



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
NÚCLEO DE DESENVOLVIMENTO AMAZÔNICO EM ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA DE BARRAGEM E GESTÃO AMBIENTAL

DANIEL RODRIGUES CHAVES

**ANÁLISE ESPAÇO TEMPORAL DAS BARRAGENS NO ESTADO DO
PARÁ NOS ÚLTIMOS 20 ANOS**

DANIEL RODRIGUES CHAVES

**ANÁLISE ESPAÇO TEMPORAL DAS BARRAGENS NO ESTADO DO
PARÁ NOS ÚLTIMOS 20 ANOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Barragem e Gestão Ambiental da Universidade Federal do Pará para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Prof. Dr. Júnior Hiroyuki Ishihara

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

R696a Rodrigues Chaves, Daniel
Análise espaço temporal das barragens no estado do Pará nos
últimos 20 anos / Daniel Rodrigues Chaves. — 2020.
36 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Júnior Hiroyuki Ishihara
Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Barragem e Gestão Ambiental, Campus
Universitário de Tucuruí, Universidade Federal do Pará, Tucuruí,
2020.

1. Barragens. 2. MNDWI. 3. Análise Temporal. I. Título.

CDD 621.3678

DANIEL RODRIGUES CHAVES

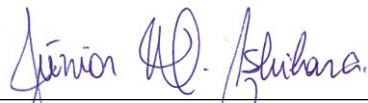
**ANÁLISE ESPAÇO TEMPORAL DAS BARRAGENS NO ESTADO DO
PARÁ NOS ÚLTIMOS 20 ANOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Barragem e Gestão Ambiental da Universidade Federal do Pará para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Prof. Dr. Júnior Hiroyuki Ishihara

Tucuruí, 08 de agosto de 2020.

Aprovado por:



Prof. Dr. Júnior Hiroyuki Ishihara (PEBGA/NDAE/UFPA)
(Orientador)



Prof.ª Dr.ª Fernanda Pereira Gouveia, (PEBGA /CAMTUC/UFPA)
(Examinadora Interno)



Prof. Dr. Ítalo Oliveira Ferreira (UFV)
(Examinador Externo)

RESUMO

O conhecimento da localização de reservatórios de corpos d'água é de extrema importância para o estudo e gestão dos recursos hídricos. No entanto, o cadastramento de tais informações é obrigatório para grandes barragens, porém, é realizado de forma meramente informativa pela maioria dos empreendedores, cabendo a eles, informar corretamente os dados ou simplesmente ignorar a sua importância. O custo de cadastramento *in loco* é alto, além de demandar muito tempo por parte dos órgãos ambientais como ANA, ANM, SEMAS. Neste sentido, imagens orbitais podem oferecer mapas de localização dos barramentos a baixo custo, cobrindo grandes áreas, inclusive de difícil acesso. O presente trabalho tem como principal objetivo realizar uma análise espaço temporal através do índice MNDWI, com o objetivo de subsidiar o cadastramento e localização dos barramentos do estado do Pará, que possuem uma área de lâmina d'água superior a 3.600m², utilizando para tal, 192 imagens do sensor *Landsat* que encobrem todo território estadual. Os resultados obtidos mostraram um aumento significativo de 656% no número total de barragens nos últimos 20 anos, principalmente na região leste do Estado. Sendo identificado 3.704 barragens no Estado do Pará, contudo, só estão cadastradas no site da ANA um total de 314, em todo o Estado. Foi identificado também a relação entre as maiores cidades produtoras de rebanho bovino e de soja como as cidades que possuem o maior número de barramentos. Pode-se concluir, que o método utilizado se mostrou eficiente, uma vez que conseguiu caracterizar de maneira eficiente a evolução das barragens ao longo do tempo, bem como a sua distribuição e variação espacial, podendo assim, auxiliar no planejamento dos órgãos de fiscalização na identificação dos locais mais críticos que carecem de vistoria, tornando dessa forma, a fiscalização mais eficaz e permitindo uma melhor gestão dos recursos hídricos.

Palavras chave: Barragens. MNDWI. Análise Temporal.

ABSTRACT

Knowledge of the location of reservoirs of water bodies is extremely important for the study and management of water resources. However, the registration of such information is mandatory for large dams, however, it is performed in a purely informative manner by most entrepreneurs, and it is up to them to correctly inform the data or simply ignore its importance. The cost of on-site registration is high, in addition to taking a long time on the part of environmental agencies such as ANA, ANM, SEMAS. In this sense, orbital images can offer maps of bus locations at low cost, covering large areas, including difficult to access. The present work has as main objective to perform a temporal space analysis through the MNDWI index, with the objective of subsidizing the registration and location of the buses in the state of Pará, which have an area of water depth greater than 3,600m², using for this purpose , 192 images of the Landsat sensor that cover the entire state territory. The results obtained showed a significant increase of 656% in the total number of dams in the last 20 years, mainly in the eastern region of the State. Having identified 3,704 dams in the State of Pará, however, only a total of 314 are registered on the ANA website, throughout the State. It was also identified the relationship between the largest cattle and soybean producing cities as the cities with the highest number of buses. It can be concluded that the method used proved to be efficient, since it managed to efficiently characterize the evolution of the dams over time, as well as their distribution and spatial variation, thus being able to assist in the planning of the inspection bodies in the identification of the most critical sites that need to be inspected, thus making inspection more effective and allowing better management of water resources.

Keywords: Dams. MNDWI. Temporal Analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Comportamento espectral dos alvos por banda.....	10
Figura 2- Mapa do Estado do Pará.....	17
Figura 3 - Metodologia.....	18
Figura 4 - Infográfico da metodologia de aquisição de dados	18
Figura 5 - Imagem (A) formato vetorial e imagem (B) formato Raster	19
Figura 6 – Mapa de localização das barragens no Estado do Pará.....	20
Figura 7 - Mapa quantitativo das barragens no Estado do Pará por Mesorregiões	21
Figura 8– Evolução percentual de barragens por mesorregião entre 1999 e 2019.....	21
Figura 9– Evolução percentual de concentração de barragens entre 1999 e 2019 por mesorregião.	22
Figura 10- Quantitativo de barramentos em relação à área	22
Figura 11– Municípios com os maiores quantitativos de barragens.....	23
Figura 12– Municípios que tiveram maior aumento percentual de construção de Barragens	23

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características das bandas TM do Satélite Landsat 5	9
Tabela 2– Resultado da classificação, pelo estimador de acerto Kappa.....	20
Tabela 3- Cálculo da densidade de barragens a cada 1000 km².....	21

LISTA DE NOMENCLATURAS E ABREVIATURAS

ANA	Agência Nacional de Águas
FADESPA	Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas do Pará
GNU	<i>General Public License</i>
ICOLD	<i>International Commission on Large Dams</i>
MNDWI	<i>Modified Normalized Difference Water Index</i>
NDWI	<i>Normalized Difference Water Index</i>
MSS	<i>Multispectral Scanner System</i>
OLI	<i>Operacional Terra Imager</i>
PNSB	Política Nacional de Segurança de Barragens
SIG	Sistema de Informação Geográfica
TM	<i>Thematic Mapper</i>
TIRS	<i>Thermal Infra Red Sensor</i>
USGS	<i>United States Geological Survey</i>

Acima de tudo agradeço a Deus por essa realização.

Dedico a minha família, amigos e ao Professor Júnior Hiroyuki Ishihara por toda colaboração e paciência durante o desenvolvimento deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pois ele merece toda honra e toda glória. Sem Ele, nada disso seria possível.

Aos meu pais, que muito fizeram por mim, em toda minha vida.

À minha esposa Mirna e ao meu filho Miguel que me aguentaram nos momentos difíceis dessa caminhada.

Às minhas irmãs que também contribuíram para a realização do mestrado.

Aos meus amigos de Florestal, Jonas Alberto, Rafael Lopes, Rogério Nascimento e que caminhamos juntos, estudamos juntos, moramos juntos e sempre acreditaram em mim desde o ensino fundamental.

Aos meus alunos do Curso Técnico em Agrimensura, que me ajudaram muito no processamento, em especial os alunos: Augusto, Rodrigo e Evandro.

Agradecimento especial ao prof. Júnior Hiroyuki Ishihara, pela orientação, críticas e sugestões construtivas em boas conversas e por acreditar em mim e em meus conhecimentos.

À prof^a. Fernanda Pereira Gouveia e ao prof. Ítalo Oliveira Ferreira que aceitaram o desafio dessa dissertação.

Aos colegas do mestrado, pela amizade e discussões. Em especial o prof. Arimilton, e a turma de 2018 com quem fiz as primeiras disciplinas.

À Universidade Federal do Pará e ao Instituto Federal do Pará, pela estrutura disponibilizada para o desenvolvimento desta dissertação.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO GERAL.....	1
2.	REVISÃO DA LITERATURA.....	6
2.1	<i>A IMPORTÂNCIA DAS BARRAGENS</i>	<i>6</i>
2.1.1	DIQUES.....	6
2.1.2	AÇUDES.....	6
2.1.3	BARRAGENS.....	7
2.2	<i>SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO AOS RECURSOS HÍDRICOS.....</i>	<i>7</i>
2.2.1	SATÉLITES LANDSAT 5 E LANDSAT 8.....	7
2.2.2	COMPORTAMENTO ESPECTRAL DA ÁGUA	9
2.2.3	ÍNDICES ESPECTRAIS	10
2.2.4	NDWI.....	11
2.2.5	MNDWI.....	12
2.3	<i>SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG)</i>	<i>12</i>
3.	APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	12
4.	CONCLUSÕES	24
	REFERÊNCIAS	25

1. INTRODUÇÃO GERAL

Muitas vezes é necessário o acúmulo de água para os mais diversos fins, entre eles: abastecimento humano, dessedentação de animais, uso agrícola, industrial, produção de energia elétrica, controle de cheias, entre outros. Desta forma, faz-se necessário construir uma barragem de forma a armazenar o volume de água pretendido.

Segundo dados do Comitê Internacional de Barragens (ICOLD, 2016), as pequenas barragens representam cerca de 90% do total de barragens construídas. No Brasil, o percentual de pequenas barragens é de 72,56%, ou seja, aproximadamente 12.774 barragens cadastradas pelos diversos órgãos estaduais e federais de acordo com o relatório de segurança de barragens da ANA (2018).

As propriedades rurais criam reservatórios para utilização principalmente em atividades agrícolas, abastecimento humano e para dessedentação de animais (ANA, 2018).

Para realizar a construção de um barramento é necessário seguir algumas etapas fundamentais: estudo de viabilidade técnica, econômica e ambiental (EVTEA), projeto básico, projeto executivo, construção, operação e manutenção. Assim, antes da construção de novas barragens, deve-se, em primeiro lugar, ter conhecimento sobre a localização e distribuição espacial, a área do espelho d'água, a capacidade de armazenamento de água das barragens existentes na bacia, conhecer a topografia da área inundada, a topografia do eixo, a fauna, a flora e o uso e ocupação da área inundada, quantas barragens existem a montante, vazão, etc. Para a grande maioria das barragens do estado do Pará, no entanto, tais informações não existem e, quando existem, são difíceis de serem obtidas, assim, dificultando uma análise global da situação no estado (NAVA, 2018).

As barragens de terra podem ser construídas com equipamentos simples, devido a essa facilidade construtiva, a grande maioria barragens são feitas utilizando este material e possuem a altura do maciço de até 10 metros (PISANIELLO e MCKAY, 2007; MATOS, SILVA, PRUSKI, 2012; PISANIELLO e TINGEY-HOLYOAK, 2017).

As barragens de terra são uma das alternativas mais utilizadas, pois, além de serem construídas com material natural do local, exigem menos investimentos, as fundações são mais simples devido às bases largas, maior facilidade de construção, ou seja, projetos mais simplificados. Já, entre as desvantagens se destacam: maior susceptibilidade a danos e rompimento com a passagem de água, vertedouros de difícil projeção e construção, fragilidade devido à má compactação, necessidade de manutenção contínua, evitando infiltrações, erosões e outros danos (CARVALHO, 2008; PISANIELLO, TINGEY-HOLYOAK e BURRITT, 2012;

PISANIELLO e TINGEY-HOLYOAK, 2016b; PISANIELLO e TINGEY-HOLYOAK, 2017).

No entanto, os pequenos empreendedores contam com poucos recursos para a realização adequada de uma caracterização mínima dos elementos necessários à segurança dos barramentos (ANA, 2016; PISANIELLO e TINGEY-HOLYOAK, 2017).

Em 2010, foi criada a Lei Federal nº 12.334, instituindo a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB). Esta lei aplica-se a barragens destinadas ao acúmulo de água que atendam pelo menos uma das seguintes características: capacidade total do reservatório igual ou maior a 3.000.000 m³; ou altura igual ou maior a 15 (quinze) metros, contados do ponto mais baixo da fundação à crista; ou reservatórios que contenham resíduos perigosos; ou categoria de dano potencial associado, médio ou alto, em termos econômicos, sociais, ambientais ou de perda de vidas humanas.

No decorrer dos últimos anos, inúmeras barragens foram construídas no estado do Pará. Se destacando pelos seguintes fatos: tanto as de domínio público quanto as particulares foram construídas em épocas diferentes e de forma independente, com nenhuma ou pouquíssima integração entre os órgãos responsáveis pela sua construção; sendo a maioria delas, construída avaliando-se apenas as condições locais, isto é, não considerando que as barragens são interligadas hidrológicamente umas com as outras por meio do curso de água que foi represado. Assim, vários desses reservatórios estão em condições inadequadas de operação; com a manutenção sendo feita de forma precária, podendo em casos extremos vir a se romper, causando prejuízos ambientais, econômicos e sociais às comunidades a jusante dos represamentos (RODRIGUES et al., 2007).

O sensoriamento remoto mostra-se uma ferramenta adequada ao planejamento e à gestão dos recursos hídricos de bacias hidrográficas, possibilitando estudos, tanto na etapa de viabilidade quanto no acompanhamento futuro, possibilitando também estudos de uso e ocupação do solo a fim de relacionar o quanto a ocupação afeta no assoreamento dos reservatórios. Sendo assim, através da utilização de imagens orbitais para realização de estudos, permite uma maior redução de custos, maior agilidade na geração de resultados, assim como o mapeamento e monitoramento de áreas remotas com acesso limitado e de grandes áreas (MANTELLI et al., 2012; BRENNER, GUASSELLI, 2015; HUANG et al, 2016; FERREIRA et al, 2016).

Tendo como princípio que os valores de reflectância da água são diferentes de outros usos de coberturas do solo, é possível usar as imagens de satélites para a identificação, mapeamento e delimitação de corpos d'água, entre outros.

Com isso, torna-se possível observar as relações entre os corpos d'água e sua relação com os outros elementos e as dinâmicas de uso da terra presentes na área da barragem e também na bacia hidrográfica que está sendo implantada. Sendo assim, os estudos que exigem o mapeamento de corpos d'água, normalmente utilizam dados de sensoriamento remoto como uma ferramenta de obtenção de informações geoespaciais (WANG et al., 2006; XU, 2006; SERPICO et al., 2012; MEMON et al., 2015).

Usualmente o mapeamento de corpos d'água pode ser abordado de duas formas: pela delimitação manual do corpo d'água ou pela classificação automática de imagens. Utilizando o segundo método, destacam-se produtos obtidos através das técnicas de processamento digital de imagens de sensores ópticos, podendo-se citar, como exemplo, os produtos dos sensores a bordo do satélite Landsat (XU, 2006). Tem-se também os produtos que operam na região espectral das micro-ondas obtidos por processamento de dados de radar, como as imagens do satélite Radarsat (MARINHO et al., 2012). Mais moderno e avançado tem-se ainda a utilização da combinação de duas ou mais bandas do espectro do visível e infravermelho, gerando índices através desses processamentos.

Técnicas de processamento digital de imagens obtidas por sensores ópticos são baseadas em algoritmos de classificação que buscam se aproveitar do comportamento espectral da água para realizar o mapeamento de corpos d'água, tanto pela análise mono bandas ou multibandas. Devido a sua eficiência na separação das classes, são indicadas as análises multibandas para a discriminação de corpos d'água através da utilização de índice espectral (LI et al., 2013, FERREIRA et al., 2016, ZANETTI et al., 2017).

Dentre os métodos e técnicas de processamento de imagens de sensoriamento remoto, com o objetivo de identificação de corpos d'água, destaca-se o método criado por McFetters, em 1996, com o objetivo de representar as feições presentes no ambiente aquático, e realçar a presença das mesmas nas imagens denominado de Índice da Diferença Normalizada de Água (*Normalized Difference Water Index – NDWI*).

Este índice derivou do *NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)*, que se baseia na assinatura espectral característica de uma vegetação verde e sadia, mostrando um evidente contraste entre a combinação das bandas do vermelho e do infravermelho próximo. O NDWI, no entanto, é obtido através de combinações das bandas espectrais do verde e do infravermelho próximo.

A utilização desse índice permite uma melhora significativa na visualização das áreas com alto teor de umidade e corpos de água (BRENNER et al., 2015; GIL, PADOVANI, COELHO, 2019). Sendo quase linear a variação do NDWI com a espessura da lâmina da água.

Logo, esse índice destaca-se no monitoramento do comportamento hídrico (FISHER et al., 2016; YANG et al., 2017; SOLTANIAN et al., 2019; ALI et al., 2019).

Desse modo, a combinação das bandas verde e infravermelho próximo seria feito através da equação 01:

$$NDWI = \frac{\text{banda verde} - \text{infrav. próximo}}{\text{banda verde} + \text{infrav. próximo}} \quad (1)$$

Assim, o NDWI produz uma nova imagem, cujo valor dos pixels varia de -1 a 1, sendo 0 o limite entre os alvos que são água e o que não são classificados como água. Ou seja, os pixels que possuírem valor maior que 0 serão classificados como água ($NDWI > 0$) e todos os pixels com valor igual ou menor que zero, não serão classificados como água ($NDWI \leq 0$). Logo, na imagem gerada pelo NDWI, enquanto as feições da vegetação e de solo são minimizadas, os corpos d'água são salientados, atribuindo maior valor de brilho (MCFEETERS, 1996).

Na sequência, Xu (2006) sugeriu uma modificação na equação do método, surgindo o Índice da Diferença de Água Normalizada Modificado (MNDWI) que troca a banda do infravermelho próximo pela banda do infravermelho médio, objetivando obter melhores resultados nas regiões que possuem áreas edificadas, visto que no NDWI, estas áreas edificadas se misturam com os corpos d'água. A equação 02 do MNDWI é:

$$MNDWI = \frac{\text{banda verde} - \text{infrav. médio}}{\text{banda verde} + \text{infrav. médio}} \quad (2)$$

As principais vantagens do MNDWI sobre o NDWI original são: atribuir à água valores ainda mais positivos, tendo em vista que a banda do infravermelho médio absorve mais energia nos corpos d'água que a banda do infravermelho próximo; distinguir a água das áreas edificadas, uma vez que o uso da banda do infravermelho médio confere, no índice, valores negativos às áreas edificadas; promover maior contraste com as áreas de solo, visto que elas possuem maior refletância na banda do infravermelho médio do que no infravermelho próximo (XU, 2006).

O índice MNDWI é comprovadamente um índice melhorado em relação ao NDWI de acordo com pesquisas realizadas (PEREIRA, LOHMANN, MAGANHOTTO, 2016; CUNHA, SILVEIRA, RUHOF, 2019; GIL, PADOVANI, COELHO, 2019).

Por conta dessas melhorias, utilizou-se neste trabalho o MNDWI, pois revela maiores detalhes dos corpos d'água do que o NDWI, promovendo uma melhor separação dos alvos “água” e “não-água” com área mínima de 3.600m².

Assim, o objetivo deste estudo é a realização do mapeamento das barragens de todo o estado do Pará, realizando uma análise temporal da construção desses barramentos ao longo dos últimos 20 anos (1999 a 2019), utilizando imagens do satélite Landsat 5 e Landsat 8.

Tal propósito torna-se relevante na medida em que se faz necessário monitorar a construção dos barramentos e entender como se deu a evolução temporal no estado. Uma vez que, a fiscalização é precária e muitas vezes os órgãos de fiscalização não tem conhecimento de todos os barramentos, visto que o cadastro em alguns órgãos é meramente informativo, logo, é o empreendedor que vai ao órgão fiscalizador avisar que fez e/ou irá fazer um barramento.

Dentre as 314 barragens cadastradas no estado do Pará, apenas 136 passaram por alguma fiscalização dos órgãos responsáveis (ANA, 2018). De acordo com o relatório de segurança de barragens da ANA, das 17.604 barragens devidamente cadastradas pelos órgãos de fiscalização, 10.812 não possuem informações suficientes para definir se são submetidas ou não à PNSB, logo 61,4% de todas as barragens cadastradas podem ou não fornecer algum risco, mas não é possível informar a magnitude. Assim, este trabalho visa apresentar uma proposta metodológica eficiente, capaz de mapear os barramentos, subsidiando assim, os órgãos gestores na fiscalização e na gestão e planejamento de barragens, além de mapear a evolução espaço-temporal desses empreendimentos.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 A IMPORTÂNCIA DAS BARRAGENS

Compreender o total de água superficial armazenada é extremamente necessário, visto que, quase 30% da população mundial vivem em regiões com escassez de água doce (ANSAR, 2014). Irrigação de culturas agrícolas, humanos, animais e indústrias são os principais usuários da água doce que são armazenadas nos reservatórios (GLEICK, 2003, ROSEGRANT et al., 2009).

Estima-se que a produção de alimentos poderia diminuir em até 60%, e a produção de grãos, como cereais poderiam diminuir até 20% sem as práticas de irrigação (SIEBERT; DOLL, 2010). Para complicar ainda mais a situação, cerca de 80% da água doce disponibilizada no mundo está ameaçada pelo aumento da demanda antrópica e pela degradação das condições ambientais (VÖRÖSMARTY et al., 2010).

Assim, o entendimento por parte dos gestores municipais, estaduais e federais a respeito da capacidade total de armazenamento de água doce deve ser melhorado, de modo que, se concretize um uso de água que seja eficiente e sustentável ao longo do tempo.

2.1.1 DIQUES

É uma barragem construída para evitar a invasão de água em determinada área e mantê-la seca (ANA, 2018).

2.1.2 AÇUDES

Qualquer estrutura artificial de terra, de alvenaria, de concreto simples, ou de armado, com ou sem escavação, para acumulação de águas pluviais diretamente incidentes na respectiva bacia de contribuição ou as oriundas de cursos d'água de característica efêmera ou de desvio de parte da vazão de curso d'água, devendo ser constituído de mínimo maciço e vertedouro (Decreto nº 52.931, de 7 de março de 2016).

2.1.3 BARRAGENS

Qualquer estrutura artificial de terra, de alvenaria, de concreto simples, ou de armado, localizada em um curso d'água superficial permanente ou intermitente, excluídos aqueles de características efêmeras, para fins de contenção ou acumulação de água, devendo ser constituído de mínimo maciço e vertedouro, podendo a sua área alagada atingir área de preservação permanente (Decreto nº 52.931, de 7 de março de 2016).

2.2 SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO AOS RECURSOS HÍDRICOS

Sensoriamento remoto é a ciência de obter informação sobre um objeto sem entrar em contato direto com o objeto, área ou fenômeno sob investigação (REES, 1990).

Atualmente existem dados disponibilizados gratuitamente em várias resoluções espaciais, radiométricas, temporais e espectrais possibilitando assim, a propositura de diversas metodologias capazes de compreender e monitorar o meio ambiente.

Entre as metodologias possíveis de aplicação para detecção e monitoramento de recursos hídricos estão os sensores ópticos como LANDSAT (Collischonn; Clarke, 2016; Arvor et al., 2018; Keith et al., 2018), Batimetria de águas rasas usando imagens RAPIDEYE (Ferreira et al., 2016), Monitoramento em Tempo Real (Pekel, et al., 2014), Missão de Topografia de Radar de Varredura (SRTM) (Wang et al., 2005) e ainda o sensor ALOS-PALSAR (CLEWLEY et al., 2015; LEE et al., 2015; PHAM et al., 2018). No entanto, alguns desses sensores apresentam baixa resolução temporal e/ou espacial (Berni et al., 2009), além de alguns sistemas serem particulares e de alto custo. (DUBE; MUTANGA, 2015).

2.2.1 SATÉLITES LANDSAT 5 E LANDSAT 8

O satélite *Land Remote Sensing Satellite* (Landsat) teve início na década de 1960, a partir de um projeto desenvolvido na Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço (NASA) dos Estados Unidos, com objetivo exclusivamente de delimitar os recursos naturais terrestres. A missão teve lançamento de sete satélites e sua série continua em atividade até hoje.

A série Landsat iniciou em 1972 com o lançamento do satélite *ERTS-* (Landsat -1). E teve sequência com os Landsat 2,3,4 e sobretudo com os Landsat 5 (tabela 2) e 7. A antena do INPE em Cuiabá recebe de forma contínua imagens de todo o território nacional.

Imagens obtidas por satélite podem ser úteis no estudo de identificação de várias feições da superfície terrestre. É necessário interpretar diferentes tipos de imagens para

obtenção de estudos e monitoramentos de queimadas e desflorestamentos. Pode se gerar mapas para uso e cobertura da terra, além de mapear áreas agrícolas e urbanas, acompanhando sua transformação e expansão (MOREIRA, 2011).

Com o satélite LANDSAT de origem norte americana, tornou-se possível monitorar recursos naturais. O lançamento do sensor Thematic Mapper (TM) a bordo do satélite LANDSAT – 5 em 1984 permitiu a possibilidade de novas técnicas de aplicação do sensoriamento remoto. Esse sensor de digitalização avançada e multiespectral foram projetados para alcançar maior resolução da imagem melhorando tanto a fidelidade geométrica quanto a precisão da resolução radiométrica, aumentando o número de bandas espectrais, o que abrange os estudos de quantificação de biomassa florestal (NASA, 2012).

A área do terreno focalizada a uma dada altitude por um instrumento sensor define Instantaneous Field Of View (IFOV). No sensor TM, uma cena apresenta um IFOV de 30 x 30 m nas bandas 1 a 5 e 7, enquanto que a banda 6 o IFOV é de 120 x 120 m do chão (NASA, 2012).

O Landsat 8 é um satélite de observação da Terra lançado em 11 fevereiro de 2013, em Vandenberg *Air Force Base*, na Califórnia. Tem como característica a órbita heliosíncrona, similar ao antecessor Landsat 5. O USGS é o órgão responsável pela coleta, arquivamento, processamento e distribuição dos produtos. possuindo a bordo o sensor *Thermal Infra Red Sensor* (TIRS) que possui uma resolução espacial de 100m x 100m, porém distribuída com 30m x 30m e duas bandas espectrais. Já o sensor *Operational Terra Imager* (OLI) possui um total de 11 bandas espectrais e uma resolução espacial de 30m x 30m, com exceção da banda pancromática que possui resolução de 15m x 15m.

Ambos os sensores possuem resolução radiométricas de 12 bits, mas os seus dados são distribuídos em 16 bits. Essa alta resolução radiométrica possibilita um maior grau de detalhamento das informações coletas pelos sensores OLI e TIRS (NASA, 2013). Outra vantagem das imagens OLI e TIRS é que as mesmas são disponibilizadas com registro, o que dispensa uma tarefa importante.

Tabela 1 - Características das bandas TM do Satélite Landsat 5.

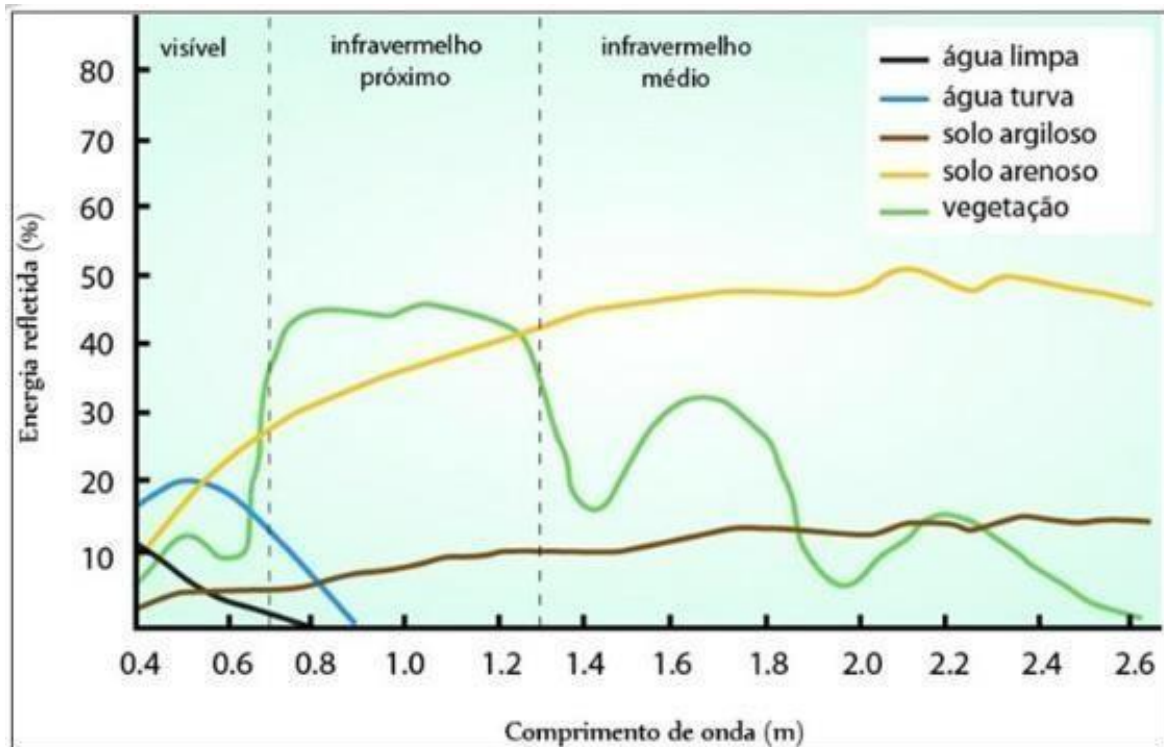
Banda	Intervalo espectral (µm)	Principais características e aplicações das bandas TM do satélite LANDSAT-5
1	(0,45 - 0,52)	Apresenta grande penetração em corpos de água, com elevada transparência, permitindo estudos batimétricos. Sofre absorção pela clorofila e pigmentos fotossintéticos auxiliares (carotenóides). Apresenta sensibilidade a plumas de fumaça oriundas de queimadas ou atividade industrial.
2	(0,52 - 0,60)	Apresenta grande sensibilidade à presença de sedimentos em suspensão, possibilitando sua análise em termos de quantidade e qualidade. Boa penetração em corpos de água.
3	(0,63 - 0,69)	A vegetação verde, densa e uniforme, apresenta grande absorção, ficando escura, permitindo bom contraste entre as áreas ocupadas com vegetação (ex.: solo exposto, estradas e áreas urbanas). Apresenta bom contraste entre diferentes tipos de cobertura vegetal. Permite análise da variação litológica em regiões com pouca cobertura vegetal. Permite o mapeamento da drenagem através da visualização da mata galeria e entalhe dos cursos dos rios em regiões com pouca cobertura vegetal.
4	(0,76 - 0,90)	Os corpos de água absorvem muita energia nesta banda e ficam escuros, permitindo o mapeamento da rede de drenagem e delineamento de corpos de água. A vegetação verde, densa e uniforme, reflete muita energia nesta banda, aparecendo bem clara nas imagens. Apresenta sensibilidade à rugosidade da copa das florestas (dossel florestal). Serve para separar e mapear áreas ocupadas com pinus e eucalipto. Serve para mapear áreas ocupadas com vegetação que foram queimadas. Permite a visualização de áreas ocupadas com macrófitas aquáticas (ex.: aguapé).
5	(1,55 - 1,75)	Apresenta sensibilidade ao teor de umidade das plantas, servindo para observar estresse na vegetação, causado por desequilíbrio hídrico. Esta banda sofre perturbações em caso de ocorrer excesso de chuva antes da obtenção da cena pelo satélite.
6	(10,4 - 12,5)	Apresenta sensibilidade aos fenômenos relativos aos contrastes térmicos, servindo para detectar propriedades termais de rochas, solos, vegetação e água.
7	(2,08 - 2,35)	Apresenta sensibilidade à morfologia do terreno, permitindo obter informações sobre Geomorfologia, Solos e Geologia. Esta banda serve para identificar minerais com íons hidroxilas.

Fonte: (Câmara, 2005).

2.2.2 COMPORTAMENTO ESPECTRAL DA ÁGUA

Na Figura 1 observa-se que no infravermelho próximo e o infravermelho médio são os melhores comprimentos de onda para discriminar corpos d'água, visto que, nessas regiões do espectro eletromagnético os corpos de água aparecem muito escuros, até pretos, devido a absorção praticamente total do fluxo radiante incidente, principalmente se a água for limpa e profunda, ou seja, sem a presença de sólidos em suspensão ou até mesmo matéria orgânica (FLORENZANO, 2007).

Figura 1 - Comportamento espectral dos alvos por banda



Fonte: Florenzano (2007).

2.2.3 ÍNDICES ESPECTRAIS

As técnicas de sensoriamento remoto vêm sendo utilizadas desde a década de 1960 na modelagem de vários parâmetros biofísicos da vegetação, que podem ser medidos através dos índices de vegetação, denominados medidas radiométricas adimensionais que indicam a abundância relativa e a atividade da vegetação verde, incluindo índice de área foliar (IAF), porcentagem de cobertura verde, teor de clorofila, biomassa verde e radiação fotossinteticamente ativa absorvida (JENSEN, 2009).

Segundo Moreira (2011), os índices de vegetação foram criados para tentar diminuir o trabalho de análise de dados orbitais, por meio da maximização de informações espectrais da vegetação no menor número de bandas de operação dos sensores. Eles foram criados no intuito de ressaltar o comportamento espectral entre a vegetação e o solo. Assim sendo, esses índices podem ser obtidos tanto de dados coletados por satélite como por equipamentos próximos ao alvo de interesse.

Nos métodos de mapeamento de supressão vegetacional, desenvolvidos nas áreas de geoprocessamento e sensoriamento remoto, o índice de vegetação mais utilizado para realçar os alvos de interesse como a biomassa vegetal é o Índice de Vegetação por Diferença

Normalizada (NDVI). Este serve para destacar a avaliação do vigor da cobertura vegetal ocorrente em uma área. Este indicador é dado pela razão que envolve a diferença e a soma entre as bandas de alta correlação entre si (MOREIRA, 2011).

Ou seja, trata-se de um índice muito simples, resultante da diferença entre a reflectância do infravermelho próximo (banda 4) e reflectância do vermelho (banda 3), dividida pela soma das duas reflectâncias respectivamente.

Nas imagens NDVI, os níveis de cinza mais claros expressam valores que representam altos índices de vegetação, enquanto os níveis de cinza mais escuros representam baixos índices de vegetação com níveis de cinza próximo a zero. Estes valores baixos correspondem a alvos urbanos como área construída, solo exposto e água.

A importância de análises temporais de imagens da terra e cobertura vegetal consiste na identificação de tendências de expansão das atividades antrópicas na paisagem, servindo de suporte para diversos estudos em conservação ambiental, planejamento urbano.

De acordo com Picoli (2007), o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) permite não só mapear a vegetação, mas também medir a quantidade e a condição da vegetação em uma determinada área e auxiliar no estudo do ciclo de crescimento vegetacional. O referido índice pode ser utilizado em uma vasta gama de estudos como modelagem climática e hidrológica, detecção de mudanças climáticas, estimativas de parâmetros da vegetação (cobertura vegetal), atividades agrícolas, monitoramento de secas, detecção de desmatamentos e avaliação de áreas queimadas.

O NDWI e o MNDWI são corriqueiros em estudos para identificação de corpos d'água, desta forma, foram os índices escolhidos para desenvolver esta pesquisa. No entanto, vários índices são utilizados para extração de corpo hídricos na superfície da terra, tais como MNDWI, NDMI, NWDI, WRI e AWEI (NANDI, 2019). Índice de umidade relativa por diferença normalizada (NDMI) (Wilson, et al., 2002), Índice de proporcionalidade da água (WRI) (Shen, et al., 2010), e Índice Automático de Extrair a Água (AWEI) (Feyisa, et al., 2014) são também usuais atualmente.

2.2.4 NDWI

Este índice derivou do NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), que se baseia na assinatura espectral característica de uma vegetação verde e sadia, mostrando um evidente contraste entre a combinação das bandas do vermelho e do infravermelho próximo. O NDWI,

no entanto, é obtido através de combinações das bandas espectrais do verde e do infravermelho próximo.

A utilização desse índice permite uma melhora significativa na visualização das áreas com alto teor de umidade e corpos de água (BRENNER et al., 2015; GIL, PADOVANI, COELHO, 2019). Sendo quase linear a variação do NDWI com a espessura da lâmina da água. Logo, esse índice destaca-se no monitoramento do comportamento hídrico (FISHER et al., 2016; YANG et al., 2017; SOLTANIAN et al., 2019; ALI et al., 2019).

Pereira et al (2018) aplicou esta metodologia concluindo que ela é muito satisfatória, fundamentando assim a sua escolha.

2.2.5 MNDWI

O índice MNDWI (equação 2) concebido por Xu (2006), teve como objetivo principal suprimir o ruído proveniente das características das áreas construídas deixadas pelo NDWI. Deste modo, esse índice foi desenvolvido considerando que um corpo hídrico apresenta maior absorção na banda de refletância do infravermelho médio quando comparado com a banda do infravermelho próximo nas áreas construídas.

2.3 SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG)

Os SIG's são ferramentas computacionais que permitem realizar análises complexas ao integrar dados georreferenciados (CÂMARA et al., 2005).

Com base no tratamento e na análise de um banco de dados geográficos, são produzidas informações geográficas. Em ambiente SIG, os dados são estruturados em planos de informação, que são referenciadas a um sistema de coordenadas terrestres. Para que ocorra a correta sobreposição entre os planos de informações, é necessário que possuem projeção cartográfica, sistema de coordenadas e que tenha sido gerada em escalas próximas.

3. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS



Análise Espaço Temporal das Barragens no Estado do Pará nos Últimos 20 Anos

Time Space Analysis of Dams in the State of Pará in the Last 20 Years

Autor1¹, Autor2², Autor3³ e Autor4⁴ **Preencher após aceite**

¹Instituição, Departamento, Cidade, País. E-mail. **Preencher após aceite**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0000-0000-0000> **Preencher após aceite**

²Instituição, Departamento, Cidade, País. E-mail. **Preencher após aceite**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0000-0000-0000> **Preencher após aceite**

³Instituição, Departamento, Cidade, País. E-mail. **Preencher após aceite**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0000-0000-0000> **Preencher após aceite**

⁴Instituição, Departamento, Cidade, País. E-mail. **Preencher após aceite**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0000-0000-0000> **Preencher após aceite**

Recebido: mm.aaaa | Aceito: mm.aaaa

Resumo: O conhecimento da localização de reservatórios de corpos d'água é de extrema importância para o estudo e gestão dos recursos hídricos. No entanto, o cadastramento de tais informações é obrigatório para grandes barragens, porém, é realizado de forma meramente informativa pela maioria dos empreendedores. O custo de cadastramento in loco é alto, além de demandar muito tempo por parte dos órgãos ambientais como ANA, ANM, SEMAS. O presente trabalho tem como principal objetivo realizar uma análise espaço temporal através do índice MNDWI, afim de subsidiar o cadastramento dos barramentos do estado do Pará, que possuem uma área de lâmina d'água superior a 3.600m². Os resultados obtidos mostraram um aumento significativo de 656% no número total de barragens nos últimos 20 anos. Sendo identificado 3.704 barragens no Estado do Pará, contudo, só estão cadastradas no site da ANA um total de 314, em todo o Estado. Foi identificado também a relação entre as maiores cidades produtoras de rebanho bovino e de soja como as cidades que possuem o maior número de barramentos. Pode-se concluir, que o método utilizado se mostrou eficiente, uma vez que conseguiu caracterizar de maneira eficiente a evolução das barragens ao longo do tempo, bem como a sua distribuição e variação espacial, podendo assim, auxiliar no planejamento dos órgãos de fiscalização na identificação dos locais mais críticos que carecem de vistoria, tornando dessa forma, a fiscalização mais eficaz e permitindo uma melhor gestão dos recursos hídricos.

Palavras-chave: Barragens. MNDWI. Análise Temporal.

Abstract: Knowledge of the location of reservoirs of water bodies is extremely important for the study and management of water resources. However, the registration of such information is mandatory for large dams, however, it is done for information purposes only by most entrepreneurs. The cost of on-site registration is high, in addition to taking a long time on the part of environmental agencies such as ANA, ANM, SEMAS. The present work has as main objective to carry out a temporal space analysis through the MNDWI index, in order to subsidize the registration of the buses in the state of Pará, which have an area of water depth greater than 3,600m². The results obtained showed a significant increase of 656% in the total number of dams in the last 20 years. Having identified 3,704 dams in the State of Pará, however, only a total of 314 are registered on the ANA website, throughout the State. It was also identified the relationship between the largest cattle and soybean producing cities as the cities with the highest number of buses. It can be concluded that the method used proved to be efficient, since it managed to efficiently characterize the evolution of the dams over time, as well as their distribution and spatial variation, thus being able to assist in the planning of the inspection bodies in the identification of the most critical sites that need to be inspected, thus making inspection more effective and allowing better management of water resources.

Keywords: Dams. MNDWI. Temporal Analysis.

1 INTRODUÇÃO

Muitas vezes é necessário o acúmulo de água para os mais diversos fins, entre eles: abastecimento humano, dessedentação de animais, uso agrícola, industrial, produção de energia elétrica, controle de cheias, entre outros. Desta forma, faz-se necessário construir uma barragem de forma a armazenar o volume de água pretendido.

Segundo dados do Comitê Internacional de Barragens (ICOLD,2016), as pequenas barragens representam cerca de 90% do total de barragens construídas. No Brasil, o percentual de pequenas barragens é de 72,56%, ou seja, aproximadamente 12.774 barragens cadastradas pelos diversos órgãos estaduais e federais de acordo com o relatório de segurança de barragens da ANA (2018).

As propriedades rurais criam reservatórios para utilização principalmente em atividades agrícolas, abastecimento humano e para dessedentação de animais (ANA, 2018).

Para realizar a construção de um barramento é necessário seguir algumas etapas fundamentais: estudo de viabilidade técnica, econômica e ambiental (EVTEA), projeto básico, projeto executivo, construção, operação e manutenção. Assim, antes da construção de novas barragens, deve-se, em primeiro lugar, ter conhecimento sobre a localização e distribuição espacial, a área do espelho d'água, a capacidade de armazenamento de água das barragens existentes na bacia, conhecer a topografia da área inundada, a topografia do eixo, a fauna, a flora e o uso e ocupação da área inundada, quantas barragens existem a montante, vazão, etc. Para a grande maioria das barragens do estado do Pará, no entanto, tais informações não existem e, quando existem, são difíceis de serem obtidas, assim, dificultando uma análise global da situação no estado (NAVA, 2018).

As barragens de terra podem ser construídas com equipamentos simples, devido a essa facilidade construtiva, a grande maioria barragens são feitas utilizando este material e possuem a altura do maciço de até 10 metros (PISANIELLO e MCKAY, 2007; MATOS, SILVA, PRUSKI, 2012; PISANIELLO e TINGEY-HOLYOAK, 2017).

As barragens de terra são uma das alternativas mais utilizadas, pois, além de serem construídas com material natural do local, exigem menos investimentos, as fundações são mais simples devido às bases largas, maior facilidade de construção, ou seja, projetos mais simplificados. Já, entre as desvantagens se destacam: maior susceptibilidade a danos e rompimento com a passagem de água, vertedouros de difícil projeção e construção, fragilidade devido à má compactação, necessidade de manutenção contínua, evitando infiltrações, erosões e outros danos (CARVALHO, 2008; PISANIELLO, TINGEY-HOLYOAK e BURRITT, 2012; PISANIELLO e TINGEY-HOLYOAK, 2016b; PISANIELLO e TINGEY-HOLYOAK, 2017).

No entanto, os pequenos empreendedores contam com poucos recursos para a realização adequada de uma caracterização mínima dos elementos necessários à segurança dos barramentos (ANA, 2016; PISANIELLO e TINGEY-HOLYOAK, 2017).

Em 2010, foi criada a Lei Federal nº 12.334, instituindo a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB). Esta lei aplica-se a barragens destinadas ao acúmulo de água que atendam pelo menos uma das seguintes características: capacidade total do reservatório igual ou maior a 3.000.000 m³; ou altura igual ou maior a 15 (quinze) metros, contados do ponto mais baixo da fundação à crista; ou reservatórios que contenham resíduos perigosos; ou categoria de dano potencial associado, médio ou alto, em termos econômicos, sociais, ambientais ou de perda de vidas humanas.

No decorrer dos últimos anos, inúmeras barragens foram construídas no estado do Pará. Se destacando pelos seguintes fatos: tanto as de domínio público quanto as particulares foram construídas em épocas diferentes e de forma independente, com nenhuma ou pouquíssima integração entre os órgãos responsáveis pela sua construção; sendo a maioria delas, construída avaliando-se apenas as condições locais, isto é, não considerando que as barragens são interligadas hidrológicamente umas com as outras por meio do curso de água que foi represado. Assim, vários desses reservatórios estão em condições inadequadas de operação; com a manutenção sendo feita de forma precária, podendo em casos extremos vir a se romper, causando prejuízos ambientais, econômicos e sociais às comunidades a jusante dos represamentos (RODRIGUES et al., 2007).

O sensoriamento remoto mostra-se uma ferramenta adequada ao planejamento e à gestão dos recursos hídricos de bacias hidrográficas, possibilitando estudos, tanto na etapa de viabilidade quanto no

acompanhamento futuro, possibilitando também estudos de uso e ocupação do solo a fim de relacionar o quanto a ocupação afeta no assoreamento dos reservatórios. Sendo assim, através da utilização de imagens orbitais para realização de estudos, permite uma maior redução de custos, maior agilidade na geração de resultados, assim como o mapeamento e monitoramento de áreas remotas com acesso limitado e de grandes áreas (MANTELLI et al., 2012; BRENNER, GUASSELLI, 2015; HUANG et al, 2016; FERREIRA et al, 2016).

Tendo como princípio que os valores de reflectância da água são diferentes de outros usos de coberturas do solo, é possível usar as imagens de satélites para a identificação, mapeamento e delimitação de corpos d'água, entre outros.

Com isso, torna-se possível observar as relações entre os corpos d'água e sua relação com os outros elementos e as dinâmicas de uso da terra presentes na área da barragem e também na bacia hidrográfica que está sendo implantada. Sendo assim, os estudos que exigem o mapeamento de corpos d'água, normalmente utilizam dados de sensoriamento remoto como uma ferramenta de obtenção de informações geoespaciais (WANG et al., 2006; XU, 2006; SERPICO et al., 2012; MEMON et al., 2015).

Usualmente o mapeamento de corpos d'água pode ser abordado de duas formas: pela delimitação manual do corpo d'água ou pela classificação automática de imagens. Utilizando o segundo método, destacam-se produtos obtidos através das técnicas de processamento digital de imagens de sensores ópticos, podendo-se citar, como exemplo, os produtos dos sensores a bordo do satélite Landsat (XU, 2006). Tem-se também os produtos que operam na região espectral das micro-ondas obtidos por processamento de dados de radar, como as imagens do satélite Radarsat (MARINHO et al., 2012). Mais moderno e avançado tem-se ainda a utilização da combinação de duas ou mais bandas do espectro do visível e infravermelho, gerando índices através desses processamentos.

Técnicas de processamento digital de imagens obtidas por sensores ópticos são baseadas em algoritmos de classificação que buscam se aproveitar do comportamento espectral da água para realizar o mapeamento de corpos d'água, tanto pela análise mono bandas ou multibandas. Devido a sua eficiência na separação das classes, são indicadas as análises multibandas para a discriminação de corpos d'água através da utilização de índice espectral (LI et al., 2013, FERREIRA et al., 2016, ZANETTI et al., 2017).

Dentre os métodos e técnicas de processamento de imagens de sensoriamento remoto, com o objetivo de identificação de corpos d'água, destaca-se o método criado por McFetters, em 1996, com o objetivo de representar as feições presentes no ambiente aquático, e realçar a presença das mesmas nas imagens denominado de Índice da Diferença Normalizada de Água (Normalized Difference Water Index – NDWI).

Este índice derivou do NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), que se baseia na assinatura espectral característica de uma vegetação verde e sadia, mostrando um evidente contraste entre a combinação das bandas do vermelho e do infravermelho próximo. O NDWI, no entanto, é obtido através de combinações das bandas espectrais do verde e do infravermelho próximo.

A utilização desse índice permite uma melhora significativa na visualização das áreas com alto teor de umidade e corpos de água (BRENNER et al., 2015; GIL, PADOVANI, COELHO, 2019). Sendo quase linear a variação do NDWI com a espessura da lâmina da água. Logo, esse índice destaca-se no monitoramento do comportamento hídrico (FISHER et al., 2016; YANG et al., 2017; SOLTANIAN et al., 2019; ALI et al., 2019).

Desse modo, a combinação das bandas verde e infravermelho próximo seria feito através da equação

$$NDWI = \frac{\text{banda verde} - \text{infrav. próximo}}{\text{banda verde} + \text{infrav. próximo}} \quad (1)$$

Assim, o NDWI produz uma nova imagem, cujo valor dos pixels varia de -1 a 1, sendo 0 o limite entre os alvos que são água e o que não são classificados como água. Ou seja, os pixels que possuírem valor maior que 0 serão classificados como água ($NDWI > 0$) e todos os pixels com valor igual ou menor que zero, não serão classificados como água ($NDWI \leq 0$). Logo, na imagem gerada pelo NDWI, enquanto as feições da vegetação e de solo são minimizadas, os corpos d'água são salientados, atribuindo maior valor de brilho (MCFEETERS, 1996).

Na sequência, Xu (2006) sugeriu uma modificação na equação do método, surgindo o Índice da Diferença de Água Normalizada Modificado (MNDWI) que troca a banda do infravermelho próximo pela

banda do infravermelho médio, objetivando obter melhores resultados nas regiões que possuem áreas edificadas, visto que no NDWI, estas áreas edificadas se misturam com os corpos d'água. A equação 02 do MNDWI é:

$$MNDWI = \frac{\text{banda verde} - \text{infrav. médio}}{\text{banda verde} + \text{infrav. médio}} \quad (2)$$

As principais vantagens do MNDWI sobre o NDWI original são: atribuir à água valores ainda mais positivos, tendo em vista que a banda do infravermelho médio absorve mais energia nos corpos d'água que a banda do infravermelho próximo; distinguir a água das áreas edificadas, uma vez que o uso da banda do infravermelho médio confere, no índice, valores negativos às áreas edificadas; promover maior contraste com as áreas de solo, visto que elas possuem maior refletância na banda do infravermelho médio do que no infravermelho próximo (XU, 2006).

O índice MNDWI é comprovadamente um índice melhorado em relação ao NDWI de acordo com pesquisas realizadas (PEREIRA, LOHMANN, MAGANHOTTO, 2016; CUNHA, SILVEIRA, RUHOF, 2019; GIL, PADOVANI, COELHO, 2019).

Por conta dessas melhorias, utilizou-se neste trabalho o MNDWI, pois revela maiores detalhes dos corpos d'água do que o NDWI, promovendo uma melhor separação dos alvos “água” e “não-água” com área mínima de 3.600m².

Assim, o objetivo deste estudo é a realização do mapeamento das barragens de todo o estado do Pará, realizando uma análise temporal da construção desses barramentos ao longo dos últimos 20 anos (1999 a 2019), utilizando imagens do satélite Landsat 5 e Landsat 8.

Tal propósito torna-se relevante na medida em que se faz necessário monitorar a construção dos barramentos e entender como se deu a evolução temporal no estado. Uma vez que, a fiscalização é precária e muitas vezes os órgãos de fiscalização não tem conhecimento de todos os barramentos, visto que o cadastro em alguns órgãos é meramente informativo, logo, é o empreendedor que vai ao órgão fiscalizador avisar que fez e/ou irá fazer um barramento.

Dentre as 314 barragens cadastradas no estado do Pará, apenas 136 passaram por alguma fiscalização dos órgãos responsáveis (ANA, 2018). De acordo com o relatório de segurança de barragens da ANA, das 17.604 barragens devidamente cadastradas pelos órgãos de fiscalização, 10.812 não possuem informações suficientes para definir se são submetidas ou não à PNSB, logo 61,4% de todas as barragens cadastradas podem ou não fornecer algum risco, mas não é possível informar a magnitude. Assim, este trabalho visa apresentar uma proposta metodológica eficiente, capaz de mapear os barramentos, subsidiando assim, os órgãos gestores na fiscalização e na gestão e planejamento de barragens, além de mapear a evolução espaço-temporal desses empreendimentos.

2 METODOLOGIA

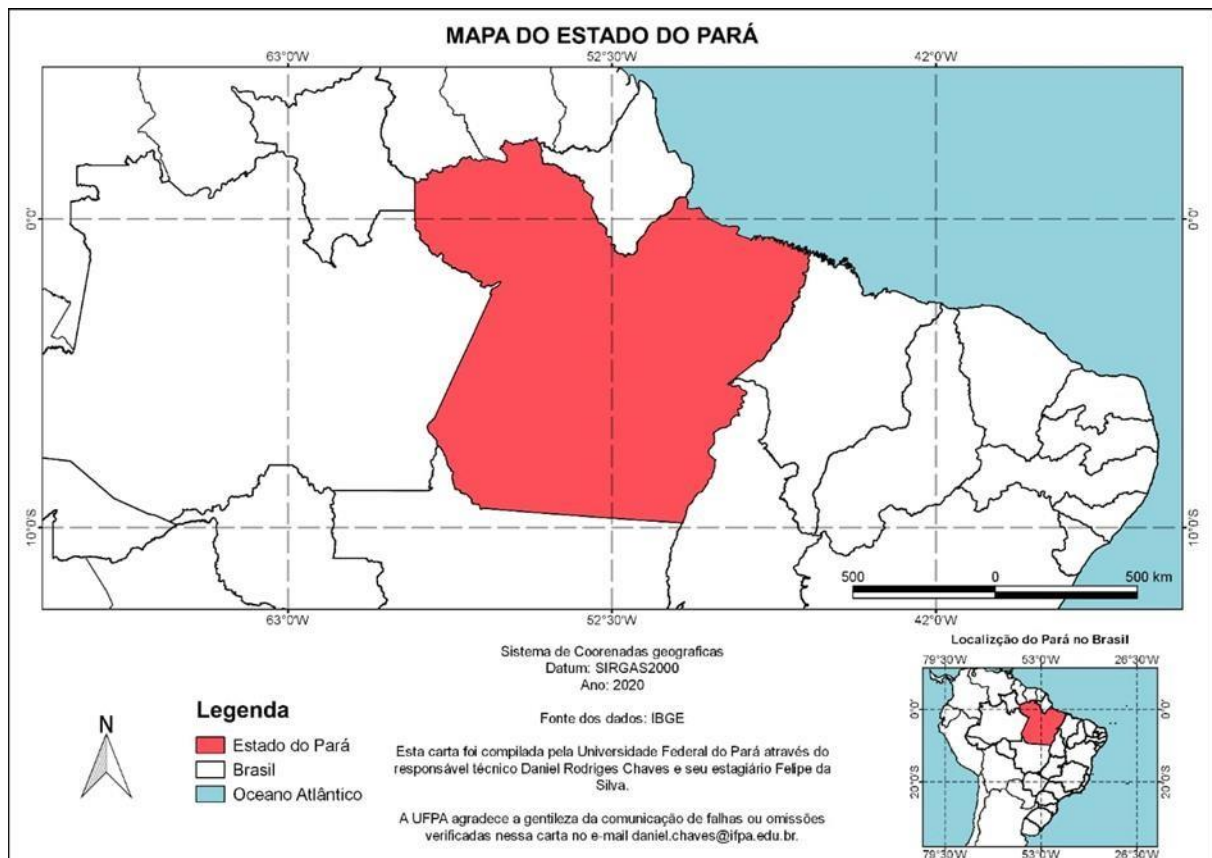
2.1 Área de estudo

Em relação a área de estudo foi selecionado o estado do Pará, localizado na região norte do Brasil.

O Estado do Pará (Figura 2) possui uma área total de 1.245.759,305 km², sendo o segundo maior do Brasil, dispendo de uma área urbana de aproximadamente 731,1 km², ou seja, apenas 6% de área urbana e 94% de área rural, sendo composto por 144 municípios e com um crescente aumento de produtividade do setor agropecuário (IBGE, 2018).

Em números relativos, pode-se afirmar que em uma década, o cultivo da soja avançou 1.750% no estado do Pará, consolidando assim, como a nova fronteira agrícola do país (IBGE, 2017). No bojo desse cenário, surgem o açaí, o abacaxi, a pimenta-do-reino, o dendê, o gado, entre outros, sendo cultivos ofertados tanto no mercado interno quanto para exportação. Logo, é comum a prática da construção de açudes e barragens para irrigação (IBGE, 2017).

Figura 2- Mapa do Estado do Pará



Elaboração: Próprio Autor, 2020.

Tornando-se assim, inviável a fiscalização in loco de todos os empreendimentos de barragens e açudes. Deste modo, a utilização do sensoriamento remoto se torna uma ferramenta eficiente na obtenção de dados geoespaciais.

O programa *Landsat* é o projeto de aquisição de imagens que durante mais tempo se encontra ativo. O programa teve início em 1972, com o lançamento do *Earth Resources Satellite Technology*, e prossegue atualmente com o lançamento em 2013 do *Landsat 8*.

O *Landsat 5* é um satélite de observação da Terra lançado em 01 de março de 1984 e retirado em 2012. Possuía a bordo dois sensores, o *Multispectral Scanner System (MSS)* e *Thematic Mapper (TM)*, fornecendo 7 bandas espectrais e com resolução espacial de 30 metros.

De forma a completar a base de dados temporal de 20 anos, foi necessário a utilização das imagens obtidas pelo satélite *Landsat 8*, que foi lançado em 11 fevereiro de 2013, possuindo a bordo dois sensores, o *Termal Infra Red Sensor (TIRS)* e o *Operacional Terra Imager (OLI)* e fornecendo um total de 11 bandas espectrais e uma resolução espacial de 30 metros..

2.2 Estrutura da Metodologia

A metodologia da pesquisa foi desenvolvida em seis passos (Figura 3): aquisição das imagens; eliminação de nuvens; cálculo do índice de água; cálculo do volume médio; validação dos dados, e por fim, elaboração dos mapas. A Figura 3 sintetiza o passo a passo da metodologia aplicada neste trabalho, sendo fundamental a atenção ao passo 1, que cita a aquisição das imagens, melhorando assim a qualidade dos próximos passos.

Figura 3 - Metodologia

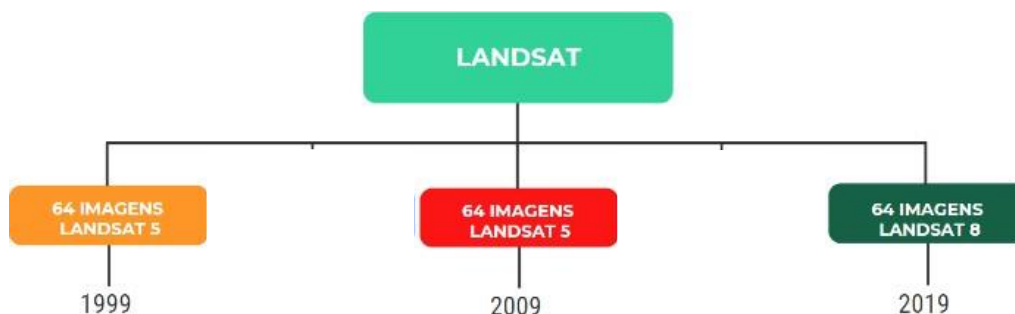


Fonte: Próprio Autor, 2020.

2.2.1 Aquisição das imagens

Para a etapa de aquisição das imagens foram utilizadas 64 imagens do satélite Landsat 5, nas respectivas órbitas de forma a cobrir todo o Estado do Pará, entre os meses de baixa precipitação, compreendidos entre junho e novembro, para os anos de 1999 e 2009. E para o ano de 2019 foram utilizadas 64 imagens do satélite *Landsat 8*. Totalizando, dessa forma, um montante de 192 imagens (Figura 4). Todas adquiridas de forma gratuita na página do *United States Geological Survey* (USGS) no endereço <<https://earthexplorer.usgs.gov/>>. A fim de padronizar os dados de entrada, foram realizados downloads de imagens já corrigidas do erro atmosférico, classificadas como nível 2 diretamente pelo site do USGS.

Figura 4 - Infográfico da metodologia de aquisição de dados



Fonte: Próprio Autor, 2020.

2.2.2 Eliminação de nuvens

Para padronização dos downloads no website da USGS, foram obtidas somente imagens com menos de 10% de nuvens, pois é o menor valor percentual de concentração de nuvens disponível no website.

Após a separação das melhores imagens, ou seja, daquelas visualmente com a menor quantidade de nuvens, foi utilizado o plugin de máscara de nuvens do *software* Qgis (versão 3.8.3) com o objetivo de realizar a eliminação das nuvens nas imagens originais.

2.2.3 Cálculo dos índices de água

Conforme discutido, dado a sua maior eficiência no âmbito desta pesquisa, foi empregado o índice MNDWI.

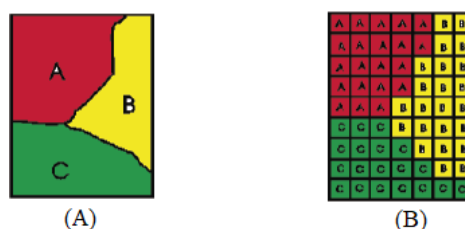
Para a manipulação dos dados espaciais, optou-se por utilizar o *software* Quantum GIS (versão 3.8.3). O Quantum GIS é um *software* gratuito, licenciado pela GNU (*General Public License*), baseado em um SIG

(Sistema de Informação Geográfica). A interface do software é simples e de fácil manuseio, o programa oferta várias ferramentas que possibilitam visualizar, gerenciar, editar, analisar os dados e compor mapas impressos, obter impressão com determinadas screenshots e uma lista de recursos mais detalhada. Permite, segundo Meneses e Almeida (2012), consultas espaciais, exploração interativa de dados, identificação e seleção de geometrias, pesquisa, visualização e seleção de atributos e criação de simbologia vetorial e raster. Além de facilitar o uso da calculadora de raster para calcular os índices necessários à individualização dos corpos d'água.

Assim, o *software* QGIS utiliza matemática de bandas, em que as entradas foram as bandas do Landsat 5 e Landsat 8 referentes aos comprimentos de onda no verde e infravermelho médio, e as saídas foram as imagens dos índices propriamente ditos, com a visualização dos corpos d'água.

De posse das imagens, foi convertido para o formato vetorial na forma de polígonos (comando Raster para Vetor) e extraído apenas o que correspondia à água (Figura 5), em seguida, foi possível a realização dos cálculos de área de cada polígono gerado.

Figura 5 - Imagem (A) formato vetorial e imagem (B) formato Raster.



Fonte: Próprio Autor, 2020.

Note-se que o formato raster possui linhas e colunas (formato matricial), já o formato vetorial é constituído basicamente de linhas e vértices, deixando assim mais bem definida a forma dos limites dos objetos.

2.2.4 Validação dos dados

A performance do classificador MNDWI foi avaliada pelo Índice Kappa, técnica discreta multivariada para avaliação de precisão e pela exatidão global (JENSEN, 2005). Para esta finalidade, foram gerados 395 pontos amostrais, distribuídos de forma aleatória, para serem utilizados como verdade terrestre, sendo 310 pontos referentes a água e 85 pontos de não água.

Para fazer a diferenciação de rio e lagos foi utilizado o shapefile dos rios da região norte, obtido através do *website* da ANA, a fim de eliminá-los de nossas análises através do cruzamento com o shapefile gerado no passo anterior.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As imagens do satélite Landsat permitiram identificar, mapear e quantificar os corpos d'água através do MNDWI (Figura 6). O mapa apresentado na Figura 6 teve sua precisão verificada pela matriz de erros, utilizando-se o índice de concordância Kappa (Tabela 2). Nos anos de 1999, 2009 e 2019, os índices Kappa foram de 0.963, 0.978 e 0.985, respectivamente.

Tabela 2– Resultado da classificação, pelo estimador de acerto Kappa.

Classificação (1999)				Classificação (2009)			
Referência	Água	Não Água	Total	Referência	Água	Não Água	Total
Água	310	2	312	Água	310	2	312
Não Água	3	85	88	Não Água	1	85	86
Total	313	87	400	Total	311	87	398

Kappa = 0,963

Classificação (2019)			
Referência	Água	Não Água	Total
Água	310	1	311
Não Água	1	85	86
Total	311	86	397

Kappa = 0,985

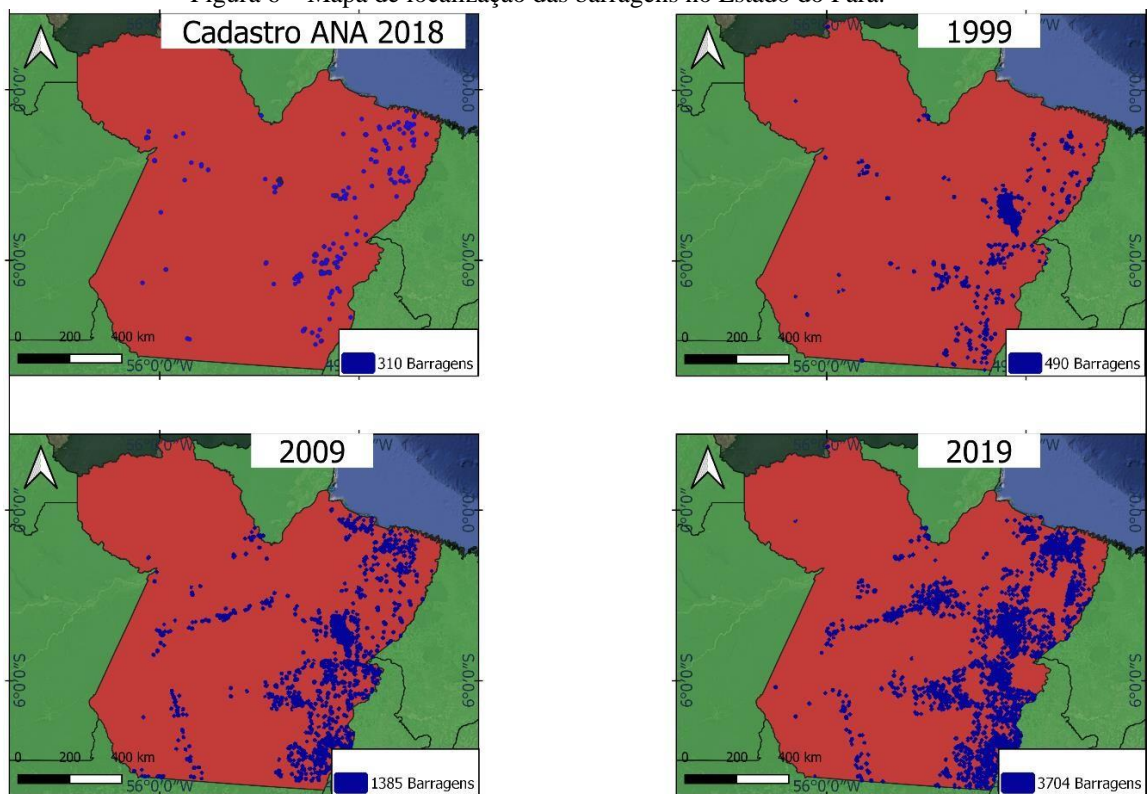
Fonte: Próprio Autor, 2020.

Os resultados obtidos com a utilização do estimador de acerto Kappa para a classificação realizada nos anos 1999, 2009 e 2019 são valores considerados excelentes ($K > 0,8$) (Foody, 1992; Congalton e Green, 1998, Olvera Porcel e María del Carmen, 2016). Indicando assim, que a classificação alcançou o resultado esperado.

Com base na matriz de confusão (Tabela 2) e nas precisões calculadas, pode-se afirmar que o método MNDWI foi capaz de classificar a maioria das regiões corretamente no período analisado. A maior confusão espectral verificada foi no ano 1999, enquanto a menor foi em 2019.

Os resultados quantitativos das classes temáticas de cada ano pesquisado estão representados na Figura 6. Sendo que o total de barragens, diques e açudes no estado foi de 490, 1385 e 3704 para os anos de 1999, 2009 e 2019, respectivamente.

Figura 6 – Mapa de localização das barragens no Estado do Pará.



Fonte: Próprio Autor, 2020.

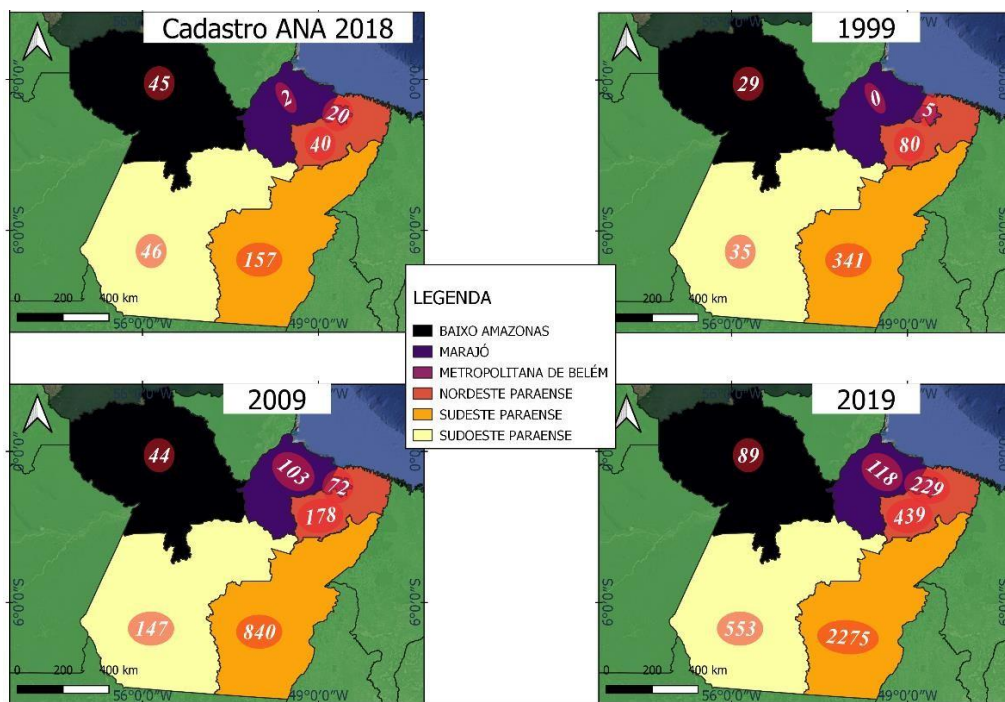
Mostrando que houve um aumento percentual de 183%, entre 1999 e 2009, um aumento percentual de 167% entre 2009 e 2019, e um aumento percentual total de 656% nos 20 anos, ou seja, entre 1999 e 2019.

Pode-se observar que os barramentos estão localizados principalmente na porção leste do Estado, em sua grande maioria localizados na mesorregião sudeste do Estado (Figura 6).

Com relação às barragens mapeadas e quantificadas (Figura 6) de forma geral, verificou-se que nos

anos 1999, 2009 e 2019 houve um padrão de evolução no direcionamento do aumento das barragens.

Figura 7 - Mapa quantitativo das barragens no Estado do Pará por Mesorregiões.



Fonte: Próprio Autor, 2020.

Pela Figura 7, destaca-se que a mesorregião sudeste do Pará se manteve como a mesorregião com a maior quantidade de barramentos e que a mesorregião do marajó ultrapassou o número de barragens da mesorregião do baixo Amazonas em 2009. Porém, entre 2009 e 2019, a mesorregião metropolitana de Belém quase dobrou o número de barragens em relação ao Marajó, mostrando assim, um aumento considerável nos últimos 10 anos.

Tabela 3- Cálculo da densidade de barragens a cada 1000 km².

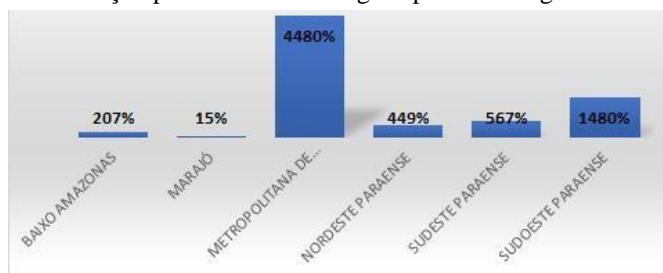
MESORREGIÃO	ANA_2018	1999	2009	2019
BAIXO AMAZONAS	0,13	0,09	0,13	0,26
MARAJÓ	0,02	0	0,99	1,13
METROPOLITANA DE BELÉM	2,9	0,73	10,45	33,23
NORDESTE PARAENSE	0,48	0,96	2,14	5,27
SUDESTE PARAENSE	0,53	1,15	2,82	7,65
SUDOESTE PARAENSE	0,11	0,08	0,35	1,33

Fonte: Próprio Autor, 2020.

Percebe-se pela Tabela 3, que a mesorregião de Belém possui a maior quantidade de barramentos a cada 1000km², seguido pela mesorregião sudeste, que também é a nessa região que possui a segunda maior densidade de pontos de barragens cadastrados pela Agência Nacional de Águas, porém, é a maior em números totais de barragens.

No entanto, se observarmos apenas os dados de densidade, verifica-se uma lógica entre a densidade de pontos cadastrados pela ANA e a densidade nos anos observados neste trabalho.

Figura 8– Evolução percentual de barragens por mesorregião entre 1999 e 2019.

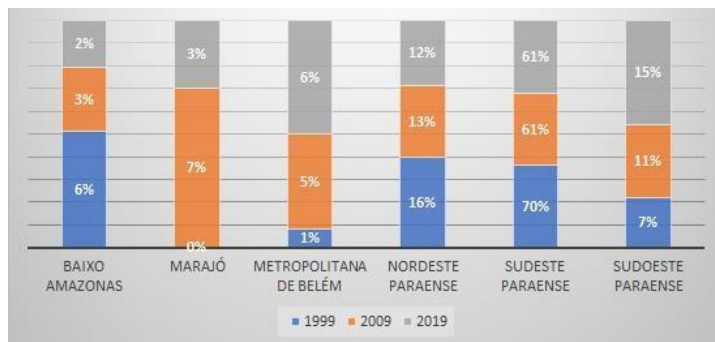


Fonte: Próprio Autor, 2020.

Pela Figura 8, podemos inferir que a região metropolitana de Belém, nos últimos 20 anos, teve um aumento percentual de 4.480%, passando de 5 barramentos em 1999 para 229 em 2019, se destacando em relação à mesorregião sudeste paraense, seguido pela mesorregião sudoeste paraense que aumentou 1.480%.

Porém, em termos percentuais, observa-se que, embora a mesorregião metropolitana de Belém seja a que teve o maior aumento percentual no número de barragens, ela ocupa a 4ª posição em termos quantitativos no número de barragens em 2019.

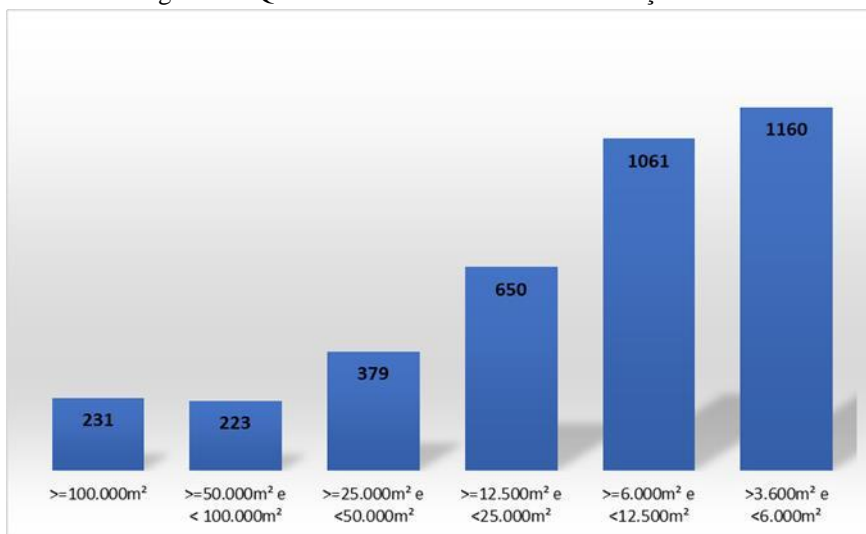
Figura 9– Evolução percentual de concentração de barragens entre 1999 e 2019 por mesorregião.



Fonte: Próprio Autor, 2020.

Pode-se perceber pela Figura 9, que a mesorregião sudeste tem concentrado mais de 60% do número total de barragens nos anos de 1999, 2009 e 2019. Destacando também a mesorregião de Belém saindo de 1% em 1999 para 6% em 2019 no percentual total de concentração de barragens no Estado do Pará.

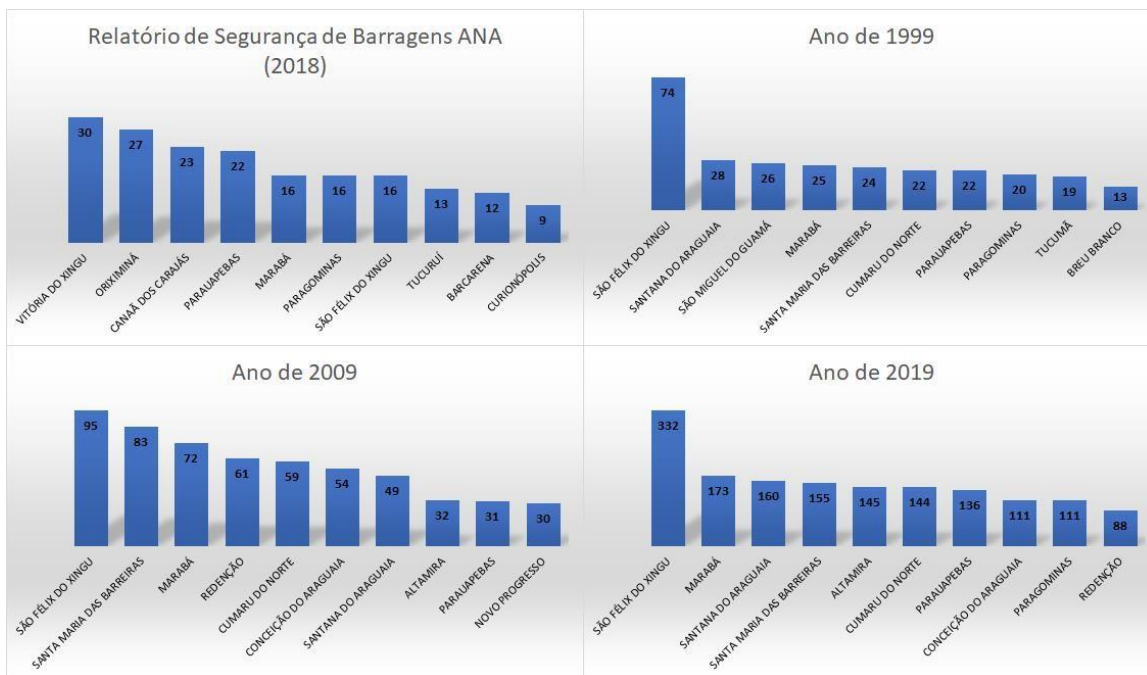
Figura 10- Quantitativo de barramentos em relação à área



Fonte: Próprio Autor, 2020.

Observa-se pela Figura 10 que 60% dos barramentos do estado são inferiores a 12.500m² de lâmina d’água e que apenas 12% são barramentos acima 50.000m² de lâmina d’água.

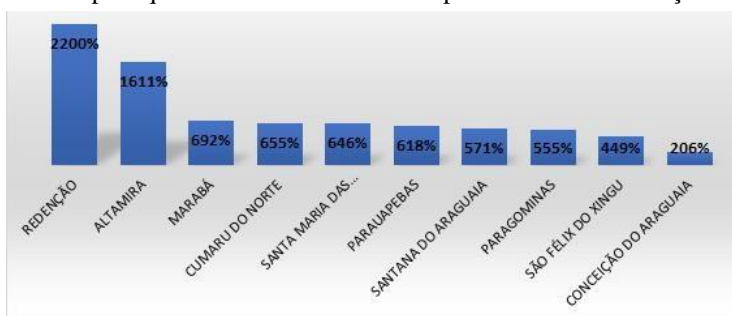
Figura 11– Municípios com os maiores quantitativos de barragens



Fonte: Próprio Autor, 2020.

Na Figura 11, pode-se observar que os 10 municípios com os maiores quantitativos de barragens, se destacando o município de São Félix do Xingu, Marabá e Santana do Araguaia e Santa Maria das Barreiras com mais de 150 barragens em cada município.

Figura 12– Municípios que tiveram maior aumento percentual de construção de Barragens.



Fonte: Próprio Autor, 2020.

Ao observar a Figura 12, em termos percentuais de aumento, percebe-se que dos 4 municípios citados anteriormente, nenhum possui o maior aumento, ficando assim o destaque para Redenção e Altamira com um aumento percentual de 2.200% e 1.611%, respectivamente. Deve-se ressaltar que pela Figura 12, Marabá ficou em 3º lugar em relação ao aumento percentual do quantitativo de barragens.

O aumento no número de barragens entre 2009 e 2019 foi de 167% e de acordo com o boletim agropecuário elaborado pela Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas do Pará (FADESPA), em 2017, a pecuária do Pará também teve um aumento de 33,36%, entre 2007 e 2016.

Dos 10 municípios paraenses com os maiores rebanhos bovinos (em cabeças) no Pará, indicados pela FADESPA em 2017, seis deles estão entre os municípios com os maiores quantitativos de barragens, sendo eles: São Félix do Xingu, Marabá, Santana do Araguaia, Santa Maria das Barreiras, Altamira, Cumaru do Norte.

Nenhum dos 10 municípios com o maior quantitativo de barragens estão entre os maiores produtores de lavoura permanente no Estado. No entanto, quando analisado especificamente a soja (lavoura temporária) foi observado que os municípios Paragominas, Santana do Araguaia e Cumaru do Norte se encontram entre os 10 maiores produtores de soja no Estado do Pará.

4. CONCLUSÕES

A utilização das imagens Landsat-5 permitiu a identificação e elaboração do mapeamento temático das barragens no Estado do Pará. O aumento quantitativo da construção dos barramentos entre 1999 e 2009 foi de 656%, o que é considerado um percentual alto.

A relação entre a produção agropecuária no Estado do Pará e os municípios com os maiores quantitativos de barragens é evidente, mostrando a grande relação entre eles, principalmente com a soja e os rebanhos bovinos.

Os mapas de localização das barragens gerados para área de estudo podem ser utilizados pelos órgãos governamentais com poder de fiscalização, para identificar e localizar as áreas que não estão em seus cadastros oficiais e assim realizar uma fiscalização, viabilizando, de maneira sem precedentes, a aplicação da lei federal nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, que versa sobre a política nacional de segurança de barragens. Ajudando assim aos órgãos de controle a terem uma ação mais objetiva, visto que é possível identificar as regiões mais críticas do Estado.

Pode-se concluir também que o método utilizado para identificação das barragens se mostrou eficiente, uma vez que, conseguiu apresentar como ocorreu a evolução das barragens ao longo do tempo e como evoluiu a sua distribuição e variação espacial, podendo assim, auxiliar no planejamento dos órgãos de fiscalização, na identificação dos locais mais críticos que carecem de vistoria, tornando dessa forma, uma fiscalização mais eficiente.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Relatório de Segurança de Barragens 2018**. Brasília: ANA, 2018. Disponível em: <http://www.snisb.gov.br/portal/snisb/relatorio-anual-de-seguranca-de-barragem/2018>. Acesso em: 10 out. 2019.
- ALI, M, I. et al. Detection of changes in surface water bodies urban area with NDWI and MNDWI methods. **International Journal Advanced Science Engineering Information Technology**. 2019.
- ARVOR, D. et al. Monitoring thirty years of small water reservoirs proliferation in the southern Brazilian Amazon with Landsat time series. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, 2018.
- BRASIL. Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010. A Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB). **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, p. 1, 21 nov. 2010.
- BRENNER, V. C.; GUASSELLI, L. A. Índice de diferença normalizada da água (NDWI) para identificação de meandros ativos no leito do canal do rio Gravataí/RS – Brasil. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, 2015.
- CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M.V. **Introdução à Ciência da Geoinformação**, 2001. Disponível em: www.inpe.br. Acesso em: 10 de março de 2020.
- CARVALHO, J. de A. **Dimensionamento de pequenas barragens para irrigação**. Lavras: Ed. UFLA, 2008. 153p.
- CLEWLEY, D. et al. Evaluation of ALOS - PALSAR data for high-resolution mapping of vegetated wetlands in Alaska. **Remote Sensing**, v. 7, n. 6, 2015.
- COLLISCHONN, B.; CLARKE, R. T. Estimativa e incerteza de curvas cota-volume por meio de sensoriamento remoto. **Brazilian Journal of Water Resources**, v. 21, n. 4, p. 719-727, 2016.
- CONGALTON, R. G.; GREEN, K. Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices. **New York: Lewis Publishers**, 1998. 137p.
- CUNHA, S. C.; Silveira, P.O.;Ruhoff A. L. Índices de vegetação, água e temperatura utilizados na busca de padrões em diferentes classes de uso do solo na bacia hidrográfica do rio santa maria-rs entre 1990 a 2017. **Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, 2019.
- DU, Y.; ZHANG, Y.; LING, F.; WANG, Q.; LI, W.; & LI, X. (2016). Water bodies' mapping from Sentinel-2 imagery with Modified Normalized Difference Water Index at 10-m spatial resolution produced by sharpening the SWIR band. **Remote Sensing**, 8(4). Disponível em: <https://doi.org/10.3390/rs8040354>. Acessado em: 01 de agosto de 2020.
- DUBE, T.; MUTANGA, O. Evaluating the utility of the medium-spatial resolution Landsat 8 multispectral sensor in quantifying aboveground biomass in uMgeni catchment, South Africa. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 101, p. 36-46, 2015.
- EPIPHANIO, J. C. N.; GLERIANI, J. M.; FORMAGGIO, A. R.; RUDORFF, B. F. T. Índices de vegetação no sensoriamento remoto da cultura do feijão. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 31, n. 6, 1996.
- FEYISA, Gudina L. et al. Automated Water Extraction Index: A new technique for surface water mapping using Landsat imagery. **Remote Sensing of Environment**, v. 140, 2014.
- FUNDAÇÃO AMAZÔNIA DE AMPARO A ESTUDOS E PESQUISAS (FAPESPA). **Boletim Agropecuário do Pará**. Pará. 2017.
- FERREIRA, Í. O. et al. Viabilidade do uso de imagens do sistema rapideye na determinação da

- batimetria de águas rasas. **Revista Brasileira de Cartografia**, 2016.
- FISHER, A.; FLOOD, N.; DANAHER, T. Comparing Landsat water index methods for automated water classification in eastern Australia. **Remote Sensing of Environment**. 2016.
- FOODY, G. M. On the compensation for chance agreement in image classification accuracy assessment. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.58, n.10, p.1459-1460, 1992.
- GIL, A. P.; PADOVANI, C. R.; COELHO, A. L. N. Comparação entre NDWI e MNDWI para o mapeamento de áreas inundadas no pantanal do taquari. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, 2019.
- GLEICK, P. H. Water use. **Annual review of environment and resources**, v. 28, n. 1, p. 275-314, 2003.
- HUANG, C.; CHEN, Y.; ZHANG, S.; LI, L.; SHI, K.; LIU, R. Surface water mapping from suomi NPP-VIIRS imagery at 30 m resolution via blending with Landsat data. **Remote Sens**. 2016.
- JENSEN, J. R. Introductory Digital Image Processing: a remoting sensing perspective. 3ª edição. **Universidade da Califórnia: Prentice Hall**. 2005. 526 p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Demográfico do Brasil**. Rio de Janeiro. 2017.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Demográfico do Brasil**. Rio de Janeiro. 2018.
- INTERNACIONAL COMMITTEE ON LARGE DAMS (ICOLD). **Improving tailings dam safety, Critical aspects of management, design, operation and closure**. Bulletin 139. 2016.
- KEITH, D. et al. Monitoring algal blooms in drinking water reservoirs using the Landsat-8 Operational Land Imager. **International Journal of Remote Sensing**, v. 39, n. 9, p. 2818-2846, 2018.
- LEE, H. et al. Mapping wetland water depths over the central Congo Basin using PALSAR ScanSAR, Envisat altimetry, and MODIS VCF data. **Remote Sensing of Environment**, v. 159, 2015.
- LI, W. et al. A comparison of land surface water mapping using the Normalized Difference Water Index from TM, ETM+ and ALI. **Remote Sensing** 5, 5530-5549. 2013
- MANTELLI, L. R. **Sensoriamento Remoto como ferramenta para gestão de recursos hídricos: modelagem espaço-temporal dos riscos ecológicos em bacias hidrográficas**. 78 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.
- MCFEETERS, S.K., 1996. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. **International Journal of Remote Sensing** 17, 1425-1432.
- MARINHO, R. R. et al. Aplicação de imagens SAR orbitais em desastres naturais: mapeamento das inundações de 2008 no Vale do Itajaí, SC. **Revista Brasileira de Cartografia**. 2015.
- MATOS, A.T. SILVA, D. D. e PRUSKI, F. F. **Barragens de terra de pequeno porte**. Viçosa, MG: Editora UFV. 2012, 136 p.
- MEMON, A. A., MUHAMMAD, S., e RAHMAN, S. Flood monitoring and damage assessment using water indices: A case study of Pakistan flood-2012. **The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Scienc** 18, 99-106. 2015.
- MENESES, P; ALMEIDA, T. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. 1 ed. Brasília: UnB/CNPq, v.1, 266p., 2012.
- MOREIRA, M. A. Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação. 4 ed. Viçosa: **Editora UFV**, 2011.
- NASA, National Aeronautics and Space Administration. **O Thematic Mapper**. 2012. Disponível em: < <http://LandSAT.gsfc.nasa.gov/about/tm.html>>. Acesso em: 15 Julho 2020.

- NAVA, F. R. **Pequenas barragens: Uma oportunidade de desenvolvimento científico, técnico e regulamentador**. 190 f. Dissertação (Mestrado Engenharia de Barragem e Gestão Ambiental) – PEBGA, Universidade Federal do Pará, Pará, 2018.
- NANDI, D. et al. Automatic Delineation of Water Bodies Using Multiple Spectral Indices, **ISJRS**, 2019.
- PEKEL, J.-F.; VANCUTSEM, C.; BASTIN, L.; CLERICI, M.; VANBOGAERT, E.; BARTHOLOMÉ, E.; DEFOURNY, P. A. Near real-time water surface detection method based on HSV transformation of MODIS multi-spectral time series data. **Remote Sensing of Environment**, v. 140, p. 704-716, 2014.
- PEREIRA, G. H. A.; LOHMANN, M.; MAGANHOTTO, R. F. Proposta e avaliação de índices para delimitar e mapear corpos d'água utilizando imagens do satélite LANDSAT 8. **Revista Brasileira de Geografia Física** v.09, n.06, 2016.
- PEREIRA, J. L. G.; BATISTA G.T.; ROBERTS D. Reflectância de Coberturas Vegetais na Amazônia. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 8, Salvador, 1996. Resumos expandidos, São José dos Campos, INPE, p. 551-556.
- PHAM, T. D. et al. Optimized rule-based logistic model tree algorithm for mapping mangrove species using ALOS - PALSAR imagery and GIS in the tropical region. **Environmental Earth Sciences**, v. 77, n. 5, 2018.
- PISANIELLO, J. D.; MCKAY, J. A tool to aid emergency managers and communities in appraising private dam safety and policy. **Disasters**, 2007.
- PISANIELLO, J. D.; TINGEY-HOLYOAK, J. L. Best practice land use planning and cost-effective tools to assure safety downstream of private dams. **Water resources**, v. 43, n. 4, 2016b.
- PISANIELLO, J. D.; TINGEY-HOLYOAK, J. L. Water storage equity and safety assurance policy to mitigate potential 'dual-extreme cumulative threats' in agricultural catchments. **Journal of Hydrology**, 2017.
- PORCEL, O.; CARMEN, M. Coeficiente Kappa promedio: un nuevo parametro para evaluar y comparar el rendimiento de tests diagnosticos binaries. **Universidad de Granada**, 2016.
- REES, W. G. 1990. **Physical Principles of Remote Sensing**. Topics in Remote Sensing Series no. 1. xiv + 247 pp. 3ª Edição.
- RIO GRANDE DO SUL, **Decreto n. 52.931**, de 07 de março de 2016. Dispõe sobre os procedimentos para a Outorga do Direito de Uso da Água e obtenção de Alvará de Obra de Reservatórios em empreendimentos de irrigação, bem como sobre procedimentos para acompanhamento da Segurança de Barragens. Disponível em:
<<https://www.agricultura.rs.gov.br/upload/arquivos/201612/22134620-decreto-52-931-16-outorga-alvara-seguranca-barragens.pdf>>
- RODRIGUES, L. N. et al. Distribuição espacial e área máxima do espelho d'água de pequenas barragens de terra na bacia do rio preto. **Espaço & Geografia**, 2007.
- ROSEGRANT, M. W.; RINGLER, C.; ZHU, T. Water for agriculture: maintaining food security under growing scarcity. **Annual review of Environment and resources**, v. 34, p. 205-222, 2009.
- SANO, E.E.; FERREIRA, L.G.; ASNER, G.P.; STEINKE, E.T. Spatial and temporal probabilities of obtaining cloud-free Landsat images over the Brazilian tropical savanna. **International Journal of Remote Sensing**, vol. 28, n. 12, p. 2739 - 2752, 2007.
- SERPICO, S. B. et al 2012. Information extraction from remote sensing images for flood monitoring and damage evaluation. **Proc. IEEE** 100, 2946-2970. 2012.

- SHEN, Li; LI, Changchun. Water body extraction from Landsat ETM+ imagery using adaboost algorithm. In: Geoinformatics, 2010. **18th International Conference on. IEEE**, p. 1-4, 2010.
- SIEBERT, S.; DÖLL, P. Quantifying blue and green virtual water contents in global crop production as well as potential production losses without irrigation. **Journal of Hydrology**, v. 384, n. 3-4, p. 198-217, 2010.
- SOLTANIAN, F. K.; ABBASI, M.; BAKHTYARI, h. R. R. Flood monitoring using NDWI and MNDWI spectral indices: a case study of aghqala flood-2019, golestan province, iran. **GeoSpatial Conference**. 2019.
- STEPHENS, T. **FAO - Manual sobre pequenas barragens de terra: guia para localização, projeto e construção**. Roma: Organização das Nações Unidas para a alimentação e agricultura, 2011. 120p. (Publicação de FAO sobre rega e drenagem, 64).
- UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. Shuttle Radar Topography Mission. Disponível em: <<https://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em: 15 ago 2019.
- VÖRÖSMARTY, C. J. et al. Global threats to human water security and river biodiversity. **Nature**, v. 467, n. 7315, p. 555, 2010.
- WANG, F. et al. Applications of Landsat-5 TM imagery in assessing and mapping water quality in Reelfoot lake, Tennessee. **International Journal of Remote Sensing**, v. 27, n. 23-24, p. 5269-5283, 2006.
- WANG, Y. et al. Analysis of the water volume, length, total area and inundated area of the Three Gorges Reservoir, China using the SRTM DEM data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 26, n. 18, p. 4001-4012, 2005.
- WILSON, Emily Hoffhine; SADER, Steven A. Detection of forest harvest type using multiple dates of Landsat TM imagery. **Remote Sensing of Environment**, v. 80, n. 3, p. 385-396, 2002.
- XU, H. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. **International Journal of Remote Sensing**, v. 27, n. 14, p. 3025-3033, 2006.
- YANG, X. et al. Mapping of urban surface water bodies from sentinel-2 msi imagery at 10 m resolution via NDWI - based image sharpening. **Remote Sensing**. 2017.
- ZANETTI, J. et al. Análise crítica da evolução do sistema landsat. **Seminário Científico da FACIG**, 2015.

AGRADECIMENTOS

. Preencher somente após aceito para publicação.

CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

. Preencher somente após aceito para publicação.

CONFLITOS DE INTERESSE

Os autores declaram não haver conflitos de interesse.

BIOGRAFIA DO AUTOR PRINCIPAL

Fotografia
do primeiro
autor

Este espaço se destina à inserção de uma bibliografia curta do primeiro autor do artigo. O texto não poderá exceder 100 palavras. O autor deve seguir o padrão descrito na sequência. Cite o nome da pessoa, bem como, o local e/ou o ano de nascimento. Em seguida, informe a formação acadêmica: detalhar nível, área, instituição e local. Descrever posteriormente a experiência profissional relevante, finalizando com a ocupação atual, incluindo a sua localidade. Ao final, podem ser mencionadas publicações prévias e interesses de pesquisa, bem como prêmios e honrarias, desde que não exceda o número máximo de 100 palavras.



Esta obra está licenciada com uma Licença [Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) – CC BY. Esta licença permite que outros distribuam, remixem, adaptem e criem a partir do seu trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que lhe atribuam o devido crédito pela criação original.

APÊNDICES

Link do Template da Revista:

<http://www.seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/about/submissions>

Classificações de periódicos Quadriênio 2013-2016

Título: REVISTA BRASILEIRA DE CARTOGRAFIA

ISSN: 1808-0936

Área de Avaliação: Cartografia

Classificação (WEBQUALIS/ ENGENHARIA I): B2