

SENSORIAMENTO REMOTO E GEOPROCESSAMENTO NO CONTEXTO BRASILEIRO E INTERNACIONAL: FERRAMENTAS PARA A ANÁLISE DA VEGETAÇÃO

RODRIGUES, Renato de Bozzano¹
ARAUJO, Sérgio Murilo Santos de²

Resumo: Sensoriamento Remoto é o uso integrado de modernos sensores, equipamentos para processamento de dados, equipamentos de transmissão de dados, aeronaves, espaçonaves etc, objetivando estudar o ambiente da Terra por meio de registros e das análises das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias componentes do planeta nas suas mais variadas manifestações. Desse modo, objetiva-se neste estudo obter uma visão geral sobre o conceito do sensoriamento remoto no contexto brasileiro e internacional e as principais ferramentas para a análise da vegetação. Para tanto, realizou-se uma revisão da literatura. Conclui-se que diante das diferentes características de análise do comportamento da vegetação e das condições socioambientais na qual esta se encontra inserida, deve-se utilizar como suporte a combinação de diferentes técnicas disponíveis, onde possam representar da maneira mais fidedigna possível as variações que se busca identificar. Destaca-se como fator relevante e possibilitador do melhoramento dos resultados, a resolução e a qualidade das imagens dos satélites que com a evolução dos sensores pode representar de forma mais detalhada uma determinada área.

Palavras-chave: Sensoriamento Remoto. Vegetação. Meio ambiente.

REMOTE SENSING AND GEOPROCESSING IN THE CONTEXT BRAZILIAN AND INTERNATIONAL: TOOLS FOR THE ANALYSIS OF THE VEGETATION

Abstract: Remote Sensing is the integrated use of modern sensors, data processing equipment, data transmission equipment, aircraft, spacecraft, etc., aiming to study the Earth environment through registers and analyzes of the interactions between electromagnetic radiation and substances of the planet, in their most varied manifestations. In this way, the objective of this study is to obtain an overview of the concept of remote sensing in the Brazilian and international context and the main tools for vegetation analysis. To do so, through a qualitative approach, a review of the literature was developed. It is concluded that, given the different characteristics of vegetation behavior and the socio-environmental conditions in which it is inserted, the combination of different available techniques should be used as a support, where they can represent, in the most reliable way possible, the variations that are seeks to identify. It stands out as a relevant and enabling factor for the improvement of the results, the resolution and the quality of the images of the satellites that with the evolution of the sensors can represent a more detailed area.

Keywords: Remote Sensing. Vegetation. Environment.

¹ Geógrafo. Especialista em educação Ambiental. Mestrando em Recursos Naturais do Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais (PPGRN) pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). E-mail: renato_fip@hotmail.com

² Geógrafo. Doutor em Geociências, Professor do PPGRN/UFCG. E-mail: sergiomurilosa.ufcg@gmail.com

1. Introdução

Sensoriamento Remoto é o uso integrado de modernos sensores, equipamentos para processamento de dados, equipamentos de transmissão de dados, aeronaves, espaçonaves etc, objetivando estudar o ambiente da Terra por meio de registros e das análises das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias componentes do planeta, nas suas mais variadas manifestações (NOVO, 1995).

No Brasil, o sensoriamento remoto tem sido utilizado em áreas importantes para estudos dos ecossistemas, ligadas, também, ao levantamento de recursos naturais e para monitorar o meio ambiente para benefício do desenvolvimento econômico e social local, visto ser um país de consideráveis proporções continentais, mas que, por outro lado, é utilizado em diversas outras regiões do mundo, em qualquer área de aplicação espaço temporal.

Tecnologias como o sensoriamento remoto, proporcionam benefícios como a captação de imagens à distância, projeção de cenários, flexibilidade nos planejamentos, novas estratégias, o melhoramento na preservação de áreas degradadas. As mais variadas técnicas podem auxiliar no processo de gestão e na elaboração de políticas públicas relacionadas a conservação dos recursos naturais, assim como instrumentar o monitoramento destes (CURI, 2011).

O sensoriamento remoto e a aplicação de ferramentas de análise das condições da vegetação, se consolida com grande eficiência no monitoramento e na avaliação das condições espaciais da cobertura vegetal em uma determinada região geográfica, tendo em vista sua capacidade de multiespectral e precisão (RIBEIRO *et al.*, 2016). Alguns índices são comumente utilizados na análise espacial da vegetação, o *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) ou índice de vegetação por diferença normalizada, utilizado na evolução da cobertura vegetal e na sua espacialização, foi desenvolvido por Rouse *et al.* (1973); como forma de minimizar efeito *background*.

Huete (1988), desenvolveu o *Soil-Adjusted Vegetation Index* (SAVI) ou índice de vegetação ajustado ao solo, conseguindo mitigar a influência da reflectância dos solos escuros e claros em meio à vegetação; dentre os índices relevantes a essa análise, pode-se destacar devido a sua relevância em áreas de variabilidade hídrica como nas regiões semiáridas, o índice proposto por Gao (1996), *Normalized Difference Water Index* (NDWI) ou índice de umidade por diferença normalizada, outro índice apresentado por Allen *et al.* (2002) o *Leaf Area Index* (LAI) ou índice de área foliar, tem seus cálculos direcionados a representação da biomassa. Estes índices são

excelentes suportes para o estudo da dinâmica da vegetação, no processo de espacialidade e sazonalidade, subsidiando diferentes pesquisas e análises relacionadas a gestão do ambiente natural. Os Modelos digitais de elevação (MDE) contribuem para o conhecimento do relevo da superfície terrestre, permite a construção de informações sobre a rede de drenagem e o escoamento superficial, avaliação de áreas riscos, no tocante a variabilidade vegetal, possibilita o dimensionamento do processo de lixiviação, além de identificar áreas de conservação e preservação que estão estabelecidas na legislação vigente (HUGGEL *et al.*, 2010).

Desse modo, objetiva-se neste estudo obter uma visão geral sobre o conceito do sensoriamento remoto no contexto brasileiro e internacional, tendo como parâmetro algumas das ferramentas de análise de vegetação.

2. Metodologia

Para o atendimento do objetivo proposto desenvolveu-se uma revisão da literatura em relação ao assunto pesquisado, com a intenção de obter uma visão geral de algumas ferramentas do sensoriamento remoto, ligadas a análise da vegetação e os princípios básicos a ele associados.

Para tanto, nesta revisão de literatura, organizou-se uma busca tendo como base algumas palavras-chaves que, por sua vez, variando entre com variação entre os seguintes termos: Sensoriamento Remoto. Vegetação. Meio ambiente.

Após a conclusão dessa busca nas bases de dados disponíveis no Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, sendo: Scielo, Biblioteca digital de teses e dissertações – BDTD e Portal para periódicos de livre acesso na internet. Selecionou-se os trabalhos excluindo os repetidos. Em seguida, analisou-se o quanto os títulos estavam alinhados ao objetivo deste estudo.

Feito isso, submeteu-se os mesmos à análise do alinhamento do resumo e palavras-chave em relação ao objetivo deste estudo, novamente. Restou-se, então, vinte e quatro trabalhos com títulos, resumos e palavras-chave alinhados. Estes trabalhos foram publicados nos últimos quarenta anos e estão disponíveis de forma gratuita nessas bases.

Ressalta-se que essa revisão da literatura e a organização dos recortes bibliográficos foram realizadas no segundo semestre de 2017, no entanto, abrangeu-se estudos dos anos

1980, quando a discussão sobre esta temática consegue ganhar mais espaço no meio acadêmico, até o ano de 2018, considerando que isso contribuiria com uma discussão mais abrangente e relevante para este trabalho.

3. Conceito de Sensoriamento Remoto e seus princípios

Com a invenção da câmera, há quase dois séculos, possibilitou-se o desenvolvimento de tecnologia do sensoriamento remoto dos tempos hodiernos. Embora as primeiras fotografias fossem consideravelmente bem primitivas, foram consideradas como "alambiques" no solo, a ideia e a prática de olhar para a superfície da Terra surgiram no século XIX, por volta dos anos 40, a partir de imagens registradas de câmeras fixadas a balões objetivando mapeamento topográfico. Certamente, uma das tecnologias tidas como inovadora do século foi à conhecida frota de pombos, que funcionou como novidade na Europa.

Já na primeira Guerra Mundial, os sistemas desenvolvidos com câmeras em aviões possibilitaram vistas aéreas de áreas de superfície relativamente grandes, que, por sua vez, se mostraram inestimáveis no reconhecimento militar. A partir disso, até o início da década de 60, a fotografia aérea permaneceu como a ferramenta padrão indispensável para representação da superfície de uma perspectiva vertical ou oblíqua, holística.

O sensoriamento remoto por satélite pode ser rastreado até os primeiros dias da era espacial (programas russos e americanos) e, na verdade, começou como uma abordagem dupla para superfícies de imagens usando vários tipos de sensores de espaçonaves.

Nos idos do ano de 1946, os foguetes V-2, adquiridos da Alemanha após a Segunda Guerra Mundial, foram lançados em grandes altitudes em White Sands, Novo México. Esses foguetes, embora nunca atingissem a órbita, continham câmeras de filme ou ainda automatizadas que tiravam fotos enquanto o veículo subia.

Então, com o surgimento do programa espacial na década de 1960, os cosmonautas e astronautas em órbita da Terra agiam como os turistas tirando fotos pela janela de suas espaçonaves.

O termo "sensoriamento remoto", usado pela primeira vez nos Estados Unidos nos anos 50 pela Sra. Evelyn Pruitt, do Escritório de Pesquisa Naval dos EUA, é comumente usado para descrever a ciência - e arte - de identificar, observar e medir um objeto, sem entrar em contato diretamente com ele. Este processo envolve, então, a detecção e a medição de

radiação de diferentes comprimentos de onda refletidos ou emitidos de objetos ou materiais distantes, pelos quais eles podem ser identificados e categorizados por classe ou tipo, substância e distribuição espacial.

Desse modo, na literatura são encontradas várias definições do que é Sensoriamento Remoto. De acordo com Novo (2010) o sensoriamento remoto pode ser definido como a utilização de aeronaves, espaçonaves equipadas com modernos sensores capazes de registrar a Radiação Eletromagnética (REM), proporcionando a análise das interações com distintas substâncias existentes na superfície terrestre em suas mais diversas manifestações.

A forma pelo qual a informação é transmitida do objeto aos sensores se dá através da REM, sendo esta, o mecanismo de interatividade dinâmica da energia com a matéria, gerada sempre que cargas elétricas são aceleradas.

Deteção e discriminação de objetos ou características da superfície significa detectar e gravação de energia radiante refletida ou emitida por objetos ou superfície material. Objetos diferentes retornam diferentes quantidades de energia em diferentes bandas do espectro eletromagnético, incidentes sobre ele. Isso depende a propriedade do material (estrutural, química e física), rugosidade da superfície, ângulo de incidência, intensidade e comprimento de onda da energia radiante.

O Remote Sensing é basicamente uma ciência multidisciplinar que inclui uma combinação de várias disciplinas, como óptica, espectroscopia, fotografia, computador, eletrônica e telecomunicações, lançamento de satélites, etc. tecnologias são integradas para atuar como um sistema completo em si, conhecido como Sistema de sensoriamento remoto. Existem vários estágios em um sensoriamento remoto processo, e cada um deles é importante para o sucesso da operação.

Para Morais (2002), a definição de sensoriamento remoto está ligada diretamente a aquisição de informações de objetos compositores da superfície da Terra com que necessariamente aconteçam contatos diretos, na qual pode-se citar alguns usos específicos de imagens de sensoriamento remoto da Terra, tais como a deteção de incêndios florestais que podem ser mapeados a partir do espaço, permitindo que os guardas florestais vejam uma área muito maior do que a do solo.

No mais, o sensoriamento remoto também pode ser utilizado no rastreamento de nuvens para ajudar a prever o tempo ou assistir vulcões em erupção, e ajudar a observar tempestades de poeira; no acompanhamento do crescimento de uma cidade e mudanças em

terras agrícolas ou florestas ao longo de vários anos ou mesmo décadas, bem como para mapear o fundo do oceano.

Já para Aggarwal (2004, p. 24), sensoriamento remoto é:

Uma técnica para observar a superfície da terra ou atmosfera de fora do espaço usando satélites (espaço) ou do ar usando aeronaves (aerotransportadas). O sensoriamento remoto usa uma parte ou várias partes do espectro eletromagnético. Registra a energia eletromagnética refletida ou emitida pela superfície da terra. A quantidade de radiação de um objeto (chamada radiância) é influenciada por ambas as propriedades do objeto e a radiação que atinge o objeto (irradiância). Os olhos humanos registram a luz solar refletida por esses objetos e nossos cérebros interpretam as cores, os tons de cinza e as variações de intensidade. Vários tipos de ferramentas e dispositivos são usados para fazer radiação eletromagnética fora desta faixa de 400 a 700 nm visível para o olho humano, especialmente o infravermelho próximo, infravermelho médio, infravermelho térmico e microondas. As imagens de sensoriamento remoto têm muitas aplicações no mapeamento do uso e cobertura da terra, agricultura, mapeamento de solos, silvicultura, planejamento urbano, investigações arqueológicas, observação militar e levantamento geomorfológico, mudanças na cobertura da terra, desflorestamento, dinâmica da vegetação, dinâmica da qualidade da água, crescimento urbano, etc.

Tal explanação corrobora com a ideia de Vilela (2010) que aborda que a aquisição de imagens por sensoriamento remoto é uma forma rápida de obter informações sobre determinada região, é através de um processo que detecta e monitora as características físicas de uma área medindo sua radiação refletida e emitida a uma distância da área alvo, com câmeras especiais coletando imagens remotamente detectadas da Terra.

Para que acontece a interação entre os mecanismos de obtenção de imagens e área de captação, Meneses e Almeida (2012) estabelecem bases para o aperfeiçoamento científico, tendo como pontos principais que a exigência de que não exista nenhuma matéria no espaço entre o objeto e o sensor, como Consequência a possibilidade de transporte do objeto pelo espaço vazio e como processo, a comunicação, formando um elo entre o sensor e o objeto.

Com o desenvolvimento da tecnologia os sensores foram se transformando e adquirindo novas formas e mecanismos de obtenção de imagens e transformações de energia, embora a grande maioria dos sensores tenha sua fonte de energia baseada na radiação solar, equipamentos mais modernos como os sensores ativos (radares e laser) dispõem de fontes próprias de radiação, sendo capazes de eliminar o fator determinante da condição atmosférica e transmitir informações em qualquer condição.

De acordo com Simonett (1983), a Propriedades como a visão sinóptica permite a observação dos alvos em áreas de difícil acesso, outras de grande importância como os tipos de resolução espectral, possibilitadora de estudos de caracterização dos componentes espectrais de diferentes objetos da superfície, resolução espacial que dimensiona a menor distância entre os objetos que o sensor pode identificar como sendo discrepantes, resolução radiométrica capaz de captar as variações de energia em graduação de cinza e a resolução temporal que monitora a frequência da passagem do satélite em um mesmo ponto.

Quanto aos níveis de dados coletados através do Sensoriamento Remoto, Novo (1992), atribui três categorias: laboratório/campo, aeronave e orbital. Os dados coletados na primeira categoria as pesquisas são pautadas na absorção, reflexão e emissão de radiação dos objetos, as fotografias, na segunda as suborbitais, são as aero fotos, na terceira as orbitais, realizadas por satélites artificiais.

3.1 LANDSAT (Land Remote Sensing Satellite)

O Sistema teve início na segunda metade da década de 60, inicialmente denominada de Resources Technology Satellite (ERTS), somente a partir de 1975 passou a se chamar Landsat, teve o projeto iniciado pela Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço (NASA), dedicado exclusivamente à observação dos recursos naturais, com o objetivo de permitir aquisição de dados espaciais, espectrais e temporais da superfície terrestre, de forma global, sinóptica e repetitiva (PELLEGRIN, 2001).

O Landsat-1, primeiro satélite da série, foi lançado em 1972 transportando as câmeras Return Beam Vidicon (RBV) e Multispectral Scanner System (MSS). Assim como o seu antecessor os satélites Landsat 2 e Landsat 3 dispunham dos mesmos equipamentos ressalvadas poucas alterações na última versão.

No ano de 1982 entra em operação o Landsat 4, agora com mais um novo sensor denominado de Thematic Mapper (TM), operando simultaneamente em sete bandas espectrais, Instantaneous Field Of View (IFOV) x ou resolução espacial de 30 x 30 metros, nas seis bandas do visível e do infravermelho refletido e de 120 x 120 metros na banda termal. O perímetro de imageamento por este sensor é de 185 x 185 Km (USGS, 2017).

Dois anos depois o Landsat 5 é lançado com os mesmos sensores do Landsat 4, e apresenta uma resolução temporal de mais ou menos 16 dias (CHUVIECO, 1990). Inicialmente projetado para uma sua vida útil de três anos, o Landsat 5 forneceu dados globais de alta qualidade da superfície da Terra por 28 anos e 10 meses, até entrar em inatividade no ano de 2011.

O Landsat 6 devido a falhas no lançamento não conseguiu orbitar a Terra, assim o seu sucessor Landsat 7 lançado em 1999, equipado com o Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+), equipado com bandas no visível (V), infravermelho próximo (IVP) e infra vermelho médio (IVM) e de 30 metros de resolução, além contar com uma banda pancromática de 15 metros e outra no infravermelho termal (IVT) de 60 metros. O Landsat 7 enviou dados completos para a Terra até 2003, quando passou a apresentar problemas de recepção na parte mecânica do espelho corretor de linha(SLC). Esse problema não prejudicou a coleta de dados, pois o Landsat 5 continuava operando normalmente.

O Landsat 8 também chamado de Landsat Data Continuity Mission(LDCM), entrou em funcionamento no ano de 2013, possui o sensor Operational Land Imager(OLI) com 9 bandas espectrais e o sensor Thermal Infrared Sensor (TIRS) com 2 bandas espectrais no infravermelho termal, projetada para detectar de nuvens do tipo cirros e estudos de áreas costeiras, bandas 10 (10.6 – 11.19 μm) e (1111.5 – 12.51 μm) e resolução espacial de 100 metros (PIRES; FERREIRA JÚNIOR, 2015).

A grande quantidade de informações aliada a longevidade e fornecimento contínuo de dados de qualidade tornam essa série de satélites a principal na área de sensoriamento remoto (EPIPHANIO, 2002), Quadro 1.

Quadro 1: Características dos satélites LANDSAT

Missão Land Remote Sensing Satellite (Landsat)	
Instituições Responsáveis	NASA (National Aeronautics and Space Administration) e USGS (U.S. Geological Survey)

País/Região	Estados Unidos							
Satélite	LANDS AT 1	LANDS AT 2	LANDS AT 3	LANDS AT 4	LANDS AT 5	LANDS AT 6	LANDS AT 7	LAND SAT 8
Lançamento	23/07/1972	22/01/1975	05/03/1978	16/07/1982	01/03/1984	05/10/1993	15/04/1999	11/02/2013
Local de Lançamento	Vandenberg Air Force Base	NASA Kennedy Space Center (KSC)						
Veículo Lançado	Delta 900	Delta 2910	Delta 2910	Delta 3920	Delta 3920	Titan II	Delta-II	Atlas-V 401
Situação Atual	Inativo (06/01/1978)	Inativo (25/02/1982)	Inativo (31/03/1983)	Inativo (1993)	Inativo (22/11/2011)	Inativo (05/10/1993)	Ativo (Interrompeu recepção no Brasil em 31/05/2003)	Ativo
Órbita	Polar, heliossíncrona	Circular						
Altitude	917 km	917 km	917 km	705 km	705 km	705 km	705 km	705 km

Inclinação	99,2°	99,2°	99,2°	98,20°	98,20°	98,20°	98,2°	98,2°
Tempo de Duração da Órbita	103,3 min	103 min	103 min	99 min	99 min	98,9 min	98,9 min	99 min
Horário de Passage m	9:30 AM	9:30 AM	9:30 AM	9:45 AM	9:45 AM	10:00 AM	10:00 AM	1:40 PM
Período de Revisita	18 dias	18 dias	18 dias	16 dias	16 dias	16 dias	16 dias	16 dias
Tempo de vida projetado	1 ano	1 ano	1 ano	3 anos	3 anos	s.d.	5 anos	5 anos
Instrumentos Sensores	RBV e MSS	RBV e MSS	RBV e MSS	MSS e TM	MSS e TM	ETM	ETM+	OLI e TIRS

Fonte: Embrapa (2018)

3.2 CBERS (China-Brazil Earth Resources Satellite, Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres).

Na tentativa de reverter a dependência das imagens de satélite fornecidas por outros países, os governos de Brasil e China celebram em 06 de Julho de 1988 um acordo bilateral para a construção de dois satélites de sensoriamento remoto, o programa foi denominado de

CBERS (China-Brazil Earth Resources Satellite, Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres), a um custo de mais de 300 milhões de dólares e com representação de 30% para o Brasil e 70% para China. Os primeiros satélites CBERS 1 e 2 são praticamente idênticos em seus sensores, e os demais equipamentos e tecnologias que estão a bordo.

O satélite CBERS-1, 2 foram lançados respectivamente nos anos de 1999, 2003 partir do Centro de Lançamento de Taiyuan, na República Popular da China. Compostos por dois módulos. Acomoda os sistemas ópticos (CCD – Câmera Imageadora de Alta Resolução, IRMSS – Imageador por Varredura de Média Resolução e WFI – Câmera Imageadora de Amplo Campo de Visada). O CBERS-2B terceiro satélite da série, tem praticamente as mesmas características dos seus antecessores, apresentando modificação no sistema óptico, onde foi substituído o imageador infravermelho por varredura mecânica (IRMSS), pela câmera imageadora de alta resolução pancromática (HRC).

A continuidade da missão CBERS se deu através de um novo projeto, o CBERS 3 e 4, com características distintas, nova distribuição de custos e participação dos trabalhos, onde se estabeleceu 50% para cada um dos países, novos sensores foram acoplados, estabelecendo uma nova geração de satélites. Embora tenham sensores com novas características, preservam-se características importantes presentes nos satélites anteriores, garantido que os usuários possam manter as atividades sem interrupção. Os satélites foram equipados quatro câmeras (Câmera Pancromática e Multiespectral - PAN, Câmera Multiespectral Regular - MUX, Imageador Multiespectral e Termal - IRS, e Câmera de Campo Largo - WFI) com desempenhos geométricos e radiométricos melhorados.

Esses quatro sensores ópticos operam na faixa espectral do visível e do infravermelho, por meio de resoluções espaciais que variando de 5 a 70 metros. O CBERS 3 foi lançado, no ano de 2012 conforme previsto em seu plano, no entanto, devido falhas no veículo lançados Longa Marcha 4B, o satélite não foi posicionado na órbita que estava prevista, ocasionando sua reentrada na atmosfera terrestre. Após a falha, o lançamento do CBERS-4 foi antecipado para 2014, porém sua previsão de lançamento seria para o ano de 2015.

O Projeto tem previsão de continuidade com o lançamento do CBERS 04A, inicialmente previsto para ser lançamento em 2018, teve seu adiamento decorrente de problemas financeiros por parte do governo Brasileiro, uma nova previsão de lançamento é feita para 2019. Esse novo satélite propõe nova câmera com resolução entre 2 e 60 m, taxa de dados duas a três vezes maior do que o seu antecessor e vida útil de cinco anos.

3.3 Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

Segundo Eastman (1998) o NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) ou IVDN Índice de Vegetação da Diferença Normalizada, foi desenvolvido por Rouse et al, em 1974 no seu artigo *Monitoring Vegetation Systems in The Great Plains With ERTS*. A sua utilização está voltada basicamente para análises de coberturas vegetais em diferentes escalas e regiões.

Silva (2004) afirma que o seu principal ponto é o conceito de razão que reduz várias formas de ruídos multiplicativos como discrepâncias de nuvens, atenuação atmosférica, sombra, de iluminação, e determinadas variações topográficas.

Assim, diante da sua capacidade de destacar o contraste da radiação refletida nos intervalos espectrais do vermelho e infravermelho, diretamente relacionada à atividade fotossintética, assim favorecendo a identificação de distintas fito fisionomias e os impactos relacionados *antropização* (MASCARENHAS; FERREIRA, 2009).

A equação que gera a ação do NDVI é expressa pela reflectância do infravermelho próximo (IVP) e a reflectância do vermelho (V), dividida, respectivamente, pela soma das duas:

$$\text{NDVI} = \frac{\text{IVP} - \text{V}}{\text{IVP} + \text{V}}$$

O índice produz um IV (índice de vegetação) espectral que separa vegetação verde do brilho do solo ao fundo, por meio da utilização primária de dados digitais do Landsat MSS. As imagens NDVI também são capazes de possibilitar, o monitoramento das dinâmicas climáticas de uma respectiva região de acordo com as condições cíclicas anual de precipitação e as respectivas das respostas das plantas aos regimes de chuva ou seca.

3.4 Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI)

A constatação de Huete (1988) de que o NDVI apresentava algumas variações em regiões onde a vegetação é de baixa densidade, os levaram a criação de um novo índice denominado de soil adjusted vegetation index, que tem melhor desempenho em áreas de baixa cobertura vegetal, sendo este uma melhoria do NDVI a partir da aplicação da constante L, minimizando os efeitos da cor do solo nos seus resultados. A equação geradora é:

$$\text{SAVI} = \frac{\text{IVP} - \text{V}}{\text{IVP} + \text{V}} \cdot (1 + \text{L})$$

A constante L varia entre 0 a 1, na cobertura vegetal de menor densidade o fator L é 1, para cobertura com densidade de vegetal intermediária o fator será 0,5, já para áreas muito densas adota-se a constante 0,25, quando o fator L for igual a 0, o índice SAVI será idêntico ao NDVI (Meneses, 2012). Os valores positivos indicam áreas vegetadas e os valores negativos representam, corpos, nuvens ou áreas desvegetadas (ALVARENGA; MORAES, 2014).

Os indicadores SAVI e NDVI representam a densidade e as condições da vegetação verde. O SAVI é uma adaptação do NDVI, no entanto utiliza um fator de ajuste para minimizar o efeito da influência do solo quanto à vegetação, amenizando o background do solo (QI *et. al.*, 2000).

3.5 O NDWI (índice de umidade por diferença normalizada)

O NDWI (índice de umidade por diferença normalizada) foi proposto por Gao (1996), tem grande importância nos estudos da cobertura vegetal, permite o monitoramento de mudanças no estresse hídrico e na biomassa, se relaciona com a presença de água contida nas folhas onde os valores positivos são associados a vegetação verde e os valores negativos à vegetação seca, posto mediante a combinação das bandas espectrais do infravermelho próximo (NIR) e do SWIR (infravermelho de onda curta), o SWIR tem mais sensibilidade a umidade do solo e a quantidade de água presente na vegetação (SILVA *et al.* 2012). A equação gerada é:

$$\text{NDWI} = \frac{\text{NIR} - \text{SWIR}}{\text{NIR} + \text{SWIR}}$$

Há um consenso na literatura (NOVAIS *et al.*, 2011; HOLANDA *et al.*, 2010; GONZAGA *et al.*, 2011; LEIVAS *et al.*, 2013; FERREIRA *et al.*, 2012; OLIVEIRA *et al.*, 2010), quanto a possibilidade de aplicação do NDWI na análise da cobertura vegetal, visto que este índice apresenta excelente resposta às variações sazonais, contribuindo de

forma relevante para o monitoramento e gestão de áreas de interesse ambiental, como a preservação vegetal.

Através desse índice é possível identificar os locais que sofrem com mais ou menos intensidade as interferências humana, bem como os locais mais propensos a aumento ou diminuição da cobertura vegetal, podendo apresentar respostas na classificação dos alvos variados, inclusive em relação aos valores de solo exposto, vegetação densa ou rala, indicando, desta forma, que ao longo de um determinado período de tempo o local analisado vem sofrendo alterações ou não dos recursos naturais (OLIVEIRA, 2013).

3.5 Modelos Digitais de Elevação (MDE)

Uma das melhores formas de se representar as variações superficiais de altitude da Terra é através dos Modelos Digitais de Elevação, estes podem ser utilizados na obtenção de informações sem a necessidade de existir trabalho direto na área, gerando visualizações por meio de uma projeção geométrica ou produzindo cálculos de volume, área, entre outros.

Por apresentar diferentes aplicações, como o monitoramento de florestal, estimativa de perdas de solo, classificação das formas do relevo, esse modelo vem ganhando destaque, principalmente nos estudos geomorfológicos na área das Geociências. Manfré *et al.* (2014) e Solberg *et al.* (2010).

Desse modo, uma gama de MDEs com distintas resoluções estão disponíveis no mercado, de forma gratuita ou pago, portanto ao se optar por trabalhar com desses modelos é primordial considerar fatores como a precisão, as características de aplicação na área, assim como os possíveis erros na aquisição.

De acordo com a EMBRAPA (2014), os MDEs com resolução de até 5 metros, considerados de alta resolução, que possibilitam levantamentos de alta precisão em áreas de difícil acesso, assim como os de resolução de 20 metros, considerados de média resolução, são facilmente encontrados e no mercado. Isso possibilita detalhamentos distintos e possivelmente compatíveis com as aplicações nos estudos.

O melhoramento das resoluções dos sensores imageadores, em consonância com o melhoramento das disponibilidades de memória e o poder de processamento dos computadores, possibilitando a produção de grandes mosaicos de MDEs com níveis de detalhamento antes impossíveis (BADOLATO, 2014).

Embora o melhoramento da tecnologia proporcionou grandes avanços nos últimos anos é necessário ainda que seja considerado a existência de variáveis que incidem em erros, sendo relevante, então, constantes estudos de maneira sistemática na eliminação destas variáveis, pois fatores relacionados ao processamento dos dados, topografia do terreno e a geometria do imageamento, são os erros mais frequentes nos modelos de elevação, (TIMBÓ, 2008).

Através dos índices apresentados neste estudo é possível identificar as áreas mais passíveis aos processos de alteração em função da ação do homem, possibilitando também a identificação de vegetação como uma maior tendência para a degradação, bem como monitorar Áreas de Preservação Permanente (APPs). Diante disto, entende-se que tais índices são ferramentas importantes tanto na gestão quanto na conservação e preservação ambiental.

Face o exposto, entende-se, portanto, que o sensoriamento remoto pode ser definido, em termos gerais, como uma relação de técnicas e instrumentos que observam, coletam, de algum ponto da superfície terrestre, informações espectrais e realiza o tratamento das mesmas, ou seja, informações sobre objetos ou áreas na superfície da Terra sem ser em contato direto com o objeto ou área.

Estas informações, por sua vez, são úteis para várias aplicações, tais como: no mapeamento do uso e cobertura da terra, na agricultura, mapeamento de solos, silvicultura, planejamento urbano, investigações da arqueologia, observação militar e levantamento geomorfológico, mudanças na cobertura da terra, desflorestamento, dinâmica da vegetação, dinâmica da qualidade da água, crescimento urbano, dentre outros, como bem citado por Aggarwal (2004).

4. Considerações finais

Diante o exposto neste estudo e de acordo com o objetivo proposto, qual seja obter uma visão geral sobre o conceito do sensoriamento remoto no contexto brasileiro e internacional e apresentar as principais ferramentas para a análise da vegetação, entendeu-se inicialmente que esta temática tem sido bastante discutida nos últimos anos, mas que ainda carece de aprofundamento teórico e metodológico.

Entendeu-se também em relação às ferramentas e os dados para mapeamento de recursos naturais que possibilita monitorar o uso e ocupação do solo, mapear áreas com maior ou menor incidência de vegetação, além de ser norteador de políticas públicas, ações de

manejo e controle ambiental. Assim, resumiu-se aqui algumas das ferramentas mais utilizadas na técnica no mapeamento de vegetação.

Assim, o sensoriamento permite a análise da vegetação por meio das imagens de satélite se trata de um recurso tecnológico com resultados quase que imediatos e em determinadas situações são os mais eficientes, principalmente quando a análise ocorre em locais pouco povoados.

Observou-se, desse modo, que os dados obtidos através das técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto podem ser direcionados para diferentes estudos, em diferentes áreas do conhecimento vegetal, valendo salientar a importância da aplicação de distintas técnicas para que se obtenha maior acurácia dos resultados, tendo em vista que cada cálculo é ajustado para a obtenção de determinado resultado.

Diante do crescente processo de degradação dos recursos naturais, decorrentes das transformações relacionadas às ações antrópicas, baseadas em um sistema de desenvolvimento meramente econômico em detrimento do equilíbrio ecossistêmico, se faz necessários produções científicas, debates e análises, que proporcionem melhorias na qualidade de vida da população e contribuam com a preservação ambiental.

Enfim, os estudos de ordem ambiental nas suas mais diversas vertentes proporcionam conhecimentos direcionadores e necessárias para o desenvolvimento sustentável. Nessa perspectiva, as ferramentas apresentadas nesse estudo, embora sejam restritas as mais utilizadas, são de grande relevância para a análise de diversas condições apresentadas pela vegetação, essas análises podem ser ajustadas a diferentes recortes espaciais e temporais, mostrando assim a diversidade de possibilidades e a relevância destas.

Por fim, este estudo possui algumas fragilidades, em maior ou menor grau, a exemplo da dificuldade de aprofundar a discussão sobre a temática abordada, a considerar a carência de estudos qualitativos que ainda existe, o que, por outro lado, abre espaço para novos trabalhos que disseminem mais conhecimento teóricos.

Referências

AGGARWAL, S. 2004. 'Principles of remote sensing', in MVK Sivakumar, PS Roy, K Harmsen and SK Saha (eds.) **Satellite Remote Sensing and GIS applications in agricultural meteorology**, Dehra Dun, India, 7–11 July 2003, pp. 23–38, World Meteorological Organisation, Switzerland, 2004.

AB. SÁBER, A. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003.

AESA. **Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba**. Disponível em: <http://geoserver.aesa.pb.gov.br/geoprocessamento/geoportal/mapas.html>
Acesso em 23/05/2018

AGRA, J. T. N.; AGUIAR J. O. **Água, solo e educação ambiental: História, planejamento e gestão**. Campina Grande: EDUFCG, 2008.

ALVARENGA, A. S; MORAES, M. F. Processamento digital de imagens LANDSAT – 8 para obtenção dos índices de vegetação NDVI e SAVI visando a caracterização da cobertura vegetal no município de Nova Lima – MG. **Revista MundoGeo**, 77, jul. /ago. 2014.

BADOLATO, I. S. **Extração de Modelo Digital de Elevações Acelerada em GPU**. 2014. 66f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas e Computação) -Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

CANDIDO, H. G. **Degradação ambiental da bacia hidrográfica do Rio Uberaba/ MG**. 2008. 96 p. Tese (Doutorado em Agronomia - Produção Vegetal) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal. Disponível em: <http://www.fcav.unesp.br/download/pgtrabs/pv/d/2805.pdf>
Acesso em 26/06/2018.

CRISPIM, A. B.; MELO, C. C. F.; ALMEIDA, I. C. S.; OLIVEIRA, L. S.; **Bases introdutórias sobre degradação ambiental no semiárido brasileiro**. In: 3º Seminário Regional Norte e Nordeste de Pós-Graduação em Geografia. 2013. João Pessoa/PB. Anais...João Pessoa/PB: UFPB, 2013. Disponível em: Acesso em 20/03/ 2018.

CHUVIECO, E. **Fundamentos de tele detecção espacial**. Madrid: EdicionesRialp, 1990. 453 p.

CLIMA TEMPO. Disponível em: <https://www.climatempo.com.br/climatologia/6045/condado-pb> Acesso em 20/10/2018.

CONAMA. **Conselho Nacional do Meio Ambiente**. 1986, resolução 001/86. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=23>
Acesso em 20/03/2018.

CPRM. **Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais**. Disponível em: http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/bitstream/doc/16022/2/Rel_Condado.pdf
Acesso em 23/05/2018.

CUNHA, S. B. da; GUERRA, A. J. T. **Degradação ambiental**. In: CUNHA, S. B. da; GUERRA, A. J. T. Geomorfologia de meio ambiente. 10 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011.

CURI, D. **Gestão ambiental**. 1 ed. São Paulo: Person Prentice Hall, 2012.

DNOCS. **Departamento Nacional de Obras Contra a Seca.**

http://www.dnocs.gov.br/~dnocs/doc/canais/perimetros_irrigados/pb/eng_arcoverde.htm
Acesso em: 05/12/2018.

EMBRAPA. **A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Satélites de Monitoramento.** Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2013. Disponível em: https://www.cnpm.embrapa.br/projetos/sat/conteudo/missao_landsat.html Acesso em: 20/11/2018.

EIPHANIO, J. C. N. **Satélites de sensoriamento remoto.** São José dos Campos: DSR INPE, 2002. Disponível em: http://www.dsr.inpe.br/vcsr/files/capitulo_2.pdf Acesso em 26/05/2018. Acesso em: 02/12/2018.

EASTMAN, J. R. **Idrisi for Windows. Manual do usuário.** Trad. HASENACK, H.; WEBER, E. Porto Alegre: UFRGS, Centro de Recursos Idrisi, Brasil, 1998.

FERREIRA, J.M.S; FERREIRA, H. S.; SILVA, H. A.; SANTOS, A. M.; GALVÍNCIO, J. D.; Análise espaço-temporal da dinâmica da vegetação de Caatinga no município de Petrolina-PE, Revista Brasileira de Geografia Física. v. 4, p. 904-922, 2012. Disponível em: <<http://www.ufpe.br/rbgfe>>

FLORENZANO, T. G. **Imagens de satélite para estudos ambientais.** São Paulo: Oficina de Textos; 2002. PMid:12421608.

GOMES, D. D. M.; MENDES L. M. S.; MEDEIROS, C. N.; VERISSIMO, C. U. V.; Análise multitemporal do processo de degradação da vegetação da bacia hidrográfica do Rio Jaibas no Estado do Ceará. **Geografia Ensino & Pesquisa** 2011; 15(2): 41-62.

GONZAGA, E. P.; SANTOS, V. V.; NICÁCIO, R. M.; Análise do comportamento do NDVI e NDWI em períodos de diferentes intensidades pluviométricas no Sertão alagoano, In: X Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 16, Curitiba. Anais do XVI SBSR, Curitiba, PR, p.1736-1743, 2011.

HOLANDA, A.S.S.; GUERRA, C.E., Monitoramento da vegetação da região do Eixo - Forte, no município de Santarém - PA, utilizando imagens dos índices de vegetação NDVI e NDWI In: **III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação**, Recife. Anais p.001-005.

HUETE, A. R. A. Soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, v. 25, p. 295-309, 1988.

HUGGEL, C.; SCHNEIDER, D.; MIRANDA, P. J.; GRANADOS, H. D.; KÄÄB, A. **Evaluation of ASTER and SRTM DEM data for lahar modeling: A case study on lahars from Popocatépetl Volcano, Mexico.** Journal of Volcanology and Geothermal Research 170 (2008) 99–110. Disponível em: www.sciencedirect.com. Acesso em: outubro/2018

INPE. **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.** Divisão de geração de imagens. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/> Acesso em: 02/03/2018.

JENSEN, J. R. Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma perspectiva em recursos terrestres. Tradução: José Carlos Neves Epiphânio. Sao Jose dos Campos, SP: Parentese, 2009.

LEIVAS, F. J.; ANDRADE, R.G.; VICENTE, L. E.; TORRESAN, F. E.; VICTORIA, D. C.; BOLFE, E. L. Monitoramento de seca 2011/2012 a partir do NDWI e NDVI padronizado do SPOT Vegetation. In: XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Foz do Iguaçu. Anais do X SBSR, Foz do Iguaçu, PR, p.364-370, 2013.

MALTCHIK, L. **Nossos rios temporários, desconhecidos, mas essenciais.** Ciência Hoje. 1996 a. v. 21; p.64-65.

MANFRÉ, L. A.; NÓBREGA, R. A. A.; QUINTANILHA, J. A. Regional and local topography subdivision and landform mapping using SRTM-derived data: a case study in southeastern Brazil. **Environmental Earth Sciences**, v. 73, p. 6457–6475. 2010. DOI: 10.1007/s12665-014-3869-2.

MASCARENHAS, L. M. A.; FERREIRA, M. E.; FERREIRA, L. G. Sensoriamento remoto como instrumento de controle e proteção ambiental: análise da cobertura vegetal remanescente na bacia do Rio Araguaia. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 21, n. 1, p. 5–18, abr. 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/sn/v21n1/v21n1a01> Acesso em: 02/04/2018.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. (Orgs.). **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto.** Brasília: Universidade de Brasília / Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, 2012. 266p.

NASA, **National Aeronautics and Space Administration.** Disponível em: <https://landsat.gsfc.nasa.gov/landsat-5/> Acesso em: 24/04/2018.

NOVAIS, L. R.; LIMA, A. C.; RODRIGUES, J. A.; COSTA, A. M. S.; BORGES, E. F.; ANJOS, C. S. Análise da vegetação da Área de Preservação Ambiental de São Desidério - BA a partir do NDVI e NDWI. In: **XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto.** Anais: XV SBSR, Florianópolis, 2011 p.1888-1894.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações.** 4ª ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2010. 387p

_____. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações.** 2 ed. São Paulo: Edgar Blucher, 1995.

OLIVEIRA, J. S. S. **Índices de vegetação (NDVI, IVAS, IAF, NDWI) como subsídio à gestão do uso e ocupação do solo na zona de amortecimento da reserva biológica de Saltinho.** (Dissertação de mestrado em geografia). Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 2013. 91 f.

OLIVEIRA, T. H.; MACHADO, C. C. C.; OLIVEIRA, J.S.S.; GALVÍNCIO, J. D.; PIMENTEL, R. M. M.; SILVA, B. B.; Índice de umidade (NDWI) e espaço-temporal do albedo da superfície da Bacia Hidrográfica do rio Moxotó-PE, **Revista Brasileira de Geografia Física.** V. 3, p.55-69, 2010. Disponível em: <<http://www.ufpe.br/rbgfe>>.

PELLEGRIN, L. A. **Técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicadas ao mapeamento de uso do solo: a bacia do Rio Pará com um Exemplo.** 2001. 109 p.

Dissertação (Mestrado em Tratamento da informação espacial)- Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Disponível em:

<http://www.cpap.embrapa.br/teses/online/DST07.pdf> Acesso em: 24/11/2018

PEREIRA, G. A natureza (dos) nos fatos urbanos: produção do espaço e degradação ambiental. **Revista Desenvolvimento e Meio Ambiente**, Paraná, n.3, p.33-51, 2001.

PIRES, E. G.; FERREIRA JÚNIOR, L. G. **Mapeamento da temperatura de superfície a partir de imagens termais dos satélites Landsat 7 e Landsat 8.** Simpósio brasileiro de sensoriamento remoto, 17 - SBSR, João Pessoa, Abril 2015. Disponível em:

<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2015/files/p1671.pdf> Acesso em: 26/04/2018

Qi J. C. A.; HUETE, A.R.; KERR, Y.H. Modified Soil Adjusted Vegetation Index (MSAVI).1994. **Remote SensEnvironment**. V. 48, p. 119-126.

RIBEIRO, E. P.; NOBREGA, R. S.; MOTA FILHO, F. de O.; MOREIRA, E. B. M. Estimativa dos índices de vegetação na detecção de mudanças ambientais na bacia hidrográfica do rio Pajeú. **Revista Geosul**. Florianópolis, v. 31, n. 62, p. 59-92, jul./ago, 2016.

RIBEIRO, E. P. **Mudanças climáticas e desertificação na Bacia Hidrográfica do Rio Pajeú.** 2016. 178f. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade Federal de Pernambuco. Recife.

ROCHA, C. H. B. **Geoprocessamento: tecnologia transdisciplinar.** 3ªed. Editora do autor, Juiz de Fora - MG, 2000.

SILVA, A. A. **Uso de dados MODIS para o monitoramento ambiental nos cerrados: Um estudo a partir de dados MOD13Q1 realçados através de um modelo de mistura espectral.** Dissertação de Mestrado, Goiânia, 2004.

SILVA, A.H.; GALVÍNCIO, J. D.; PIMENTEL, R.M.M. Conceitos Básicos. in: GALVÍNCIO, J. D (Org) Sensoriamento Remoto e Análise Ambiental. Recife - PE: Editora Universitária - UFPE, Série extensão 15. 2012.

SILVA, E. R. A. C.; SANTANA, S. H. C. de.; , MELO, J. G. S.; MENDES, S. M.; GALVÍNCIO, J. D. A transformação da natureza e as potencialidades do monitoramento ambiental na Lagoa Urbana Olho D'Água-PE: os desafios da complexa relação entre desenvolvimento urbano e a conservação de ambientes naturais. **Revista Guaju**. V. 3, n. 2, 2017.

SOLBERG, S.; ASTRUP, R.; GOBAKKEN, T.; NAESSET, E.; WEYDAHL, D. J. **Estimating spruce and pine biomass with interferometric X-band SAR.** Remote Sensing of Environment, v. 114, pp. 2353-2360, 2010.

SOUZA, M. J. N. de. **Bases Naturais e Esboço do Zoneamento Geoambiental do Estado do Ceará.** In: LIMA, L. C; MORAIS, J. O; SOUZA, M. J. N. de. *Compartimentação territorial e gestão regional do Ceará. Parte I.* Fortaleza: FUNECE, 2010.

SIMONETT, D. S. The development and principles of remote sensing. In: *Manual of remote sensing.* Falls Church, VA: **American Society of Photogrammetry**, 1983. v.1, p. 1-34.

SUDEMA. **Superintendência de Administração do Meio Ambiente.** Paraíba 92: Perfil Ambiental e Estratégia. João Pessoa: SUDEMA, 1992.

TIMBÓ ELMIRO, M. A. **Correção de modelos digitais de elevação INSAR através de superfícies de ajustes geradas por métodos de interpolação espacial.** 2008. 206p. (INPE15382-TDI/1401). Tese (Doutorado em Computação Aplicada) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2008.

USGS. **Science for a changing world. Landsatmissions.** Disponível em: <https://landsat.usgs.gov/what-are-band-designations-landsat-satellites> Acesso em: 24/04/2018

VILELA, M. A. M. A. **Metodologia para Monitoramento da Qualidade da Água de Reservatórios utilizando Sensoriamento Remoto.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Uberlândia, 2010.

ZAPAROLI, F. C. M.; GASPARETTO, N. V. L. Distribuição de solos e sua relação com o relevo em uma vertente no município de Florai-PR. **Boletim de Geografia**, Maringá, v. 28, p. 49-63, 2010.