

**POTENCIALIDADES DO USO DE GEOTECNOLOGIAS PARA A
GESTÃO E PLANEJAMENTO DE UNIDADES DE CONSERVAÇÃO**

POTENTIALS OF THE USE OF GEOTECHNOLOGIES FOR THE MANAGEMENT
AND PLANNING OF CONSERVATION UNITS

Natália Oliveira Dias

Universidade Federal de São João del-Rei, UFSJ, Brasil.
Campus Tancredo Neves. Avenida Visconde do Rio Preto,
S/Nº, Sala 3.06 RE. São João del-Rei-MG, 36301-360.
E-mail: nataliaod@yahoo.com.br

MSc. Carlos Frederico Baumgratz Figueirôa

Prefeitura Municipal de Alto Rio Doce, Brasil.
Avenida dos Pereiras, nº 2315, Bairro Nossa Senhora de Lourdes.
Alto Rio Doce-MG, 36260-000.
E-mail: baumgratz.figueiroa@hotmail.com

Resumo

Desde os tempos remotos das civilizações a natureza sempre foi vista principalmente como um fornecedor incessável de matérias primas, não havendo uma preocupação com o uso indiscriminado de recursos naturais. Tendo em vista a redução de tais recursos, no Brasil, por meio da Lei Federal nº 9.985, de 18 de julho de 2000, cria-se o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC). Entretanto, somente a criação de Unidades de Conservação (UC), não assegura a proteção aos recursos naturais e culturais previstos na legislação. Desta maneira, a utilização de geotecnologias tem sido aplicada às questões ambientais, sendo observada sua utilização em várias partes do mundo. O presente artigo tem como objetivo, por meio de revisão bibliográfica apresentar e discutir potencialidades de alguns métodos e técnicas de geotecnologias que podem ser especificamente eficientes para a gestão e planejamento de UC. Conclui-se que a utilização desses métodos e técnicas quando unidas, auxiliam na gestão de UC, em diversas etapas do planejamento, criação, pesquisa e monitoramento, principalmente na consecução do plano de manejo, principal documento de uma unidade, favorecendo o uso público, oferecendo atrativos para turistas, quando permitido, e fornecendo subsídios para a tomada de decisão.

Palavras-chave: Geoprocessamento; Legislação Ambiental; Sensoriamento Remoto; Sistemas de Informação Geográfica; Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza.

Abstract

Since the remote times of civilizations, nature has always been seen mainly as an incessant supplier of raw materials, with no concern for the indiscriminate use of natural resources. In view of the reduction of such resources, in Brazil, by means of Federal Law 9,985, of July 18, 2000, the National System of Nature Conservation Units (NSCU) is created. However, only the creation of Conservation Units (CU) does not guarantee the protection of natural and cultural resources foreseen in the legislation. Thus, the use of geotechnologies has been applied on environmental issues, and its use has been watched in several parts of the world. This article aims, by means of a bibliographic review, to show and discuss the potentialities of some geotechnology techniques and tools that can be specifically efficient for CU

management and planning. It is concluded that the use of these techniques and tools, when united, assist in several stages of planning, creation, research and monitoring of CU, mainly in the accomplishment of the management plan, the main document of the protect area, supporting public use, offering attractive to tourists, when allowed, and providing knowledge for decision-making by the management of the unit.

Keywords: Geoprocessing; Environmental Legislation; Remoteensing; Geographic Information Systems; National System of Nature Conservation Units.

1. Introdução

Desde os tempos remotos das civilizações é registrado o uso dos recursos naturais em suas relações sociais, sejam essas relações voltadas para a prática de eventos religiosos ou para a instituição de áreas de caça, implicando na sobrevivência humana. A natureza era vista principalmente como um fornecedor incessável de matérias primas, não havendo uma preocupação com o uso indiscriminado desses recursos (DIEGUES, 2001). Ao longo do tempo o homem foi percebendo a diminuição da disponibilidade dos recursos, resultando na criação de legislações, com o objetivo de racionalização dos recursos. Não obstante, o Brasil aderiu aos movimentos de conservação promovidos no mundo paralelamente aos eventos ambientais, com a elaboração de várias legislações ambientais, que culminou no ano de 2000 com a criação do Sistema Nacional de Unidade de Conservação da Natureza (SNUC), que prevê categorias de área protegidas que atendem aos diversos objetivos da conservação e às diferentes demandas da sociedade, além de regulamentar e normatizar os usos nessa modalidade de conservação (BRASIL, 2000).

Segundo Sellars (1997), as Unidades de Conservação (UC) atualmente se apresentam como umas das principais estratégias de proteção da biodiversidade no mundo, consideradas como estratégias de conservação *in situ*, por conservar espécies e ecossistemas em seus habitats naturais, assegurando e recuperando os recursos genéticos faunísticos e florísticos, além de incentivar a manutenção de práticas e culturas de populações tradicionais. A criação dessas áreas prioritárias

para a conservação no Brasil representa um passo fundamental para a proteção dos ecossistemas, sendo necessária uma gestão eficaz para cumprir seu papel perante a legislação.

Entretanto, somente a criação das UC não assegura a proteção dos recursos naturais e culturais previstos na legislação, por isso deve-se atentar à qualidade do processo de gestão, implementando metodologias que visem o benefício da unidade, sendo indispensáveis condições adequadas de infraestrutura, fiscalização e monitoramento (DEBETIR, 2006). O desinteresse político, junto à ausência de profissionais adequados, de recursos financeiros e de instrumentos para planejamento e gestão, como planos de manejo efetivamente implementados tem explicado a precariedade na gestão das UC brasileiras (CRUZ *et al.*, 2013).

A utilização de geotecnologias aplicadas às análises ambientais tem sido prática recorrente de pesquisadores do mundo todo visando gerir e monitorar UC e, preferencialmente, para auxiliar trabalhos de planejamento e fiscalização, delimitação, implementação, zoneamento e manejo, otimizando o diagnóstico e o monitoramento dessas áreas (ARAGÃO; DUARTE, 2016; BALDWIN *et al.*, 2014; KHANDAY; JAVED, 2016; VENTICINQUE *et al.*, 2016; REIS; COSTA, 2017).

Desta maneira, as geotecnologias são caracterizadas pelo conjunto de tecnologias relacionadas à alimentação, tratamento e uso de dados geográficos processados por meio de elementos computacionais (CARVALHO; PINA, 2000). São trabalhadas por meio de informações em *hardware* e *software* que, quando unidos, constituem ferramentas benfeitoras para tomada de decisões. Integradas a essas tecnologias, tem-se ferramentas como Sistemas de Informação Geográfica (SIG), Cartografia Digital, Sensoriamento Remoto (SR), Sistema de Posicionamento Global (GPS), entre outros (ROSA, 2005).

Contudo, o que se observa em larga escala são estudos que apresentam a importância de se aplicar as geotecnologias a gestão de UC, mas não se encontram discussões de quais ferramentas podem ser aplicadas a essas áreas. Desta maneira, o presente artigo tem como objetivo, por meio de revisão bibliográfica, apresentar e discutir potencialidades de algumas técnicas e ferramentas de geotecnologias que podem ser especificamente eficientes para a gestão e planejamento de UC.

2. Histórico do Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC)

A manutenção de Áreas Protegidas no Brasil remete-se aos tempos coloniais onde, ainda que o objetivo não fosse a preservação dos recursos naturais, e sim a manutenção de recursos economicamente importantes, como madeira e minério, culminou na delimitação de Áreas Protegidas (MEDEIROS; IRVING; GARAY, 2004). A mudança de direção do objetivo dessas áreas foi idealizada pelos Estados Unidos em 1872, com a criação do parque de Yellowstone, e que foi replicado no Brasil com a criação do parque nacional do Itatiaia, em 1937 (FEITOSA; WATANABE; MENEZES, 2002).

O histórico de criação do Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC) se inicia com a elaboração do anteprojeto de lei no ano de 1988 pelo então Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (IBDF), posteriormente formalizado anos depois no congresso nacional, como Projeto de Lei nº 2892/92 (MEDEIROS, 2006). Seu texto final, aprovado sob a forma da Lei Federal nº 9.985/2000, trouxe então a conceituação das UC, em que seu Art. 2º são definidas como:

Espaço territorial e seus recursos ambientais, incluindo as águas jurisdicionais, com características naturais relevantes, legalmente instituído pelo Poder Público, com objetivos de conservação e limites definidos, sob regime especial de administração, ao qual se aplicam garantias adequadas de proteção (BRASIL, 2000).

Nesta lei as UC dividem-se em dois grandes grupos: Proteção Integral e Uso Sustentável. Cada categoria possui especificidades quanto ao seu uso e sistema de gestão. O grupo de Proteção Integral, tem por objetivo a preservação da natureza, sendo admitido apenas o uso indireto dos seus recursos naturais. As unidades de Uso Sustentável, por sua vez, buscam compatibilizar a conservação da natureza com o uso sustentável de parcela dos seus recursos naturais (BRASIL, 2000).

Ainda de acordo com a legislação, as UC devem cumprir algumas obrigаторiedades, como a consecução do plano de manejo contendo informações gerais de fauna, flora, levantamento topográfico, socioeconômico, características físicas, situação fundiária; a zona de amortecimento, que apesar de não exigida por todas as categorias, apresenta-se como um ponto importante, sujeitando as

atividades presentes no entorno às normas e restrições específicas, com o propósito de minimizar os impactos negativos sobre as unidades. Outro aspecto previsto na legislação, juntamente com plano de manejo e delimitação da zona de amortecimento, é a implantação do zoneamento ambiental, que organiza e planeja o uso nessas áreas. Essas unidades quando instituídas federais são geridas pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMbio), quando estaduais, pelos órgãos estaduais competentes em cada estado, e quando municipais, pelas prefeituras.

A criação do SNUC propiciou o surgimento de uma nova estratégia para a conservação da biodiversidade no território nacional, que sendo executada efetivamente cumpre os objetivos propostos na legislação de cada unidade, contribuindo para a proteção e conservação da natureza.

3. Geotecnologias e Unidades de Conservação: ferramentas utilizadas e potencialidades de utilização

O vasto uso do SIG e seu atual desenvolvimento por meio de diversos *softwares* livres e não livres, são fundamentais para estruturação e organização de variáveis espaciais, e tem ampliado a geração de alternativas para problemas naturais. A intensidade de seu uso é justificada por compor uma ferramenta que integra o conjunto de programação desenvolvido para representar e manipular grande quantidade de informações representativas do mundo real, através de coordenadas geográficas armazenadas em banco de dados, possibilitando análises espaciais (STAR; ESTES, 1991).

Segundo Jamel *et al.* (2007), a aplicação de geotecnologias para auxiliar o monitoramento e zoneamento de UC apresenta significativos resultados, como a espacialização dos dados dos meios físicos, bióticos, socioeconômicos, topográficos e os demais fatores que forem levados em consideração. Dessa maneira, a ferramenta possibilita uma análise mais clara para os gestores e pesquisadores das UC, promovendo a discussão e a avaliação das informações pertinentes à gestão. Não obstante, o país tem buscado a modernização dos sistemas de fiscalização das unidades de conservação. O estado de Minas Gerais, por exemplo, através do Conselho Estadual de Política Ambiental, ao estabelecer diretrizes da distribuição da

parcela da receita do produto da arrecadação do ICMS, exige a entrega dos arquivos digitais em formato shapefile (MINAS GERAIS, 2018; COPAM, 2019). Este formato é usual para arquivos de aplicações de geotecnologias.

Um aspecto que deve ser levado em consideração é a atualização e a confiabilidade das informações contidas nos planos de manejos das UC, a qualidade da base de dados que definirá a precisão e interpretação da análise, e, conseqüentemente, a gestão e zoneamento da unidade. Em áreas marinhas a utilização de SIG tem se tornado cada vez mais frequentes, devido às ameaças a biodiversidade desses locais pelas atividades humanas e muitas vezes o difícil acesso (RANFT *et al.*, 2011).

O primeiro passo para se iniciar o processamento de elementos geográficos, é a aquisição da base de dados, em que se deve conter as todas as informações relevantes e disponíveis a respeito do objetivo definido pelo pesquisador. No que se refere a Sensoriamento Remoto (SR), Meneses (2012), define como sendo a ciência que utiliza técnicas que tem por objetivo obter informações sem ter contato físico com a área estudada, ou seja, adquirir e analisar uma determinada imagem de satélite da superfície da Terra, por meio de detecção e medição das respostas da radiação eletromagnética da sua superfície. Desta forma, a escolha da imagem a ser trabalhada é de extrema importância, devendo-se atentar a variáveis inerentes ao produto, como o tipo e objetivo do satélite, resoluções, ano e período do ano (período da seca ou chuva). Todos os fatores influenciam na qualidade da informação gerada pelo processamento da imagem.

A utilização de técnicas e ferramentas para classificação de imagens digitais, métodos de análise multicritério e análise multitemporal, além do índice de vegetação por diferença normalizada são amplamente utilizadas. Mais abundantes na literatura, estas vêm sendo amplamente utilizados para gestão das unidades de conservação no Brasil.

3.1. Classificação de Imagens Digitais

A classificação de uma imagem de satélite é a técnica de extração de informações em imagens, onde, por meio de interpretação visual, reconhece padrões e objetos homogêneos que são utilizados para mapear e entender áreas da superfície terrestre (VIEIRA, 2000; JESUS; COELHO, 2013). A imagem classificada tem como

finalidade possibilitar análises da área de atuação e favorecer a interpretação dos dados, permitindo a tomada de decisão. Nos estudos ambientais e relacionados às UC, a classificação pode auxiliar trabalhos, por exemplo, de controle das queimadas, desmatamentos, mapeamento do solo, controle de plantações nos limites da unidade, entre outros, isso aumenta e fornece maior detalhamento e precisão, o que possibilita maior monitoramento e fiscalização da UC (ARAGÃO; DUARTE, 2016, STEWART *et al.*, 2019).

Em meio aos diversos recursos computacionais, as técnicas de classificação de imagens digitais se desenvolvem a partir de classificadores, sendo divididos entre: Classificação Não-Supervisionada e Classificação Supervisionada. Na Classificação Não-Supervisionada cada pixel da imagem é associado a uma classe sem que o usuário tenha conhecimento prévio do número ou da identificação das diferentes classes presentes na região (FONSECA, 2008). Já a Classificação Supervisionada pode ser entendida como a técnica que necessita de conhecimento prévio da área para a consecução e desenvolvimento do algoritmo, para que o mesmo possa distinguir as características da região.

Entre os diversos classificadores de imagens digitais, alguns se destacam pela eficiência, como: Máxima Verossimilhança, Distância Euclidiana, *Bhattacharya*, *Mahalanobis*, *Parallelepiped*, *Spectral Angle Mapper*, *K-Media*, *IsoData*. Em estudos ambientais, a técnica mais utilizada para analisar, processar e extrair dados e informações refere-se ao uso do classificador de Máxima Verossimilhança, caracterizado pela sua alta acurácia, ou seja, aquele cujo resultado mais se aproxima da realidade da região de interesse (JENSEN, 2005). Considera-se que a classificação obtida por meio do estimador da Máxima Verossimilhança baseia-se na extração de informações “pixel a pixel”, a fim de encontrar e classificar regiões com características espectrais homogêneas. Um estimador de distribuição espectral para classes de uso do solo pode ser considerado como sendo gaussiano ou normal, isto é, objetos pertencentes à mesma classe apresentarão resposta espectral próxima à média de valores para aquela classe (RIBEIRO; BAPTISTA; BIAS, 2007). Esta técnica de classificação parte do princípio de que o operador conhece a área a ser analisada, bem como a distribuição das classes, para que, desta forma, quando for aplicada a classificação, a seleção de amostras de treinamento possa ser o mais eficiente e realista possível (CRÓSTA, 1993).

As técnicas de classificação de imagens digitais e as análises estatísticas aplicados em SR e SIG, vêm sendo amplamente utilizados em diversos trabalhos voltados para análises ambientais em Áreas Protegidas, sendo verificado sua aplicação em várias partes do mundo, em grandes ou pequenas cidades. Como exemplo podemos citar os estudos de Sampaio (2006), Santiago *et al.* (2009), Mota e Pons (2011), e Sallustio *et al.* (2017), que analisaram a relação da qualidade ambiental à presença de Áreas Protegidas na Itália, por meio da comparação entre dois mapas temáticos, até o mapeamento de Áreas Protegidas para fins de gestão, zoneamento e monitoramento, como o caso do trabalho de Shahrurum *et al.* (2018), na Malásia, e Dias *et al.* (2020) no interior de Minas Gerais.

3.2. Modelo Digital de Elevação do Terreno

Na caracterização de um ambiente natural é fundamental conhecermos variações topográficas, pois a biodiversidade de uma região é influenciada diretamente pela variação de seu relevo (BOTREL *et al.*, 2002). Por meio de uma quantidade significativa de pontos discretos localizados à superfície (x,y,z), orientados num sistema arbitrário de coordenadas, é possível construir um Modelo Digital de Elevação (MDE), melhor entendido como uma representação da superfície contínua do terreno (MILLER; LAFLAMME, 1958). Cartas topográficas em um sistema de informações geográficas, como as utilizadas por Dimitriou e Zacharias (2010) para elaboração de análise 3D da batimetria de lagos, são ferramentas para representação mais clara de informações verticais do terreno.

Produtos de sensoriamento remoto têm sido utilizados em trabalhos topográficos por fornecerem informações em quantidade e qualidade satisfatória para este fim (VALE *et al.*, 2008). Dados altimétricos são disponibilizados gratuitamente no Brasil pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), por meio da colaboração da missão *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), com resolução espacial de 30 metros. Esses produtos foram gerados por Radar de Abertura Sintética (SAR, em inglês) adquiridos para o projeto no ano de 2000, através de parceria entre a agência espacial alemã *Deutsches Zentrum für Luftund Raumfahrt* (DLR), a agência espacial italiana *Agenzia Spaziale Italiana* (ASI) e a *National Aeronautics and Space*

Administration (NASA) (SADECK, 2013). Segundo Barros, Polidoro e Takeda (2009), o SRTM é cada vez mais empregado nos estudos ambientais.

Em relação aos produtos topográficos de sensores remotos, deve-se dar destaque àqueles advindos do satélite ALOS, lançado em 2006 pela *Japan Aerospace Exploration Agency* (JAXA), contando com 12,5 metros de resolução espacial, podendo as imagens serem adquiridas por meio do *site* da *United States Geological Survey* (USGS). O satélite dispõe de três instrumentos de sensoriamento remoto: dois instrumentos ópticos, sendo o PRISM (*Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping*) e o AVNIR-2 (*Advanced Visible and Near-Infrared Radiometer type 2*) e um radar polarimétrico de abertura sintética de banda larga denominado PALSAR (*Phased Array L-band Synthetic Aperture Radar*) para observação terrestre de dia e de noite. Uma das vantagens de um sensor imageador ativo de alta frequência por micro-ondas como o PALSAR, é a possibilidade de aquisição de dados topográficos reais da superfície terrestre, uma vez que não sofrem interferências de nuvens e vegetação. Sua implantação tem como objetivo gerar dados que contribuam para monitoramento do meio ambiente, mudanças climáticas, uso do solo, entre outros.

A partir das informações altimétricas fornecidas pelo processamento dos dados das missões citadas acima, é possível gerar pontos cotados, curvas de nível, mapas temáticos de hipsometria (elevação) e clinografia (declividade), modelos digitais de elevação do terreno. Além disso, tais informações auxiliam os trabalhos de identificação da rede hidrográfica, bacias de drenagem, áreas de preservação permanente e entender a morfologia do terreno (DIAS, 2016). Tais produtos cartográficos são fundamentais na caracterização ambiental, e conseqüentemente dão subsídios para gestão de uma UC.

3.3. Análise Multicritério

As técnicas de análise multicritério possibilitam o diagnóstico de UC, e têm por objetivo estruturar e combinar as diferentes análises e fatores relacionados a um determinado assunto e favorecer no processo de tomada de decisão. Em estudos ambientais é comumente aplicado para o levantamento e caracterização da fragilidade ambiental atrelado a áreas de expansão urbana.

A fragilidade ambiental pode ser considerada a vulnerabilidade natural de uma determinada região, agregada aos níveis de proteção que os diferentes tipos de uso que desempenham (SPÖRL; ROSS, 2004). Estudos referentes às fragilidades dos ambientes são de extrema relevância ao planejamento ambiental territorial. Essa identificação dos ambientes frágeis possibilita uma definição melhor das tomadas de decisão a serem implementadas no espaço, servindo de apoio para o zoneamento, fornecendo subsídios à gestão do território (KAWAKUBO *et al.*, 2005; RODRÍGUEZ-MERINO, GARCÍA-MURILLO; FERNÁNDEZ-ZAMUDIO, 2020; SPÖRL; ROSS, 2004).

Esses estudos têm por finalidade identificar unidades ambientais em termos de vulnerabilidades aos processos de todos os tipos de degradações. A partir destes estudos é possível obter um panorama da área e validar quais pontos estão susceptíveis ou não a fatores que influenciam negativamente ou positivamente a qualidade ambiental, podendo expor e entender processos antigos, atuais, assim como realizar simulações em relação a usos futuros.

A Análise Multicritério auxilia na gestão ambiental pela capacidade em processar grande quantidade de informações de interesse de maneira eficiente (RICCIOLI *et al.*, 2016) e ainda possibilita analisar qual fator é mais influenciador quando à análise solicitada (TOMCZYK, 2011). Sabe-se que os fenômenos ambientais e sociais são complexos e muitas vezes interdependentes (BARROS, POLIDORO; TAKEDA, 2009). Nesse contexto, em meio a grande quantidade de informações produzidas, surge a utilização da Análise Multicritério como alternativa para melhorar as interpretações e tomadas de decisão (CEREDA JUNIOR; RÖHM, 2014; PEREIRA *et al.*, 2008). Esta análise é uma técnica que averigua alternativas para a resolução de problemas que fazem uso de vários critérios relacionados ao objeto de estudo, sendo possível identificar alternativas prioritárias para o objeto considerado (FRANCISCO *et al.*, 2007). Contudo, a tomada de decisão por meio da análise multicritério requer uma confluência entre as decisões e a identificação dos atributos necessários na obtenção de resultados dos objetivos (RODRIGUES *et al.*, 2002).

Existem diferentes métodos para se desenvolver a análise multicritério, e o mais utilizado se define por Análise Hierárquica de Pesos (AHP), desenvolvido por Thomas Saaty em 1978, na Universidade da Pensilvânia. O método auxilia na

atribuição dos pesos dos planos de informação, para determinar a sua influência a cada um dos critérios estabelecidos a cada análise (MOURA, 2007).

Zhang *et al.* (2013) utilizou o método para suporte ao zoneamento nas Áreas Protegidas na China, enquanto Riccioli *et al.* (2016) buscou a avaliação do grau de biodiversidade, a partir da atribuição de pesos nos indicadores heterogeneidade de uso da terra, distância de áreas urbanas, diversidade do ecossistema da fauna e a presença de corredores ecológicos. Tomczyk (2011) atribuiu variáveis para classificação de trilhas quanto à sensibilidade ambiental, no intuito de avaliar o impacto do turismo sobre as áreas recreativas da área protegida. A análise do método aplicado pode ser utilizada para avaliação da vulnerabilidade a fogo (SEMERARO *et al.*, 2016) e detectar sua possível ocorrência, eventuais deslizamentos de massas de solo, áreas susceptíveis a enchentes, a pressão antrópica na zona de amortecimento e melhor local para se implantar estruturas físicas.

3.4. Análise Multitemporal

A aplicação da análise multitemporal tem o objetivo de entender os processos evolutivos de determinada área, por meio da comparação de imagens de satélite, em determinado período, permitindo comparar cenas antigas e atuais. As informações das imagens são extraídas por meio das técnicas de classificação supracitadas, onde são separadas em classes, sejam elas vegetação, pastagem, edificação, entre outras. No caso de UC, pode-se auxiliar na análise do uso e ocupação do solo e as mudanças da paisagem num determinado período de tempo, e compreender os conflitos territoriais tão presentes na gestão de UC (LI *et al.*, 2004; TOTTRUP; RASMUSSEN, 2004), possibilitando o acompanhamento das transformações ocorridas em torno da unidade e no seu interior. A avaliação dos produtos (mapas) gerados dessa análise permite uma rapidez no entendimento das informações, já que o objetivo dos mapas é a otimização da leitura da informação, e conseqüentemente a tomada de decisão do gestor da unidade.

A técnica de análise multitemporal é comumente utilizado atrelado a outras geotecnologias. Foi utilizado agregado ao modelo digital de elevação para avaliação da taxa de retração da vegetação por Miceli, Fernandes e Estrada (2015), confluência também apresentada em Apan *et al.* (2017), no intuito de avaliar a perda de vegetação

de uma área protegida ao longo de 12 anos. Morais, Gontijo e Piuzana (2016), por sua vez, utilizaram a análise temporal relacionada à classificação das imagens para gestão do uso e ocupação do solo, assim como Cruz-Vázquez, Rioja-Nieto e Enriquez (2019) utilizaram para estudar a paisagem de uma Área Protegida marinha. Estes estudos demonstram a complexidade e a necessidade do conhecimento múltiplo das ferramentas disponíveis de geotecnologias para a estruturação de dados enriquecidos.

3.5. Índice de Vegetação por Diferenças Normalizadas

O Índice de Vegetação por Diferenças Normalizadas (NDVI, em inglês) envolve o cálculo entre a diferença e a soma das bandas do satélite escolhido, sendo as utilizadas, o infravermelho próximo (NIR) e o vermelho (RED) (ROUSE *et al.*, 1973; MASELLI, 2004). Ainda segundo os autores supracitados, o cálculo regulariza a razão simples para o intervalo de -1 a +1, sendo que as áreas com vegetação mais intensa e saudável, se aproximam de +1, e os valores próximos de 0 geralmente representam áreas sem vegetação, e os valores negativos indicam superfícies com água. Segundo Maselli (2004), o índice opera contrastando a intensa absorção de pigmentos de clorofila no vermelho contra a alta refletância do mesófilo foliar no infravermelho próximo.

Desta maneira, o índice de vegetação consiste em uma equação que tem como variáveis as bandas de satélite NIR e RED, sendo a fórmula:

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

Onde,

NIR: valores da banda do satélite de infravermelho próximo

RED: valores da banda do satélite de vermelho

Sua utilização encontra-se usualmente em consonância com a análise multitemporal no monitoramento de Áreas Protegidas (PENG; KUANG; TAO, 2019; GILLESPIE *et al.*, 2018; MASELLI, 2004), no entanto também é utilizado para diagnóstico da paisagem natural (VALLE JUNIOR *et al.*, 2019) ou artificial, como em

áreas plantadas (CHEMURA; MUTANGA; DUBE, 2017), ou ainda na análise de saúde da vegetação (KIM *et al.*, 2017). Peng, Kuang e Tao (2019) afirmam que existe uma nítida influência ao NDVI de fatores naturais, e concluíram que o tipo de solo e a elevação são os que mais interferem no índice, seguidos por temperatura média anual. Sequencialmente, os autores indicam ainda índice de secura, temperatura cumulativa, tipos de relevo, radiação global, tipos de vegetação, precipitação média anual, inclinação, índice de umidade, aspecto da inclinação como os fatores que influenciam no NDVI.

4. Considerações Finais

A utilização de ferramentas e técnicas de geotecnologias auxilia as diversas etapas do planejamento, criação, pesquisa e monitoramento de UC, influenciando na tomada de decisão pela gestão. Na etapa de consecução do plano de manejo, principal documento de UC brasileiras, essa tecnologia se apresenta eficaz, permitindo uma visão integrada e espacializada da área. Segundo a legislação, sugere-se que planos de manejo devem ser revistos a cada 10 anos, desta forma, o monitoramento contínuo utilizando as ferramentas de geotecnologias fornece otimização na gestão municipal, estadual ou federal ao se tratar desses processos.

Os produtos cartográficos advindos do processamento de informações geográficas, além de amparar o gestor da unidade, também podem ser aplicados na confecção de mapas temáticos, favorecendo ao uso público e oferecendo atrativo para turistas em UC onde se permite visitação. Podem ainda auxiliar a manutenção dos recursos naturais pelo monitoramento dos fluxos de visitação, revertendo a economia com gastos de manutenção em arrecadação para a UC.

As ferramentas e técnicas de geotecnologias possuem ilimitados fins, e devem ser utilizados em conjunto, no intuito de um complementar o outro. Suas utilizações permitem ao usuário a aquisição de informações passíveis de subsidiar o manejo das unidades de conservação. A efetividade de gestão das UC no país ocorre no acompanhamento   modernização, hoje intrínseca na sociedade. É importante destacar ainda que o uso de geotecnologias, cada vez mais corriqueiro, dinamiza a

fiscalização e o monitoramento das UC, o que eleva as próprias geotecnologias ao protagonismo da conservação ambiental no Brasil.

5. Referências Bibliográficas

ARAGÃO, J. G.; DUARTE, S. M. A.; Uso das Geotecnologias para a Caracterização do Parque Estadual dois Irmãos, Recife-PE. **Tecno-Lógica**, Santa Cruz do Sul, v. 20, n. 1, p. 26-32, jan./jul. 2016.

BALDWIN, B.; SCHERZINGER, R.; LIPSCOMB, D.; MOCKRIN, M.; STEIN, S. Planning for land use and conservation: Assessing GIS-based conservation software for land use planning. **Res. Note RMRS-RN-70**. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 33 p. 2014.

BARROS, M. V. F.; POLIDORO, M.; TAKEDA, M. M. G. Geração de Modelos Tridimensionais através de Dados do Shuttle Radar Topography Mission para Subsídios no Planejamento Urbano e Estudos Geomorfológicos. **Anais...** VIII Encontro Nacional de Anpege. Curitiba - PR, 2009.

BOTREL, R. T.; OLIVEIRA FILHO, A. T.; RODRIGUES L. A.; CURI, NILTON. Influência do solo e Topografia sobre as Variações da Composição Florística e Estrutura da Comunidade arbóreo-arbustiva de uma Floresta Estacional semidecidual em Ingaí, MG. **Revista Brasil. Bot.**, V.25, n.2, p.195-213, jun. 2002.

BRASIL. **Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000**. Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza. (SNUC). Diário Oficial da União. Brasília, DF, 18 de julho de 2000.

CARVALHO, M. S.; PINA, M. F. **Conceitos básicos de sistemas de informação geográfica e cartografia aplicados à saúde**. Brasília: Organização Panamericana de Saúde. 2000.

CEREDA JUNIOR, A; RÖHM, S. A. Analysis of Environmental Fragility Using Multi-Criteria Analysis (Mce) for Integrated Landscape Assessment. **Journal of Urban and Environmental Engineering**, v.8, n.1, p.28-37. 2014.

CHEMURA, A.; MUTANGA, O.; DUBE, T. Integrating age in the detection and mapping of incongruous patches in coffee (*Coffea arabica*) plantations using multi-temporal Landsat 8 NDVI anomalies. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 57, p. 1-13, 2017.

CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL. **Deliberação Normativa COPAM nº 234, de 24 de julho de 2019**. Estabelece regras para aplicação do fator de qualidade referente às unidades de conservação e áreas de reserva indígena, de

que trata a Lei nº 18.030, de 12 de janeiro de 2009, que dispõe sobre a distribuição da parcela da receita do produto da arrecadação do ICMS pertencente aos municípios. Belo Horizonte, 24 de julho de 2019.

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

CRUZ, J. S.; MELO, M. F.; DIAS, N. O.; VALE, L. C. Avaliação da Efetividade da Implantação e Gestão da Reserva Biológica de Pinheiro Grosso. **Anais...** VI Seminário Brasileiro sobre Áreas Protegidas e Inclusão Social. Belo Horizonte, v. 6, n-1, 2013. 1316p. 2013.

CRUZ-VÁZQUEZ, C.; RIOJA-NIETO, R.; ENRIQUEZ, C. Spatial and temporal effects of management on the reef seascape of a marine protected area in the Mexican Caribbean. **Ocean & Coastal Management**, v. 169, p. 50–57, 2019.

DEBETIR, E. **Gestão de unidades de conservação sob influência de áreas urbanas: diagnóstico e estratégias de gestão na Ilha de Santa Catarina –Brasil**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

DIAS, E. R. Geração de Modelo Digital de Elevação utilizando dados do SRTM como subsídio ao planejamento e gestão territorial do município de Lucena/PB. **Caderno de Geografia**, v.26, n.45, p. 151. 2016.

DIAS, N. O.; MARTINS, F. C. M.; BARROS, K. DE O. Geotecnologia aplicada à diagnose ambiental: Reserva Biológica de Pinheiro Grosso, Barbacena – MG. **Sociedade & Natureza**, v. 32, p. 126-140, 2 mar. 2020.

DIEGUES, A. C. S. **O Mito Moderno da Natureza Intocada**. 3 ed., Editora Hucitec, Núcleo de Apoio à Pesquisa Sobre Populações Humanas e Áreas Úmidas Brasileiras/USP, São Paulo. 2001.

DIMITRIOU, E.; ZACHARIAS, L. Identifying microclimatic, hydrologic and land use impacts on a protected wetland area by using statistical models and GIS techniques. **Mathematical and Computer Modelling**, v. 51, p. 200-205, 2010.

FEITOSA, A. A. F. M. A.; WATANABE, T.; MENEZES, M. A. de. Unidade de conservação no semi-árido nordestino: o caso do Parque Ecológico de Engenheiros Ávidos – PB. **Raízes**, v. 21, n. 01, p. 101-113, 2002.

FONSECA, E. L. da. **Métodos para classificação de imagens digitais multiespectrais: classificadores supervisionados e não supervisionados**. UFRGS – IG – DGEO. 2008.

FRANCISCO, C. E. S.; COELHO, R. M.; TORRES, R. B.; ADAMI, S. F. Espacialização de análise multicriterial em SIG: prioridade para recuperação de Áreas de Preservação Permanentes. **Anais...** SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, XIII. Florianópolis. São José dos Campos: INPE, p.2643-2650. 2007.

GILLESPIE, T. W.; OSTERMANN-KELM, S.; DONG, C.; WILLIS, K. S.; OKIN, G. S.; MACDONALD, G. M. Monitoring changes of NDVI in protected areas of southern California. **Ecological Indicators**, v. 88, p. 485–494, 2018.

JAMEL, C. E. G.; FIGUEIREDO, C. R.; FRANÇA, C. R. D.; COSTA, R. F.; PINTO, D. O. D. R. Utilização de geoprocessamento no zoneamento de unidades de conservação – O caso do Parque Estadual do Desengano – RJ. **Anais... XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Florianópolis, Brasil, INPE, p. 2737-2743. 21-26 abril, 2007.

JENSEN, J.R. **Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective**. 3rd Edition, Upper Saddle River: Prentice-Hall. 526 p. 2005.

JESUS, R, J; COELHO, A, L, N. Análise Temporal da Cobertura Vegetal com o Emprego de Geotecnologias: Estudo De Caso No Município De Cariacica – Es. **ACTA Geográfica**, Boa Vista, v.7, n.14, p. 199-212, 2013.

KAWAKUBO, F. S; MORATO, R. G; CAMPOS, K. C; LUCHIARI, A. ROSS, J. L. S. Caracterização empírica da fragilidade ambiental utilizando geoprocessamento. **Anais... XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Goiânia, Brasil, 2005.

KHANDAY, M. Y; JAVED, K; Prioritization of Sub-Watersheds for Conservation Measures in a Semi Arid Watershed Using Remote Sensing and GIS. **Journal Geological Society of India**. Vol.88, pp.185-196. August 2016.

KIM, H. W.; KIM, J.-H.; LI, W.; YANG, P.; CAO, Y. Exploring the impact of green space health on runoff reduction using NDVI. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 28, p. 81–87, 2017.

LI, J., LEWISA, J., ROWLAND, J., G. TAPPAN, TIESZENC, L. L. Evaluation of land performance in Senegal using multi-temporal NDVI and rainfall series. **Journal of Arid Environments**. v. 59, p.463-480, 2004.

MASELLI, F. Monitoring forest conditions in a protected Mediterranean coastal area by the analysis of multiyear NDVI data. **Remote Sensing of Environment**, v. 89, n. 4, p. 423–433, 2004.

MEDEIROS, R.; IRVING, M; GARAY, I. A proteção da natureza no brasil: evolução e conflitos de um modelo em construção. **Revista De Desenvolvimento Econômico**, v. 6, n. 9, p. 83-93, 2004.

MEDEIROS, R. Evolução das tipologias e categorias de Áreas Protegidas no Brasil. **Revista Ambiente & Sociedade**, v. 9, n. 1, 2006.

MENESES, P.R. **Princípios de sensoriamento remoto**. In: Meneses, P.R., Almeida, T. (Orgs.). Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto (p.1–33). Brasília: UnB; CNPQ, 2012.

MICELI, B. S.; FERNANDES, M. do C.; ESTRADA, A. F. D. análise temporal da cobertura e uso da terra através de observações em superfície modelada na APA Petrópolis, Rio de Janeiro. **Revista Geo UERJ**, n. 26, p. 211-225, 2015.

MILLER, C.; LAFLAMME, R. The digital terrain model - theory and applications. **Photogrammetric Engineering**. 24: p.433-442. 1958.

MINAS GERAIS. **Resolução Conjunta SEMAD/FEAM/IEF/IGAM nº 2.684, 03 de setembro de 2018**. Estabelece a especificação técnica que deverá ser atendida para o correto encaminhamento de dados geoespaciais digitais vetoriais à Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável e suas entidades vinculadas, para padronização dos formatos e aderência à Infraestrutura de Dados Espaciais do Sisema. **Diário Oficial de Minas Gerais**. Belo Horizonte, 03 de setembro de 2018.

MORAIS, M. S.; GONTIJO, B. M.; PIUZANA, D. Análise temporal do uso e ocupação do terreno do Parque Estadual do Biribiri e de sua Zona de Amortecimento, município de Diamantina, Minas Gerais. **Caderno de Geografia**, v.26, n.46, 2016.

MOTA, M. S; PONS, N. A. D. Uso de geoprocessamento para análise do uso e ocupação do solo em áreas de preservação permanente do município de Itajubá – MG – Brasil. **Anais...** XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, INPE p.4586. 30 de abril a 05 de maio de 2011.

MOURA, A. C. M. Reflexões metodológicas como subsídio para estudos ambientais baseados em Análise de Multicritérios. **Anais...** XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 2899-2906. 2007.

PENG, W.; KUANG, T.; TAO, S. Quantifying influences of natural factors on vegetation NDVI changes based on geographical detector in Sichuan, western China. **Journal of Cleaner Production**, v. 233, p. 353-367, 2019.

PEREIRA, S. H. F; CALIJURI, M. L; PEREIRA, S. C. M; BEZERRA, N. R; DE MACEDO, M. N. C. A multicriteria-based location of an industrial park in a defined area in Ipatinga, Minas Gerais State, Brazil. **Soc. nat.** (Online) vol.20 no.1 Uberlândia June 2008.

RANFT, S.; PESCH, R.; SCHRÖDER, W.; BOEDEKER, D.; PAULOMÄKI, H.; FAGERLI, H. Eutrophication assessment of the Baltic Sea Protected Areas by available data and GIS technologies. **Marine Pollution Bulletin**, v. 63, p. 209–214, 2011.

REIS, T. E; COSTA, V, C. Análise da vulnerabilidade na zona de amortecimento do Parque Estadual do Ibitipoca (MG), com o uso de SIG. **Geosul**, Florianópolis, v. 32, n. 63, p 77-96, jan./abr. 2017.

RIBEIRO, R, J, C; BAPTISTA, G, M, M; BIAS, D, S. Comparação dos métodos de classificação supervisionada de imagem Máxima Verossimilhança e Redes Neurais em ambiente urbano. **Anais...** XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Florianópolis, Brasil, 2007.

RICCIOLI, F.; FRATINI, R.; BONCINELLI, F.; EL ASMAR, T.; EL ASMAR, J. P.; CASINI, L. Spatial analysis of selected biodiversity features in protected areas: a case study in Tuscany region. **Land Use Policy**, v. 57, p. 540–554, 2016.

RODRIGUES, D; SILVA, A.; RAMOS, R.; MENDES, J. Avaliação Multicritério da acessibilidade em ambiente SIG: caso de um *campus* universitário, **Encontro de Utilizadores de Informação Geográfica**, VII. 2002.

RODRÍGUEZ-MERINO, A.; GARCÍA-MURILLO, P.; FERNÁNDEZ-ZAMUDIO, R. Combining multicriteria decision analysis and GIS to assess vulnerability within a protected area: An objective methodology for managing complex and fragile systems. **Ecological Indicators**, v. 108, 2020.

ROSA, R. Geotecnologias na Geografia Aplicada. **Revista do Departamento de Geografia**, 16. p.81-90. 2005.

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., Washington, D. C., 1973.

SADECK–Geotecnologias, **The Shuttle Radar Topography Mission**. 2013. Disponível em <https://geotecnologias.wordpress.com/2013/08/06/dados-srtm-banda-x-com-30-m-de-resolucao-espacial-disponiveis-para-o-brasil/>. Acesso 02/09/2017.

SALLUSTIO, L.; TONI, A.; STROLLO, A.; FEBBRARO, M.; GISSI, E.; CASELLA, L.; GENELETTI, D.; MUNAFÒ, M.; VIZZARRI, M.; MARCHETTI, M. Assessing habitat quality in relation to the spatial distribution of protected areas in Italy, **Journal of Environmental Management**, Volume 201, 2017.

SAMPAIO, C. S. Use of the Ground in the Edge of the National Park of Brasília: a Multitemporal Analysis. **Revista Brasileira de Cartografia**. No 58/02, agosto, 2006.

SANTIAGO, M. M; SILVA, H. A. S; GALVINCIO, J. D; OLIVEIRA, T. H. Análise da Cobertura Vegetal Através dos Índices de Vegetação (NDVI, SAVI e IAF) no Entorno da Barragem do Botafogo - PE. **Anais... XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Natal, Brasil, 25-30, INPE, p. 3003-3009. abril 2009.

SELLARS, R. W. **Preserving Nature in the National Parks: A History**. London: ed. Yale University Press. 380p. 1997.

SEMERARO, T.; MASTROLEO, G.; ARETANO, R.; FACCHINETTI, G.; ZURLINI, G.; PETROSILLO, I. GIS Fuzzy Expert System for the assessment of ecosystems vulnerability to fire in managing Mediterranean natural protected areas. **Journal of Environmental Management**, v. 168, p. 94–103, 2016.

SHAHARUM, N. S. N.; SHAFRI, H. Z. M.; GAMBO, J.; ABIDIN, F. A. Z. Mapping of Krau Wildlife Reserve (KWR) protected area using Landsat 8 and supervised classification algorithms. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 10, p. 24–35, 2018.

SPÖRL, C; ROSS, J. L. S. Análise Comparativa da Fragilidade Ambiental com Aplicação de três Modelos. **GEOUSP Espaço e Tempo**, São Paulo, N° 15, pp .39-49, 2004.

STAR, J.; ESTES, J. **Geographic Information Systems: an Introduction**. Englewoods Cliffs, New Jersey. 1991.

STEWART, F. E. C.; VOLPE, J. P.; EATON, B. R.; HOOD, G. A.; VUJNOVIC, D.; FISHER, J. T. Protected areas alone rarely predict mammalian biodiversity across spatial scales in an Albertan working landscape. **Biological Conservation**, v. 240, 2019.

TOMCZYK, A. M. A GIS assessment and modelling of environmental sensitivity of recreational trails: The case of Gorce National Park, Poland. **Applied Geography**, v. 31, n. 1, p. 339–351, 2011.

TOTTRUP, C., RASMUSSEN, M. S. Mapping long-term changes in savannah crop productivity in Senegal through trend analysis of time series of remote sensing data. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 103, p. 545-560, 2004.

VALE, R. C. M; LOBÃO, J. S. B; ROCHA, W. J. S. F; NOLASCO, M. C. Contribuições das geotecnologias ao zoneamento ambiental do setor sul do Parque Nacional Chapada Diamantina / BA. **Revista RAEGA**, Curitiba, n. 16, p. 149-165, 2008.

VALLE JÚNIOR, R. F.; DO, SIQUEIRA, H. E.; VALERA, C. A.; OLIVEIRA, C. F.; FERNANDES, L. F. S.; MOURA, J. P.; PACHECO, F. A. L. Diagnosis of degraded pastures using an improved NDVI-based remote sensing approach: an application to the Environmental Protection Area of Uberaba River Basin (Minas Gerais, Brazil). **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 14, p. 20-33, 2019.

VENTICINQUE, E.; FORSBERG, B.; BARTHEM, R.; PETRY, P.; HESS, L.; MERCADO, A; CAÑAS., C; MONTOYA., M; DURIGAN., C; GOULDING., M. An explicit GIS-based river basin framework for aquatic ecosystem conservation in the Amazon. **Earth Syst. Sci. Data**, 8, 651–661, 2016.

VIEIRA, C. A. O. **Accuracy of Remotley Sensing Classification of Agricultural Crops: A Comparative Study**. (Tese de doutorado) – University of Nottingham, 2000.

ZHANG, Z.; SHERMAN, R.; YANG, Z.; WU, R.; WANG, W.; YIN, M.; YANG, G.; OU, X. Integrating a participatory process with a GIS-based multi-criteria decision analysis for protected area zoning in China. **Journal for Nature Conservation**, v. 21, n. 4, p. 225–240, 2013.