



Instituto de Engenharia

MONITORAMENTO E SEGURANÇA DE BARRAGENS

ROBERTO KOCHEN

Professor Doutor em Engenharia Civil na Universidade de São Paulo – USP. Diretor Técnico da GeoCompany e Diretor do Departamento de Infraestrutura do Instituto de Engenharia

www.ie.org.br

55 11 3466-9200



METODOLOGIA DE MONITORAMENTO E MANUTENÇÃO

O monitoramento das barragens, túneis e canais é realizado através de uma rotina de inspeções e estudos técnicos de modo a obter as informações atualizadas e sistemáticas do comportamento das estruturas.

- Inspeção Rotineira nas barragens – Executada por equipe especializada, como parte regular de suas atividades. Frequência mensal. Geram relatórios específicos e comunicações de eventuais anomalias detectadas.
- Leitura e análise da instrumentação – As leituras são executadas com a mesma frequência das inspeções rotineiras por equipe específica. E a análise destes dados é executada por equipe especializada.

METODOLOGIA DE MONITORAMENTO E MANUTENÇÃO

- Inspeção Rotineira em túneis e canais – Executadas por equipe especializada como parte regular de suas atividades. Frequência trimestral. Geram relatórios específicos, e comunicações de eventuais anomalias detectadas.
- Análises de fluxo – Executadas por equipe especializada, com frequência semestral. Nessas análises é feito o comparativo do resultado obtido da modelagem numérica do fluxo pelo interior da barragem através de um programa bidimensional de elementos finitos com as leituras da instrumentação executada mensalmente.
- Inspeção formal – Executadas por equipe especializada, diferente da equipe que executa a Inspeção Rotineira. Frequência anual. Geram relatórios específicos que dão base para a equipe da inspeção rotineira fazer o acompanhamento da evolução e tratamento das anomalias identificadas.



METODOLOGIA DE MONITORAMENTO E MANUTENÇÃO

- Inspeção multidisciplinar – Executadas por especialistas em cada disciplina de interesse das barragens, túneis e canais, especialistas das disciplinas de estruturas, geotecnia, hidráulica, elétrica e mecânica. Frequência bianual.
- Verificação do Estudo de Ruptura das Barragens – Anualmente é feita a reanálise do estudo de ruptura. Elaborando o mapa de alagamento da área de jusante de uma possível ruptura de barragem. Esse mapa de alagamento é utilizado para a elaboração dos Estudos Sócio Econômico Ambiental e Plano de Ação de Emergência.



METODOLOGIA DE MONITORAMENTO E MANUTENÇÃO

- Reanálise Sócio Econômica Ambiental – Equipe de sociólogos onde são verificados os aspectos sociais, econômicos e ambientais da área identificada no mapa de alagamento. A frequência dessa reanálise é quinquenal, anualmente é feita a atualização do Levantamento Sócio Econômico Ambiental.
- Reanálise do Plano de Ação de Emergência – PAE – Definição das ações a serem executadas em uma situação de emergência, bem como identificação dos agentes a serem notificados da ocorrência. A frequência dessa reanálise é quinquenal.

Após a metodologia de monitoramento são desenvolvidos planos de trabalho de manutenção e conservação com base nos apontamentos ou anomalias encontradas.

INSPEÇÃO ROTINEIRA NAS BARRAGENS

Avalia a presença de

- anomalias nas barragens que possam afetar a sua segurança e/ou estabilidade, tais como trincas, umidades,
- focos de insetos e/ou pragas como cupins, formigueiros e etc.

A frequência desta inspeção pode ser reduzida em função de restrições sazonais.

Existem as seguintes classificações

- VERDE: Anomalias que devem apenas ser monitoradas
- AMARELO: Anomalias de baixo potencial de risco, que devem ser corrigidas na manutenção de rotina
- VERMELHO: Anomalias de maior potencial de risco, que podem afetar a estabilidade e segurança e, portanto, devem ser corrigidas em curto prazo de tempo



LEITURA E ANÁLISE DE INSTRUMENTAÇÃO

Objetivo: monitorar os principais modos de falhas para as barragens

- Galgamento;
- Instabilização Global;
- Instabilização Localizada;
- Erosão Interna e
- Liquefação.





LEITURA E ANÁLISE DE INSTRUMENTAÇÃO

Monitoramento da percolação, monitoramento das deformações e monitoramento das tensões totais

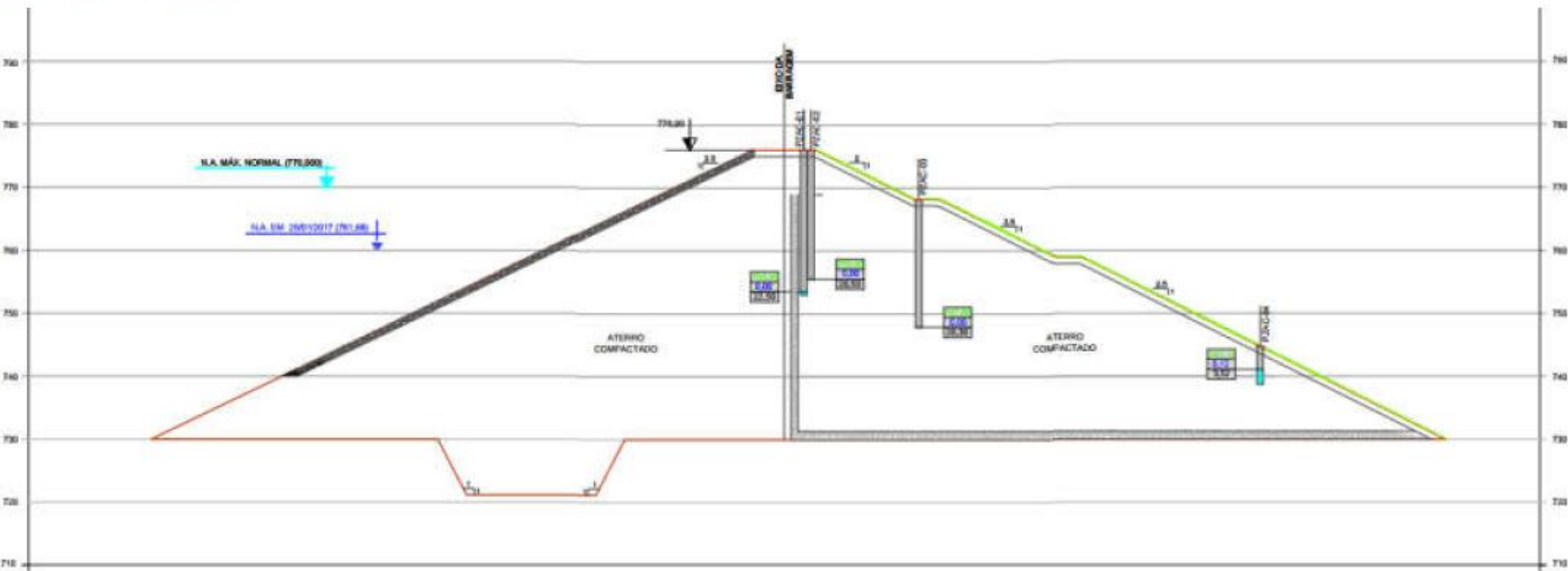
Leitura e análise de instrumentação, que avalia a variação de linha piezométrica no maciço, bem como a sua movimentação, através de análise dos dados de piezômetros e marcos superficiais presentes

São analisadas as condições dos instrumentos, sua funcionalidade, identificação e acessibilidade

Relatório apresenta mensalmente as leituras dos instrumentos, sua variação no tempo, a análise de comportamento da barragem, além de indicar as ações que devem ser realizadas em cada instrumentação presente para garantir seu funcionamento ao longo do tempo.

LEITURA E ANÁLISE DE INSTRUMENTAÇÃO

Seção típica de instrumentação de uma das barragens



INSPEÇÃO EM TÚNEIS E CANAIS

Objetivo do trabalho de inspeção e monitoramento são: Prolongar a vida útil das estruturas subterrâneas e manter a segurança das mesmas

- Recriar um ambiente dentro do túnel apropriado para o seu uso;
- Preservar a capacidade estrutural do túnel e resguardar o ambiente externo

Os componentes básicos para a manutenção e gerenciamento de estruturas subterrâneas são a inspeção e o diagnóstico.

- Inspeção - exame das condições do suporte do túnel, identificando e mapeando e cadastrando as anomalias existentes.
- Diagnóstico - avaliação da investigação, da observação e dos resultados obtidos identificando as possíveis causas responsáveis pela ocorrência das anomalias, sua ligação com a deterioração do concreto e a recomendação de eventuais medidas corretivas que garantam a integridade e a durabilidade de suporte do túnel.

INSPEÇÃO EM TÚNEIS E CANAIS

Coleta de informações disponíveis sobre o projeto original e a construção do túnel

- Objetivo: conhecer as condições do maciço em que o túnel se encontra, suas características geológicas e geotécnicas, e as condições hidrológicas do local.
- O histórico dos eventos atípicos ocorridos durante a operação do túnel também deve ser consultado.

Avaliação das condições de segurança dos túneis a serem inspecionados

- Gases perigosos, deslocamentos de concreto e outras condições operacionais que podem causar acidentes.

A técnica utilizada para a inspeção dos túneis e canais, é a inspeção visual em busca de anomalias existentes nos elementos estruturais dos túneis em questão e definição da necessidade de ensaios complementares

O resultado da análise do conjunto de informações são a base para a elaboração do diagnóstico final da estrutura.

Frequência trimestral nos túneis e canais.

INSPEÇÃO EM TÚNEIS E CANAIS





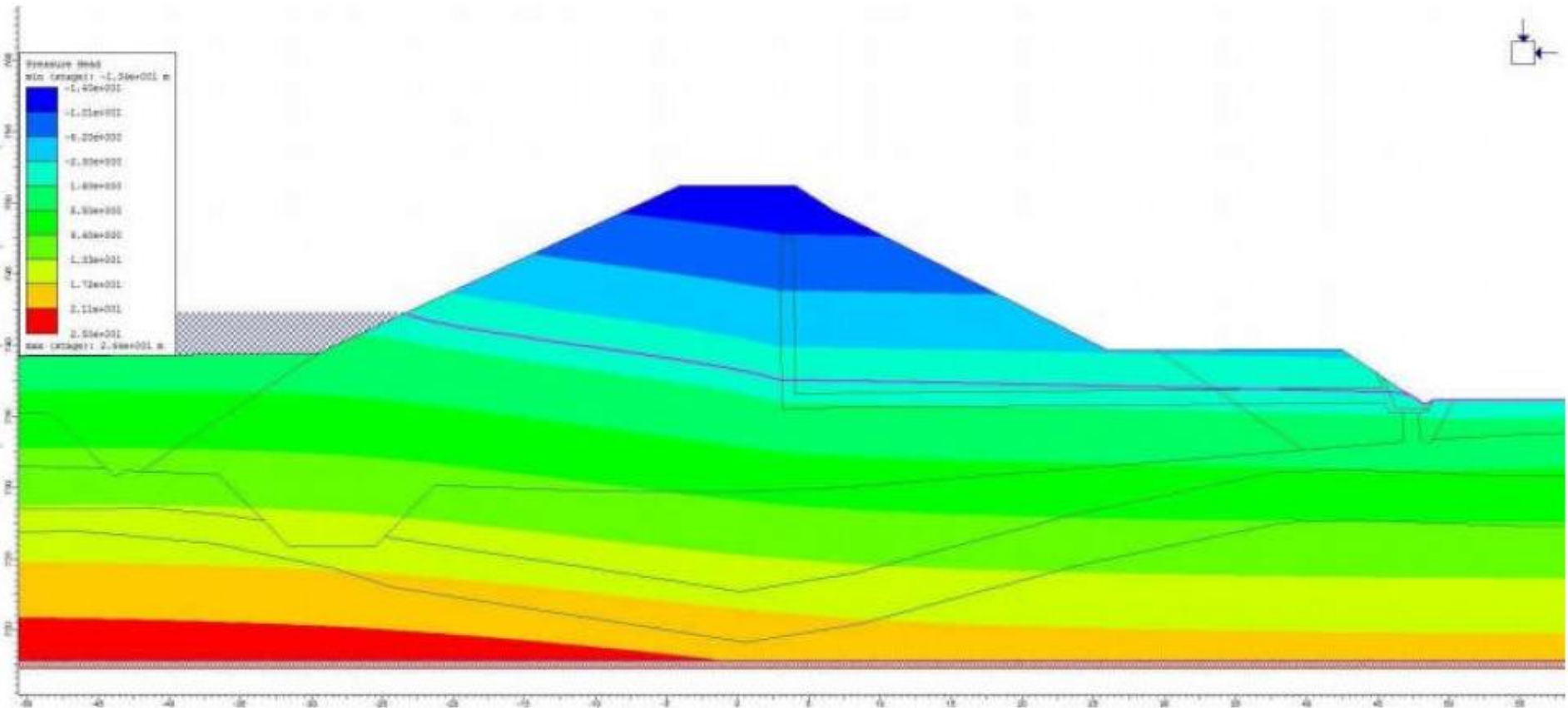
ANÁLISES DE FLUXO

Modelagem numérica de fluxo pelo interior das barragens

Objetivo: demonstrar como ocorre o fluxo no interior da barragem, e fazer o comparativo dos dados da modelagem com os dados verificados em campo durante as leituras dos instrumentos e verificar se o fluxo se comporta dentro da normalidade

As informações de campo permitem que, ao longo do tempo e acúmulo de leituras, sejam refinados os parâmetros adotados para as análises de estabilidade e fluxo do maciço

ANÁLISES DE FLUXO





INSPEÇÃO FORMAL NAS BARRAGENS

Objetivo: determinar as condições das partes integrantes das estruturas de barramento d'água

Realizada anualmente por equipe diferente da equipe de inspeção rotineira

Avalia a presença de anomalias nas barragens que possam afetar a sua segurança e/ou estabilidade

Os dados da Inspeção formal são apresentados em relatório específico, base para a equipe da inspeção rotineira fazer o acompanhamento da evolução e tratamento das anomalias identificadas, ampliando assim o nível de detalhes



INSPEÇÃO MULTIDISCIPLINAR

Executada por equipe composta de especialistas das áreas de hidráulica, geotecnia, geologia, estrutural tecnologia do concreto, elétrica e mecânica, além de contar também com o acompanhamento do operador e proprietário das barragens.

Amplia o escopo de análise para todas as estruturas e disciplinas presentes na barragem

A inspeção é realizada com frequência bianual

As avaliações podem ser realizadas com o máximo rigor, que inclui o teste de equipamentos e acesso total as estruturas



REANÁLISE E VALIDAÇÃO DO ESTUDOS DE RUPTURA

O objetivo principal do estudo de ruptura de barragens é a caracterização das diferentes hipóteses de ruptura de barragens analisadas, e os efeitos dessa ruptura, em termos da inundação resultante, nas cidades localizadas a jusante das estruturas.

Dois cenários pré-estabelecidos de ruptura: Overtopping e pipping

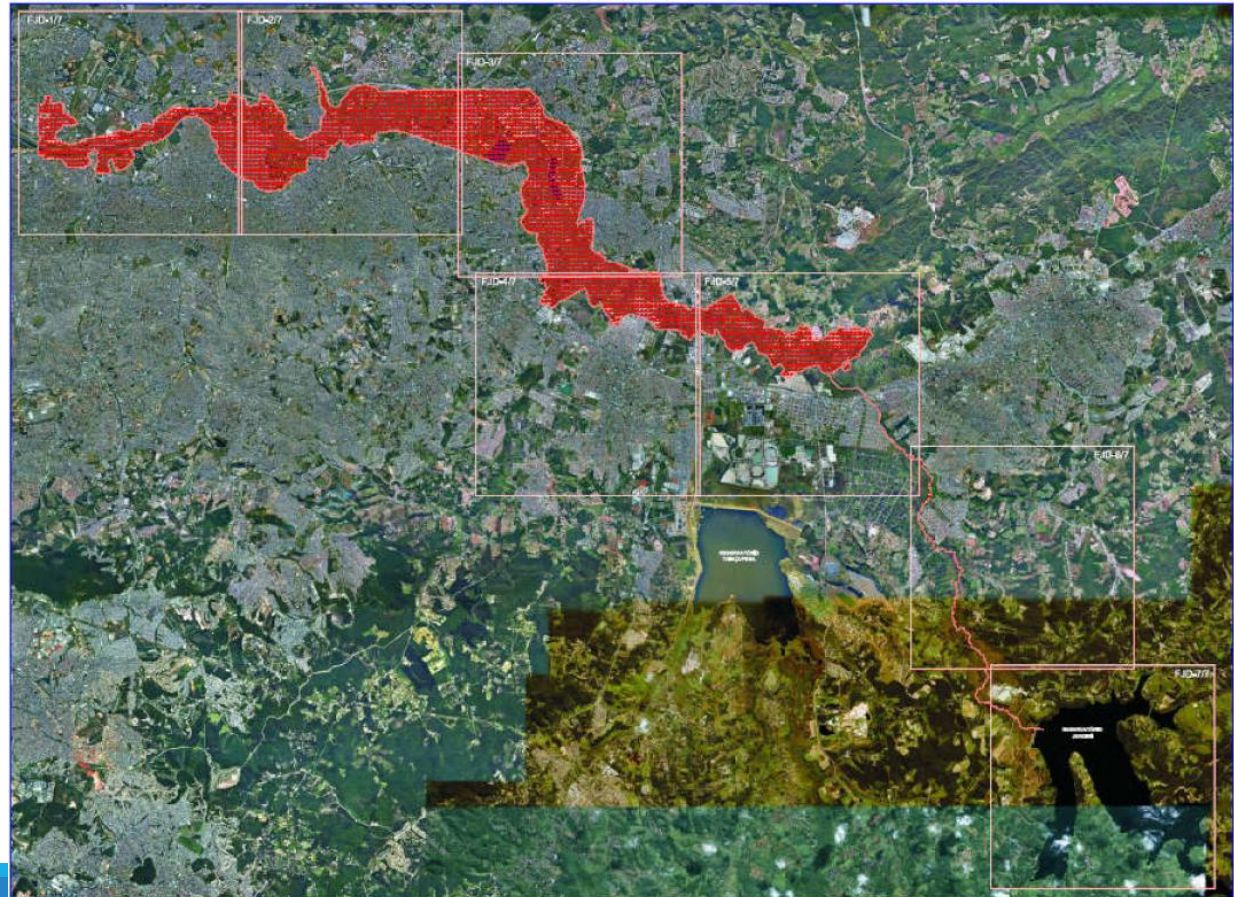
Frequência quinquenal

Verificação da validade e a atualidade dos parâmetros adotados para o estudo de ruptura da barragem.

Precisão das informações e tomadas de decisão para o caso da ocorrência de uma situação extrema com a barragem

REANÁLISE E VALIDAÇÃO DO ESTUDOS DE RUPTURA

mapa de
alagamento da
área de
jusante de
uma possível
ruptura de
cada barragem



Basic Causes of Tailings Incidents

Name	Year	Place	Basic Causes		
			Engineering	Operations	Regulators
Tyrone	1980	New Mexico, USA	✓		
Ok Tedi	1984	Papua New Guinea	✓		
Stava	1985	Italy			✓
Omai	1995	Guyana	✓		
Golden Cross	1995	New Zealand	✓		
Marcopper	1996	Philippines	✓		
El Porco	1996	Bolivia	✓		
Pinto Valley	1997	Arizona, USA	✓	✓	
Los Frailes	1998	Spain	✓		
Inez	2000	Kentucky, USA	✓	✓	
Kingston	2008	Tennessee, USA	✓		
Keephills	2008	Alberta, Canada	✓		
Obed	2013	Alberta, Canada		✓	✓
Mount Polley	2014	British Columbia, Canada	✓	✓	
Samarco/ Fundao	2015	Minas Gerais, Brazil	✓	✓	

Prof. Dr. Norbert R. Morgenstern, University of Alberta



REANÁLISE SÓCIO ECONÔMICA AMBIENTAL

Apresentar a identificação do impacto socioeconômico e ambiental que seria causado aos municípios atingidos pela onda de cheia em um possível rompimento das barragens

Objetivo de descrever melhor as atividades sociais, comerciais, industriais econômicas, educacionais, culturais e de saúde de cada município, buscando mensurar esse impacto

Frequência quinquenal

As áreas pesquisadas na elaboração deste estudo são definidas em função do mapa de alagamento apresentado no estudo de ruptura

REANÁLISE DO PLANO DE AÇÃO EMERGENCIAL – PAE

O Plano de Ação Emergencial “PAE” apresentam ações e procedimentos com um duplo objetivo:

- (1) Assegurar a estabilidade da barragem, de forma a preservar a população e as construções a jusante,
- (2) minimizar os impactos, em intensidade e tempo de recuperação em eventuais situações de emergência que ponham em risco a estabilidade das barragens, podendo inclusive ocasionar a sua ruptura.

O PAE define responsabilidades e indica procedimentos para atuar em relação aos dois objetivos citados acima com atuação preventiva e atuação em resposta a uma emergência real.

O estudo visa manter atualizado e preciso o fluxo de informações e as medidas de ação que devem ser tomadas em situações de emergência, além de definir quais as situações de emergência e como devem ser trabalhadas.

REANÁLISE DO PLANO DE AÇÃO EMERGENCIAL – PAE





MANUTENÇÃO ELETROMECCÂNICA

Garantir a confiabilidade operacional do sistema abrangendo a atuação das especialidades de elétrica e mecânica com base nas características dos equipamentos inseridos na estrutura de cada barragem

Desenvolvimento de planos específicos de manutenção preventiva, além da implementação de práticas de manutenção preditiva.

Definição de um Mapa de 52 semanas, que assegura a execução das manutenções e testes em todos os equipamentos de forma sistêmica.

Os dados das manutenções eletromecânicas realizadas, são apresentados mensalmente em relatório.

Limpeza na Casa de Válvulas de Barragem





RESULTADOS OBTIDOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS

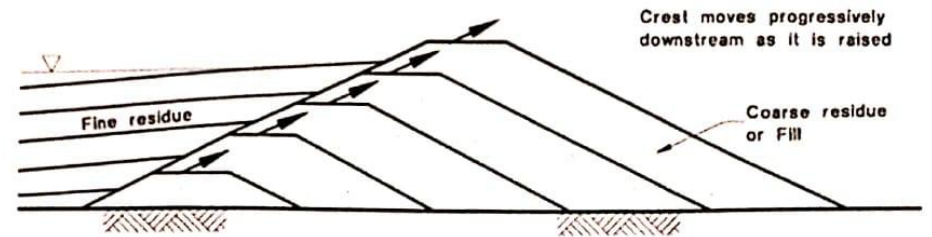
Através da implantação do Programa de Monitoramento e Segurança das Barragens é possível obter uma série de dados de comportamento das barragens ao longo do tempo e ciclos de surgimento de anomalias e manutenção das barragens, túneis e canais do sistema.

Os dados permitem a correta manutenção sistemática e programada desse importante sistema de abastecimento de água

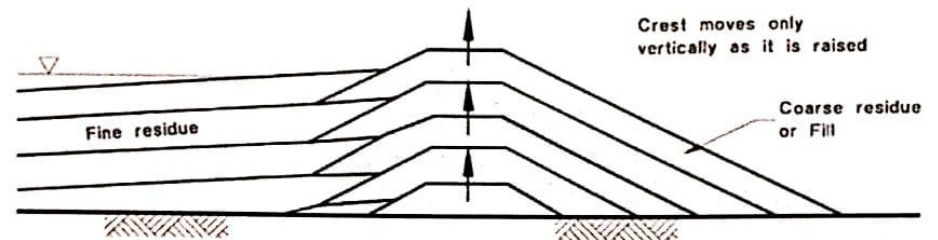
Permitir intervenções pontuais ao longo de todo o período do programa de monitoramento e segurança de barragens, mesmo com variações bruscas de volume, como as observadas em São Paulo em cheias recordes em 2010 até a mais dura seca da história em 2015

BARRAGEM DE REJEITO

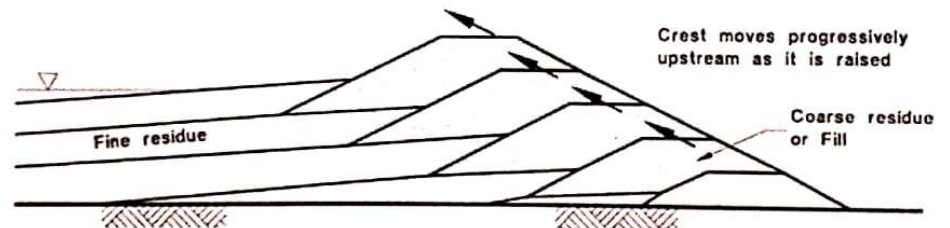
Métodos de Alçamento



(a) Downstream Method



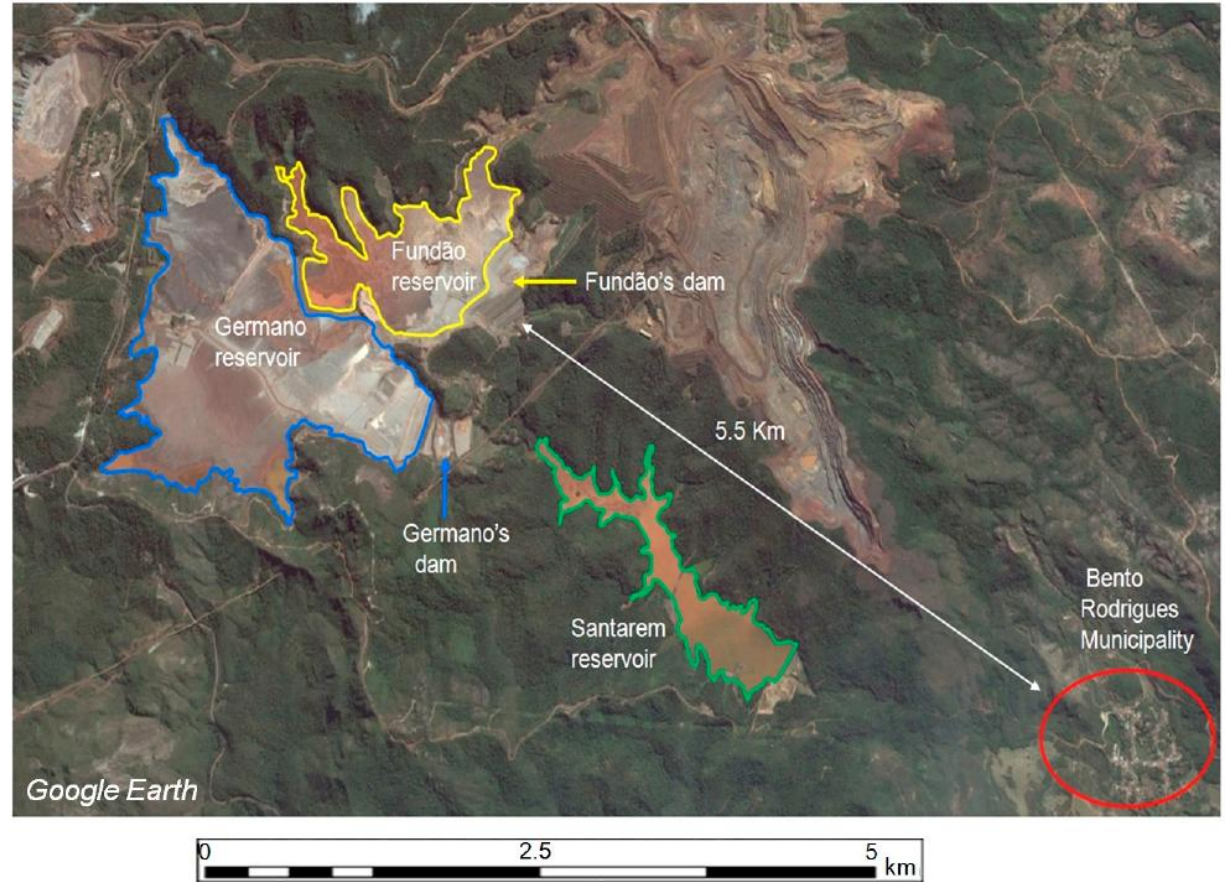
(b) Centreline Method



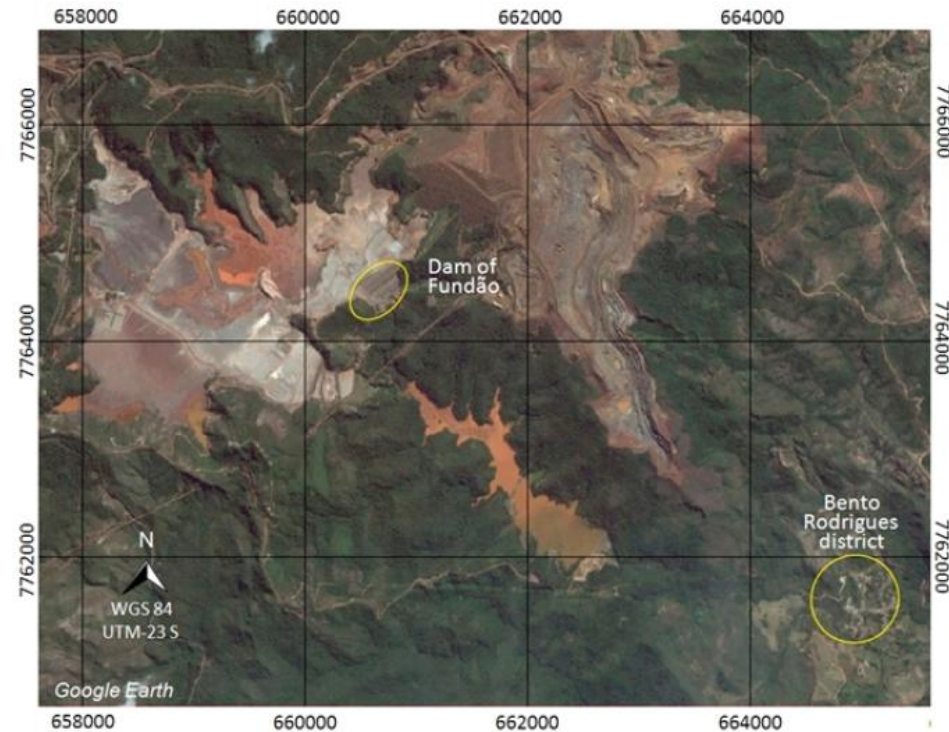
(c) Upstream Method

Diagram showing the three main tailings dam construction methods

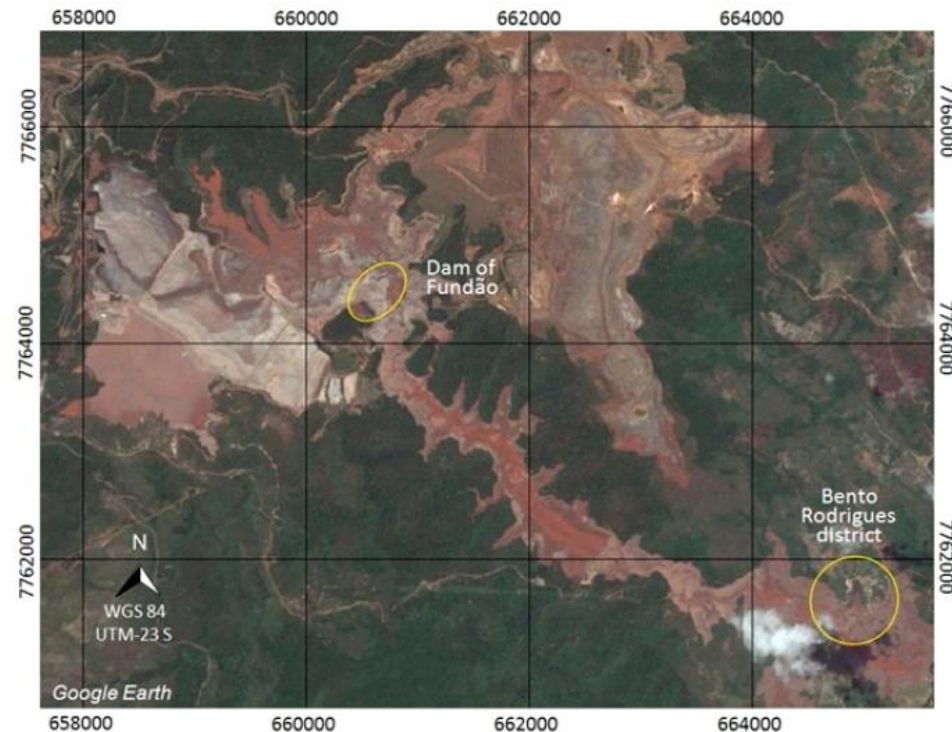
O complexo de Germano inclui minas a céu aberto, pilhas de resíduos, plantas industriais, oleodutos e um sistema de 3 represas: Barragem de Rejeitos de Germano, Fundão e Barragem de água de reuso Santarém



Imagens de Satélite (a) antes (20/07/2015) e (b) depois (09/11/2015) da ruptura da Barragem de Fundão



(a)



(b)

Até 1995, a represa de Germano recebeu apenas resíduos arenosos. Desde 1977, materiais de lodo também foram depositados, principalmente nos setores central, norte e noroeste do reservatório, e em 2005, as instalações de rejeitos existentes na barragem de Germano estavam se aproximando da capacidade. Para os propósitos da investigação, as principais estruturas da barragem a serem consideradas são: (a) o Buttress, uma barragem de partida de

jusante do reservatório, (b) dique principal (parede principal), estrutura feita com aterros para conter os rejeitos, (c) dique Sela & Tulipa, dique Selinha e barragem da Baía 3, estruturas de suporte que servem para delimitar áreas para represamento de rejeitos e permitir o manejo adequado, e (d) o dique Auxiliar, que delimita a área de areia para resíduos de lodo

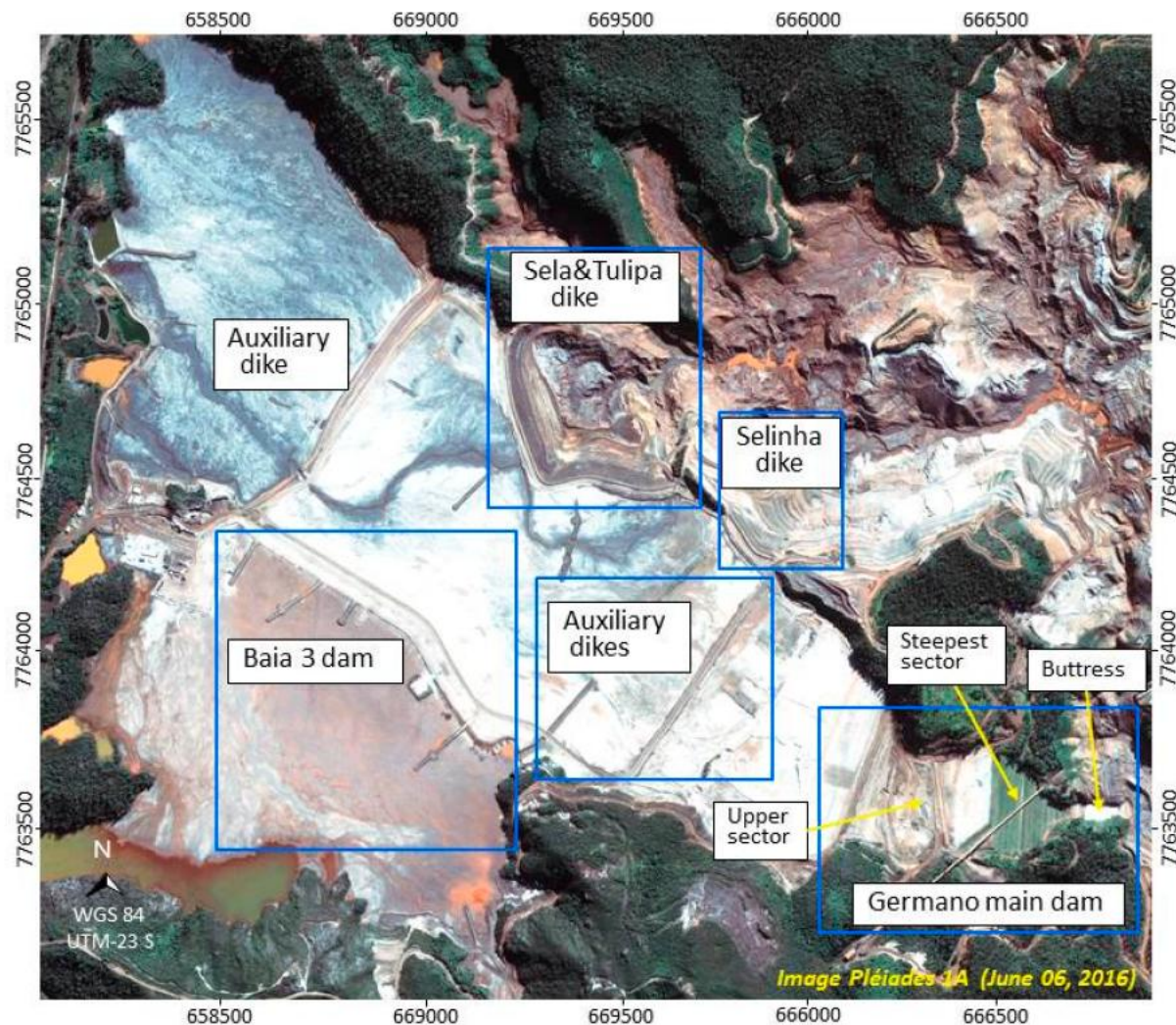
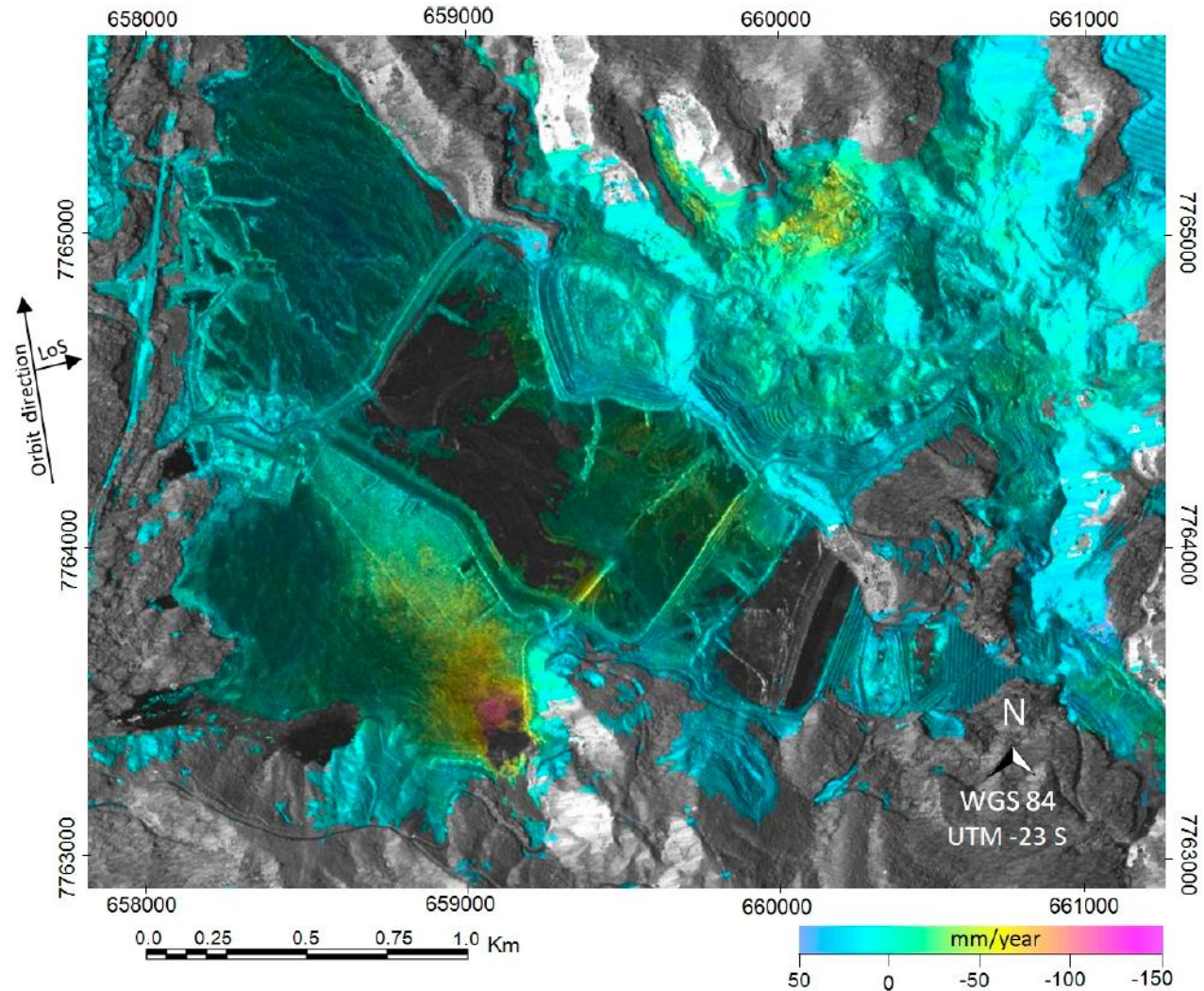


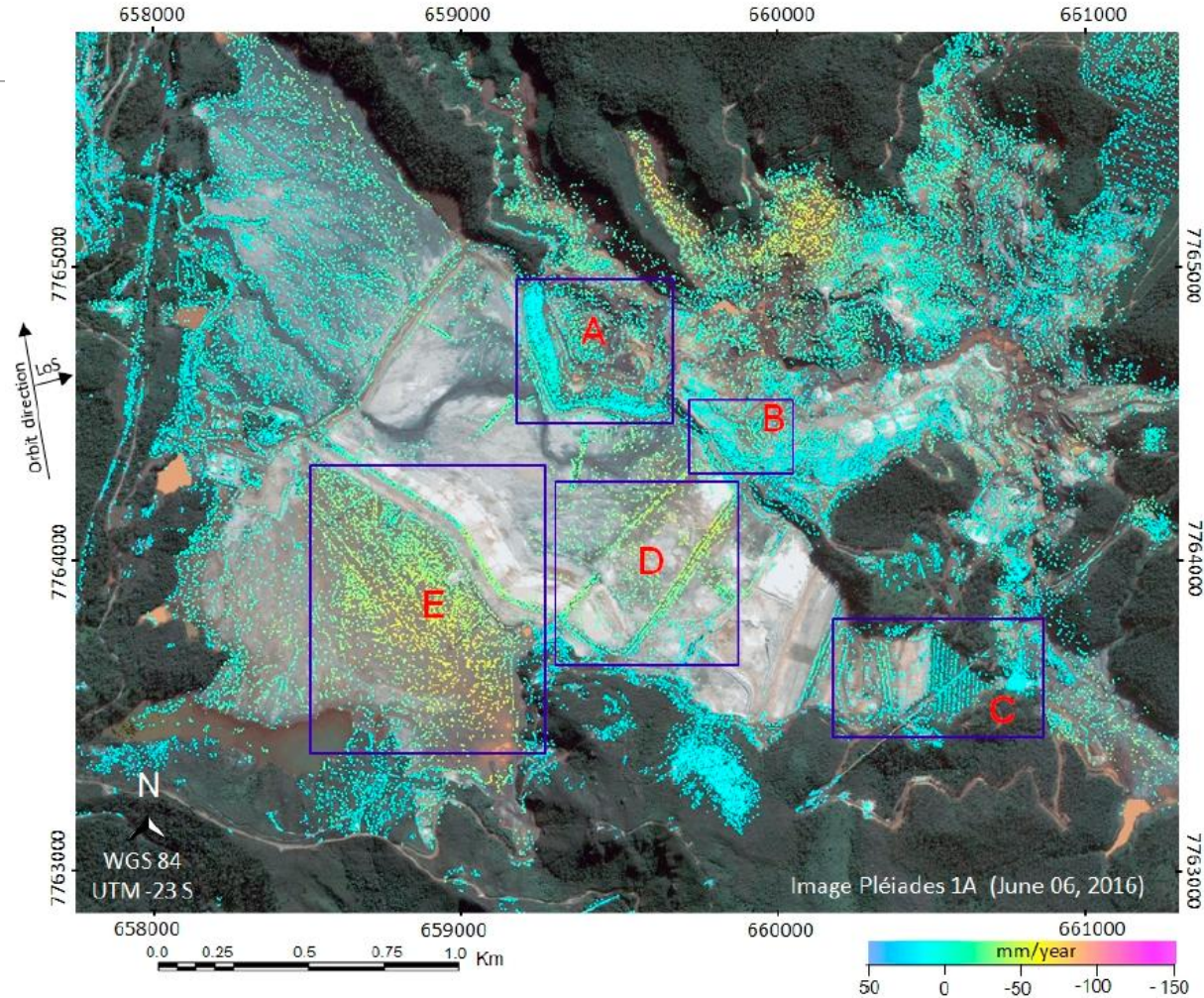
Figure 3. Study area of the main structures of the Germano dam after the Fundão collapse.

Velocidade de deslocamento obtido através de análise por satélite

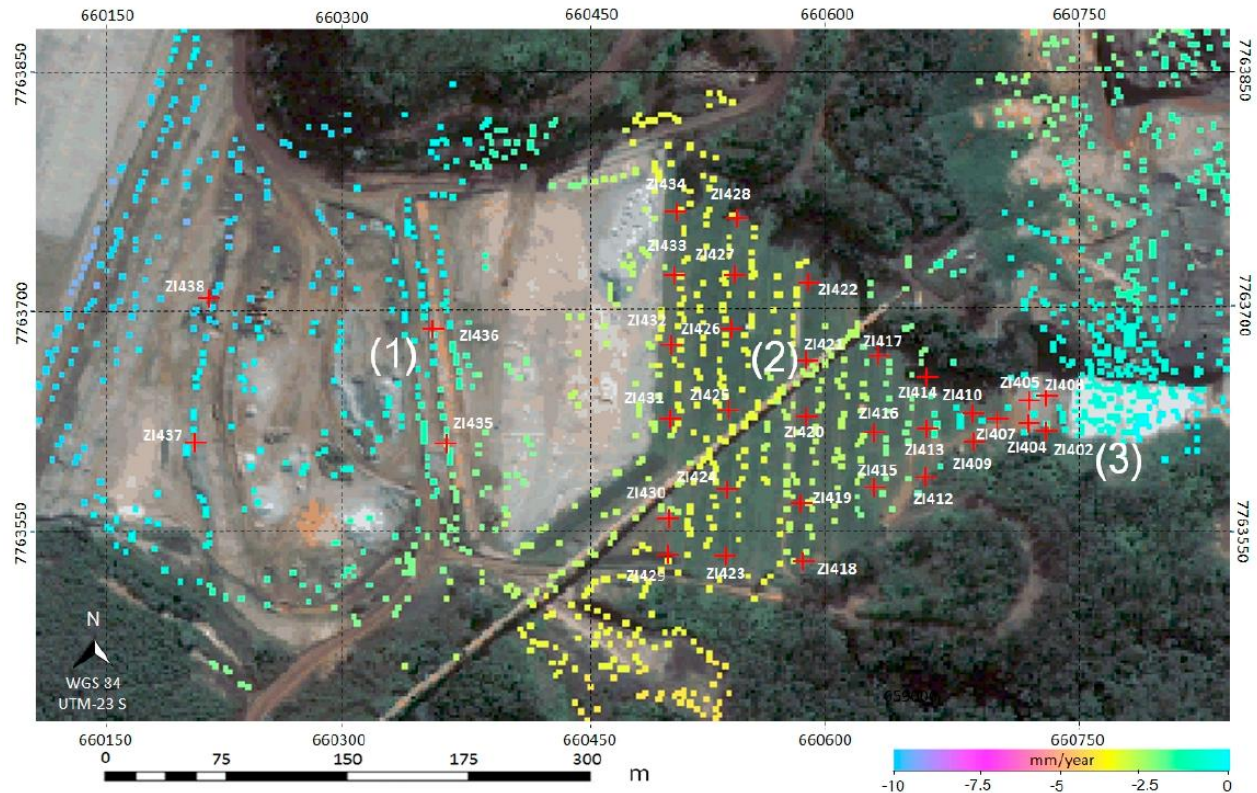


Os Itens A (Dique Sela e Tupila), B (Dique Selinha) e C (Represa Germano) apresentam padrões de estabilidade.

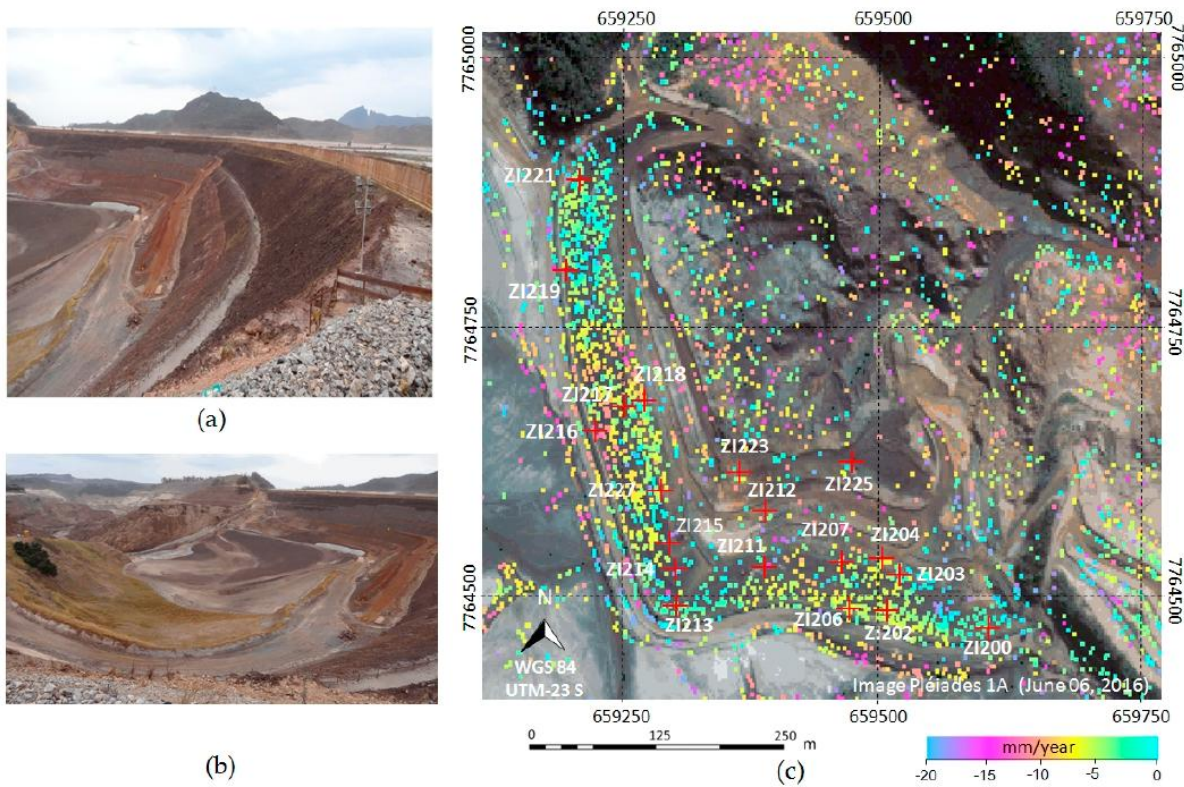
Nos diques auxiliares utilizados para o acesso de caminhões e equipamentos pesados (D), e na represa e reservatório da Baía 3 (E), podem ser observados padrões de deslocamento do solo.



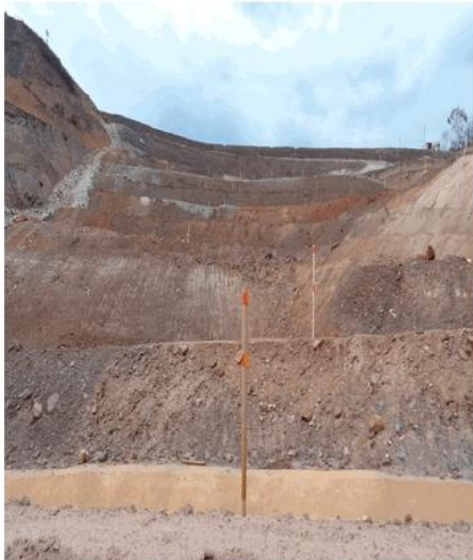
A Figura mostra o mapa do deslocamento do solo em três setores da principal barragem de Germano: o setor superior (1), setor mais íngreme (2), e setor de contrafortes (3).



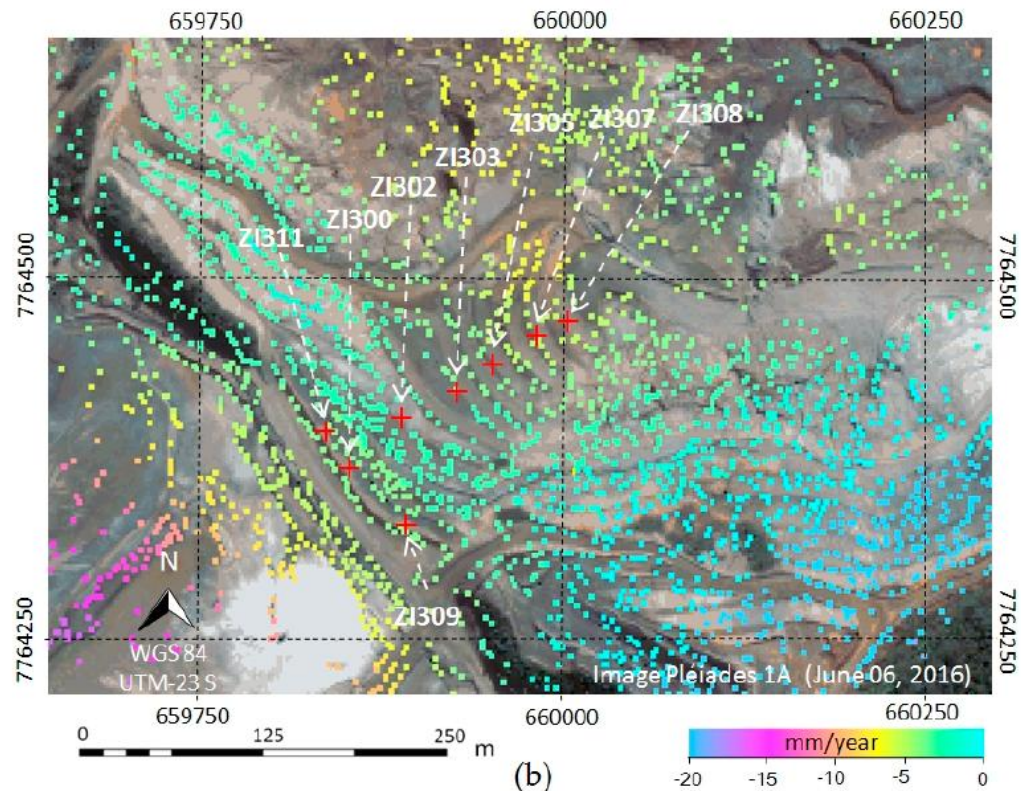
A Figura apresenta o dique Sela e Tulipa com detalhes das imagens de campo da parede (a), o reservatório vazio do Fundão (b), e o mapa de deslocamento do solo do dique e área circundante (c), com 18 pontos de medidas topográficas in situ



Dique Selinha, com uma imagem de campo da parede (a) e o mapa de deslocamento do solo do dique e área circundante, com a localização de 8 pontos de medidas topográficas de campo (b).

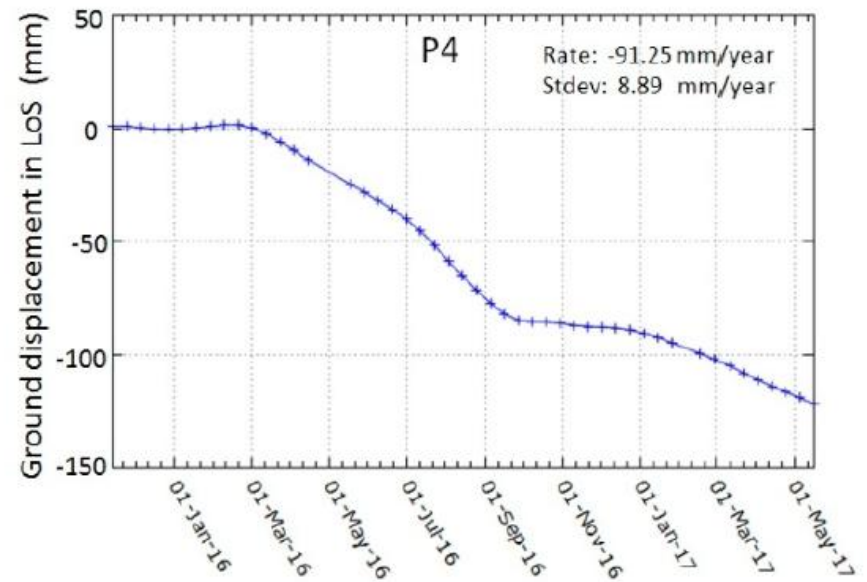
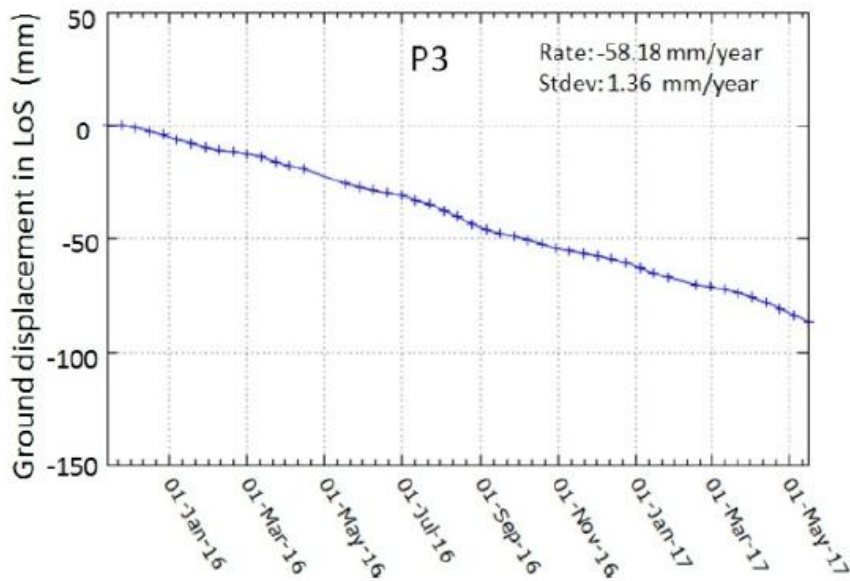


(a)



(b)

Resultados Gráficos do deslocamento acumulado do solo estão apresentados, considerando os pontos P3 e P4, localizados no Dique auxiliar, Setor D, com valores acumulados de 80,43 e 125,67 mm, respectivamente. Não há tendência de estabilização.





CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O Programa de Monitoramento e Segurança de Barragens tem como objetivo realizar o trabalho de inspeção e análise rotineira das barragens, túneis e canais

Além de permitir as devidas intervenções no tempo correto, é possível acumular conhecimento do comportamento dos maciços, refinar os dados de análise, conhecer e melhorar os ciclos de manutenção preventivas e corretivas, além de fazer intervenções pontuais que garantem a segurança

Recomenda-se que o Programa seja continuamente realizado, com as periodicidades apresentadas e o contínuo coletamento, armazenamento e utilização de dados para a melhoria do sistema de monitoramento e manutenção.



EM SUMA

A Engenharia atual tem grande número de técnicas para avaliar a estabilidade e segurança de barragens

A gestão destas técnicas é que é ineficiente desprezando a boa engenharia

Nos acidentes recentes, não houve **falha da engenharia** houve FALTA DE ENGENHARIA!