



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

KAMILA DIAS BERNARDES EL BANNA

**O USO DE VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS (VANTs) PARA
INSPEÇÕES DE SEGURANÇA EM BARRAGENS - ESTUDO EXPLORATÓRIO
UHE TUCURUÍ**

Tucuruí – PA
2021

KAMILA DIAS BERNARDES EL BANNA

**O USO DE VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS (VANTs) PARA
INSPEÇÕES DE SEGURANÇA EM BARRAGENS - ESTUDO EXPLORATÓRIO
UHE TUCURUÍ**

Texto dissertativo apresentado ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Barragem e Gestão Ambiental da Universidade Federal do Pará como requisito para obtenção do título de mestre em Engenharia de Barragem e Gestão Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Rassy Teixeira.

**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)**

E37u El Banna, Kamila Dias Bernardes.
O uso de veículos aéreo não tripulados (VANTs) para inspeção
de segurança em barragens - Estudo exploratório UHE Tucuruí /
Kamila Dias Bernardes El Banna. — 2021.
81 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Marcelo Rassy Texeira
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Núcleo
de Desenvolvimento Amazônico em Engenharia, Mestrado
Profissional em Computação Aplicada, Tucuruí, 2021.

1. sensoriamento remoto. 2. monitoramento. 3. barragem.
I. Título.

CDD 620

KAMILA DIAS BERNARDES EL BANNA

**O USO DE VEICULOS AEREOS NAO TRIPULADOS (VANTs) PARA
INSPEÇÕES DE SEGURANÇA EM BARRAGENS - ESTUDO EXPLORATORIO
UHE TUCURUÍ**

Texto dissertativo apresentado ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Barragem e Gestão Ambiental da Universidade Federal do Para como requisito para obtenção do título de mestre em Engenharia de Barragem e Gestão Ambiental.

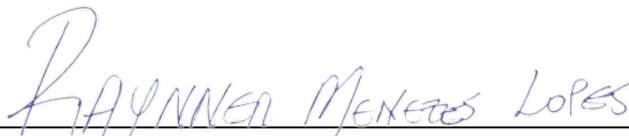
Orientador: Prof. Dr^o Marcelo Rassy Teixeira.

Tucuruí, 28 de maio de 2021.

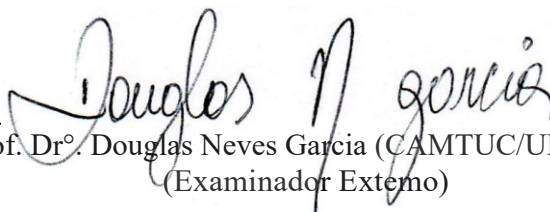
Aprovado por:



Prof. Marcelo Rassy Teixeira, Dr^o Engenharia Civil (NDAE/UFPA)
(Orientador)



Prof. Dr^o. Raynner Menezes Lopes (CAMTUC/UFPA)
(Examinador Interno)



Prof. Dr^o. Douglas Neves Garcia (CAMTUC/UFPA)
(Examinador Externo)

RESUMO

Esta pesquisa tem como objetivo principal, verificar a aplicabilidade de sensoriamento remoto por Veículos Aéreos Não Tripulado (VANTs), ou popularmente conhecidos como (drone) para auxílio na inspeção de segurança em barragens hidrelétricas. Destaca-se o papel e importância dessa tecnologia como meio de inovação, para esta aplicação, como estudo exploratório a UHE Tucuruí. Alguns sinais de deterioração ou rachaduras, por exemplo, só podem ser identificados com inspeções visuais. Por esta razão, elas são insubstituíveis no controle de segurança em barragens. Neste contexto o emprego do VANT é de grande utilidade nessas inspeções, uma vez que sua utilização torna esta atividade mais rápida e segura, pois permite a verificação de regiões da barragem de difícil acesso, possibilitando assim uma documentação integral do estado de conservação da barragem, além da possibilidade de adaptações de sensores de diferentes tipos e aplicabilidades, auxiliando assim em uma inspeção mais detalhada. O VANT, utilizado para esta pesquisa, apresentou resultados satisfatórios para as avaliações a que foi expostos. Foram geradas imagens com qualidade e sequências adequadas, facilmente pode-se observar todas as características da superfície da barragem, proporcionando assim um bom suporte nas atividades de inspeção. Além de dar suporte para avaliação de segurança da barragem, as imagens geradas podem ser reunidas e usadas como base para outros levantamentos fotográficos.

Palavras-chave: Sensoriamento Remoto; Monitoramento; Drone.

ABSTRACT

The main objective of this research is to verify the applicability of remote sensing by Unmanned Aerial Vehicles (UAVs), or popularly known as (drones) to aid in the safety of security in hydroelectric dams. It highlights the role and importance of technology as a means of innovation, for this application, as an exploratory study of the UHE Tucuruí. Some signs of deterioration or cracking, for example, can only be identified with visual inspections. For this reason, they are irreplaceable in dam safety control. In this context, the use of the UAV is very useful in these inspections, since its use makes this activity faster and safer, as it allows the verification of regions of the dam that are difficult to access, thus enabling full documentation of the dam's conservation status, in addition to the possibility of adapting sensors of different types and applicability, thus helping to provide more detailed information. The UAV, used for this research, satisfactory results for the evaluations to which it was exposed. Images with adequate quality and sequences were generated, so you can easily observe all the characteristics of the dam surface, thus providing a good support in the operation activities. In addition to supporting the dam safety assessment, the images generated can be gathered and used as a basis for other photographic surveys.

Keywords: Remote sensing; Monitoring; Drone.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Infiltração com carbonatação.....	10
Figura 02 - Trincas no maciço da barragem.....	11
Figura 03 - Fissura na Hidrelétrica de Mauá.....	11
Figura 04 - Lixiviação do concreto em barragem.....	12
Figura 05 - Barragem afetada pela relação álcali-agregado.....	12
Figura 06 - Desenho esquemático barragem de concreto.....	13
Figura 07 - Imagem térmica panorâmica da barragem do Alto Ceira.....	19
Figura 08 - Modelo tridimensional de estrutura com uso de VANT.....	20
Figura 09 - Detalhes dos contrafortes da ombreira esquerda, em fotografia obtida a partir do uso de um VANT.....	25
Figura 10 - a) Fotografia horizontal da jusante parede de barragem Bouçã. b) fotografia inclinado do vertedouro na crista da barragem.....	26
Figura 11 - Barragem de Bouçã, vista a jusante.....	26
Figura 12 - Limiar em Wloclawek (sem água).....	27
Figura 13 - Limiar em Wloclawek (coberto por água).....	27
Figura 14 - a) Nuvem de pontos densos dos blocos de concreto do lado direito obtidos de aquisição de veículos aéreos não tripulados (UAV); b) Nuvem de pontos densos de todo o sistema de barragem obtido da aquisição de UAV - veículo aéreo não tripulado.....	29
Fig. 1 - Usina Hidrelétrica Tucuruí.....	33
Fig. 2 - DJI Phantom4.....	34
Fig. 3 - VANT iniciando as fotos no Vertedouro da UHE Tucuruí.....	36
Fig. 4 - Plano de voo.....	37
Fig. 5 - Inspeção do VANT.....	38
Fig. 6 - Vertedouro UHE Tucuruí.....	39
Fig. 7 - Mosaico ortorretificado UHE Tucuruí.....	39
Fig. 8 - Modelo 3D (nuvem de pontos) de uma seção do vertedouro.....	40
Fig. 9 - Modelo digital da superfície (MDS).....	40
Fig. 10 - Vertedouro com surgência de água e vegetação: (a) Vista superior; (b) Vista Frontal.....	42
Fig. 11 - Presença de vegetação no vertedouro.....	42
Fig. 12 - Pilar e viga-munhão.....	43
Fig. 13 - Deterioração do concreto da barragem: (a) Imagem geral; (b) Imagem aproximada.....	43
Fig. 14 - Carbonatação.....	44
Fig. 15 - Infiltração: (a) Imagem Geral; (b) Imagem Aproximada.....	44
Fig. 16 - Rachaduras na tomada d'água, conduto forçado. (a) Imagem Geral; (b) Imagem Aproximada.....	45
Fig. 17 - Acumulação de vegetação junto ao talude de jusante da barragem.....	46
Fig. 18 - Vista Jusante.....	46

LISTA DE NOMECLATURAS E ABREVIATURAS

VANT	Veículo Aéreo não Tripulado
UAV	Unmanned Aerial Vehicles
UHE	Usina Hidrelétrica
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
CBDB	Comitê Brasileiro de Barragens
ICOLD	International Commission on Large Dams / Comissão Internacional de Grandes Barragens
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANA	Agência Nacional das Águas
TADS	Training Aids for Dam Safety / Auxílios de treinamento para segurança de barragens
UAS	Unmanned Aerial System / Sistema Aéreo não Tripulado
DCEA	Departamento de Controle do Espaço Aéreo
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
RTK	Real Time Kinematic / Tempo Real Cinemático

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO ..	1
1.1 JUSTIFICATIVA.....	3
1.2 OBJETIVOS.....	3
1.2.1 Objetivo Geral.....	3
1.2.2 Objetivos Específicos.....	4
2. REVISÃO DA LITERATURA ..	5
2.1 BARRAGENS – CONCEITUAÇÃO.....	5
2.2 BREVE HISTÓRICO DAS HIDRELÉTRICAS NO BRASIL.....	6
2.3 RUPTURAS E COLAPSOS DE BARRAGENS.....	7
2.4 ANOMALIAS EM BARRAGENS.....	9
2.5 INSPENÇÕES EM BARRAGENS.....	14
2.6 FUTURO DAS INSPEÇÕES.....	16
2.7 VANTS NO SENSORIAMENTO REMOTO.....	17
2.7.1 Fotogrametria (aerofotogrametria).....	20
2.8 APLICAÇÕES DE VANTs NA ENGENHARIA.....	21
2.8.1 Infraestrutura de transporte.....	21
2.8.2 Inspeção em obras.....	22
2.8.3 Inspeção de Estruturas.....	23
2.9 TRABALHOS RELACIONADOS A USO DE VANTS PARA MONITORAMENTO E INSPENÇÃO DE SEGURANÇA EM BARRAGENS.....	25
3. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	52
4.CONCLUSÃO.....	73
REFERÊNCIAS.....	74
APÊNDICE.....	81

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos maiores construtores mundiais de barragens e o segundo país que mais gera energia hidrelétrica no mundo, ficando atrás apenas da China, com a hidroeletricidade representando 12,6% do total de energia consumida domesticamente e 68,1% da eletricidade do país (EPE, 2017).

As barragens prestam uma importante e significativa contribuição ao desenvolvimento humano, e os seus benefícios derivados são incontestáveis (CMB, 2005). Elas interrompem o curso normal do rio e o desvia para um determinado local formando grandes reservatórios, que estocam a água e permitem a formação de grandes quedas. Sendo assim, produzem força, que é utilizada para movimentar turbinas e acionar o gerador elétrico (PANZERA et al., 2010).

Porém, segundo Xiong (2011), embora seus incontáveis benefícios, a onda de cheia resultante da ruptura ou mau funcionamento destas estruturas foram responsáveis por alguns dos mais devastadores acidentes dos últimos séculos. De acordo com Almeida (2008) assim como outras obras do mesmo porte, a segurança de barragens não pode ser totalmente garantida, desta forma, é necessário um monitoramento criterioso e utilização de medidas de segurança, sejam elas em etapas de projeto ou durante a operação do empreendimento.

Para Jansen (1980) o risco de desastres e o potencial de dano envolvendo barragens é um dos fardos inevitáveis que a civilização carrega. Sendo assim, é uma responsabilidade básica da engenharia encontrar meios para minimizar tais riscos.

São geralmente obras associadas a um elevado potencial de risco, devido à possibilidade de ruptura, vazamentos, infiltração ou alguma outra irregularidade, que podem acarretar consequências catastróficas para o meio ambiente, para economia e principalmente pelo risco de perdas de vidas (AGUIAR, 2014). Por estes motivos, o monitoramento e inspeção constante deste tipo de estrutura é de extrema importância para se garantir sua segurança (MENESCAL, 2009).

Entretanto, o monitoramento das condições estruturais de barragens hidrelétricas gera uma grande demanda de recursos humanos e tempo. Isso se deve principalmente às dimensões de suas áreas, periodicidade necessária e a tecnologia empregada que é muitas vezes obsoleta (CBDB, 2001).

No entanto, atualmente existem mecanismos e tecnologias que podem auxiliar nas inspeções de segurança em barragens, aumentando a rapidez e segurança na obtenção de dados sobre as condições físicas da barragem. Como visto em alguns estudos, dentre eles pode-se

destacar: Utilização de VANTs (Veículos Aéreos Não Tripulados) de pequeno porte em estudos de rompimento de barragens (TSCHIEDEL et al., 2017), Veículos Aéreos não tripulados (VANT) para suporte em inspeções visuais em barragens de concreto (HENRIQUES et al., 2015), e Desenvolvimento fotogramétrico do limiar de água na barragem do rio Vístula em Wloclawek com veículos aéreos não tripulados (VANT) (PRZYBORSKI et al., 2015). Os estudos mencionados, destacam que dentre essas tecnologias, que podem auxiliar na inspeção e monitoramento de segurança em barragens, pode-se destacar os VANTs (Veículos Aéreos Não Tripulados).

O interesse no uso desta tecnologia no Brasil, em diferentes aplicações, tem se intensificado nos últimos anos. O número de usuários atraídos por essa tecnologia aumenta a cada dia, sejam em atividades privadas, governamentais ou até mesmo científicas. Diversos avanços têm sido realizados do ponto de vista de pesquisa, desenvolvimento e inovação tecnológica de VANTs, das mais diversas categorias, tanto no que se refere, a adaptação de sensores dos mais variados tipos, como ao controle e características das aeronaves e ao tratamento das imagens obtidas por meios deles dos mais diferentes tipos (AMARAL, 2009).

Os VANTs, também são comumente conhecidos em inglês como UAVs (Unmanned Aerial Vehicles), ou popularmente conhecido como drone, que é o termo utilizado para todo e qualquer tipo de aeronave controlada à distância, por meios eletrônicos e computacionais sob governança humana, são veículos controlados de forma remota, semiautônoma, autônoma, ou uma combinação destes (ANAC, 2017).

Neste aspecto, eles apresentam-se como uma alternativa promissora, para este tipo de aplicação, uma vez que o seu baixo custo operacional permite a realização de levantamentos periódicos, viabilizando a identificação da integridade estrutural da barragem cotidianamente.

Nessa linha, a utilização de VANTS em inspeção de barragens pode ser de extrema utilidade. Uma vez que com essa nova tecnologia é possível, verificar a existência de, fissuras e trincas, corrosão das armaduras, lixiviação do concreto da barragem, carbonatação do concreto da barragem, infiltração, surgência de água e vegetação em locais indevidos. Dentre outras possibilidades.

Por tanto, esta pesquisa faz um estudo exploratório pretendendo analisar o potencial de uso das imagens capturadas por um VANT de pequeno porte na inspeção de barragens hidrelétricas. As imagens aéreas, capturadas por ele, abrangem áreas bem mais extensas e de difícil acesso, eles registram tais imagens de outros ângulos, enriquecendo consideravelmente as observações de campo.

1.1. JUSTIFICATIVA

O estudo proposto neste trabalho é de grande relevância para área de segurança em barragens. Ressaltando a importância desse tipo de infraestrutura para o país, e enfatizando a necessidade permanente da melhoria das condições de segurança e inspeção em barragens.

O risco dessas estruturas virem a falhar podem ser reduzidos com a implantação de um sistema de monitoramento através de instrumentos, inspeções visuais periódicas, controles topográficos de deslocamentos e sensoriamento remoto. De modo a permitir um acompanhamento pronto e permanente do “estado de saúde” da estrutura da barragem.

Foi observado nos últimos anos a grande quantidade de colapsos ocorridos em barragens no país (TANUS, 2018). Essas fatalidades podem ocorrer por fatores diversos que podem advir desde erros de projeto à falta de manutenção e inspeção da estrutura. Em vista disso, Saurin et al. (2005) afirmam que novas tecnologias são necessárias para garantir a execução do trabalho em zonas de riscos, especialmente em locais de difícil acesso.

Nesse sentido, estudos recentes no campo da engenharia apontam que o uso de Veículos Aéreos não Tripulados auxilia nas inspeções visuais e monitoramento em tempo real de estruturas.

Dessa forma, busca-se por meio do uso de um VANT, gerar imagens que possam auxiliar na identificação de possíveis anomalias na estrutura da barragem, e ao seu redor, que possam ser utilizadas para apoiar atividades da gestão de segurança, verificando a necessidade de manutenção, contribuindo assim com a prevenção de acidentes.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo Geral

Verificar a aplicabilidade de sensoriamento remoto por um VANT de asas rotativas (multirrotores), de pequeno porte, para inspeção de segurança em barragem, tendo como estudo de caso a UHE Tucuruí.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Apresentar informações gerais sobre os veículos aéreos não tripulados (VANTs);
- Destacar a importância de inspeções na segurança de barragens, e a importância na prevenção e correção de falhas;
- Obter um banco de imagens;
- Interpretar as imagens visando à identificação de anomalias;
- Identificar as condições favoráveis e obstáculos para inspeção de segurança por VANTs em barragens hidrelétricas.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Neste tópico serão apresentados conceitos importantes no contexto de barragens, tais como: suas principais anomalias, desastres relacionados, a importância do seu monitoramento, o futuro e novas tecnologias empregadas para sua inspeção.

2.1. BARRAGENS – CONCEITUAÇÃO

De acordo com o Ministério da Integração Nacional (2005), barragem é uma obstrução em um curso permanente ou temporário de água, para determinados fins, compreendendo o barramento, suas estruturas associadas e o reservatório formado pela acumulação.

As barragens podem ser classificadas de várias formas, tendo como referência alguns aspectos como a sua função, a sua estrutura, seus materiais de construção, a sua dimensão (altura e volume do reservatório) entre outros aspectos. Geralmente é usada uma combinação de diversos tipos de classificação para permitir denominar adequadamente a barragem (SOUZA, 2016).

Desde o início da história da humanidade, as barragens foram fundamentais para o seu desenvolvimento. A sua construção devia-se, sobretudo, à escassez de água no período seco e à consequente necessidade de armazenamento de água (CBDB, 2011).

Inicialmente elas eram utilizadas para fins de abastecimento humano. Atualmente são utilizadas para diversas finalidades, como, disposição de rejeitos de mineração, acumulação de resíduos industriais líquidos e para produção de energia elétrica entre outros usos (PIASENTIN, 2018).

Até o ano de 2014, existiam 37.641 barragens do mundo com altura igual ou maior que 15 m de altura, sendo que 36.259, destas tendo dados sobre uso, das quais 8.689 eram de uso total ou parcialmente para geração de hidroeletricidade (ICOLD, 2014).

As barragens hidrelétricas são construções de grande porte, sendo assim demandam grandes investimentos físicos e financeiros e, em especial, projetos adequados, completos e cuidadosos. Nelas, a segurança deve ser considerada prioritária pelo potencial de dano que este tipo de estrutura oferece, elas modificam o arranjo natural do curso d'água, obstruindo a sua passagem, acumulando expressivos volumes de água (VIEIRA et al., 2011).

Segundo Khagram (2004), atualmente está ocorrendo um deslocamento da atividade de construção de barragens para países em desenvolvimento, visto que, houve uma diminuição da disponibilidade de locais com potencial hidrelétrico na América do Norte e Europa além da diminuição da tolerância do público nessas áreas para aceitar os grandes impactos acarretados por este tipo de empreendimento.

De acordo com Sayão (2009), atualmente no Brasil, as barragens construídas são em sua maioria destinadas a geração de energia.

2.2. BREVE HISTÓRICO DAS HIDRELÉTRICAS NO BRASIL

De acordo com Oliveira (2018), a construção de barragens hidrelétricas no Brasil se expandiu a partir do final dos anos 1950 e principalmente depois do regime militar brasileiro. A exemplo disso destaca-se as barragens de Tucuruí e Itaipu, tanto a usina hidrelétrica de Itaipu, quanto a usina hidrelétrica de Tucuruí, começaram a ser construídas em plena ditadura militar no Brasil, Tucuruí em 1974, e Itaipu um ano depois.

O Brasil é o 23º país com mais água disponível por pessoa no mundo, com 48.314m³ por pessoa (ANA, 2015). Isso demonstra o potencial que o Brasil possui em termos de abastecimento e aumenta as convicções de que é realmente uma boa opção construções de barragens no país, devido seu grande potencial hídrico.

Segundo Oliveira (2018), a primeira barragem hidrelétrica do Brasil, foi a barragem do Ribeirão do Inferno situada no rio Jequitinhonha em Minas Gerais, edificada em 1883 para fornecer energia para uma mina de extração de diamantes.

De acordo com Pena (2015), sete anos depois, em setembro de 1889, foi inaugurada a usina de Marmelos, no rio Paraibuna, em Juiz de Fora - MG, a primeira usina hidrelétrica pertencente ao serviço público do Brasil. De acordo com o autor essa hidrelétrica deu início ao desenvolvimento e expansão do setor elétrico no Brasil, intensificada após a Segunda Guerra Mundial (1939-1945), tornando-se relevante na produção de energia.

Atualmente, as barragens hidrelétricas nacionais são responsáveis por 76% de toda a eletricidade gerada no país, conferindo uma posição entre os cinco maiores produtores no mundo (RIBEIRO et al., 2011).

A geração de energia hidrelétrica requer um conjunto de estruturas e equipamentos hidráulicos, no Brasil muitas dessas estruturas estão envelhecendo, levantando assim a preocupação acerca da segurança de barragens (AGUIAR, 2014).

2.3. RUPTURAS E COLAPSOS DE BARRAGENS

De acordo com Zuculin (2012), uma barragem terá vida útil enquanto tiver saúde e cumprir sua função. Barragens são estruturas frágeis por isso devem ser monitoradas constantemente ao longo de sua vida, assim como qualquer outra estrutura, ela se degrada com o tempo, alterando assim seus indicadores de confiabilidade.

Na produção hidroenergética, vários tipos de riscos podem ser considerados, como os riscos ambientais e econômicos, que decorrem normalmente por falhas nas estruturas propriamente ditas (AGUIAR, 2014).

Segundo Fialho (2016), o rompimento de barragens é uma modalidade de desastres consideravelmente recorrente na história da humanidade. Para ele existem dois fatores que podem ser apontados como causa primária desse evento, o primeiro é o surgimento de um fenômeno natural intenso responsável por abalar a estrutura da barragem e o segundo é o mau planejamento e monitoramento dessa estrutura.

As perdas resultantes da ruptura de uma barragem são maiores do que da maioria dos outros tipos de desastres. Porém, a probabilidade de ruptura de uma barragem é geralmente baixa, no entanto as consequências dessa ruptura seriam grandes, por isso é fundamental que o uso dos conhecimentos mais recentes de dimensionamento e a legislação atual, além de novas tecnologias auxiliares para garantir que essa fatalidade seja evitada (VIANNA, 2015).

Segundo Kreuzer (1996), apesar de toda a atenção geralmente dedicada às grandes obras de engenharia, é impossível considerar que o risco das barragens seja nulo, elas estão entre as estruturas civis mais perigosas, devido ao seu potencial de dano. O autor afirma ainda que este tipo de infraestrutura merece uma atenção maior, visto que cada barragem é única, com tipos, porte e comportamentos individuais, são estruturas complexas do ponto de vista da interação entre a sua estrutura e a sua fundação, outro fator que merece a atenção é que elas estão mais expostas às vicissitudes da natureza.

De acordo com Collischonn et al., (1997), quando ocorre a ruptura de uma barragem, as vazões e os níveis resultantes podem ser muito superiores às máximas naturais no trecho a jusante do reservatório, atingindo toda a população ao redor.

Um grande acidente, que pode ser mencionado envolvendo barragens, ocorreu em Riviera Francesa (Côte d'Azur), no sul de França. A barragem de Malpasset era constituída por uma estrutura de concreto em arco, e entrou em colapso em 02 de dezembro de 1959, matando 423 pessoas devido à cheia resultante. A brecha no paramento da barragem criou uma enorme

onda de ruptura e a frente de água, com 40 metros de altura, moveu-se a 70 km/h (BRUEL, 2002).

Outro caso envolvendo colapso de barragens, que merece ser destacado, é o acidente da barragem de Vajont, na Itália, que matou mais de 2.000 pessoas em outubro de 1963, quando a onda de cheia que se formou no reservatório atingiu mais de 100 m de altura, galgando a estrutura da barragem e chegando à pequena cidade de Longarone. A barragem de Vajont era considerada uma das maiores construídas no mundo, até aquele momento, com 261,60 metros de altura e 190 metros de crista, sendo também considerada a mais avançada barragem de duplo arco existente (VERÓL, 2010).

No Brasil, Menescal (2005), em seu trabalho cita o acidente com a barragem de Camará, localizada a aproximadamente a 150 km de João Pessoa (PB), ela foi construída em concreto compactado com rolo, entre os anos de 2000 e 2002. Tinha a altura de 50 metros e 296 metros de comprimento. A barragem de Camará rompeu em 17 de junho de 2004, liberando 17 milhões de metros cúbicos e causando danos por cerca de 20 km a jusante. A barragem apresentou problemas na rocha de fundação de sua ombreira esquerda, abrindo um orifício que propiciou o esvaziamento do seu reservatório.

Onze dias depois, a parte remanescente sobre o orifício também ruiu. Segundo Barbosa et al. (2004), o Ministério Público Federal e Estadual concluiu que a Barragem de Camará não havia sido construída segundo os bons princípios da engenharia e nem tampouco foi considerada, após sua entrega, como uma obra importante que deveria ser monitorada no seu primeiro enchimento.

Como mencionado, o rompimento de uma barragem pode causar inúmeros transtornos, risco à vida, prejuízos econômicos, ambientais e sociais. Para Menescal (2009), provavelmente 9 entre 10 rupturas ocorrem devido a negligências que poderiam ter sido evitadas, sejam elas por falta de comunicação entre as pessoas envolvidas no projeto e na construção ou em função de interpretações excessivamente otimistas das condições geológicas do local de instalação do empreendimento. Ou até mesmo falta de monitoramento e inspeções de segurança dessas barragens.

De acordo com Veról (2010), existem uma série de estudos que podem e devem, ser desenvolvida no contexto de segurança de barragens, auxiliando assim o suporte em tomadas de decisões. Equipamentos adequados para a instrumentação das barragens, estudos e acompanhamento do comportamento das fundações, estudos hidrológicos, para dar embasamento às previsões de cheias excepcionais, e o monitoramento e inspeção estrutural da barragem, são cruciais para se garantir a segurança da barragem.

Segundo Marques (2013), devido à importância e ao mesmo tempo o risco que este tipo de estrutura possui, é primordial que elas sejam monitoradas e inspecionadas constantemente, o que muitas vezes não ocorre na prática. Como pode-se observar nos acidentes que já ocorreram envolvendo barragens, pode se constatar que em muitos casos a negligência foi o fator determinante para a falha.

Barragens Hidrelétricas como a Três Gargantas na China, e Itaipu no Brasil, entre outras do mesmo porte, são obras praticamente eternas. No entanto cabe a engenharia buscar novas tecnologias para auxiliar na fiscalização destas estruturas para identificar possíveis irregularidades e anomalias, que possam colocar em risco a sua segurança (MARQUES, 2013).

2.4. ANOMALIAS EM BARRAGENS

Normalmente os incidentes em barragens ocorrem em decorrência do desenvolvimento de comportamentos anômalos ou inesperados das estruturas. Os problemas encontrados em barragens são normalmente denominados de anomalias ou deteriorações. Anomalias como o nome já diz, se refere à um comportamento anômalo, enquanto deterioração é o processo natural de envelhecimento ou perda de capacidade funcional de parte da estrutura (PIASANTIN, 2018).

De acordo com TADS (2015), é considerado uma anomalia qualquer deficiência que possa vir a afetar a segurança da estrutura, tanto a curto como à longo prazo.

Segundo Cardia et al., (2012), anomalias de barragem são quaisquer manifestações, visual ou não, de alteração negativa do comportamento da estrutura. De acordo com a Resolução ANA 742/2011, Art. 3º:

VII - Anomalia: qualquer deficiência, irregularidade, anormalidade ou deformação que possa vir a afetar a segurança da barragem, tanto a curto como a longo prazo;

VIII - Magnitude: tamanho ou amplitude da anomalia;

IX - Nível de Perigo: gradação do perigo a barragem decorrente da identificação de determinada anomalia;

Existem inúmeras causas e consequências, dessas anomalias. A estrutura da barragem por exemplo, pode sofrer com rachaduras do concreto devido à fluência, retração, carregamentos naturais diversificado, envelhecimento, corrosão das armaduras, dentre outras causas.

Os processos expansivos associados a algumas reações químicas, entre os elementos que constituem o concreto, originam deformações e fissuras no concreto que podem afetar as condições de funcionalidade e a segurança das estruturas. Estes processos são em geral agravados com a presença da água, como visto na Figura 01, que por sua vez, é facilitada pela abertura das fissuras. Nesses casos torna-se necessária uma avaliação por especialistas e o recurso a manutenções e reparos (ANA, 2016).

Figura 01 – Infiltração com carbonatação



Fonte: (ANA, 2016)

De acordo com TADS (2015), normalmente as anomalias existentes nos paramentos de barragens de concreto podem ser detectadas:

- Olhando-se da crista, ombreiras ou áreas à jusante;
- Olhando-se de um barco. Para uma inspeção eficiente, deve-se percorrer os paramentos de montante ou jusante da barragem para observá-los mais de perto;
- Dependendo do tamanho da barragem, sua margem pode ser inspecionada utilizando-se binóculos ou olhando-se de um barco.

De acordo com Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens, da Agência Nacional das Águas (ANA, 2016), em barragens de concreto observam-se frequentemente trincas de diversos tipos (Figura 02). Isso ocorre devido as variações diárias de temperatura, essas trincas normalmente envolvem apenas uma área superficial das estruturas não acarretando assim em uma alteração significativa, originam em regra uma fissuração superficial.

Figura 02 – Trincas no maciço da barragem

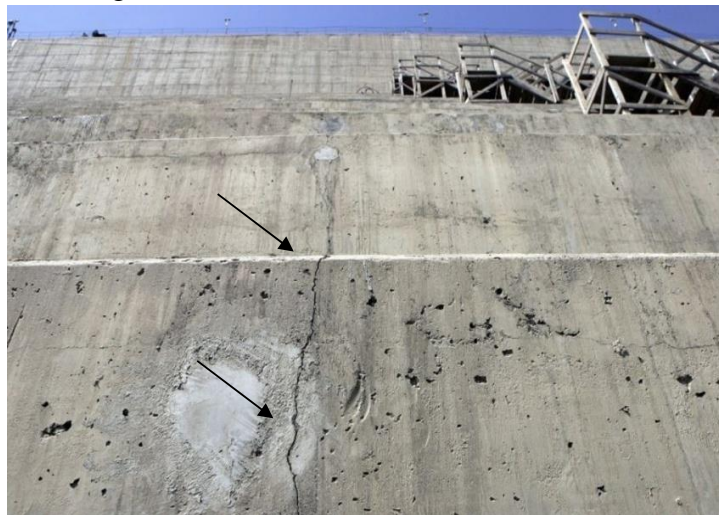


Fonte: (PAIVA et al. 2015)

De acordo com a natureza de cada deterioração é possível separá-las em diferentes tipos. As principais anomalias que têm sido observadas nas barragens de concreto podem ser classificadas da seguinte forma (ICOLD, 1994):

- Deterioração Físico-Mecânica: relacionada à ação mecânica do meio sobre a estrutura, tais como fissuração (Figura 03) e erosão;

Figura 03 – Fissura na Hidrelétrica de Mauá



Fonte: (ANTONELLI, 2011)

- Deterioração Físico-Química: relacionada à ação físico-química do meio sobre a estrutura, tais como a lixiviação (Figura 04), ou às reações químicas que podem ocorrer no concreto, provocadas principalmente por alguns de seus componentes.

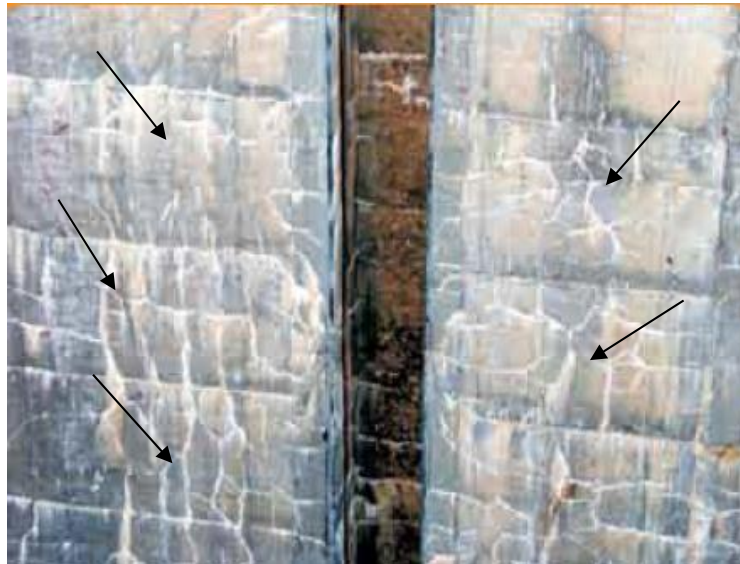
Figura 04 – Lixiviação do concreto em barragem



Fonte: (CARDIA et al. 2012)

A degradação do concreto devido a reações químicas entre os seus componentes origina expansões diferenciais como reações com sulfatos e álcali-agregados. A reação álcali-agregado, é extremamente nociva à estrutura pois possui caráter expansivo, o que pode acarretar em fissuração (HELENE, 1992). Como pode ser visualizado na Figura 05.

Figura 05 – Barragem afetada pela relação álcali-agregado

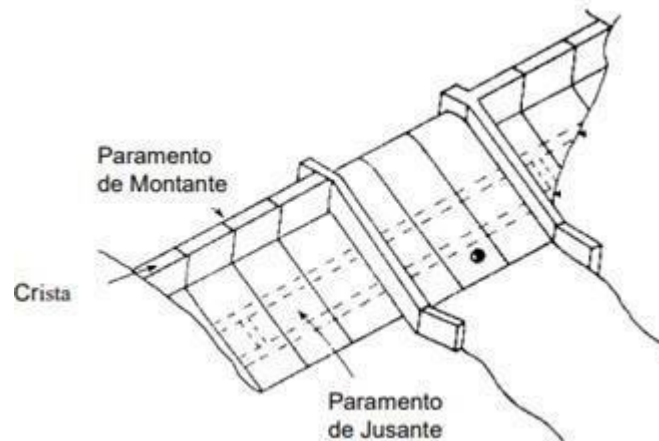


Fonte: (HASPARYK et al.2006)

A Reação Álcali-Agregado (RAA), apesar de não produzir efeitos que resultem em um colapso da estrutura, essa anomalia gera uma série de ataques químicos que danificam a barragem, levando em certos casos ao comprometimento operacional da estrutura (SILVA, et al., 2010).

Miranda (2016), em seu curso de Inspeção e Segurança de Barragens, tendo como referência o material didático que faz parte do programa “Training Aids for DamSafety (TADS)”, faz algumas recomendações para a inspeção de segurança em barragens de concreto (Figura 06).

Figura 06 – Desenho esquemático barragem de concreto



Fonte: (MIRANDA, 2016)

Na crista de uma barragem de concreto deve se averiguar:

- Fissuras;
- Deslocamentos nas fissuras ou juntas;
- Fissuras no concreto em volta de corrimões ou outras peças metálicas embutidas no concreto que podem também indicar deslocamento;
- Deterioração do concreto como desintegração, fragmentação (placas de concreto se desprendendo da superfície), rebentamento (pequenas depressões cônicas deixadas quando partes do concreto se desprendem da superfície), cavitação ou escamamento.

Nos paramentos de uma barragem de concreto deve-se examinar:

- Fugas d'água, ou sinais de fuga d'água, como água nas juntas, fissuras ou juntas de construção, umidade, manchas, vegetação ou eflorescência;
- Fissuras;
- Deterioração do concreto;
- Deterioração da argamassa que une a rocha, o tijolo, a pedra ou blocos de cimento;
- Folga e deslocamento dos blocos.

Diversas são as causas de deterioração de estruturas hidráulicas em concreto. A água agiliza o processo de deterioração do concreto por inúmeras razões. Segundo Zuculin (2012), uma barragem de concreto deve resistir a consideráveis pressões hidrostáticas

provenientes da água do reservatório. A água, em certas situações, pode penetrar na fissura ou numa junta de construção, por exemplo, caso o esforço resultante seja na forma de subpressão, ou seja, quando ela atua na direção vertical.

Vale ressaltar que uma anomalia pode dar origem a um incidente na barragem que pode desencadear em um acidente. E para se constatar essas anomalias, é necessária uma inspeção efetiva, uma vez que contribui para a sua detecção na fase inicial além de detectar seu processo de desenvolvimento, permitindo assim que sejam tomadas medidas adequadas de manutenção e reparo.

2.5. INSPEÇÕES EM BARRAGENS

De acordo com Manual de Segurança e Inspeção de Barragens (2012), todas as barragens devem ser inspecionadas periodicamente para se detectar eventuais deteriorações ou anomalias, para que, seja então recomendado ações remediáveis.

De acordo com Piasentin (2018), o propósito da inspeção em barragens é identificar deficiências ou anomalias em um estágio inicial de modo que ações preventivas possam ser executadas antes que a segurança da barragem possa ser comprometida.

As inspeções devem ser orientadas para se verificar os tópicos críticos e vitais da barragem, porém essas inspeções não devem limitar-se somente a observar à área da barragem, mas também às estruturas anexas (PIASENTINI, 2018).

De acordo com Fonseca (2003), as principais anormalidades que somente podem ser detectadas durante uma inspeção de campo em barragens são: surgências d'água, fissuras superficiais, erosões e carbonatação, habitualmente essas inspeções são realizadas por meio de caminhadas ao longo da barragem e do reservatório, bem como em áreas próximas a região do barramento.

De acordo com Dias (2011), a inspeção visual deve ser guiada pelas perguntas:

1. O que pode dar errado aqui? Quais os possíveis modos de falha desta estrutura?
2. Existem evidências que este modo de falha esteja se materializando?
3. Qual o gatilho para a materialização deste modo de falha?

Segundo Fonseca (2003), as inspeções podem ter diferentes níveis de abordagem, detalhamento e periodicidade, constituindo elementos fundamentais no controle de uma barragem, além de inspeções rotineiras, existem também a inspeção de emergência.

Inspeções de Emergência consistem na inspeção da barragem, parte dela, ou de estruturas anexas, devido a ocorrência de algum evento ou anomalia muitas vezes repentino, que possam colocar em perigo a situação das estruturas ou da área a jusante do barramento (DOS SANTOS, 2015).

Piasentin (2018), acrescenta ainda que, deve-se ter o conhecimento que apenas a instrumentação de monitoramento da barragem, por mais sofisticada que ela seja, por si só, não é suficiente para se garantir a segurança da barragem, deve-se por tanto associa-las à uma inspeção visual direta. Segundo o autor, devido às grandes dimensões de uma barragem e ao fato de que os instrumentos não estão localizados necessariamente na região onde um fenômeno danoso pode se manifestar, por isso é extremamente útil vistoriar periodicamente toda a estrutura da barragem, procurando por sinais de possíveis problemas, como já citado anteriormente que são: fissuração, áreas úmidas, novas surgências, carbonatação entre outros.

De acordo com a Política Nacional de Segurança de Barragens (Lei nº 12.334/2010), na ocasião de uma inspeção regular, se for constatada alguma anomalia ou ainda se houver alguma informação de anomalia, a equipe de segurança do empreendedor deve ser avisada, para análise do ponto de vista técnico qual grau de risco dessa ocorrência.

De acordo com o Manual de Segurança de Barragens (2012), as eventuais obras de reparo ou de manutenção recomendadas nas inspeções, deverão ser implementadas com a máxima brevidade possível, assim como, as providências e recomendações.

Além do monitoramento da estrutura do barramento poderá ser de interesse monitorar a área do reservatório, visando verificar:

- Escorregamentos de encostas nas margens;
- Fugas de água do reservatório;
- Assoreamento junto às estruturas.

Alguns sinais de deterioração e rachaduras de barragens só pode ser identificado por inspeção visual. Por esta razão, inspeções visuais são insubstituíveis no controle da segurança de barragens. Em relação às paredes exteriores, e às vezes também a crista, pois não há acesso direto a maioria dessas áreas, ele é usado câmeras e/ou binóculos para realizar o trabalho de inspeção, o que geralmente é feito a partir das margens do rio.

2.6. FUTURO DAS INSPEÇÕES

As inspeções tradicionais podem ser pouco seguras, já que muitas vezes ela exige que os profissionais responsáveis fiscalizem locais insalubres ou de difícil acesso. Por isso

Saurin et al. (2005) afirmam que novos mecanismos são necessários para garantir a inspeção em zonas de riscos, especialmente em locais de difícil acesso, por não existir atualmente ferramentas que permitam avaliar o risco de forma realística.

Segundo Melo (2015), habitualmente, o monitoramento e inspeção de estruturas são realizados por meio de investigação visual, o que oferece certas limitações de acesso aos técnicos responsáveis, especialmente em caso de estruturas como barragens, pontes, igrejas, e até mesmo em prédios.

Devido ao caráter instável do monitoramento e inspeção de atividades do setor de indústria e construção, muitos pesquisadores têm buscado a utilização de novas tecnologias a fim de buscar soluções para monitorar e inspecionar os processos que envolvem esta área, aumentando assim a confiabilidade das informações coletadas em campo (LISBOA et al., 2018).

Existem novas tecnologias que estão sendo empregadas atualmente, que facilitam e agilizam estas atividades de inspeção e monitoramento, à exemplo disso pode-se destacar o VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado), observa-se nos últimos anos uma intensificação no mercado mundial e brasileiro, do uso dessa tecnologia. Os VANTs podem não só detectar irregularidades de forma mais rápida, como também de forma barata e segura. Devido aos avanços em processamento de imagens dos VANTs, as empresas podem analisar dados em tempo real e com muito mais precisão (PECHARROMÁN et al., 2016).

Eschamann et al. (2012), afirmam que o uso de VANTs para a realização monitoramento e inspeção se mostra promissor, já que elimina a necessidade de equipamentos de elevação, além de garantir o aumento da segurança durante o processo de inspeção e realizando a atividade de maneira mais eficiente e econômica.

Os VANTs vieram para revolucionar as atividades de inspeção, além de não entrarem em contato direto com o objeto de estudo, geram dados confiáveis de maneira rápida, além de alcançarem locais de difícil acesso, dessa forma, com a sua utilização economiza-se tempo e aumenta a segurança dos envolvidos nesta atividade.

2.7. VANTS NO SENSORIAMENTO REMOTO

O sensoriamento remoto é a ciência que abrange a medição e obtenção de dados sobre um alvo ou fenômeno na superfície terrestre, esta avaliação é realizada através de sensores que não entram em contato físico com o objeto estudado (LILLESAND et al., 2000).

Segundo Batista (2002), o conceito de sensoriamento remoto, advém dos termos “Sensor” que vem de sentir, pois é um equipamento apto para localização de sinais e “Remoto” de longe e distante, com isso sensoriamento remoto é a obtenção de dados acerca de fenômenos ou objetos da superfície terrestre, fazendo uso de sensores, não havendo contato diretamente entre ele.

Para Elachi (1987), sensoriamento remoto nada mais é que “a aquisição de informações sobre um objeto sem que se entre em contato físico com ele”. As informações sobre uma área da superfície terrestre podem ser logradas diretamente em campo ou indiretamente por meio de produtos do sensoriamento remoto, que consiste na utilização conjunta de modernos sensores, equipamentos, aeronaves, espaçonaves e etc. (NOVO, 2008).

Através do sensoriamento remoto pode-se obter informações novas, assemelhando-se ao levantamento diretamente em campo, entretanto, sua grande vantagem é a capacidade de rapidez de geração de dados (LONGHITANO, 2010). De acordo com Jensen (2009), o sensoriamento remoto realizado por Veículos Aéreos não Tripulados (VANT) existem inúmeras vantagens, entre elas, a segurança do operador.

VANTS (Veículos Aéreos não Tripulados) conhecido em inglês como UAVs (Unmanned Aerial Vehicles), ou UAS (Unmanned Aerial System), ou popularmente conhecido como drone, é o termo utilizado para todo e qualquer tipo de aeronave controlada à distância, por meios eletrônicos e computacionais sob governança humana, são veículos controlados de forma remota, semiautônoma, autônoma, ou uma combinação destes (EVERAERTS, 2008).

O termo “drone”, é apenas um nome genérico, que teve origem nos Estados Unidos da América (EUA), que em português significa (zangão, zumbido). Esta nomenclatura vem se difundindo em todo o mundo, para caracterizar todo e qualquer objeto voador não tripulado, seja ele para qualquer propósito e utilização como: uso profissional, recreativo, militar ou comercial. Ou seja, a palavra Drone é apenas um termo generalizado e sem amparo técnico ou definição específica na legislação (VALIM et al., 2017).

Em contrapartida a denominação VANT, é a terminologia oficial prevista pelos órgãos reguladores brasileiros do transporte aéreo para definir este tipo de plataforma. Segundo a legislação pertinente caracteriza-se como VANT toda aeronave projetada para operar sem piloto a bordo. No entanto para ser considerado um VANT, a aeronave deve ser de caráter não recreativo e possuir uma carga útil embarcada, ou seja, nem todo “drone” pode ser considerado um VANT, uma vez que, qualquer plataforma não tripulada utilizada como hobby ou esporte enquadra-se, por definição legal, na legislação pertinente aos aeromodelos e não à de VANT (DCEA, 2018).

Segundo Habib et al. (2007), a denominação VANT, inclui a plataforma e os sistemas de controle, constituem uma tecnologia em grande expansão, com diversas utilizações, que vão desde o transporte de câmeras de filmar para vigilância como, podem também ser amplamente utilizados no ramo da engenharia, como a captação de informação geográfica para diversos fins, e o monitoramento e inspeção de segurança em obras e infraestruturas.

Os dois principais tipos de VANTs são: os multirrotores e os de asa fixa. Os dois tipos são utilizados para o levantamento de informações geoespaciais, mas cada um obedecendo a sua arquitetura e capacidade (LONGHITANO, 2010).

Segundo Moutinho (2015), os VANTs do tipo multirrotores são os mais indicados para trabalhos arquitetônicos de fotometria por decolarem de forma vertical em espaços confinados. Estes VANTs são indicados para atividades de inspeção.

Segundo Medeiros (2007), as pesquisas nessa área no país ainda são muito recentes, porém atualmente percebe-se um aumento significativo de estudos de aplicabilidade desta tecnologia, as utilidades e aplicações dos VANTs vem sendo pesquisadas de maneira exponencial e dentre as principais aplicações estão a agricultura, mineração, engenharia civil e ambiental.

Existem vários modelos de VANTs em uso no mercado, assim como também vários modelos de sensores que podem ser acoplados a este tipo de equipamento.

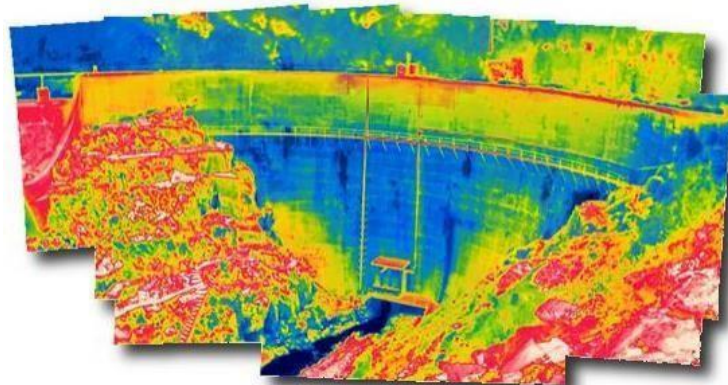
De acordo com Munaretto (2015), existem sete tipos de sensores, que podem ser utilizados em VANTs para ampliar seu campo de estudo, são eles:

- i. sensores na faixa do visível (RGB) muito usados para inspeção de infraestruturas, monitoramento de obras, agricultura e mineração;
- ii. sensores infravermelhos (IV), que são capazes de identificar, por exemplo, estresses hídricos e temperatura;
- iii. sensores multiespectrais, que conseguem auxiliar na detecção de determinados aspectos das plantas água ou do terreno;
- iv. sensores hiperespectrais, que podem capturar centenas de imagens da região do visível ao infravermelho de ondas médias;
- v. sensores de monitoramento do espectro de frequência, que monitoram e caracterizam sinais emitidos por aeronaves, navios e outros emissores de interesse de uma força armada ou órgão de espionagem;
- vi. radar, capaz de mapear terrenos, florestas e edifícios emitindo ondas eletromagnéticas e coletando a energia retroespalhada (retornos do solo);

- vii. e lidar, que permite a aquisição de uma nuvem de pontos mais densa e detalhada. O tipo de sensor mais utilizado em VANTs são os sensores RGBs, pois estes sensores trabalham mais na faixa de frequência visível ao olho humano. Os mesmos podem ser encontrados nas câmeras mais comuns ou nas mais profissionais. Os infravermelhos, multiespectral, hiperespectral e o termal são utilizados de acordo com o projeto, pois esses sensores estão dentro uma faixa espectral diferente da visível (MUNARETTO,2015).

Entres esses sensores podem se destacar os sensores infravermelhos, ou sensores térmicos, com eles é possível o levantamento térmico da estrutura desejada (Figura 07). De acordo com Henriques et al. (2014), estes sensores formam uma imagem do objeto de interesse, com base na radiação infravermelha incidente. Podem assim ser utilizadas na monitorização de estruturas desde que o fenômeno que se quer detectar tenha reflexos na temperatura superficial da estrutura.

Figura 07 – Imagem térmica panorâmica da barragem do Alto Ceira



Fonte: (HENRIQUES et. al 2015)

Outro tipo de sensor voltado para aeronaves não tripuladas e o LIDAR (Light Detection And Ranging – Detecção na Mudança de Luz). Esse sensor emite pulsos de luz (laser) para medir a distância do objeto e sua altura. Suas aplicações estão voltadas para a geração de imagens 3D, gerando o cálculo de volumes, a topografia da área entre outras aplicações (KEMP, 2008).

Para Eisenbeib (2009), os veículos aéreos não-tripulados (VANTs), apresentam-se como uma excelente ferramenta para obtenção de imagens aéreas. Além disso, constituem uma alternativa para criação de modelos 3d através da fotogrametria, como pode ser observado na Figura 08.

Figura 08 – Modelo 3D (nuvem de pontos) de uma seção do vertedouro



Fonte: (HENRIQUES et al. 2015)

Morgenthal et al. (2014) ressaltam ainda que, entre as vantagens do uso dessa tecnologia destaca-se a capacidade de transferência dados em tempo real entre o VANT e a estação de controle, além do armazenamento de dados a bordo durante todo o voo. Para Siebert et al. (2014) as vantagens do uso de VANTs se dá devido ao baixo custo, agilidade de coleta e processamento de imagens, facilidade de manobra e ao eficiente sistema de captura de imagem.

2.7.1. Fotogrametria (aerofotogrametria)

Antes de definir uma fotogrametria deve-se determinar primeiramente o que é uma imagem fotográfica aérea. Uma imagem fotográfica segundo Ray (1963), consiste em um registro instantâneo de um terreno mostrando os seus detalhes, isso ocorre principalmente pela distância focal da lente da câmera, pela altura do voo do avião no momento da exposição para capturar a imagem, pelo tipo de filme e filtros usados. As imagens aéreas estão relacionadas geometricamente com o tipo de câmera utilizada. As fotografias aéreas podem ser tiradas na forma vertical ou oblíqua. No contexto deste trabalho as fotos aéreas foram tiradas de forma oblíqua.

A partir da definição de fotos aéreas, a fotogrametria se utiliza destas imagens aplicando medições através de pontos de posicionamento relativos. Com isso pode-se fazer o recobrimento e a representação da área através de imagens aéreas, as quais são retiradas sucessivamente, ao longo de uma direção de voo (TEMBA, 2000).

Esta tecnologia cria então imagens 3D com base em imagens 2D podendo gerar os seguintes artefatos de medida: distâncias, áreas, volumes, elevações, tamanhos e formas de objetos (REDWEIK, 2007).

2.8. APLICAÇÕES DOS VANTs NA ENGENHARIA

A evolução tecnológica permitiu que equipamentos de alta complexidade como os VANTs se tornassem acessíveis a população, podendo ser utilizados nos mais variados tipos de aplicação, principalmente na área da engenharia. Isso se deve à capacidade do VANT em alcançar locais de difícil acesso, fornecendo perspectivas diferenciadas, com velocidade de execução e alto nível de precisão para a coleta de imagens digitais, eles formam um mercado que permanecerá em expansão por muitos anos (COUTINHO et al. 2015).

Os VANTS não apenas podem executar trabalhos perigosos, como também facilitam a aquisição de inúmeros conjuntos de dados, e o fazem com precisão e com custos reduzidos. As empresas que operam redes extensas de ativos complexos distribuídos ao longo de vastas áreas (por exemplo, energia, estradas, ferrovias ou petróleo e gás) podem se beneficiar altamente dessa tecnologia (PECHARROMÁN et al., 2016).

2.8.1. Infraestrutura de transporte

De acordo com Puri (2005), entre as inúmeras aplicações dos VANTs nesta área destacam-se: o monitoramento das condições ambientais do entorno das rodovias, controle de avalanches ao longo das mesmas.

Borges et al., (2017), em seu estudo a “Utilização de drones de Pequeno Porte como Alternativa de Baixo Custo para caracterização topográfica da Infraestrutura de Transporte no Brasil”, avaliaram a precisão da aerofotogrametria coletadas com drones de baixo custo, de modelos de terreno e mosaico de imagens ortoretificadas comparando-as com o levantamento topográfico efetuados por pontos RTK (Real Time Kinematic) já realizado no local. A partir das análises e processamentos efetuados neste estudo os autores observaram uma ótima relação custo-benefício para o mapeamento de pequenas áreas, realizado a partir de dados coletados com drones.

Entre as utilizações de VANTs para monitoramento de infraestrutura de transporte, Themistocleous et al., (2014) e Zhang (2008) apresentam estudos sobre a utilização desta tecnologia para avaliação de pavimentos e para avaliação das condições de rodovias não pavimentadas. Ambos os estudos destacam que o método geralmente utilizado para esses tipos de avaliação baseia-se principalmente em inspeções visuais de campo, ou seja, sem nenhuma avaliação mais profunda da severidade dos danos, avaliação esta, que seria possível com a utilização de VANTS.

Themistocleous et al., (2014) apresentam em sua pesquisa a integração entre tecnologias de sensoriamento remoto não-destrutivas e não-invasivas, como diferentes radares e sensores associados a um VANT, essas tecnologias são combinadas para se obter informações sobre danos maiores presentes na superfície e subsuperfície de pavimentos rodoviários, incluindo rachaduras e falhas mais profundas, que somente com inspeção visual como citado a cima não seria possível.

Barros et al., (2017), em seu estudo “As Potencialidades e Limitações do uso do VANT no Monitoramento de faixas de Domínio de Rodovias Federais”, avaliam a possibilidade do uso do imageamento aéreo por veículo aéreo não tripulado - VANT para o monitoramento das faixas de domínio das rodovias federais brasileiras. Com os resultados obtidos neste trabalho os autores atestaram que existe uma boa relação de custo benefício, com o uso desta tecnologia, sendo possível obter produtos de alta resolução.

2.8.2. Inspeção de obras

Antes de definir uma fotogrametria deve-se determinar primeiramente o que é uma imagem fotográfica área. Uma imagem fotográfica segundo Ray (1963), consiste em um registro instantâneo de um terreno mostrando os seus detalhes, isso ocorre principalmente pela distância focal da lente da câmera, pela altura do voo do avião no momento da exposição para capturar a imagem, pelo tipo de filme e filtros usados. As imagens áreas estão relacionadas geometricamente com o tipo de câmera utilizada. As fotografias aéreas podem ser tiradas na forma vertical ou oblíqua. No contexto deste trabalho as fotos áreas foram tiradas de forma oblíqua.

A partir da definição de fotos áreas, a fotogrametria se utiliza destas imagens aplicando medições através de pontos de posicionamento relativos. Com isso pode-se fazer o recobrimento e a representação da área através de imagens aéreas, as quais são retiradas sucessivamente, ao longo de uma direção de voo (TEMBA, 2000).

Esta tecnologia cria então imagens 3D com base em imagens 2D podendo gerar os seguintes artefatos de medida: distâncias, áreas, volumes, elevações, tamanhos e formas de objetos (REDWEIK, 2007).

2.9. APLICAÇÕES DOS VANTs NA ENGENHARIA

A evolução tecnológica permitiu que equipamentos de alta complexidade como os VANTs se tornassem acessíveis a população, podendo ser utilizados nos mais variados tipos de aplicação, principalmente na área da engenharia. Isso se deve à capacidade do VANT em alcançar locais de difícil acesso, fornecendo perspectivas diferenciadas, com velocidade de execução e alto nível de precisão para a coleta de imagens digitais, eles formam um mercado que permanecerá em expansão por muitos anos (COUTINHO et al. 2015).

Os VANTS não apenas podem executar trabalhos perigosos, como também facilitam a aquisição de inúmeros conjuntos de dados, e o fazem com precisão e com custos reduzidos. As empresas que operam redes extensas de ativos complexos distribuídos ao longo de vastas áreas (por exemplo, energia, estradas, ferrovias ou petróleo e gás) podem se beneficiar altamente dessa tecnologia (PECHARROMÁN et al., 2016).

2.9.1. Infraestrutura de transporte

De acordo com Puri (2005), entre as inúmeras aplicações dos VANTs nesta área destacam-se: o monitoramento das condições ambientais do entorno das rodovias, controle de avalanches ao longo das mesmas, assim como o monitoramento de acidentes e resgate.

Borges et al., (2017), em seu estudo a “Utilização de drones de Pequeno Porte como Alternativa de Baixo Custo para caracterização topográfica da Infraestrutura de Transporte no Brasil”, avaliaram a precisão da aerofotogrametria coletadas com drones de baixo custo, de modelos de terreno e mosaico de imagens ortoretificadas comparando-as com o levantamento topográfico efetuados por pontos RTK (Real Time Kinematic) já realizado no local. A partir das análises e processamentos efetuados neste estudo os autores observaram uma ótima relação custo-benefício para o mapeamento de pequenas áreas, realizado a partir de dados coletados com drones.

Entre as utilizações de VANTs para monitoramento de infraestrutura de transporte, Themistocleous et al., (2014) e Zhang (2008) apresentam estudos sobre a utilização desta tecnologia para avaliação de pavimentos e para avaliação das condições de rodovias não pavimentadas. Ambos os estudos destacam que o método geralmente utilizado para esses tipos de avaliação baseia-se principalmente em inspeções visuais de campo, ou seja, sem nenhuma avaliação mais profunda da severidade dos danos, avaliação esta, que seria possível com a utilização de VANTS.

Themistocleous et al., (2014) apresentam em sua pesquisa a integração entre tecnologias de sensoriamento remoto não-destrutivas e não-invasivas, como diferentes radares e sensores associados a um VANT, essas tecnologias são combinadas para se obter informações sobre danos maiores presentes na superfície e subsuperfície de pavimentos rodoviários, incluindo rachaduras e falhas mais profundas, que somente com inspeção visual como citado acima não seria possível.

Barros et al., (2017), em seu estudo “As Potencialidades e Limitações do uso do VANT no Monitoramento de faixas de Domínio de Rodovias Federais”, avaliam a possibilidade do uso do imageamento aéreo por veículo aéreo não tripulado - VANT para o monitoramento das faixas de domínio das rodovias federais brasileiras. Com os resultados obtidos neste trabalho os autores atestaram que existe uma boa relação de custo benefício, com o uso desta tecnologia, sendo possível obter produtos de alta resolução.

2.9.2. Inspeção de estruturas

Usualmente o monitoramento e inspeção de estruturas são realizados por meio de investigação visual, o que oferece certas limitações de acesso aos técnicos responsáveis, especialmente em caso de estruturas como barragens, pontes e até mesmo em prédios com muitos andares (MELO, 2016).

Eschmann et al. (2012) em seu estudo, “Masonry Crack Detection Application of an Unmanned Aerial Vehicle”, discutem grandes desafios na detecção de trincas com o auxílio de VANTs, neste artigo os autores explanam as etapas para realizar medições de rachaduras e mostram resultados preliminares obtidos usando um algoritmo de identificação de trinca.

O estudo de Reagan (2015), “Unmanned aerial vehicle acquisition of three-dimensional digital image correlation measurements for structural health monitoring of bridges” (Aquisição de veículos aéreos não tripulados de medições de correlação de imagens digitais tridimensionais para monitoramento de saúde estrutural de pontes), comprova tal afirmação. O objetivo desta pesquisa foi demonstrar a capacidade e eficácia de um VANT equipado com um sensor 3D-DIC para ser usado no monitoramento de rachaduras e expansão de pontes de concretos. Neste estudo o autor constatou a eficácia dessa tecnologia para esta aplicação.

Enquanto Kumar et al., (2013), em seu trabalho realizaram o mapeamento de uma torre na Índia com 300 metros de altura, em que a estrutura foi examinada de diferentes ângulos.

Através dos ativos visuais foi possível visualizar rachaduras, danos estruturais internos, exposição da armadura de aço e ferrugem entre outras manifestações patológicas.

2.10. TRABALHOS RELACIONADOS A USO DE VANTS PARA MONITORAMENTO E INSPEÇÃO DE SEGURANÇA EM BARRAGENS

Ao se pesquisar trabalhos relacionados foram identificados artigos que demonstram os resultados da utilização de Vants para monitoramento e inspeção de barragens, entre eles:

- Utilização de VANTS de pequeno porte em estudos de rompimento de barragens.

Tschiedel et. al. (2017), realizam o presente estudo na UHE Canastra, usina hidrelétrica de derivação localizada no alto da bacia do Rio Paranhana, mais especificamente no Rio Santa Maria, no município de Canela, no Estado do Rio Grande do Sul. A usina tem uma potência total de 44 MW, representados por duas turbinas Francis de eixo horizontal de 22 MW cada. O reservatório, tem uma área superficial de aproximadamente 0,05 km² e é constituído a partir de uma barragem do tipo Ambursen em concreto armado, com altura máxima de 26 metros e comprimento de 179 metros. A Figura 09 foi feita com um VANT de pequeno porte (Phantom II, da empresa DJI, com uma GoPro Hero2+ embarcada).

Figura 09 - Detalhes dos contrafortes da ombreira esquerda, em fotografia obtida a partir do uso de um VANT



Fonte: (TSCHIEDEL et al., 2017)

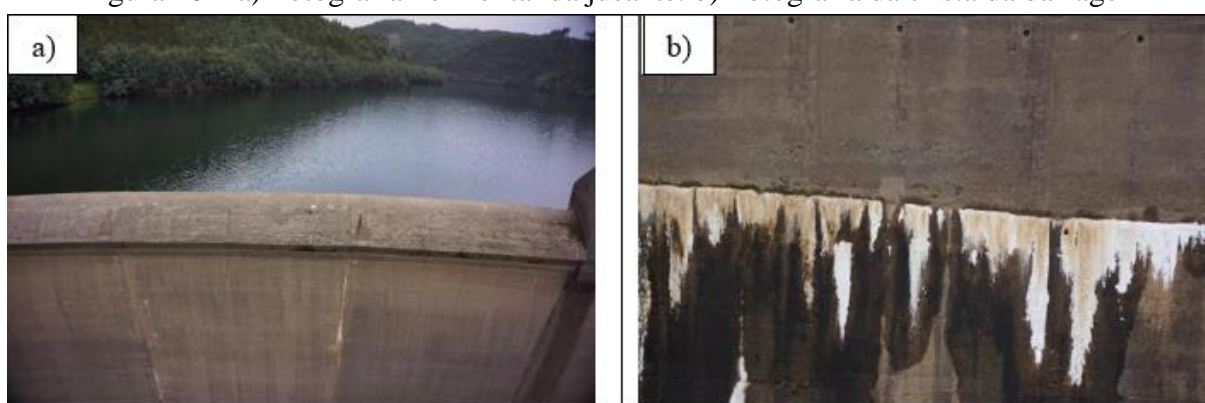
Este trabalho mostrou a viabilidade de utilização de VANTS de pequeno porte para subsidiar dados topográficos em estudos de rompimento de barragens. No presente estudo os

autores inspecionaram diferentes trechos do Rio Santa Maria e compararam com produto aerofotogramétrico de menor precisão. Como este trabalho os autores comprovaram que a utilização de VANT para este tipo de estudo se mostrou uma ferramenta muito útil que tem grande potencial para se tornar em um futuro próximo, uma das principais formas de se obter dados de topografia em locais de difícil acesso. Vale ressaltar que, os autores enfatizam que não só para subsidiar estudos de rompimento de barragens, como também para fornecer dados topográficos que podem ser utilizados em diversos outros tipos de projetos.

- Unmanned Aerial Vehicles (UAV) as a supportto Visual Inspection sof concrete Dams/Veículos Aéreos não Tripulado (VANT) como suporte em Inspeções visuais de Barragens de Concreto.

Este artigo apresenta os resultados de um levantamento fotográfico (Figura 10), com auxílio de um drone da marca SKY II, de uma pequena área na face a jusante e do vertedouro central da barragem de Bouçã, em Portugal. Henriques et. al., (2015), destacam que as fotos tiradas como auxílio do drone atenderam o objetivo proposto, visto que com as imagens obtidas pode-se facilmente ver todas as características da superfície da barragem. Eles ressaltam ainda que as imagens efetuadas no presente estudo foram reunidas para criação de um ortomosáico da área pesquisada na face a jusante, um produto cartográfico que pode ser usado como suporte para outros levantamentos fotográficos.

Figura 10 – a) Fotografia horizontal da jusante. b) Fotografia da crista da barragem



Fonte: (HENRIQUES et al., 2015)

Com o presente estudo, verificou-se que nos blocos centrais da parede a jusante existem fissuras nas juntas horizontais de betonagem. Devido à cor dos depósitos de carbonatos sob as rachaduras, pode-se facilmente ver sua localização (Figura 11), também feita com o drone SKY II.

Figura 11 – Barragem de Bouçã, vista a jusante



Fonte: (HENRIQUES et al., 2015)

Segundo Henriques et. al. (2015), pode-se utilizar técnicas de classificação de imagens digitais para evidenciar anomalias na superfície, com auxílio de programas específicos pode-se evidenciar áreas que compartilham das mesmas características.

- Photogrammetric Development of the threshold water at the Dam on the Vistula river in Wloclawek from Unmanned Aerial Vehicles (UAV) / Desenvolvimento Fotométrico do limiar da água na Barragem do rio Vistula em Wloclawek por Veículo Aéreo não Tripulado (VANT).

Neste trabalho Przyborski et. al. (2015) realizaram o desenvolvimento fotogramétrico (Figuras 12 e 13) do limiar de água na barragem no rio Vistula em Wloclawek com o auxílio de um VANT. A Barragem em Wloclawek (Polônia) foi construída nos anos de 1962-1970. Devido às dificuldades de acesso ao limiar e ao tempo limitado da sua inauguração, o método fotogramétrico utilizando o VANT, segundo os autores foi eficaz e rápido para o registro e validação do limiar.

Figura 12 – Limiar em Wloclawek (sem água)



Fonte: (PRZYBORSKI et. al.2015)

Figura 13 – Limiar em Wloclawek (coberto por água)



Fonte: (PRZYBORSKI et al.2015)

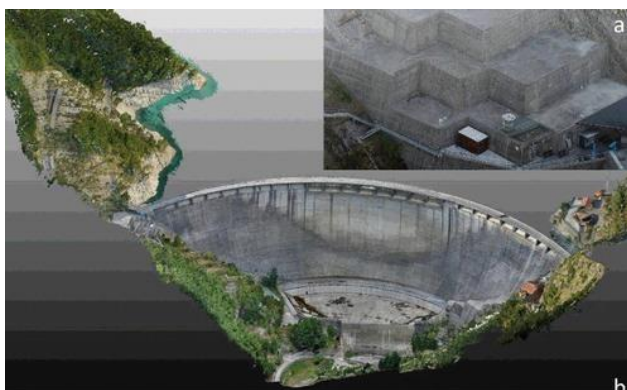
O design do limiar, e em particular o seu perfil longitudinal em especial, permite correntes de água que flui a partir do tanque de água. O limiar também suporta a estabilização estática da barragem, as informações sobre os danos do limiar e monitoramento de pontos enfraquecidos são muito importantes.

Com a realização do estudo os autores constataram que as vantagens da utilização de VANT para o desenvolvimento do modelo de limiar da água em Wloclawek foram:

- Tempo relativamente curto de aquisição de imagens fotográficas dentro de toda a propriedade - em toda sua extensão de cerca de 700 metros de (divisão, que é o limite de água abaixo da barragem, estava disponível para medições e imagens do ar para cerca de 2,5 horas, mas apenas menos de uma hora, foi quase inteiramente exposta;
 - A informação imparcial sobre condição técnica e geométrica do objeto;
 - Relativamente alta precisão do desenvolvimento.
- Ridracoli Dam survey: UAV-based photogrammetry and topographic techniques in inspection of vertical structures / Análise da Barragem de Ridracoli: fotogrametria realizada com VANT e técnicas topográficas tradicionais na inspeção de estruturas verticais.

O objeto de pesquisa do presente estudo é a barragem de Ridracoli, localizada na vila de Santa Sofia, no centro da Itália. Neste trabalho, os autores Buffi et al. (2017), pretenderam realizar uma comparação tecnológica entre os instrumentos topográficos tradicionais e a fotogrametria não convencional realizada pelo VANT (Figura 14). As operações de voo foram realizadas em modo manual e as operações de captura de imagem foram seguidas por um segundo operador de voo que foi capaz de avaliar a entidade de sobreposição de quadros.

Figura 14 – a) Nuvem de pontos densos dos blocos de concreto do lado direito obtidos de aquisição de veículos aéreos não tripulados (UAV); b) Nuvem de pontos densos de todo o sistema de barragem obtido da aquisição de UAV - veículo aéreo não tripulado



Fonte: (BUFFI et al., 2017)

Cada bloco, no qual a nuvem de pontos foi dividida, foi usado para a construção do mapa de densidade de pontos. A menor densidade foi obtida nas áreas cobertas pela vegetação, enquanto os elementos estruturais de concreto são caracterizados pela maior concentração de pontos.

Os autores alertam, no estudo em questão que a colocação dos marcadores deve ser precisa. Eles precisam estar bem espaçados e uniformemente posicionados no objeto da pesquisa para evitar distorções locais e reduzir o erro global das densas nuvens de pontos, especialmente perto dos limites.

Por fim, Buffi et al. (2017), atestam que a utilização de drones para aquisição de imagens, permite cobrir com mais de 3000 quadros, todo o sistema de barragem. Além disso, a possibilidade de ter um registro fotográfico de cada detalhe da estrutura permite a participação compartilhada e estabelece um nível básico para monitorar a evolução do estado de conservação da estrutura.

Sobre drones, Buffi et al. (2017), afirmam “O voo veloz e sua repetibilidade nos dão a possibilidade de prever um envelhecimento rápido, evitando assim uma perda parcial da segurança com custos sustentáveis”. De fato, o alto nível de detalhamento de imagens geradas por drones permitem modelar as superfícies de transição entre diferentes elementos estruturais.

3. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Uso de veículos aéreos não tripulados (VANTs) para o sensoriamento remoto de grandes barragens da Amazônia – Estudo de caso UHE Tucuruí

Kamila Dias Bernardes El Banna,^a Marcelo Rassy Teixeira,^a

^aUniversity Federal of Pará, Ndae/PEBGA, Rodovia BR 422 km 13 – Canteiro de Obras UHE - Vila Permanente, Tucuruí - PA, Brasil, 68464-000

Resumo. Barragens são obras de considerável risco, por esse motivo devem ser inspecionadas com regularidade, garantindo assim, seu bom funcionamento. Alguns sinais de deterioração por exemplo, só podem ser identificados com inspeções visuais. Porém, devido às dimensões de barragens hidrelétricas, essas inspeções geram uma grande demanda de recursos humanos e tempo. Neste estudo, o objetivo principal foi verificar o potencial de utilização de um pequeno VANT (Veículo Aéreo não Tripulado) para o sensoriamento remoto em barragens hidrelétricas, para isso foi feito um estudo exploratório na UHE Tucuruí, situada na região amazônica brasileira. O VANT multirrotor de asas rotativas de pequeno porte, utilizado para esta pesquisa, apresentou resultados satisfatórios para as avaliações a que foi exposto. Os resultados obtidos mostraram que VANT's fornecem uma alternativa mais rápida e segura, para o monitoramento e detecção de anomalias em barragens, pois permitiu a verificação de regiões de difícil acesso, possibilitando assim uma documentação integral do estado de conservação da barragem, além da possibilidade de adaptações de sensores de diferentes tipos e aplicabilidades, auxiliando assim em uma inspeção mais detalhada. Foram geradas imagens com qualidade e sequências adequadas, facilmente pode-se observar todas as características da superfície da barragem. Os resultados mostram que, além de dar suporte para avaliação de segurança da barragem, as imagens geradas neste trabalho podem ser reunidas e usadas como base para outros levantamentos fotográficos. Com a varredura feita pelo VANT pode se constatar a presença de algumas anomalias na estrutura da barragem de estudo. No entanto de uma maneira geral as estruturas de concreto da UHE Tucuruí se apresentam em bom estado de conservação e sem nenhum problema grave aparente.

Palavras-chave: drone, monitoramento, sensoriamento remoto.

*Primeiro Autor, E-mail: kamiladbernares@gmail.com

1 Introdução

As barragens prestam um importante e significativa contribuição ao desenvolvimento humano, e os seus benefícios são incontestáveis¹. Porém, apesar de suas inúmeras vantagens, a onda de cheia resultante da ruptura, ou mau funcionamento desse tipo de estrutura foram responsáveis por alguns dos mais devastadores acidentes dos últimos séculos². Assim como outras obras do mesmo porte, a sua segurança não pode ser totalmente garantida, desta forma, é necessário um

monitoramento criterioso e aplicação de medidas de segurança eficazes, sejam elas em etapas de projeto, durante a sua operação ou desativação³.

O risco de desastres e o potencial de dano associado a barragens é um fardo que acompanha a civilização, sendo assim, é uma responsabilidade básica da engenharia encontrar meios para evitá-los ou minimiza-los⁴.

Com referência ao ano de 2017, o Brasil registrava em média quatro acidentes com barragens a cada ano⁵. A percentagem de ruptura de grandes barragens era de 2,2% para aquelas construídas antes de 1950 e aproximadamente de 0,5% para as construídas posteriormente⁶.

Esta questão vem sendo foco de atenção crescente no mundo todo, devido a recorrência com que tem se manifestado os problemas de rupturas, vazamentos e o mau desempenho de barragens. Por este motivo, o monitoramento e inspeção constante deste tipo de estrutura é de extrema importância para garantir sua segurança⁷.

A ANA (Agência Nacional das Águas) em relatório publicado em 2017, expõe que 45 barragens localizadas no Brasil, estavam comprometidas, evidenciando assim, um cenário que precisa ser transformado, isto significa que, o monitoramento e a inspeção de barramentos devem ser intensificados⁵.

O propósito da inspeção em barragens é identificar deficiências ou anomalias em um estágio inicial de modo que ações preventivas possam ser executadas antes que a segurança da barragem possa ser comprometida⁸.

Contudo, o monitoramento das condições estruturais de barragens hidrelétricas, objeto de estudo desta pesquisa, gera uma grande demanda de recursos humanos e tempo. Isso se deve principalmente às dimensões de suas áreas, periodicidade necessária e a tecnologia empregada que é muitas vezes obsoleta⁹.

Atualmente, a matriz energética brasileira é constituída em mais de 60% de aproveitamentos hidrelétricos, como UHEs¹⁰. Devido a importância, deste tipo de estrutura e

fatores desfavoráveis para sua inspeção, o sensoriamento remoto pode ser um recurso capaz de auxiliar equipes de inspeção.

Com o sensoriamento remoto pode-se obter informações novas, similares ao levantamento diretamente em campo, entretanto, sua grande vantagem é a sua rapidez na geração de dados e alcance à locais de difícil acesso¹¹.

Dentre essas tecnologias, que podem auxiliar na inspeção de segurança em barragens, através do sensoriamento remoto pode-se destacar os VANTs (Veículos Aéreos Não Tripulados). No sensoriamento remoto realizado por VANT existem vantagens como rapidez na obtenção de dados, sensoriamento em áreas de difícil acesso, e destaca-se a segurança do operador⁴.

Sendo assim, esta pesquisa faz um estudo de caso na UHE Tucuruí, pretendendo verificar a aplicabilidade de sensoriamento remoto por VANT para auxílio na inspeção de barragens hidrelétrica, analisa-se o potencial de uso das imagens capturadas, que abrangeram áreas bem mais extensas e de difícil acesso, elas foram registradas de outros ângulos, enriquecendo consideravelmente as observações de campo. Análises como esta, podem contribuir para o desenvolvimento de padrões e uniformização dos procedimentos relacionados ao sensoriamento remoto por VANT's para precaução da ocorrência de rupturas de barragens.

2 Materiais e Conjunto de Dados

2.1 Área de Estudo

A UHE de Tucuruí (Fig. 1) pertence às Centrais Elétricas do Norte do Brasil (Eletronorte), possui uma área de cerca de 2.430 km², tem capacidade instalada de 8.370 MW¹².



Fig. 1 Usina Hidrelétrica Tucuruí

A UHE Tucuruí localiza-se no estado do Pará entre as coordenadas $3^{\circ}45'$ e $5^{\circ}15'$ latitude Sul e $49^{\circ}12'$ e $50^{\circ}00'$ longitude Oeste, está localizada no trecho inferior do rio Tocantins, na bacia do rio Tocantins-Araguaia¹³.

2.2 Equipamentos

2.2.1 VANT DJPhantom 4

O VANT utilizado para o presente estudo foi o DJPhantom 4 (Fig. 2). Este equipamento possui pequenas dimensões cerca de 350 mm na diagonal (excluindo hélices), com peso de 1388g, autonomia de cerca de 25 minutos por bateria, com velocidade máxima de 72km/h, sistema de posicionamento por satélites GPS/GLONASS, câmera de resolução 4K com tamanho máximo da imagem de 4000 x 3000 pixels. A câmera é estabilizada por um GIMBAL tri-axial. O controle remoto deste VANT não possui visor, por este motivo foi conectado um smartphone, nele foi instalado um programa, o DroneDeploy, com ele é possível visualizar e capturar as imagens do VANT.



Fig.2 DJI Phantom 4

2.2.2 DroneDeploy

O software DroneDeploy é um aplicativo para planejamento de voo e aquisição de imagens. Permite a parametrização do plano de voo em função da resolução desejada para as imagens geradas: sobreposição das imagens, linhas de voo e resolução resultante. Possui um módulo de controle de voo em formato de aplicativo, compatível com o dispositivo de controle do DJI Phantom 4, no caso, um tablet ou celular conectado ao rádio-controle do VANT¹⁴.

3 Metodologia

O método inicial para atingir o objetivo principal desta pesquisa que é a verificação da aplicabilidade de sensoriamento remoto por VANTs para inspeção e monitoramento de barragens hidrelétricas, consistiu em um estudo exploratório na UHE Tucuruí, dividido em duas etapas. Desse modo, foram realizadas visitas ao local de estudo, para execução dos primeiros voos de reconhecimento do local com o VANT sobre a barragem, que tiveram como objetivo o levantamento de dados sobre a localização e estado da barragem, foram analisados conjuntamente a localização de pontos de maior interesse de estudo, assim como possíveis problemas e interferências para o voo. Nessa primeira etapa foram realizados voos exploratórios com intuito de reconhecimento do espaço aéreo para realização do plano de voo, as imagens

obtidas serviram para analisar a existência de possíveis anomalias e a verificação da qualidade e nitidez das imagens obtidas.

Na segunda etapa do estudo, os voos foram automáticos, e o processo de aquisição de imagens, foi por varredura, pois os pontos de inspeção da barragem de estudo são numerosos e exigiram o mapeamento por completo, com as imagens capturas por varredura completa da barragem sendo possível assim gerar artefatos como a ortofoto, e a imagem 3D da barragem, com intuito de melhorar o modelo da estrutura apresentada.

3.1 Primeira etapa

A metodologia proposta nesta etapa da pesquisa foi constituída inicialmente pela coleta de imagens, e um estudo exploratório do local para realização do plano de voo, utilizando o VANT em visita programada à UHE Tucuruí. As etapas prévias para iniciação foram:

- i. Primeiramente a bateria do VANT e do controle remoto foram carregadas por completo;
- ii. Checou-se as hélices;
- iii. Verificação do software responsável por transmitir as imagens do VANT para o smartphone acoplado ao controle remoto, verificou-se seu carregamento de forma off-line no dispositivo que irá controlar a plataforma, visto que geralmente no local não teria acesso à internet.
- iv. Busca por um local para o experimento. Deve ser uma área limpa para o pouso e sempre partir do ponto mais alto do terreno evitando assim obstáculos que poderiam causar a queda da plataforma.

O local escolhido para o lançamento e pouso do VANT, foi uma área próxima a margem esquerda da barragem, foram realizados voos sobre o vertedouro (Fig. 3).



Fig. 3 VANT iniciando as fotos no Vertedouro da UHE Tucuruí.

Nesse primeiro momento, a captura das imagens foram pontuais, por não haver um plano de voo prévio.

Durante essa etapa buscou-se:

- i. Planejar quais as estruturas que deveriam ser inspecionadas;
- ii. Planejar o melhor local para decolagem e pouso do VANT;
- iii. Analisar todo tipo de interferência que possa existir no trajeto para evita-las;
- iv. Planejar em detalhes a altura de voo em cada uma das etapas de inspeção;

3.2 Segunda etapa

De acordo com o mencionado anteriormente, para a realização da segunda etapa do estudo foi preciso elaborar um plano antecipado das estruturas a serem inspecionadas, assim como o melhor percurso e altura do equipamento para realização das imagens e dos locais de maior interesse a serem inspecionados. Após a visita prévia ao local de estudo os dados coletados foram analisados para assim realizar o plano de voo.

Para sua execução se fez necessário que o conhecimento da área que se desejava sobrevoar, características como a velocidade e direção dos ventos predominantes na região, peculiaridades do terreno para que a aeronave possa voar de forma segura, além de autorização de voo fornecida pela Eletrobrás/Eletronorte.

3.2.1 Plano de voo

Faz-se necessário um plano de voo para se realizar uma varredura por completo sobre a barragem, apenas com este plano é possível realizar os voos de maneira automática, ou seja, sem interferência humana, apenas em caso de emergência. Com isso, as informações obtidas têm uma margem de precisão melhor, em comparação com o processo manual.

Os dados obtidos na primeira etapa foram lançados no programa DroneDeploy, com isso foi gerado o plano de voo, que é demonstrado na Fig. 4.

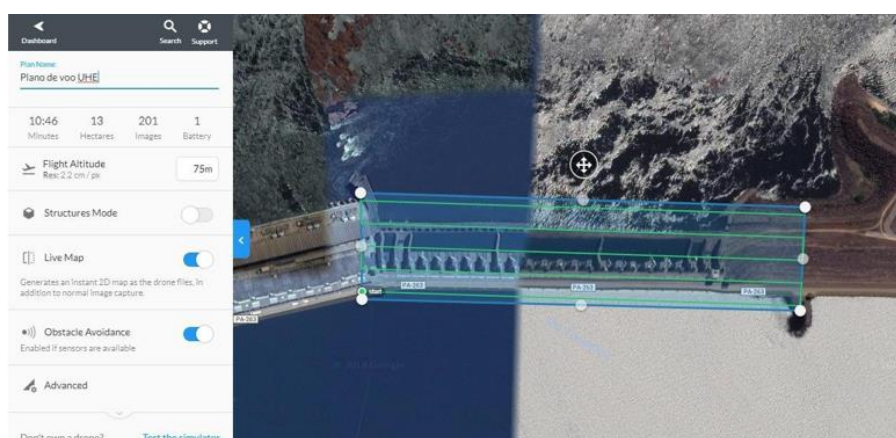


Fig. 4 Plano de voo

Vale destacar que foi preciso estudar/verificar o plano de voo em campo, durante as visitas à área de estudo durante a segunda etapa, foram avaliados alguns pontos/observações não considerados previamente, mas que requeriam alterações no plano. Foram corrigidos no plano de voo e considerados nas inspeções seguintes.

4 Resultados e Discussões

A Fig.5 mostra o VANT fazendo a inspeção na laje da jusante, sua função é proteger a estrutura do vertedouro contra a erosão regressiva. Como pode ser verificado na fig.5, com a utilização do VANT é possível a verificação de regiões da barragem de difícil acesso. As imagens podem ser efetuadas perto da estrutura e pode-se obter imagens de qualidade em áreas inacessíveis.



Fig. 5 Inspeção do VANT.

Outra grande vantagem da utilização do VANT é a possibilidade de obter fotos em até 120 m de altura, que permitem uma visão geral (Fig. 6) do arranjo geral das várias estruturas integrantes de uma usina hidrelétrica. A imagem mostra o vertedouro da UHE da margem esquerda para direita, é uma estrutura tipo gravidade, sofre com pressões hidrostáticas e subpressões.



Fig. 6 Vertedouro UHE Tucuruí

Dentre os resultados obtidos, inicialmente destaca-se o mosaico ortorretificado completo (após processamento de cada um dos sobrevoos), recobrindo toda a área de estudo, conforme apresentação na Fig. 7. A ortofoto é uma ferramenta capaz de trazer riqueza de informações sobre uma área de interesse, também é considerado um mapa fotográfico, livre de distorções. Com esse artefato é possível medir distâncias, posições, ângulos e áreas.



Fig. 7 Mosaico ortorretificado UHE Tucuruí.

Outro resultado gerado, a partir do processamento de imagens é o Modelo 3D (Fig.8). A Nuvem de Pontos pode ser gerada em versões simplificada e densificada a partir de qualquer configuração de processamento com câmera RGB. É a partir da Nuvem de Pontos que se gera o Modelo 3D. Com o modelo 3d é possível visualizar ângulos únicos, que demandaria da fotografia comum equipamentos de alto custo. Com este artefato é possível ter uma visão completa da estrutura estudada com intenso detalhamento.

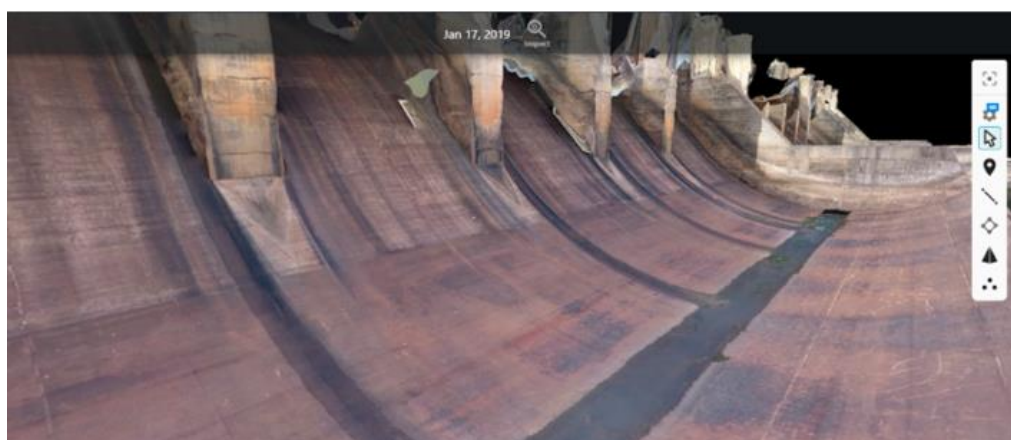


Fig.8 Modelo 3D (nuvem de pontos) de uma seção do vertedouro.

A partir da nuvem de pontos gerada no processamento, é criado também o Modelo Digital de Superfície (MDS) (Fig.9), que contém os valores altimétricos da barragem, através do MDS é possível gerar mapas de declividade e exposição. Na imagem é possível observar que todos os elementos presentes têm a sua elevação descrita através de um gradiente de cores, onde a cor vermelha representa a área mais alta do terreno, enquanto a cor azul representa a parte mais baixa.

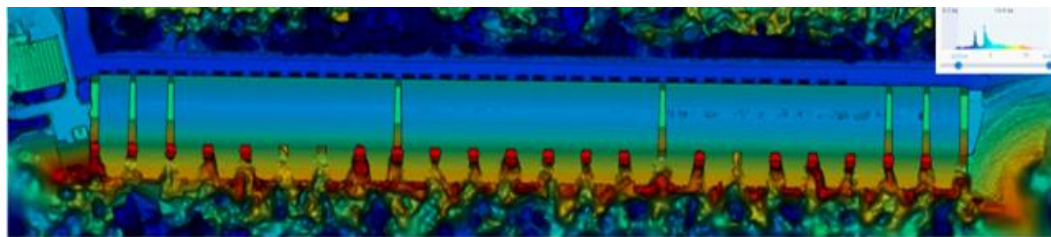


Fig. 9 Modelo digital da superfície (MDS).

O levantamento fotográfico realizado com VANT apresentaram bons resultados, com as imagens obtidas foi possível constatar a presença de algumas anomalias na estrutura da barragem, os resultados da pesquisa realizada apresentam expectativas positivas quanto ao uso de VANT para a inspeção em barragens.

Entretanto, foi observado algumas limitações (devido ao modelo de VANT utilizado) como:

- i. Autonomia da bateria. A autonomia do VANT DJI Phantom 4 é de aprox. 20 minutos;
- ii. Devido ao baixo peso do VANT, o sistema de voo é muito sensível as condições meteorológicas, especialmente em situações de vento críticos por isso as condições meteorológicas podem comprometer a estabilidade do voo.

No entanto durante a sua utilização na inspeção exploratória da barragem, pode-se constatar:

- i. A facilidade de uso do equipamento;
- ii. Agilidade no processo de coleta e eficiência no processamento de dados de grandes quantidades de informações;
- iii. Alta resolução das imagens o que ajudou a fornecer uma visão mais próxima, o que irá colaborar no processo de análise e tomada de decisão.
- iv. A capacidade de aquisição e armazenamento rápido de dados em tempo real;
- v. O VANT de asa rotativa pode decolar e pousar verticalmente, assim, nenhuma área da pista é necessária;
- vi. O VANT pode ser utilizado em situações de alto risco sem pôr em perigo vidas humanas;

vii. A inspeção realizada com o VANT, é mais rápida, permitindo uma documentação integral do estado de conservação da barragem.

Os pontos de maior atenção durante a inspeção com o VANT, foram a região do vertedouro e tomada d'água da UHE. A função do vertedouro, é garantir o controle do nível da água do reservatório, principalmente em períodos de cheias. Enquanto a tomada d'água é a estrutura que permite a condução da água do reservatório para adução das turbinas, por isso são estruturas que devem ser monitoradas periodicamente. Nos vertedouros (Fig. 10) existem sistemas de drenagem com o objetivo de aliviar as supressões, cujo bom funcionamento é muito importante para assegurar a estabilidade das estruturas. Durante o voo do VANT, foram encontrados no vertedouro, a presença de água de maneira indesejável, além de uma pequena vegetação ao seu redor.



(a)

(b)

Fig. 10 Vertedouro com surgência de água e vegetação: (a) Vista superior; (b) Vista Frontal.

Pode-se notar na Fig. 11 a presença de água de origem indevida e presença de vegetação no vertedouro. É necessário a eliminação da vegetação, visto que, isso pode contribuir para a degradação do concreto.

Essa ação biológica pode penetrar entre as falhas de concretagem ou juntas de dilatação, tornando a estrutura mais porosa, diminuindo assim sua resistência mecânica ¹⁷.



Fig. 11 Presença de vegetação no vertedouro.

Observa-se na Fig.12 a vista de pilar e viga-munhão, onde nota-se que o concreto não apresenta de uma maneira geral, sinais de deterioração, com exceção de partes da munhão onde aparecem marcas de carbonatação cuja evolução, ao que tudo indica, já cessou.



Fig. 12 Pilar e viga-munhão.

Foram registrados desgastes no concreto (Fig. 13) (a) Imagem geral e (b) Imagem aproximada. Qualquer estrutura está sujeita ao “desgaste”, devidos a vários fatores como: ações de cargas, vibrações, erosão e cavitação por ação de agentes sólidos e líquidos em reservatórios. Estes fatores influenciam diretamente na “vida útil” da estrutura¹⁸.



(a)

(b)

Fig.13 Deteriorização do concreto da barragem: (a) Imagem geral; (b) Imagem aproximada.

Constatou-se que há carbonatação (Fig. 14) do concreto em vários pontos, logo houve captura de CO₂, é possível verificar que este fenômeno ocorre em várias regiões, indicando a potencialidade de captura desse gás pelo concreto da barragem.

Este é um fenômeno físico-químico, que pode causar a degradação das estruturas de concreto armado, acarretando o comprometimento na vida útil da estrutura¹⁹.



Fig.14 Carbonatação.

Durante a inspeção com o VANT, foi detectado pequenas infiltrações tanto no vertedouro como na tomada d'água (Fig. 15). Estas passagens de água nas estruturas de concreto ocorrem, em geral, através de juntas deficientemente tratadas, tais como as juntas de contração, de concretagem ou de contato entre materiais diferentes.



(a)

(b)

Fig. 15 Infiltração: (a) Imagem Geral; (b) Imagem Aproximada.

As infiltrações a que correspondem fluxos e velocidades elevados devem ser tratadas, dado que contribuem para a deterioração do concreto, por lavagem dos materiais mais finos, e potenciam o desenvolvimento de reações químicas que estão na origem de diversas anomalias. A forma mais eficaz de tratar estas infiltrações consiste na procura e selagem da sua entrada.

Foi detectado rachaduras ao redor do conduto forçado (Fig. 16), na tomada d'água, essas fissuras são anomalias monitoras e são motivo de atenção e estudo pela empresa.



(a)

(b)

Fig. 16 Rachaduras na tomada d'água, conduto forçado. (a) Imagem Geral; (b) Imagem Aproximada.

A fissura aberta pode facilitar o ingresso de agentes agressivos e ser uma das causas de mais deterioração do concreto. Informações como a forma, comprimento, largura dessas irregularidades no concreto, são imprescindíveis para realização de uma manutenção inicial²⁰.

Ao redor da estrutura de concreto da barragem, foi detectado vegetação sobressalente como pode-se nota na Fig. 17. O corte metódico da vegetação deve ser realizado, dado que a vegetação excessiva propicia caminhos de infiltração, podendo produzir erosão interna, se tornando assim uma ameaça para a integridade do concreto da barragem.



Fig. 17 Acumulação de vegetação junto ao talude de jusante da barragem.

Na Fig.18, nota-se reparos efetuados no concreto e que ainda estão perfeitos. O estado de conservação aparentemente estar adequado.



Fig.18 Vista Jusante.

De acordo com a natureza de cada deterioração é possível separá-las em diferentes tipos. Vale se destacar que uma anomalia pode estar diretamente relacionada à segurança da barragem, porém pode ter seu dano restrito a alguma estrutura mais específica.

5 Conclusão

Com utilização do VANT para a inspeção da barragem de estudo, foi possível obter informações de maneira mais rápida e com maior segurança ao envolvidos, em relação ao método atualmente utilizado.

Com este estudo foi possível constatar a presença de algumas anomalias na estrutura da barragem inspecionada. Os problemas verificados referem-se na maioria das vezes em presença de carbonatação, vegetação em locais inadequados, além de, infiltrações de água, porém sob o ponto de vista do comportamento estrutural há nada, que chame a atenção.

Com este trabalho, pode-se concluir que os VANTs se apresentam como ferramenta muito útil para esse tipo de aplicação, uma vez que o seu baixo custo operacional e facilidade de manuseio, permitem a realização de levantamentos periódicos, viabilizando a identificação da integridade estrutural da barragem cotidianamente.

Vale se destacar, que esta tecnologia possui uma grande gama de utilização, com diferentes sensores e equipamentos que podem ser acoplados, enriquecendo ainda mais a inspeção de barragens, além disso o seu voo veloz e sua repetibilidade dão a possibilidade de prever um envelhecimento rápido, evitando assim uma perda parcial da segurança com custos sustentáveis.

Declaração

Os autores declaram nenhum conflito de interesse.

Agradecimentos

Agradecemos a Centrais Elétricas do Norte do Brasil S/A (Eletronorte), e em especial ao engenheiro civil Davi Carvalho por todo apoio durante as visitas exploratórias a UHE Tucuruí.

References

1. CMB COMISSÃO MUNDIAL DE BARRAGENS. Barragens e desenvolvimento: um novo modelo para tomada de decisões. In: SEVÁ FILHO, A. O. (Org.) Tenotã Mõ: alertas sobre as consequências dos projetos de hidrelétricas no Rio Xingu. São Paulo: IRN International Rivers Network, (2005).
2. XIONG, Yi (Frank). A Dam Break Analysis Using HEC RAS. *Journal of Water Resource and Protection*. Starkville, p. 370-379 (2011).
3. ALMEIDA, A. B. de Segurança e Risco nos Vales a Jusante de Barragens, 4 o Congresso da Água, Lisboa, 23-27 (1998).
4. JENSEN, J. R. Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma perspectiva sobre recursos terrestres. São José dos Campos, SP. Ed. Parêntese, (2009).
5. AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS – ANA. Relatório de Segurança de Barragens elaborado pela ANA. 2018. Disponível em: <<https://www.ana.gov.br/noticias/45-barragens-preocupam-orgaos-fiscalizadores-aponta-relatoriode-seguranca-de-barragens-elaborado-pela-ana>>. Acesso em 15 junho de 2021.
6. ICOLD: Dam failures: a statistical analysis. *icold bulletin*, n. 99. International Commission on Large Dams ICOLD, Paris, 1995. 2, 7, 141
7. BRADLOW, D. D., PALMIERI, A., SALMAN, S. M. A. Regulatory Framework for Dam Safety. Washington, D.C.: The World Bank, Law Justice and Development Series, (2002).
8. MENESCAL, R. A. Gestão da Segurança de Barragens no Brasil – Proposta de um Sistema Integrado, Descentralizado, Transparente e Participativo. Tese (Doutorado) – Curso de Engenharia Civil, UFC, Fortaleza, (2009).
9. CBDB, COMITÊ BRASILEIRO DE BARRAGENS, 2011, “A História das Barragens no Brasil nos Séculos XIX, XX e XXI. 50 Anos do Comitê Brasileiro de Barragens”. Sindicato nacional dos editores de livros, Rio de Janeiro (2011).

10. LONGHITANO, George Alfredo. VANTS para sensoriamento remoto: aplicabilidade BA avaliação e monitoramento de impactos ambientais causados por acidentes com cargas perigosas. Escola Politécnica de São Paulo, São Paulo (2010).
11. ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. Banco de Informações de Geração. 2014. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>. Acesso em: 15 junho de 2021.
12. TSCHIEDEL, Arthur da Fontoura; Vinícius Quadros de Oliveira; Rodrigo Cauduro Dias de Paiva. Utilização de VANTSs de Pequeno porte em Estudos de Rompimento de Barragens. Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos (22.: Florianópolis, 2017). Anais [recurso eletrônico]. Porto Alegre: ABRH, (2017).
13. HENRIQUES, M., ROQUE, D., Unmanned aerial vehicles (UAV) as a support to visual inspection of concrete damns. Second International Dam World Conference. Lisboa- Portugal, (2015).
14. PRZYBORSKI, M.; SZULWIC, J.; SZCZECHOWSKI, B, Photo grammetric development of the thresholdwaterat the damon the vistulariver in Wloclawek from unmanned aerial vehicles (UAV). Source: Water Resources, Forest, Marine and Ocean Ecosystems, Sgem 2015, Vol I Pages: 493500 Published. Gdansk University of Technology, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Department of Geodesy, Narutowicza 11-12, 80-233 Gdansk, Poland, (2015).
15. Amaral, G. F. Estudo e Melhoria da Confiabilidade do Sistema de Controle Eletrônico de Voo de um Veículo Aéreo Não Tripulado. 2009. 147 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrônica - Área de Dispositivos e Sistemas Eletrônicos) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos. (2009).
16. ELETRONORTE. Macrozoneamento da Área de Influência, a Montante, do lago- Reservatório da Usina Hidrelétrica de Tucuruí. Documento Base para Discussões: 1-145. (2008).
17. ESPÍNDOLA, E. L. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T.; RIETZLER, A. C.; TUNDISI, J. G. Spatial heterogene it yof the Tucuruí reservoir (stateof Pará, Amazônia, Brazil) and the distribution of zooplanktonic species. Revista Brasileira de Biologia, v. 60, n. 2, p. 179- 194. (2000).

18. DJI PHANTOM 4. Disponível em: <https://store.dji.com/shop/phantom-series?from=menu_products/> acesso em: 23 de outubro de 2018.
19. DRONEDEPLOYDOCs. Disponível em: <<https://support.dronedeploy.com/docs>> acesso em: 12 de dezembro de 2020.
20. SANTOS, C.F. Patologia de estruturas de concreto armado. Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS). 2014
21. HELENE, P. R. L. Introdução da vida útil no projeto das estruturas de concreto. WORKSHOP SOBRE DURABILIDADE DAS CONSTRUÇÕES. São José dos Campos, 2001.
22. POSSAN, E. Modelagem da carbonatação e previsão de vida útil de estruturas de concreto em ambiente urbano. 2010. 265 f. Tese (Doutorado em Engenharia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.
23. CARDIA, R. J; KUPERMAN, S., UNIDADE 1: Anomalias em Barragens. MÓDULO II: INSPEÇÃO E AUSCULTAÇÃO DE BARRAGENS. (Curso Segurança de Barragens). Disponível em: <https://capitacao.ead.unesp.br/dspace/bitstream/ana/110/22/Unidade_1-modulo2.pdf> Acesso em: 23 de julho de 2018.

Kamila Dias Bernardes El Banna é Mestranda em Engenharia de Barragem e Gestão Ambiental do Núcleo de Desenvolvimento Amazônico em Engenharia (NDAE), Universidade Federal do Pará (UFPA); Pós-graduada em Engenharia de Segurança do Trabalho pela Universidade Cândido Mendes (UCAM) (2019); Possui graduação em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal do Pará (2015).

Marcelo Rassy Teixeira é Engenheiro Civil (UFPA/USP), Engenheiro de Segurança do Trabalho (UCAM) e Pedagogo (FAMA). Especialista em Perícia de Engenharia (FOC), Engenharia Ambiental (UCAM), Engenharia Produção (UCAM), Engenharia de Qualidade (UCAM), Engenharia de Petróleo e Gás (Unyleya) e Engenharia Geotécnica (IBF). MBA Executivo em Gestão Empresarial (Unyleya). Mestre em Engenharia Civil (UFPA). Doutor em Engenharia Civil (USP).

4. CONCLUSÕES

Com este estudo exploratório pode-se concluir que o emprego de VANTs como instrumento de auxílio nas inspeções de segurança e monitoramento de barragens hidrelétricas, tendo como base a UHE Tucuruí apresentaram a confiabilidade técnica, e eficácia que este tipo de estrutura exige, foi possível obter informações confiáveis e precisas sobre o estado real de conservação das estruturas civis da barragem através de processos de registro e interpretação de imagens fotográficas, foi possível obter informações precisas, de rápida coleta e segurança aos envolvidos.

O levantamento fotográfico realizado com VANT apresentou bons resultados, com as imagens obtidas de alta qualidade, sendo possível constatar a presença de algumas anomalias na estrutura da barragem. Os poucos problemas verificados pela varredura do VANT referem-se na maioria das vezes a infiltrações, carbonatação e presença de vegetação em locais impróprios, que não prejudicam a segurança estrutural, de uma maneira geral as estruturas de concreto da UHE Tucuruí se apresentam em muito bom estado de conservação e sem nenhum problema grave aparente.

Este estudo atingiu seu objetivo principal, comprovando o potencial de uso de imagens capturas por um VANT de asas rotativas (multirrotor), de pequeno porte, na inspeção de segurança em barragem. Vale se destacar ainda que esta tecnologia possui uma grande gama de utilização, com diferentes sensores e equipamentos que podem ser acoplados, enriquecendo ainda mais a inspeção de barragens, além disso o seu voo veloz e sua repetibilidade dão a possibilidade de prever um envelhecimento rápido, evitando assim uma perda parcial da segurança com custos sustentáveis.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, D. P. O., **Contribuição ao estudo do Índice de Segurança de Barragens – ISB-** (Dissertação de Mestrado); Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, 2014.
- ALMEIDA, A. B. de **Segurança e Risco nos Vales a Jusante de Barragens**, 4 o Congresso da Água, Lisboa, 23-27 de março de 1998.
- Amaral, G. F. **Estudo e Melhoria da Confiabilidade do Sistema de Controle Eletrônico de Voo de um Veículo Aéreo Não Tripulado**. 2009. 147 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrônica - Área de Dispositivos e Sistemas Eletrônicos) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos. 2009.
- ANA–Agência Nacional de Águas, **Cadastro de Inspeção de Segurança de barragens**. Disponível em:<<http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/regulacao/outorga-e-fiscalizacao/barragens/inspecao-de-barragens-1>> Acesso em: 27 de abril de 2018.
- ANA – Agência Nacional de Águas. Volume I. **Guia de Revisão Periódica de Segurança de Barragem**. (Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens), ISBN 978-85- 8210-037- 0, Brasília-DF, 126 p. il, 2017.
- ANA- Agência Nacional do Águas. Volume VII. **Diretrizes para a Elaboração do Plano de Operação, Manutenção e Instrumentação de Barragens** - (Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens), ISBN 978-85-8210-043-1. Brasília-DF, 135 p. il., 2016.
- ANA - Agência nacional de Águas. **Relatório de segurança de barragens 2015**. Brasília- DF: 168 p. ISBN: 978-85-8210-035-6, 2015.
- ANAC- Agência Nacional de Aviação Civil, **Regras da ANAC para uso de drones entram em vigor**. 2017. Disponível em :<http://www.anac.gov.br/noticias/2017/regras-da-anac-para-uso-de-drones-entram-em-vigor/release_drone.pdf> Acesso em 15 de abril de 2018.
- ANDRADE, D. R; SILVA, J. E., **Termografia aplicada na manutenção Preditiva de sistemas elétricos**. RIT –Revista Inovação Tecnológica.Volume5, número 1. ISSN:2179-2895. 2015.
- BARBOSA, N.P; MENDONÇA, A. V.; SANTOS, C.A.G., **Barragem de Camará**. Relatório Técnico, 92 p., Universidade Federal da Paraíba Centro de Tecnologia, João Pessoa, 26 de novembro de 2004. Disponível em: <http://www.prpb.mpf.mp.br/news/1docs/Camara/relatorio_final_ufpb.pdf > Acesso em: 12 de agosto de 2018.
- BARROS, E.R.O.; MAFRA, F.H.M.G.F.; ANDRADE, M.O.; SATO,S. S., **As Potencialidade e Limitações do Uso do VANT no monitoramento de Faixas de Domínio de Rodovias Federais**. ANAISXXVII Congresso Brasileiro de Cartografia Escola Naval - Rio de Janeiro/RJ. 06 a 09 de novembro de 2017.

BARRETO, A.S; SILVA, F.F.; SACRAMENTO, I.C.C, SANTOS, T. P., **Uso de VANTs para Monitoramento na Construção Civil**. Anais do Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto, GEONordeste, 2017, Salvador-BA.

BRASIL, G. G. **Monitoramento ambiental com a utilização de veículos aéreos não tripulados (VANTs)**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, 2013.

BUFFI, G.; GRASSI, M. S.; BARBERINI, M; GAMBLA, **Survey of the Ridracoli Dam: UAV-based photogrammetry and traditional topographic techniques in the inspection of vertical structures, Geomatics, Natural Hazards and Risk**, 8:2, 1562- 1579, DOI: 10.1080/19475705.2017.1362039. Journal Geomatics, Natural Hazards and Risk, Volume 8, 2017.

CARDIA, Ruben José Ramos; ENGENHARIA, Consultor-RJC; BAURU, S. P. **Auditoria em segurança e controle de barragens**. Proceedings of VI Simpósio Brasileiro Sobre Pequenas e Médias Centrais Hidrelétricas, p. 24-39, 2008.

CARDIA, R. J; KUPERMAN, S., **UNIDADE 1: Anomalias em Barragens. MÓDULO II: INSPEÇÃO E AUSCULTAÇÃO DE BARRAGENS**. (Curso Segurança de Barragens). Disponível em: <https://capacitacao.ead.unesp.br/dspace/bitstream/ana/110/22/Unidade_1-modulo2.pdf> Acesso em: 23 de julho de 2018.

CBDB, Comitê brasileiro de Barragens, **Guia Básico de Segurança de Barragens**. Comissão Regional de Segurança de Barragens, Núcleo Regional de São Paulo, 2001.

CBDB, COMITÊ BRASILEIRO DE BARRAGENS, 2011, “**A História das Barragens no Brasil nos Séculos XIX, XX e XXI. 50 Anos do Comitê Brasileiro de Barragens**”. Sindicato nacional dos editores de livros, Rio de Janeiro. 2011

COLLISCHONN, Walter; TUCCI, Carlos E. M. **Análise do Rompimento Hipotético da Barragem de Ernestina**. RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v. 2, n. 2, p.191-206, jul./dez. 1997.

CMB COMISSÃO MUNDIAL DE BARRAGENS. **Barragens e desenvolvimento: um novo modelo para tomada de decisões**. In: SEVÁ FILHO, A. O. (Org.) Tenotã Mõ: alertas sobre as consequências dos projetos de hidrelétricas no Rio Xingu. São Paulo: IRN International Rivers Network, 2005. p. 301--314. Disponível em: <<http://www.fem.unicamp.br/~seva>>. Acesso em: 15/07/2019.

DCEA - Departamento de Controle do Espaço Aéreo. **DECEA esclarece normas para voos de drones no Brasil**. Disponível em: <<http://www2.fab.mil.br/cenipa/index.php/ultimas-noticias/871-decea-esclarecenormas-para-voos-de-drones-no-brasil>> Acesso em: 20 de julho de 2018.

DJI PHANTOM 4. Disponível em: <https://store.dji.com/shop/phantom-series?from=menu_products/> acesso em: 23 de outubro de 2018. DRONEDEPLOYDOCS. Disponível em: <<https://support.dronedeploy.com/docs>> acesso em: 23 de outubro de 2018.

DIAS, G. G. **Proposta de metodologia de avaliação qualitativa da segurança de barragens com base no risco**. 2010. 121 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

DIAS, G. G.; CEMIG, G. T.; FUSARO, T. C. **Inspeção visual por modos de falha: um instrumento eficaz de manutenção de barragens**. XXVIII Seminário Internacional de Grandes Barragens, Rio de Janeiro, 2011

DOS SANTOS, C, G. **Problema de Roteirização Periódica em Arcos Capacitados, leitura de instrumentação da ITAIPU**. COMITÊ BRASILEIRO DE BARRAGENS XXX - SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS FOZ DO IGUAÇU – PR, 12 A 14 DE MAIO DE 2015.

BRUEL, F., **La Catastrophe de MALPASSET en 1959**. Disponível em:<http://ecolo.org/documents/documents_in_french/malpasset/malpasset.htm.> Acesso em: 12 de junho de 2018.

ELETRONORTE, 2008. **Macrozoneamento da Área de Influência, a Montante, do lago-Reservatório da Usina Hidrelétrica de Tucuruí**. Documento Base para Discussões: 1-145

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco Energético Nacional 2017: Ano base 2016**. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética, 2017.

ELACHI, C. **Introduction to physics and techniques of Remote Sensing**. New York. Wiley & Sons, 1987.

ESPÍNDOLA, E. L. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T.; RIETZLER, A. C.; TUNDISI, J. G. **Spatial heterogeneity of the Tucuruí reservoir (state of Pará, Amazônia, Brazil) and the distribution of zooplanktonic species**. Revista Brasileira de Biologia, v. 60, n. 2, p. 179- 194. 2000.

ESCHMANN, C.; KUO, C. M.; KUO, C.H.; BOLLER, C. **Unmanned aircraft systems for remote building section and monitoring**. In: 6th European workshop on structural health monitoring. 2012.

EVERAERTS, J. **The Use of Unmanned Aerial Vehicles (UAVS) for Remote Sensing and Mapping, In: The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**. ISPRS Congress, Beijing, China, XXXVII. Part B1, 1187-1192, 2008.

FONSECA, A. R., **Auscultação por instrumentação de barragens de terra e enrocamento para geração de energia elétrica – estudo de caso das barragens da UHE São Simão**. Dissertação (Mestrado) xxiii, 158p. – Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Engenharia Civil. Programa de pós-graduação em Engenharia Civil. UFOP, 2003

HABIB, A. F., E-M. Kim and C-J. Kim. **New Methodologies for True Orthophoto Generation**. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 73, No. 1, pp. 025–036, 2007.

HASPARYK, Nicole. **Investigação de concreto afetados pela reação álcali agregado e caracterização avançada do gel exsudado.** Porto Alegre: UFRGS, 2005, 326 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de pós-graduação em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

HELENE, Paulo R.L. **Manual prático para reparo e reforço de estruturas de concreto.** 119 p. São Paulo: Pini, 1992.

HENRIQUES, M., ROQUE, D., **Unmanned aerial vehicles (UAV) as a support to visual inspection of concrete damns.** Second International Dam World Conference. Lisboa-Portugal, abril de 2015.

HENRIQUES, M.; RAMOS. **Levantamento térmico de paramentos de barragens de Betão para apoio ao acompanhamento da evolução de patologias.** 5ª Jornada Portuguesas de Engenharia de Estruturas, novembro de 2014.

HENRIQUES, M.J.; FONSECA, A.; ROQUE, D.; LIMA, J.N; MARNOTO, J., **Assessing the Quality of an UAV-based Orthomosaic and Surface Model of a Breakwater.** FIG Congress 2014. ISBN 978-87-92853-21-9, 2014. ICOLD- (International Commission on Large Dams). 2014. World Register of Dams, general synthesis. Disponível em: <http://www.icold.org/GB/World_register/general_synthesis.asp> Acesso em: 28 de julho de 2018.

JANSEN, Robert B.; **Dams and Public Safety;** U.S. Dpt. of the interior, 1980.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma perspectiva sobre recursos terrestres.** São José dos Campos, SP. Ed. Parêntese, 2009.

KHAGRAM, S. **Dams and development: transnational struggles for water and power.** New York: Cornell University Press, 2004.

KREUZER, H. (1996) - **“Uncertainty in the Safety Evaluation of Dams: The Floating Factor of Safety.”** 6p. Trivandrum, India.

KUMAR, K. S.; RASHEED, A.M.; KUMAR, R.K.; GIRIDHARAN, M.; GANESH. **Dhaksha, the unmanned aircraft system in its new avatar automated aerial in section of India’s tallest tower.** In: International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-1/W2, 2013 UAV-g2013, 4 – 6, Rostock, Germany, September 2013.

Lei Federal nº 12.334, de 20 de setembro de 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112334.htm> Acesso em: 12 de julho de 2018.

LILLESAND, T.M.; KIEFER, R.W. **Remote Sensing and Image Interpretation.** 2a Edition. New York. John Wiley & Sons. 2000. 721p. Forestry, Lake Buena Vista, Florida, 10- 12 January 2000.

LISBOA, D.; SENA, A.B.; AGUIA, A. B.; BARROSO, E.; FERREIRA, A. **Utilização do vant para inspeção de segurança na Construção de uma avenida em Belém-PA.** 16º Congresso

Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental. Disponível em:<http://www.schenautomacao.com.br/cbge/envio/files/trabalho_237.pdf > Acesso em: 15 de julho de 2018.

LONGHITANO, G. A. **“Vants para sensoriamento remoto: aplicabilidade na avaliação e monitoramento de impactos ambientais causados por acidentes com cargas perigosas”**. 148 p., Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - Departamento de Engenharia de Transportes, São Paulo, 2010.

MARQUES, J.L.S. **Negligência é a principal patologia das barragens**. 1º Simpósio Paranaense de Patologia de Construções (SPPC), Curitiba/PR, 2016.

MEDEIROS, F.A. **Desenvolvimento de um veículo aéreo não tripulado para aplicação em agricultura de precisão**, 102f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

MELO, R. R. S.; COSTA, D.D., **Uso de veículo aéreo não tripulado (vant) para inspeção de logística em canteiros de obra**. SIBRAGEC - ELAGEC, ISBN: 978-85-6769-04-0, SÃO CARLOS – SP, 2015.

MELO, R.R.S., **Diretrizes para inspeção de segurança em canteiros de obra por meio de imageamento com veículo aéreo não tripulado (VANT)**. (Dissertação mestrado) 160 p. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Salvador-BA, 2016.

MENESCAL, R. A. **Gestão da Segurança de Barragens no Brasil – Proposta de um Sistema Integrado, Descentralizado, Transparente e Participativo**. Tese (Doutorado) – Curso de Engenharia Civil, UFC, Fortaleza, 2009.

MENESCAL, R. A.; VIEIRA, V. P. P. B.; OLIVEIRA, S. K. F. **Terminologia para análise de risco e segurança de barragens**. In: MENESCAL, R. A. (coord.) A segurança de barragens e a gestão de recursos hídricos. Brasília: Ministério da Integração Nacional. p. 31-49., 2005.

MINISTÉRIOS DA INTEGRAÇÃO NACIONAL, SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA HÍDRICA, **“Manual de Segurança e Inspeção de Barragens”**. Departamento de Projetos Hídricos – DPOH, Brasília – Brasil, 2005

MIRANDA, A. N., **Notas de Aula: Inspeção e Segurança de Barragens, Fundação Parque Tecnológico Itaipu** – Brasil, Agência Nacional de Águas. 2016. Disponível em:<https://capacitacao.ead.unesp.br/dspace/bitstream/ana/111/1/Material_didatico_-_Parte_I.pdf> Acesso em: 23 de julho de 2018.

MOUTINHO, O. F. G. **Evaluation of Photogram metric Solutions for RPAS: Commercial vs Open Source**, 2015.

MUNARETTO, L. A. C. **Vant e Drones – A aeronáutica ao alcance de todos**. São José dos Campos, 2015.

PECHARROMÁN, J. M. P.; VEIGA, R., **Estudo Sobre a Indústria Brasileira e Europeia de Veículos Aéreos Não Tripulados**. (Relatório). Projeto apoio aos diálogos setoriais união Europeia –Brasil, 2016.

PRZYBORSKI, M.; SZULWIC, J.; SZCZECHOWSKI, B, **Photogram metric development of the thres hold water at the damon the vistulariver in Wloclawek from unmanned aerial vehicles (UAV)**. Source: Water Resources, Forest, Marine and Ocean Ecosystems, Sgem 2015, Vol I Pages: 493500 Published. Gdansk University of Technology, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Department of Geodesy, Narutowicza 11-12, 80-233 Gdansk, Poland, 2015.

SILVA, A.C.S.; DINIZ, H., **A reação álcali-agregado e suas características**. Instituto Federal de Educação, ciência e tecnologia, IFRN departamento acadêmico de construção civil c.s.t em construção de edifícios, Natal-RN, 2010.

SOUZA, D. Hoffert Cruz. **Análise probabilística e de sensibilidade dos parâmetros de um estudo de rompimento hipotético: barragem de terra**. (Dissertação Mestrado), Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Campina-SP, 2016.

TADS- (Training Adds for DamSafety), **Module: Inspection of the Foundation, Abutments, and Reservoir Rim**, 2015. National Interagency Committee on DamSafety. Disponível em:<<http://damfailures.org/wp-content/uploads/2015/06/Evaluation-of-SeepageConditions.pdf> > Acesso em: 17 de agosto de 2018.

TADS- (Training Adds for DamSafety), **Preparing to Conduct a DamSafety Inspection**. Training Aids for DamSafety, National Interagency Committee on DamSafety, 1983.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: Edgard Blücher, 2008.

OLIVEIRA, N. C. C. **A grande aceleração e a Construção de Barragens Hidrelétricas no Brasil**. Varia História, Belo Horizonte, vol. 34, n. 65, p. 315-346, mai/ago 2018.

PANZERA, A. C., GOMES, A. E, Q., MOURA, D., **Impactos ambientais da produção de energia elétrica**, Educação Ambiental Centro de Referência Virtual do Professor - SEE- MG / setembro 2010.

PIASENTIN, C.; DIAS, G.G, **Barragens: aspectos legais, técnicos e sócio ambientais**. (Curso de Segurança de Barragem). Unidade 1: diretrizes, legislação e regulamentação.58p.Disponível em:<https://capacitacao.ead.unesp.br/dspace/bitstream/ana/110/2/Unidade_1-modulo1.pdf > Acesso em: 23 de julho de 2018.

PURI, A. **A Survey of Unmanned Aerial Vehicles (UAV) for Traffic Surveillance**. Department of computer Science and engineering, University of South Florida, 2005.

REDWEIK, P. **Fotogrametria aérea**. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa. P. 3, 2007.

RIBEIRO, V.W.S.M; BASSANI, C. **A questão da hidrelétrica como fonte de energia essencial no modelo atual de sustentabilidade: o caso de Belo Monte**. VII Congresso Nacional de Excelência em Gestão. ISSN 1985-9385. 2011.

SAYÃO, A., 2009, “**Notas de aula da disciplina de Barragens de Terra e Enrocamento**”. Curso de Mestrado da PUC -RJ, Rio de Janeiro.

SIEBERT, S; TEIZER, J. **Mobile 3D mapping for surveying earthwork projects using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) system.** Automation in Construction, v.41, p. 1-14, 2014

TANUS, H. M., **Importância da Inspeção na Prevenção de Falhas em Barragens: Estudo de Caso.** (Projeto de Graduação), XIV, 103 p., Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica. XIV, 103 p. 2018.

TEMBA, P. **Fundamentos da fotogrametria.** Belo Horizonte: UFMG, 2000.

THEMISTOCLEOUS, K; NEOCLEOUS K; PILAKOUTAS, K; HADJIMITSIS, D.G. **Damage assessment using advanced non-intrusive inspection methods: Integration of Space, UAV, GPR and Field Spectroscopy.** In: International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment, Proceedings, 2014.

TSCHIEDEL, Arthur da Fontoura; Vinícius Quadros de Oliveira; Rodrigo Cauduro Dias de Paiva. **Utilização de VANTs de Pequeno porte em Estudos de Rompimento de Barragens.** Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos (22.: Florianópolis, 2017). Anais [recurso eletrônico]. Porto Alegre: ABRH, 2017

VALIM, R.L.; ANJOS, A., **Estudo e Simulação de Diferentes Tipos de Interferidores em Sistemas de Comunicação Digital.** VI SRST – Seminário de redes e sistemas de telecomunicações instituto nacional de telecomunicações – INATEL, ISSN 2358-1913 JULHO DE 2017.

VERÓL, Aline Pires. **Simulação da propagação de onda decorrente de ruptura de barragem, considerando a planície de inundação associada a partir da utilização de um modelo pseudo-bidimensional.** 2010. 217 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, UFRJ/COPPE, Rio de Janeiro, 2010.

VIANNA, L.F.V., **Metodologias de análise de risco aplicadas em planos de ação de emergência de barragens** [manuscrito]–. xxi, 118 f., enc.: il. Dissertação (mestrado) Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, 2015.

VIEIRA, L.P.; SALLES, F. M., **A tecnologia do concreto aplicada ao projeto de barragens.** Publicado na revista do IBRACON “Concreto & Construções” | Ano XXXIX nº 63], 2011.

XIONG, Yi (Frank). **A Dam Break Analysis Using HEC-RAS.** Journal of Water Resource and Protection. Starkville, p. 370-379. 28 mars 2011.

ZHANG, C. **Development of a UAV-based remote sensing system for un paved road condition assessment.** In: American Society for Photogram me try and Remote Sensing Annual Conference, Portland, Oregon, 2008

ZUCULIN, S.; DIAS G. G., **Módulo II: Inspeção e Auscultação De Barragens.** Unidade 2: Instrumentação De Barragens. (Curso Segurança De Barragens). Disponível em: <https://capacitacao.ead.unesp.br/dspace/bitstream/ana/110/24/Unidade_2-modulo2.pdf> Acesso em: 15 de junho de 2019.

APÊNDICES

Link do Template da Revista:

<https://www.spiedigitallibrary.org/journals/journal-of-applied-remote-sensing/author-guidelines>

Classificações de periódicos Quadriênio 2013- 2016

Título: JOURNAL OF APPLIED REMOTE SENSING

ISSN: 1931-3195

Área de Avaliação: O Journal of Applied Remote Sensing (JARS) é uma revista que otimiza a comunicação de conceitos, informações e progresso dentro da comunidade de sensoriamento remoto para melhorar o benefício social para o monitoramento e gestão de desastres naturais, previsão do tempo, terras agrícolas e urbanas. planejamento de uso, monitoramento da qualidade ambiental, restauração ecológica e inúmeras outras aplicações comerciais e científicas.

Classificação (WEBQUALIS/ ENGENHARIA I): B1