e detalhadas em seguida.

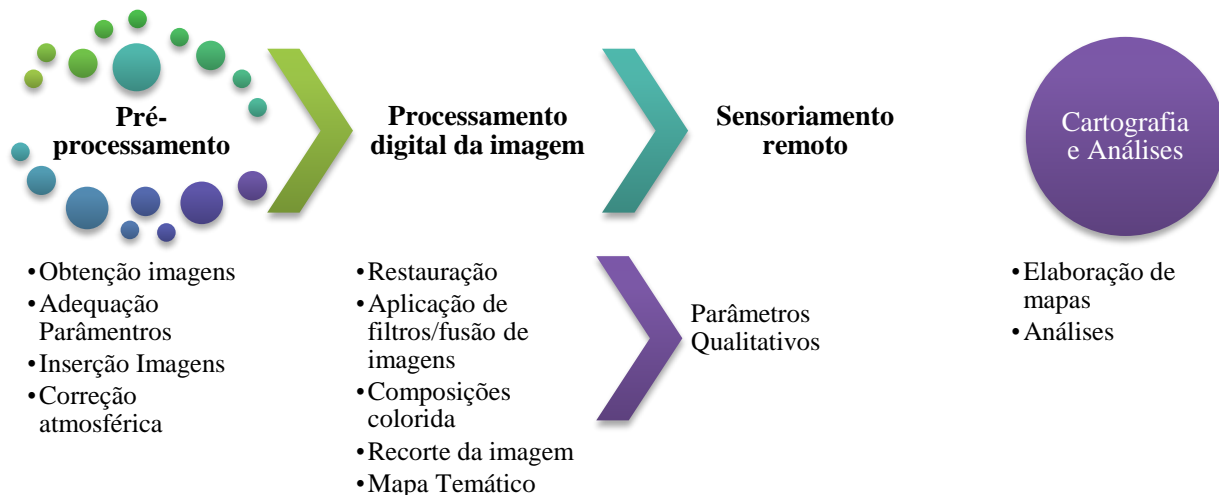


Figura 2: Fluxograma metodológico

Na etapa 1, pré-processamento, são realizados os passos A, B, C e D.

- A. Obtenção das imagens;
- B. Adequação dos parâmetros;
- C. Inserção das imagens da área;
- D. Correção Atmosférica/DOS

Foram adquiridas imagens da estação climática de estiagem (mês de setembro), referente a órbita/ponto 217/064 dos sensores TM Landsat-5 e OLI Landsat-8, em dois períodos distintos: 12/09/1987 – (imóvel Fazenda) e na data de 06/09/2020 – (Projeto de Assentamento). Ambas foram obtidas junto à plataforma do Serviço Geológico Nacional Norte Americano - USGS EarthExplorer da Nasa (<https://earthexplorer.usgs.gov/>). As imagens foram convertidas de Número digital (ND) para Fator de Reflectância Bidirecional de Superfície (FR) a partir do método alternativo DOS (*Dark Object Subtraction*). Neste método desenvolvido por Chavez (1988), têm-se que somente o processo de espalhamento atmosférico é corrigido na imagem, empregando-se para tal o complemento Semi-Automatic Classification do Qgis 3.10.

Na etapa 2, processamento digital da imagem, são realizados os passos E, F, G, H, I e J, explorando as potencialidades das imagens digitais (imagens orbitais) através do uso de técnicas de PDI, em parte no software Spring.

- E. Restauração das Imagens/remoção ruídos;
- F. Aplicação de filtros passa alta/contraste;
- G. Composições coloridas (RGB);
- H. Imagens fusionadas (PAN do Landsat8);

- I. Reprojeção da imagem/Recorte da área de trabalho;
- J. Preparação do Mapa Temático.

Para a filtragem linear (correção de ruídos) utilizou-se um filtro do tipo passa baixa-média com máscara de 3x3, e uma interação, aplicado nas banda do visível, Infravermelho próximo e médio da imagem do TM Landsat 5 e OLI Landsat 8. No intuito de realçar bordas, feições lineares e padrões de textura, aplicou-se as imagens filtro passa alta linear de realce TM. No tocante a composição colorida, foi considerado neste estudo as seguintes composições coloridas: TM Landsat 5: R3G2B1 (cor natural ou visível); R4G3B2 (falsa cor – infravermelho próximo); e R7G4B2 (falsa cor – infravermelho médio); enquanto para o OLI Landsat 8: R4G3B2 (cor natural ou visível); R5G4B3 (falsa cor – infravermelho próximo); e R7G5B3 (falsa cor – infravermelho médio). No sentido de melhorar a resolução espacial da imagem OLI Landsat 8, procedeu-se o fusão da imagem OLI Landsat 8, procedeu-se o fusão da composição colorida (pixel de 30m) com a imagem pancromática (Band 8 – pixel 15m).

Na etapa 3, sensoriamento remoto, são extraídas informações qualitativas das Imagens Orbitais. Para isto, sendo realizado os seguintes passos:

De posse da imagem fator de reflectância bidirecional de superfície com auxílio do complemento SCP (Semi-Automatic Classification) no Qgis 3.10, procedeu-se a etapa de classificação supervisionada, e posterior obtenção de parâmetros qualitativos (quatro classes de uso e ocupação da terra, a saber: Solo exposto, corpos d'água, agropecuária e formação

savânica). A partir da aplicação de métodos supervisionados de classificação, foi possível comparar o comportamento do uso e ocupação entre os anos de 1987 (imóvel Fazenda) e 2020 (Projeto de Assentamento). Considerou-se para tal, o estabelecimento de 15 parcelas amostrais de 50ha cada, totalizando unidade amostral de 750ha (Figura 3); o que possibilitou a aplicação do teste de comparação de médias (Test-T de Student) ao nível de significância de 5%, entre os períodos estudados.

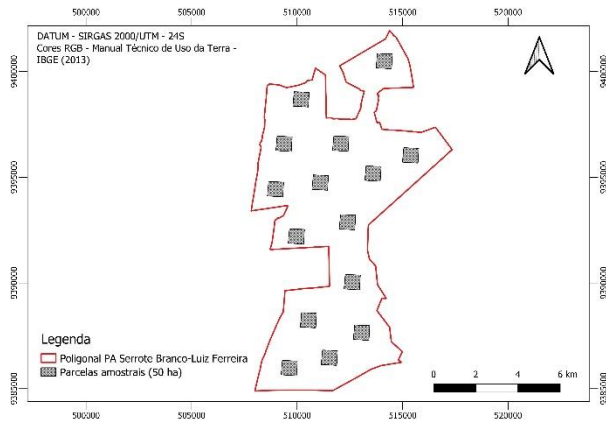


Figura 3 – Apresentação das quinze parcelas amostrais (50ha/cada) aleatorizadas, na qual possibilitou a comparação temporal pelo Teste T de Student ao nível de 1% de significância, do quantitativo de área antropizada e formação savânica, entre os anos de 1987 e 2020.

Ademais, foram ainda determinados, com o uso da calculadora raster as imagens NDVI para os dois períodos distintos. Para definição dos intervalos de

NDVI por classes de uso, foram coletados 15 pontos amostrais de cada classe para ambos os períodos estudados, totalizando 30 amostras (pixel) por classe de uso. Na etapa de validação da classificação, foram seguidas as orientações de Congalton (1991), para número de amostras a serem validadas. Estes pontos foram superpostos à imagem classificada, gerando uma matriz de confusão, bem como análise mediante erros de omissão e inclusão, acurácia global e índice kappa. E, para tal, empregou-se o complemento AcATaMa, o Microsoft Excel e imagens de melhor resolução espacial, a saber: imagem Fusionada, série histórica Google Earth Pro, e a imagem do Bing Satélite do Quick MapServices. Para cálculo do NDVI foram utilizadas as bandas vermelha (Red) e Infravermelha próxima (NIR). O cálculo foi feito utilizando a calculadora Raster, segundo a fórmula:

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red}$$

Onde: NDVI - Índice de vegetação por diferença normalizada; NIR – banda do Infravermelho próximo, e Red – banda do vermelho.

Na etapa 4, é realizada a elaboração de produtos cartográficos e suas respectivas análises.

4. Resultados e análises

Na Etapa 1, com relação a obtenção da imagem, destaque-se que o Catálogo USGS Earth Explorer oferece um conjunto de dados contendo imagens de alguns sensores multiespectrais, a exemplo da série dos satélites Landsat e Sentinel, além de imagens de radar, modelos digital de elevação (SRTM), entre outras possibilidades, inclusive com imagens produtos para monitoramento da vegetação – índices espectrais. No tocante as imagens Landsat 5 TM e Landsat 8 OLI, objeto deste estudo, constatou-se que o banco de dados do catálogo disponibilizam imagens a partir do ano de 1984 até os dias atuais, com dimensão para cada cena de 185km x 185km, resolução temporal a cada 16 dias, resolução espacial de 30m, e resolução radiométrica de 8 bits para o TM e 16 bits para o sensor OLI. A imagem *shapefile* compactada (WinZip) da poligonal do assen-

tamento Serrote Branco-Luiz Ferreira, foi a considerada para a definição da área no critério de pesquisa. Optou-se pelas imagens da coleção do nível 1 de processamento (imagem com correção geométrica), georreferenciada ao sistema de referência do hemisfério norte, portanto antes do uso e processamento, procedeu-se a reprojeção geográfica a um sistema de referência e Datum do hemisfério sul (SIRGAS 2000/UTM-24S). Importante destacar que foram efetivados o download referente a todas as bandas multiespectrais ópticas e pancromáticas em formato GeoTIFF. Logo, apresento a síntese de características para cada imagem sensor: Landsat 5/TM (Data do imageamento: 12/09/1987, 15% de cobertura de nuvem; tamanho do arquivo 246MB, Bandas adquiridas 1,2,3,4,5,6 e 7), enquanto para o Landsat 8/OLI - (Data de imageamento 06/09/2020; 0,74% de cobertura de nuvem; tamanho do arquivo 1,17 GB, cujas Bandas adquiridas foram 2,3,4,5,6,7

e 8). A correção ou atenuação atmosférica possibilita a aquisição de imagens com fator de reflectância bidirecional de superfície. Os valores de ND originais devem ser convertidos em informações físicas, servindo portanto, de referência para caracterização espectral de objetos. Em trabalhos que exigem ou se fundamentam no estabelecimento de correlações entre dados orbitais e parâmetros geofísicos ou biofísicos (análise quantitativa) de objetos da superfície, tais correlações devem ser estabelecidas com valores de FRB de superfície em função da melhor representação das chamadas assinaturas espectrais de objetos, termo utilizado para identificar a forma típica de um objeto refletir a radiação eletromagnética incidente ao longo de certa amplitude espectral (PONZONI, et al., 2012).

Etapa de PDI (Etapa 2): A restauração, como o próprio nome já diz, consiste no uso de um conjunto de complexas técnicas obtidas a partir de modelos estatísticos, matemáticos ou físicos, que constituem funções de transferência para os pontos-problema, ou até toda a imagem, num caso mais complexo. Comumente, em casos onde a imagem captada está contaminada por ruído aleatório, são utilizados processos de filtragem da imagem com emprego de filtro passa baixa. Isso faz com que o "ruído" presente na imagem seja removido (MORAES, 1999). De acordo com a análise visual, nota-se de um modo geral, que com a aplicação da filtragem passa-baixa (Figuras 3), ocorreu além da suavização da imagem, a atenuação de altas frequências nas bordas, a exemplo das transições abruptas (limite entre áreas iluminadas com vegetação e sombreadas com água), tendendo a minimizar ruídos, e com isso, apresentando um substancial efeito de borramento da imagem. Observa-se ainda duas regiões homogêneas, uma mosqueada clara com vegetações, e uma escura contendo a representação de mananciais hídricos (Figura 4). Ainda conforme a supramencionada figura, foi verificado que a técnica de filtragem linear passa baixa-média, com máscara 3x3 e uma interação, testada na banda do infravermelho próximo e demais bandas, apresentou um efeito borramento, atenuando a transição abrupta de alta frequência entre a borda dos alvos floresta e água. Piazza et al. (2013), observou que o melhor filtro, com relação ao critério de relação sinal-ruído é o da média, pois este filtro introduziu melhorias nas áreas claras e escuras. Ainda de acordo com o autor, cabe observar que a escolha do filtro mais adequado para determinado tipo de aplicação depende do objetivo da filtragem. Oliveira et al. (1984), afirma que na filtragem linear

ocorre além do domínio do espaço através da operação de convolução, o domínio da frequência pela operação produto, suavizando e realçando detalhes da imagem e minimizando efeitos de ruído, sem alterar a média da imagem. Ao comparar o tamanho da imagem original com a imagem restaurada, percebe-se que os arquivos apresentaram o mesmo tamanho, 51,2MB.

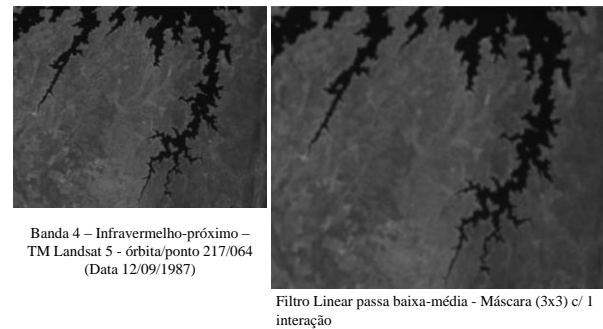


Figura 4: Recorte de imagem após a filtragem passa baixa-média, TM Landsat 5 (Fazenda Serrote Branco, (órbita/ponto 217/064, 12/09/1987)

Basicamente, a necessidade de se realçar contrastes em uma imagem deve-se ao fato da visão humana poder distinguir um número bastante reduzido de níveis de gradientes de tonalidades de cinza, que é infinitamente inferior ao que um processador de computador pode interpretar. Assim, esta limitação pode causar muita confusão à vista humana quando os níveis de cinzas são muito próximos. Logo, importante imprimir composição coloridas da imagem com arranjos diversos de bandas no intuito de facilitar a identificação e caracterização de alvos na superfície terrestre. Foram utilizados combinações de composições coloridas tanto para as imagens do TM Landsat 5, quanto do OLI Landsat 8. No tocante ao último sensor, foi considerado neste estudo as seguintes composições coloridas: R4G3B2 (cor natural ou visível); R5G4B3 (falsa cor – infravermelho próximo); e R7G5B3 (falsa cor – infravermelho médio) (Figura 5).

A composição R7G5B3 (falsa cor – infravermelho médio) representou a imagem com melhor identificação do conjunto de alvos referente aos pequenos reservatórios de água e vegetação com caatinga arbustiva. Já os alvos com solo exposto, grandes reservatórios, área urbana, agricultura, pastagem e caatinga arbustiva-arbórea conservada, foram melhor representados pela composição R5G4B3 (falsa cor – infravermelho próximo). Por se tratar de produtos de baixo custo, o uso de imagens de satélites vem

sendo aplicado com diversas finalidades, dentre estas, mapeamento da evolução do uso e ocupação do solo (SANTANA et al., 2014).

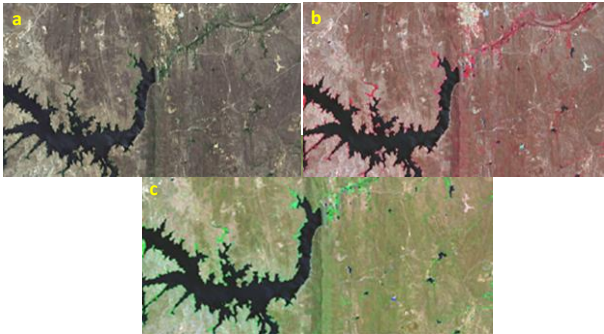


Figura 5: Imagens composição colorida OLI Landsat 8 de região do Projeto de Assentamento Serrote Branco-Luiz Ferreira (órbita/ponto 217/064, 06/09/2020). a) Landsat OLI 8, na composição colorida R4G3B2 (cor natural); b) Landsat OLI 8, na composição colorida R5G4B3 (falsa cor – infravermelho próximo); e c) Landsat OLI 8, na composição colorida R7G5B3 (falsa cor – infravermelho médio)

Importante se faz destacar que as imagens apresentadas na figura 5, referem-se ao fator de reflectância bidirecional de superfície (FRB) após a aplicação de filtragem passa alta linear do realce de imagem TM, contraste para os 3 canais, e fusão com uma imagem pancromática (Banda 8 – OLI Landsat 8). Portanto, constatou-se que após o fusão houve uma melhora da resolução espacial, visto que a imagem pancromática apresenta resolução espacial de 15m; ademais, houve um realce que facilitou na identificação visual dos elementos alvos na composição colorida quando comparado a imagem original com ND em tonalidades de cinza. Destarte, permitindo melhor apresentação e consequente diferenciação visual dos alvos terrestres. Diferentemente do adotado neste trabalho, Sousa e Santos (2020), objetivando diagnosticar a variação da mudança do uso e cobertura da terra do Parque Estadual Mata da Pimenteira (uma floresta tropical sazonalmente seca), localizada no município de Serra Talhada no Estado de Pernambuco, consideraram a combinação RGB (4-3-2) das bandas do satélite Landsat 8 (OLI) na facilitação da identificação das classes de uso e ocupação, após classificação não-supervisionada da imagem.

Por diversos motivos, as imagens originais de satélites podem apresentar uma exibição pouco nítida. Como intuito de melhorar a sua qualidade visual, para auxiliar nos trabalhos do foto intérprete sobre elas, pode-se proceder uma filtragem na imagem, o

que pode tornar suas feições mais fáceis de serem visualizadas pelo olho humano. A utilização da técnica de filtragem espacial de frequência (a exemplo do tipo Passa Alta realce de imagem TM) em composições coloridas das imagens TM Landsat 5 e OLI Landsat 8, contribuem para a eliminação das feições de baixa frequência, e conseqüentemente na melhoria do realce das bordas de feições lineares de alta frequência, a exemplo de estradas, linha de transmissão de energia, divisores das áreas destinadas a agropecuária, riachos secos, solos expostos, dentre outros. Auxiliando, portanto na vetorização e estabelecimento das amostras de treinamentos para a respectivas classes de uso e ocupação do solo (Figura 6). A aplicação de composição falsa-cor a imagem filtrada, aumenta em muito a capacidade de discernimento da vista humana, já que para cores, diferentemente de níveis de cinzas, a capacidade de distinção do olho humano, torna-se mais eficiente.

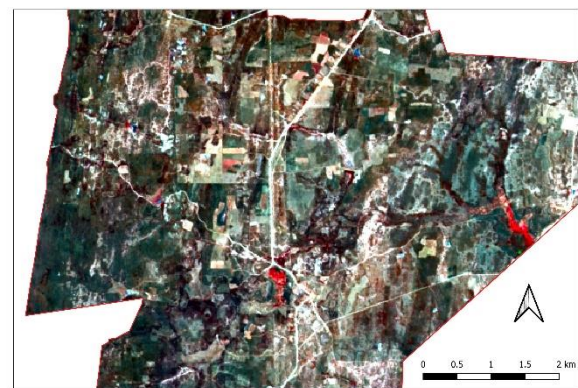


Figura 6: Imagem recortada do sensor OLI Landsat 8, R5G4B3 (falsa-cor infravermelho próximo), fusionada com a pancromática 15m – inicialmente submetida a filtragem linear passa alta (Assentamento Serrote Branco-Luiz Ferreira, (órbita/ponto 217/064, 06/09/2020)

No pré-processamento das imagens multiespectrais, especificamente correção atmosférica pelo método alternativo DOS (remoção do pixel escuro), obtém-se a conversão dos valores das bandas espectrais de *Digital Number* (DN) para fator de reflectância bidirecional de superfície. Na fase seguinte de processamento digital, as imagens foram preparadas previamente para a realização da classificação, com intuito de melhoria da qualidade dos dados espectrais. E para tal, empregou-se algumas técnicas, como: restauração das imagens/remoção ruídos; realce a partir da aplicação de filtros passa alta/contraste, composições coloridas (RGB) e fusão de imagens, conforme já descritos acima nos itens de “E” a “J”.

Após a obtenção da imagem com propriedades físicas melhoradas - Fator de Reflectância Bidirecional de Superfície, procedeu-se a etapa de classificação supervisionada pixel a pixel, e para tal, utilizou-se o algoritmo de máxima verossimilhança. A classificação das imagens referente a fazenda Serrote Branco (1987) e, posteriormente Projeto de Assentamento Serrote Branco-Luiz Ferreira (2020) é descrita por etapas, sendo visualizadas conforme figura 7.

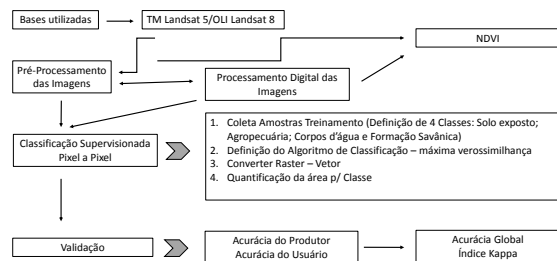


Figura 7: Descrição das etapas de classificação supervisionada pixel a pixel através do complemento SCP (*Semi-Automatic Classification Plugin*) do QGIS 3.10

A classificação supervisionada pixel-pixel foi realizada com base em imagens do Satélite TM Landsat 5 e OLI Landsat 8 dos sensores ópticos com frequência do espectro visível, infravermelho próximo e infravermelho médio (SWIR 1 e 2); bandas com resolução espacial de 30m, previamente empilhadas. O processamento, classificação, análise e validação das imagens foram realizados por meio do software livre QGIS 3.10. Para a classificação supervisionada, fez-se uso do complemento *Semi-Automatic Classification Plugin* (SCP), enquanto a validação foi efetivada através do *plugin Accuracy Assessment of Thematic Maps* (AcATaMa). A correção atmosférica e posterior PDI da imagem foi necessária antes da classificação, objetivando-se obter dados físicos dos alvos terrestre, já que o estudo envolveu comparação da área em diferentes tempos. Após o processamento, as imagens foram cortadas utilizando como máscara um *shapefile* do limites do Projeto de Assentamento Serrote Branco-Luiz Ferreira. Utilizando as ferramentas de criação de ROI (*Region of interest*), priorizou-se pela delimitação de 15 (quinze) amostras de treinamentos com polígonos diversos, para cada feição definida de classes de uso e ocupação, a saber: Solo exposto, agropecuária, corpos d’água e formação savânica. O algoritmo de classificação utilizado foi o de Máxima Verossimilhança (*Maximum Likelihood Classification*) que considera a ponderação das distâncias das médias utilizando parâmetros estatísticos (CRÓSTA, 1992). Consumado o processamento da

classificação das respectivas imagens, procede-se a poligonização do raster, a partir da conversão da imagem matriz para vetor (*shapefile*) no QGIS 3.10, procedimento necessário para quantificação da área ocupada por cada classe de uso e ocupação do solo. A etapa de validação foi realizada no complemento AcATaMa. Segundo Ferreira *et al.* (2007), os principais índices de acuracidade são: Erro de Omissão, Erro de Comissão, Acurácia Geral e Coeficiente Kappa. Ainda segundo o autor supramencionado, “através da estatística descritiva, obtém-se o índice de Exatidão Global, em que se divide o total de pixels classificados corretamente (diagonal da matriz) pelo número total de pixels da matriz”. Esse procedimento responde à pergunta: Qual o grau de concordância entre a imagem classificada e o terreno? Durante o processo de validação valeu-se de imagens com melhores qualidades, a exemplo daquelas resultantes do processamento digital: imagens filtradas, contraste da composição colorida, e fusão de composição RGB com a banda pancromática do OLI Landsat 8. Ademais, ainda para obtenção dos pontos representativos da verdade terrestre, empregou-se imagens de melhor resolução espacial da série histórica – 1987 e 2020 do Google Earth Pro, além das imagens do Bing Map do QuickMap-Services. Durante o processo de validação, foram definidos 395 pontos amostrais aleatoriamente padronizadas no software AcATaMa, com erro geral de 0,0050, distribuídos na área classificada, conformes a proporcionalidade quantitativa das dimensões de cada classe, conforme abaixo apresentadas: No ano de 1987 - (Solo exposto: 11 pontos; Corpos d’água: 7 pontos; Agropecuária: 100 pontos e Formação savânica: 277 pontos), enquanto para o ano de 2020 - (Solo exposto: 8 pontos; Corpos d’água: 2 pontos; Agropecuária: 119 pontos e Formação savânica: 266 pontos). A partir da validação, foi possível obter a acurácia do produtor, acurácia do usuário, além dos dois parâmetros que qualificam a classificação geral, a saber: a exatidão global e o índice de Kappa.

O QGIS, assim como outros SIGs, permite ainda a conversão dos dados raster em vetorial para a edição pós-classificação, elaboração dos mapas temáticos e análises quantitativas das classes de uso e cobertura da terra. Após a Etapa 4, o mapa temático (figura 8), das classes de uso e ocupação do solo são apresentados e analisados, conforme abaixo.

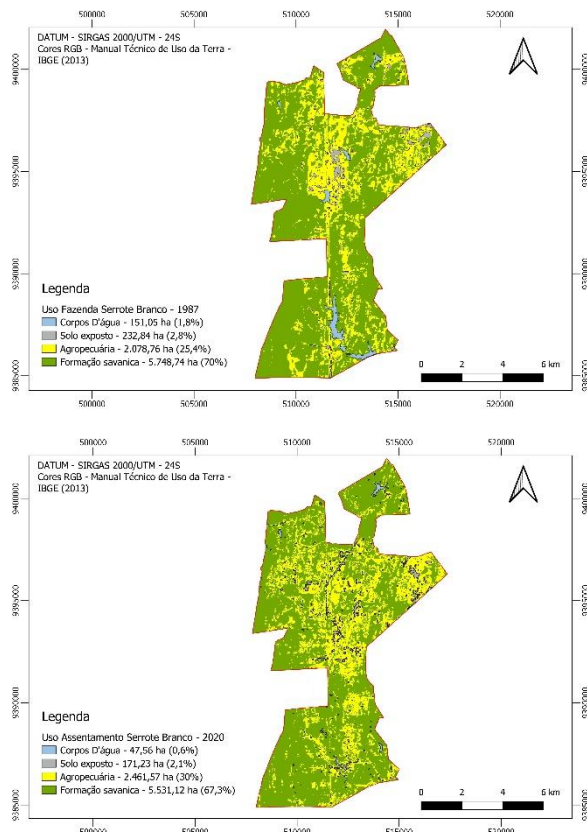


Figura 8: Mapa Temático das Classes de Uso e Ocupação para os anos de 1987 (imóvel particular), e 2020 (Projeto de Assentamento)

Observa-se na figura 8, que houve um substancial aumento das áreas com uso para agropecuária entre os anos de 1987 e 2020. Tal acréscimo é acompanhado de uma redução das áreas com corpos d'água e formação savânica. Enquanto a área destinada à atividade agropecuária do imóvel rural em questão ocupava um percentual de 25,4% (2.078,76 ha) quando ainda era propriedade particular no ano de 1987, este saltou para 30% (2.461,57ha) no ano de 2020, após 33 anos de destinação como Projeto de Assentamento. Um outro fato importante a se destacar, também constata-se através da figura 8, que a área antropizada (solos exposto e agropecuária) apresentaram-se mais espalhadas, ou seja, áreas agrícolas que antes eram concentradas no ano de 1987, passaram a ser pulverizadas por ocasião do uso como assentamento (Figura 8). Este comportamento, é justificado, pois a intervenção na área para a política de reforma agrária, passou a ser predominantemente direcionada para o uso mais disperso com pecuária extensiva, efetivamente ocupada por aproximadamente 180 famílias. Frente ao exposto, constatou-se um pequeno declínio das áreas que an-

tes eram constituídas por formação savânica arbustiva-arbórea, reduzindo de 70% (5.748,74 ha) para 67,3% (5.531,12 ha), entre os anos de 1987 e 2020 (Figura 8). Apesar do comportamento supramencionado, constatou-se que não houve diferença estatística ao nível 1% de significância através do Teste T de Student, quando se compara a área antropizada e formação savânica entre os períodos estudados (Figura 9). Logo, a destinação da área para o usufruto de 187 famílias ao longo destes 33 anos como projeto de reforma agrária, não traz consequências significativas de aumento de desmatamento quando comparado com o imóvel quando ainda sob domínio de um único proprietário, conforme apresentado abaixo na Figura 9.

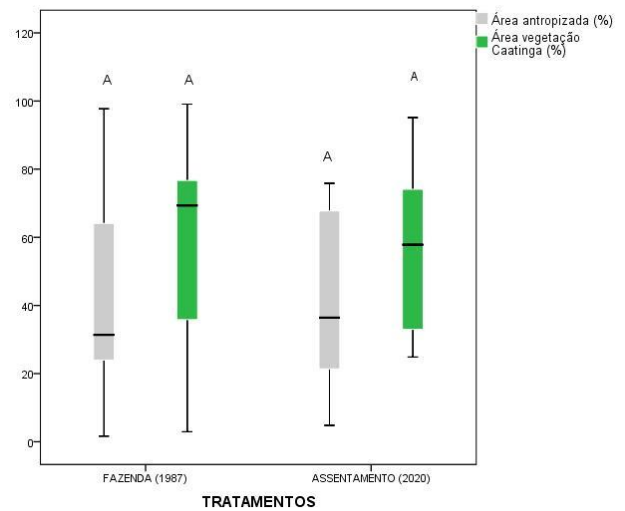


Figura 9 – Gráficos Box Plot, apresentando a comparação temporal entre os percentuais de área antropizada e formação savânica. Letras iguais entre tratamentos (Fazenda x Assentamento) dentro de cada uso, não diferem estatisticamente através do Teste T de Student ao nível de 1% de significância

O comportamento observado nas figuras 8 e 9, pode ainda estar associado a exploração de lenha para fins energéticos. Uma das principais fontes de pressão sobre a vegetação nativa da caatinga é a retirada de lenha. Estudos realizados na década de 90 indicavam que 35% da energia primária consumida na região eram provenientes de lenha e carvão vegetal (CAMPELLO et al., 1999). Semelhante a propriedade particular Serrote Branco, muitas áreas desapropriadas especificamente no estado do Ceará, e no Brasil como um todo, tratavam-se de latifúndios improdutivos, possuindo, na sua maior parte, grandes extensões com cobertura florestal bem conservada. Na área em questão, a formação savânica represen-

tava 70% da superfície do imóvel particular. No geral essas áreas com cobertura florestal são as que mais sofrem com a intervenção do novo assentamento, tornando-se sua primeira fonte de subsistência, por meio da retirada de lenha, estacas, mourões e varas (CARVALHO et al, 2000). Portanto, os resultados encontrados neste estudo, divergiram em parte dos encontrados por Lima Júnior e Silva (2014), e Ferreira (2019), este último evidenciou que os projetos de assentamento, criados com proporcionalmente de mais florestas que as demais áreas, convergiram para o padrão de uso da terra observado no município, cuja redução da cobertura florestal ocorreu majoritariamente em período anterior à criação dos assentamentos. A importância do desmatamento ligado aos assentamentos da reforma agrária tem aparecido por repetidas vezes no debate público e acadêmico. No entanto, cabe assinalar que não existe um padrão homogêneo de desflorestamento nos assentamentos, podendo esta prática variar segundo fatores como: tipo de atividade produtiva, acesso ao mercado, padrões culturais dos assentados e tempo de instalação nos assentamentos (TOURNEAU; BURSZTYN, 2010), logo, variando de lugar para lugar.

No tocante ao grau de concordância da imagem classificada com a verdade de campo, têm-se que a acurácia global e o índice Kappa para o método de Máxima Verossimilhança, foram, respectivamente de 0,8531 e 0,6793, por ocasião da validação da imagem TM Landsat 5 (ano 1987). Ademais, para a imagem OLI Landsat 8 (ano 2020), desataca-se um pequeno decréscimo de qualidade na classificação, onde os índices de acurácia global e coeficiente Kappa, foram de 0,7676 e 0,4899, respectivamente. Portanto, no tocante a definição de Landis e Koch

(1977), têm-se que a classificação supervisionada se enquadrrou como muito boa para o ano de 1987, e boa em 2020. Como se vê, o método de classificação apresentaram uma pequena diferença entre os sensores multiespectrais, mais dentro do intervalo de aceitação recomendado na literatura. Resultados semelhantes foram encontrados por Brasileiro et al. (2019). Estes, avaliando a eficiência do algoritmo Máxima Verossimilhança (MAXVER) em imagens do satélite Landsat 8/OLI, constataram que de todas as classes monitoradas (solo exposto, pastagem, área urbana, água e vegetação com caatinga); a única que apresentou valor representativo, considerando o índice Kappa (0,77), foi a formação com caatinga. As demais classes apresentaram índice sempre inferiores a 55%.

Para melhor entender as respostas da vegetação em relação à radiação eletromagnética, muitos índices espectrais de vegetação ou índices de vegetação, foram desenvolvidos e alguns têm sido amplamente utilizados para monitorar a cobertura vegetal (ZANZARINI et al., 2013). Esses índices são combinações de dados espectrais de duas ou mais bandas, selecionadas com o objetivo de sintetizar e melhorar a relação desses dados com os parâmetros biológicos e físicos da vegetação (PONZONI, 2001). Dentre esses índices, o índice de vegetação mais difundido é o *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), tendo seu uso comprovado, por exemplo, na identificação de classes de uso do solo e da cobertura vegetal (KE et al., 2015). A Figura 10, apresenta o resultado da distribuição do NDVI da área da propriedade particular (1987) e do Projeto de Assentamento Serrote Branco-Luiz Ferreira para o ano de 2020.

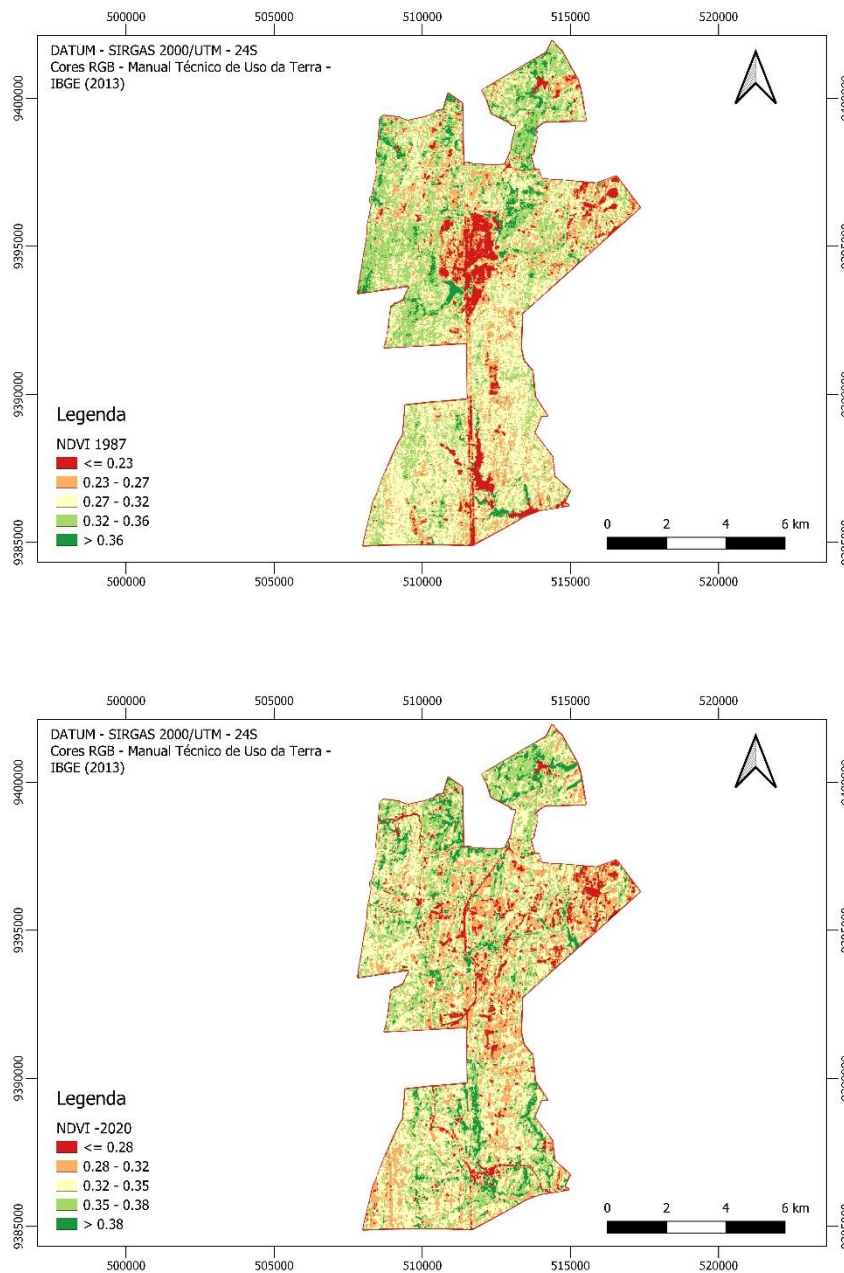


Figura 10: Distribuição do NDVI das áreas do imóvel particular Serrote Branco (1987), e do PA Serrote Branco-Luiz Ferreira (2020)

Após um exercício de sobreposição dos respectivos mapas temáticos de uso e ocupação do solo - referente aos anos de 1987 e 2020 - sobre os mapas de distribuição espaço-temporal de NDVI no respectivo período amostral, e, coletando-se trinta amostras (pixel) representativas de cada classe de uso e ocupação, obteve-se o seguinte resultado dos valores médios de NDVI por classe de uso, representativo do período seco da área estudada: Corpos d'água (NDVI: -0,2016, $\pm 0,1956$); Solo exposto (NDVI: 0,2340, $\pm 0,0345$); Agropecuária (NDVI:

0,2803, $\pm 0,0313$) e Formação Savânica (NDVI: 0,3695, $\pm 0,0838$). Importante destacar, que tais valores de NDVI são representativos do período de estiagem, mês de setembro. Outrossim, constatou-se a diferença existente entre características fitofisionômicas das formações não florestais e florestais, logo, sendo identificadas por meio do NDVI. Corroborando com este resultado, inúmeras pesquisas em regiões semiáridas brasileiras, a exemplo dos trabalhos de Santos et al. (2017) e Aquino et al. (2018), tem demonstrado que em imagens do período

seco, há predominância de menores valores de NDVI, que estão associados ao declínio da atividade fotossintética e consequente perda sazonal da biomassa foliar da caatinga. Santos et al. (2017), observaram que a média dos índices para vegetação com caatinga oscilou de 0,638 no período chuvoso, e 0,316 para o seco. Portanto, bem próximo do encontrado na estação climática de estiagem neste estudo. Já para a pastagem, os supramencionados autores revelaram que o NDVI apresentou médias que variaram entre 0,323 para o chuvoso, e 0,128 para o mês de outubro de 2013 (estiagem), valores abaixo dos observados nesta pesquisa, quando comparado com as áreas empregadas com agropecuária. Conforme

apresentado na Figura 9, têm-se que o valor máximo de NDVI para a área de estudo foi de 0,79, representativo da vegetação verde densa de maior atividade fotossintética, inserida nas margens (APP's) dos reservatórios artificiais e rios intermitentes. Enquanto, o menor valor absoluto foi observado para corpos hídricos, aproximadamente, -0,51. Este resultado corrobora com os valores máximos de NDVI encontrados por Espig, Soares e Santos (2006) ao estudarem as variações sazonais de seis áreas no Semiárido Brasileiro (Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte) por meio desse índice, entre os anos de 2003 e 2004.

5. Conclusões

A aplicabilidade de dados de sensoriamento remoto e ferramentas de geoprocessamento contribuíram eficientemente para o monitoramento ambiental em imóvel rural destinado a projeto de assentamentos no bioma caatinga. Outrossim, foi possível identificar com boa acurácia, em cada classe de uso e ocupação do solo, os respectivos valores de NDVI. Assim sendo, tais técnicas se colocam como uma ferramenta promissora e poderosa, de baixo custo, boa precisão, eficiência e economia de recursos humanos, financeiros e de tempo.

A utilização dos procedimentos de correção atmosférica, restauração, filtragem e contraste de imagens coloridas, contribuíram, respectivamente para o monitoramento ao longo do tempo, atenuação de ruídos, eliminação das feições de baixa frequência, melhoria do realce e aumento da capacidade de discernimento da visão humana. Logo, auxiliando na identificação e vetorização das amostras de treinamentos por ocasião da classificação supervisionada das imagens.

A transmutação da propriedade particular em projeto de assentamento, ocasionou em três décadas, um desprezível crescimento das áreas antropizadas, frente a pequena difusão de solos expostos e atividades agropecuárias. Portanto, a alteração da estrutura ocupacional com a política de reforma agrária, não foi suficiente para trazer consequências significativas de aumento no desmatamento da caatinga

quando comparado com o imóvel rural sob domínio de um único proprietário.

O índice NDVI, mostrou-se como alternativa viável para identificação das classes de uso e cobertura do solo, em época de estiagem na região semiárida. Pois, além de não saturar, apresentou coerência com as características fitofisionômicas das formações não florestais e florestais. Por ocasião da pesquisa, obteve-se mapas temáticos do uso e ocupação do solo, e mapas temáticos de NDVI, em dois momentos distintos: Imóvel particular (1987) e projeto de assentamento (2020).

Os dados de sensoriamento remoto e a técnica de processamento digital de imagens, no monitoramento ambiental de áreas reformadas no semiárido brasileiro deve ser incentivada, de forma a promover o conhecimento de ferramentas úteis e eficazes aos estudos de desenvolvimento regional. Espera-se que esta pesquisa possa contribuir para novas iniciativas de monitoramento de uso e cobertura da terra, especialmente se realizadas em áreas de assentamentos rurais localizados em ambientes semiáridos. A utilização de imagens de melhor resolução espacial e temporal, certamente fornecerá resultados com maior nível de detalhamento, favorecendo o planejamento e a fiscalização das atividades gerenciadas pelos órgãos de assistência técnica, ambientais e fundiárias.

Referências

ACCIOLY, L.J.O. **Degradação do solo e Desertificação no Nordeste do Brasil**. Portal Dia de Campo. Embrapa Solos. 2010. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/876529>. Acesso em: 07 de out de 2021.

ALBUQUERQUE, M. P.; E. S. CANER; A. G. MELLO e M. P. ALBUQUERQUE. **Análise de Imagens e Visão Computacional**. Rio de Janeiro: Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, 2012.

ALVES, D.S. Pesquisa Interdisciplinar em Estudos Ambientais. In: VIEIRA, I.C.G.; TOLEDO, P.M.; SANTOS JÚNIOR, R.A.O (Edt). **Ambiente e Sociedade na Amazônia: Uma Abordagem Interdisciplinar**. Rio de Janeiro: Garamond, 2014, p. 53-77.

ALMEIDA, R.P. **Uso e ocupação do solo em áreas de assentamentos rurais no norte de Minas Gerais**. 2016. 85f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Minas Gerais. Montes Claros, 2016.

ARAÚJO, J. A.; SOUZA, R. F. Abordagens sobre o processo de desertificação: uma revisão das evidências no Rio Grande do Norte. **Geosul**, Florianópolis, v. 32, n. 65, p. 122-143, 2017.

AQUINO, D.N.; ROCHA NETO, O.C.; MOREIRA, M.A.; TEIXEIRA, A.S.; ANDRADE, E.M. Use of remote sensing to identify areas at risk of degradation in the Semi-arid region. **Revista Ciência Agrônoma**, v. 49, n. 3, p. 420-429, 2018.

AZEVEDO, E.C.; MANGABEIRA, J.A.C. **Mapeamento de uso das terras utilizando processamento digital de imagem de sensoriamento remoto**. 12p. Campinas – SP, 2001. (Comunicado Técnico, 7).

BERTIN, J. **Sémiologie Graphique**. Paris: Mouton, 1967. p.8-13.

ROSETTE, A. C., MENEZES, P. M. L. **Erros comuns na cartografia temática**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2011. p.1-9.

BEZERRA, J.M.; MOURA, G.B.A.; SILVA, B.B.; LOPES, P.M.O.; SILVA, E.F.F. Parâmetros biofísicos obtidos por sensoriamento remoto em região semiárida do estado do Rio Grande do Norte, Brasil.

Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.18, n. 1, p.73-84, 2014.

BRASILEIRO, F, G.; OLIVEIRA, C, M, M.; RODRIGUES, R, A.; DELGADO, R, C. Classificação de imagem orbital pelo método máxima verossimilhança em Quixeramobim, Ceará, Brasil. **Revista Geográfica Acadêmica**, v.10, n.1, p. 81-92, 2016.

CAMPELLO, F. B. et al. **Diagnóstico Florestal da Região Nordeste. Projeto Desenvolvimento Florestal para o Nordeste do Brasil** (Projeto IBAMA/PNUD/BRA/93/033). Brasília: IBAMA, 1999. (Boletim Técnico, n. 2).

CARVALHO, A. J. E. et al. **Potencial econômico dos recursos florestais em áreas de assentamento do Rio Grande do Norte**. 2. ed. Natal: MMA, 2000. 13 p. (Boletim Técnico, n. 1).

CHANDOLA, V.; HUI, D.; GU, L.; BHADURI, B.; VATSAVAI, R. R. Using time series segmentation for deriving vegetation phenology indices from MODIS NDVI Data. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON DATA MINING WORKSHOPS, 13, 2010, Sydney, Australia. **Proceedings...** Sydney: IEEE, 2010. p. 202-208.

COSTA, T. C. C.; ACCIOLY, L. J. O.; OLIVEIRA, M. A. J.; BURGOS, N.; SILVA, F. H. B.B. Phytomass mapping of the “Seridó Caatinga” vegetation by the plant area and the normalized indices. **Scientia Agrícola**, v.59, p.707-715, 2002.

CPRM - Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais. Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM. **Projeto rio Jaguaribe: relatório de fotointerpretação**. Ministério das Minas e Energia/Departamento Nacional da Produção Mineral/Convênio DNPM/CPRM. Recife, 1974. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/Geologia/Geologia-Basica/Projeto-Jaguaribe-SW-419.html>. Acesso em: 26 abr. 2016.

CHAVEZ JR., P.S. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. **Remote Sensing of Environment**, v.24, p. 459-479, 1988.

CIRILO, J.A. Políticas públicas de recursos hídricos para o semiárido. **Estudos Avançados**, v.22, n.63, p.61-82, 2008.

CONGALTON, R. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. **Remote Sensing of Environment**, v. 49, n. 12, p. 1671-1678, 1991.

CROSTA, A. P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Campinas: IG/UNICAMP, 1992. 170p.

DEMARCHI, J. C.; PIROLI, E. L.; ZIMBACK, C. R. L. Análise temporal do uso do solo e comparação entre os índices de vegetação NDVI e SAVI no município de Santa Cruz do Rio Pardo -SP usando Imagens Landsat-5. **RA'EGA - O Espaço Geográfico**, v. 21, p.234 -271, 2011.

DEMARTELAERE, AC.F. et al. Causas, consequências e métodos atribuídos para prevenir a desertificação na Caatinga. **Brazilian Journal of Development**, v.7, n.8, p. 83270-83285, 2021.

DOURADO, C.S. **Áreas de risco de desertificação: cenários atuais e futuros frente às mudanças climáticas**. 2017. 141p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas, 2017.

ESPIG, S. A.; SOARES, J. V.; SANTOS, J. R. dos. Variações sazonais do EVI e NDVI em áreas do semi-árido brasileiro. In: SEMINÁRIO EM ATUALIZAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO E SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS APLICADAS À ENGENHARIA FLORESTAL, 7, 2006, Curitiba, Brasil. **Anais...** Curitiba: FPPF, 2006, p. 219-226.

FERREIRA, J. A. **Remanescentes Florestais nos Projetos de Assentamento de Reforma Agrária do Estado de Santa Catarina: Uma Análise Temporal**. 2019. 106p. Dissertação (Mestrado Profissional em Perícias Criminais Ambientais) – Centro de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019.

FERREIRA, E.; DANTAS, A.A.A.; MORAIS, A. R. Exatidão na classificação de fragmentos de matas em imagem do satélite Cbers-CCD, no município de Lavras, MG. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13, 2007, Florianópolis, Brasil. **Anais...** Florianópolis: INPE, 2007, p. 887-894.

FUNCEME - Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. **Degradação e susceptibilidade aos processos de desertificação na microrregião do Médio Jaguaribe e parte das microrregiões do Baixo Jaguaribe e Serra do Pereiro**. Fortaleza: FUNCEME, 2009. 56p.

GONZALES, R. C.; R. E. WOODS. **Processamento Digital de Imagens**. 3 ed. São Paulo: Addison-Wesley, 2010. 644p.

GUERRA, A. J. T.; FULLEN, M. A.; JORGE, M. C. O.; ALEXANDRE, S. T. Soil erosion and conservation in Brazil. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 37, n. 1, p. 81-91, 2014.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Dados do Censo Demográfico de Jaguaratama**. Diário Oficial da União do dia 04/11/2010, 2010. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/jaguaretama/panorama>. Acesso em 17 novembro, 2021.

IPECE - Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Estado do Ceará. Secretaria do Planejamento e Gestão (SEPLAG). **Perfil Básico Municipal: Jaguaratama**. 2009, 17p. Disponível em: <www.ipece.ce.gov.br>. Acesso em: 17 set. 2021.

KE, Y.; IM, J.; LEE, J.; GONG, H.; RYU, Y. Characteristics of Landsat 8 OLI-derived NDVI by comparison with multiple satellite sensors and in-situ observations. **Remote Sensing of Environment**, v.164, p. 298-313, 2015.

LANDIS, J.R.; KOCH, G.G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v.33, n.1, p. 159-174, 1977.

LIMA JÚNIOR, R.M.; SILVA, S.M.P. Mapeamento da cobertura da terra através de imagens LANDSAT 5/TM em assentamentos rurais do município de Apodi/RN, para fins de estudos de ocupação e transformação do território. **Sociedade e Território**, v. 26, n. 2, p. 1 -17, 2014.

LINS, F. A. C.; ARAÚJO, D. C. S.; SILVA, J. L. B.; LOPES, P. M. O.; OLIVEIRA, J. D. A.; SILVA, A. T. C. S. G. Estimativa de parâmetros biofísicos e evapotranspiração real no semiárido Pernambucano utilizando sensoriamento remoto. **Irriga**, v. 1, n. 1, p. 64-75, 2017.

LOPES, J. F. B.; ANDRADE, E. M. A.; LOBATO, F. A. O.; PALÁCIO, H. A. Q.; ARRAES, F. D. D. Deposição e decomposição de serapilheira em área da Caatinga. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 3, n. 2, p. 72-79, 2009.

MYERS, N; MITTERMEIER, R. A; MITTERMEIER, C. G; FONSECA, G. A. B; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, n. 403, p.853-859, 2000.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. **Bioma Caatinga: Contexto, Características e Estratégias de Conservação**. Brasília, 2014. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/biomas/caatinga/item/191>. Acesso em 24 de setembro de 2021.

MORAES, R.M. **Sensoriamento Remoto e Classificação de Imagens**. João Pessoa: Departamento de Estatística – CCEN/UFPB. Campus I. 1999. Disponível em: <http://www.de.ufpb.br/~ronei/procimagem/procimagem.htm>. Acesso em 22 de set 2021.

OLIVEIRA, J. D. A.; MEDEIROS, B. C.; SILVA, J. L. B.; ALBUQUERQUE MOURA, G. B.; LINS, F. A. C.; NASCIMENTO, C. R.; LOPES, P. M. O. Space-temporal evaluation of biophysical parameters in the High Ipanema watershed by remote sensing. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**, v. 7, n. 6, p. 357-366, 2017.

PATRICIA BUFFON, P.; FARINA, F.C.; SILVA, T.S.; ZOUAIN, R.N. Aplicação de técnicas de geoprocessamento na delimitação e avaliação da qualidade ambiental das Áreas de Preservação Permanente (APPs) no entorno do Campus do Vale da UFRGS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15, 2011. Curitiba. **Anais...** Curitiba: INPE, 2011. p.4641.

PEREIRA JÚNIOR, J. S. **Nova delimitação do semi-árido brasileiro**. Brasília: Biblioteca Digital da Câmara dos Deputados, Centro de Documentação e Informação, 2007. 24p.

PIAZZA, E.M.; MARIANO, L.G.; HUMMEL, R.B.; FELKER, R.M.; COGHETTO, F.; STEFANELLO, M.M. Análise comparativa de técnicas de filtragem espacial em área rural na região do Médio Alto Uruguai – RS. **REGET**, v. 17, n. 17, p. 3445-3450. 2013.

PONZONI, F. J., SHIMABUKURO, Y. E., & KUPPLICH, T. M. **Sensoriamento remoto no estudo**

da vegetação. 2 ed. São José dos Campos-SP: Oficina de Textos, 2012. 160p.

PONZONI, F. J. **Comportamento espectral da vegetação**. In. Sensoriamento remoto – reflectância dos alvos naturais. Brasília: UnB, EMBRAPA, 2001. p.157-199.

RODRIGUES, M. T.; RODRIGUES, B. T. Aplicação do Índice da Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) em imagens CBERS 2B no município de Botucatu-SP. **BioEng**, v.6 n.3, p. 139-147, 2012.

BERTIN, J. **Sémiologie Graphique**. Paris: Mouton, 1967. p.8-13.

ROSETTE, A. C., MENEZES, P. M. L. **Erros comuns na cartografia temática**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2011.p. 1-9.

SAMPAIO, E. V. S. B., ARAÚJO, M. S. B., SAMPAIO, Y. S. B. Impactos ambientais da agricultura no processo de desertificação no Nordeste do Brasil. **Revista de Geografia [Online]**, v. 22, n. 1, 2005.

SANTANA, E. F.; BATISTA, L. V.; SILVA, R. M.; SANTOS, C. A. G. Multispectral image unsupervised segmentation using watershed transformation and cross-entropy minimization in different land use. **GIScience and Remote Sensing**, v. 51, n. 6, p. 613-629, 2014.

SANTOS, C.V.B.; BAPTISTA, G.M.M.; MOURA, M.S.B. Sazonalidade do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) a partir de dados do sensor OLI em área de Caatinga e Pastagem. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. 18., 2017. Santos. **Anais...** Santos: INPE, 2017. p. 6679-6685.

SILVA, D.A.O., LOPES, P.M.O., MOURA, G.B.A., SILVA, E.F.F., SILVA, J.L.B., BEZERRA, A.C. Evolução Espaço-Temporal do Risco de Degradação da Cobertura Vegetal de Petrolina PE. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 34, p. 1-11. 2019.

SILVA, F. C.; CRUZ, M. L. B. Análise da fisionomia da cobertura vegetal em ambientes semiáridos: o caso do município de Jaguaratama, estado do Ceará. **REGNE**, v. 2, n. Especial, p.800-809. 2016.

SOUSA, J.S.; SANTOS, E.M. Dinâmica da mudança do uso e cobertura da terra em uma paisagem

da Caatinga protegida e sua zona de amortecimento. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v.11, n.7, p. 219-234. 2020.

TOURNEAU, F. M.; BURSZTYN, M. Assentamentos rurais na Amazônia: contradições entre a política agrária e a política ambiental. **Ambiente & Sociedade**, v. 13, n.1, p. 111-130. 2010.

ZAIDAN, R. T. Geoprocessamento conceitos e definições. **Revista de Geografia**, v.7, n.2, p.195-201. 2017.

ZANZARINI, F. V.; PISSARRA, T. C. T.; BRANDÃO, F. J. C.; TEIXEIRA, D. D. B. Correlação espacial do índice de vegetação (NDVI) de imagem Landsat/ETM+ com atributos do solo. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, v.17, n.6, p. 608-614. 2013.