

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COECI - COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

MATHEUS DUMALAK

**MAPEAMENTO DE ÁREAS DE ALTERAÇÃO SUPERFICIAL DO
DRENO DE PÉ DA BARRAGEM DE TERRA DE ITAIPU**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TOLEDO - PR

2018

MATHEUS DUMALAK

**MAPEAMENTO DE ÁREAS DE ALTERAÇÃO SUPERFICIAL DO
DRENO DE PÉ DA BARRAGEM DE TERRA DE ITAIPU**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel, do curso de Engenharia Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Elmagno Catarino Santos Silva

Coorientadora: Prof. MSc. Patricia Casarotto de Oliveira

TOLEDO - PR

2018



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Toledo
Coordenação do Curso de Engenharia Civil



TERMO DE APROVAÇÃO

Título do Trabalho de Conclusão de Curso Nº139

MAPEAMENTO DE ÁREAS DE ALTERAÇÃO DE ROCHA SUPERFICIAL DO DRENO DE PÉ DA BARRAGEM DE TERRA DE ITAIPU

por

Matheus Dumalak

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 8:20 h do dia **15 de junho de 2018** como requisito parcial para a obtenção do título **Bacharel em Engenharia Civil**. Após deliberação da Banca Examinadora, composta pelos professores abaixo assinados, o trabalho foi considerado **APROVADO**.

Prof. Dr. Maurício do Espírito Santo
(UTFPR – TD)

Msc. Débora de Oliveira Fernandes
(ITAIPU)

Prof. Dr. Elmagno Catarino Santos Silva
(UTFPR – TD)
Orientador

Visto da Coordenação
Prof. Dr Fulvio Natercio Feiber
Coordenador da COECI

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por toda a força e encorajamento para não desistir e continuar a caminhada.

A minha mãe, por todo o apoio emocional e financeiro. Por estar presente em todos os momentos de minha formação e por acompanhar minha dedicação à conquista de um sonho. A você eu devo tudo o que conquistei, obrigado por ser especial e sempre presente.

A minha família, por todo o suporte e palavras de incentivo. Em especial para minha tia Aline, que me apoiou em todos os momentos necessários.

Aos professores da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – campus Toledo, por transmitirem todo o conhecimento possível, auxiliando nos momentos mais difíceis. Em especial ao professor Dr Elmagno C. Santos Silva, por aceitar a continuidade da orientação desse trabalho.

A professora Msc Patricia Casarotto de Oliveira, por me acompanhar durante toda a trajetória da graduação, pela orientação nos projetos de pesquisa e TCC. Por proporcionar tantas oportunidades de crescimento e amadurecimento profissional e pessoal. Obrigado por fazer parte do meu sonho.

A toda equipe de Itaipu, por possibilitar o desenvolvimento desse trabalho e fornecer todo apoio técnico-científico para elaboração do mesmo. Em especial, a Engenheira Josiele e a Debora, por acompanhar a execução das atividades e proporcionar experiências profissionais e pessoais inesquecíveis.

Aos meus amigos, por estarem do meu lado e me apoiarem nos momentos de dificuldade. Agradecimento especial a Maria Isabel Iijima, Mayra Branco, Eduardo César Amancio e Natalia Luiza Cavichioli, que a amizade ultrapasse toda forma de conhecimento e para sempre seja lembrada.

A todos os demais que de alguma forma contribuíram para essa conquista.

RESUMO

Dumalak, Matheus. **Mapeamento de áreas de alteração superficial do dreno de pé da barragem de terra de Itaipu**. 2018, 61 pág. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Civil – Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. Toledo-PR, 2018.

O envelhecimento das obras de engenharia é assunto cada vez mais debatido no meio acadêmico. Em enrocamentos, a exposição do material rochoso aos agentes intempéricos pode causar desintegração dos blocos e modificar sua composição mineralógica. Uma das estruturas afetadas diretamente pelo intemperismo são os drenos. Quando localizado na saída dos filtros internos de barragens de terra, os mesmos são denominados drenos de pé, sua função é, entre outras, proteger o tapete drenante das ações intempéricas e direcionar a água de percolação interna da barragem. Assim, o objetivo desse trabalho é mapear os eventos de alteração superficial de rocha no dreno de pé da barragem da terra de Itaipu (margem esquerda). Além disso, buscou-se criar um banco de dados georreferenciado com todas as informações observadas em campo. Para tanto, fez-se necessária inspeções no dreno de pé para identificação, demarcação e coleta das coordenadas geográficas dos processos de alteração. Após isso, para estruturação do banco de dados, utilizou-se uma ferramenta SIG, especificamente o ArcGIS. Nele foram armazenadas informações referentes a presença de: musgo, líquen, vegetação, água de infiltração da barragem e outras características notáveis a olho nu. Outras informações também foram inseridas no banco de dados, como: extensão da área alterada em metros, intensidade da alteração e quaisquer peculiaridades observadas em campo. Por fim, fotografias de cada local foram adicionadas para consulta no software. O arquivo base utilizado neste trabalho foi disponibilizado pela equipe de Itaipu em formato compatível com o ArcGIS, contendo o MDT e imagens aéreas da barragem. A partir da caracterização e espacialização das áreas de alteração de rocha, notou-se que o dreno de pé está em boas condições, apresentando processos pontuais e pouco intensos. Apesar disso, em locais com a presença de água de infiltração, observou-se uma maior quantidade áreas com alteração. Por fim, o banco de dados poderá ser utilizado para acompanhamento da evolução dos processos de alteração de rocha no dreno de pé.

Palavras-Chave: Banco de dados. Alteração de rocha. Dreno de pé.

ABSTRACT

Dumalak, Matheus. **Mapping of areas from superficial alteration of footing drain on Itaipu land dam.** 2018, 61 pág. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Civil – Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. Toledo-PR, 2018.

The aging of engineering works is increasingly discussed in the academic environment. In rockfalls, the exposure of rocky material to weathering agents may cause disintegration of the blocks and modify their mineralogical composition. One of the structures directly affected by weathering is the drains. When located at the outlet of the internal filters of earth dams, they are called standing drains, its function is, among others, to protect the drainage carpet from the intemperic actions and to direct the internal percolation water of the dam. Knowing this, the objective of this work is to map the events of superficial rock alteration in the footing drain of the Itaipu land dam (left margin). In addition, we sought to create a georeferenced database with all the information observed in the field. Therefore, it was necessary to inspect the footing drain for identification, demarcation and collection of the geographical coordinates of the change processes. After that, for the structuring of the database, a SIG tool was used, specifically ArcGIS. It were information on the presence of: moss, lichen, vegetation, water infiltration of the dam and other notable features to the naked eye. Other information was also included in the database, such as the extension of the area changed in meters, the intensity of change and any peculiarities observed in the field. Finally, photographs of each location were added for consultation in the software. The base file used in this study was made available by the Itaipu team in a format compatible with ArcGIS, containing the MDT and aerial images of the dam. From the characterization and spatialization of the rock alteration areas, it was noticed that the footing drain is in good condition, presenting point processes and little intense. Despite this, in places with the presence of infiltration water, a greater amount of areas with alteration was observed. Finally, the database will can be used to monitor the evolution of rock alteration processes in the footing drain.

Key words: Database. Rock alteration. Foot drain.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Barragens de terra. (A) Barragem de terra homogênea. (B) Barragem de terra zonada.	17
Figura 2 – Local de estudo. (A) Barragem de Itaipu. (B) Barragem de terra, margem esquerda. (C) Vista frontal do dreno de pé. (D) Vista superior do dreno de pé.....	29
Figura 3 – Seções transversais típicas da barragem de terra (margem esquerda) de Itaipu. (A) Seção transversal típica com altura menor que 10 metros. (B) Seção transversal típica com altura entre 10 e 30 metros.....	30
Figura 4 – Seção transversal típica do dreno de pé.....	31
Figura 5 – Localização dos trechos saturados por água de infiltração. (A) Trecho saturado 1. (B) Foto em campo de parte do trecho saturado 1. (C) Foto em campo do início do trecho saturado 2. (D) Trecho saturado 2.	32
Figura 6 - Exemplo de demarcação das áreas de alteração em campo, Área 30.	33
Figura 7 - Barragem de terra e enrocamento de Itaipu, margem esquerda. (A) Modelo Digital do Terreno (MDT). (B) Imagens aéreas.....	35
Figura 8 - Exemplo do mosaico de fotos do banco de dados.....	36
Figura 9 - Fluxograma de etapas desenvolvidas para criação do banco de dados...	38
Figura 10 - Presença de líquen na área de alteração na Estaca 136+50. (A) Vista geral do talude. (B) Detalhe.....	40
Figura 11 - Presença de vegetação na área de alteração na Estaca 136+50. (A) Vista geral do patamar. (B) Detalhe.	41
Figura 12 - Linhas de fluxo de água na área de alteração na Estaca 133+90.	42
Figura 13 - Área de alteração na Estaca 127+60, alteração na linha divisória entre patamar e talude. (A) Visão geral do patamar. (B) Detalhe.....	43
Figura 14 - Exemplo de exposição de material fino sob os blocos de rocha (G2). Área de alteração na Estaca 127+20.	45
Figura 15 - Exemplos de intensidade de alteração de rocha no dreno de pé. (A) G1 - Área 30 - Estaca 127+80. (B) G3 - Área 11 - Estaca 136+60. (C) G4 - Área 16 - Estaca 134+80. (D) G5 - Área 15 - Estaca 135+70.....	45
Figura 16 - Área de alteração na Estaca 134+80. (A) Visão geral do local. (B) Vista da canaleta de concreto e do pé do dreno. (C) Detalhe para o acúmulo de água com presença de material orgânico.	47
Figura 17 - Áreas de alteração nos trechos saturados. (A) Trecho saturado 1 - Estacas 133+60 a 136+90. (B) Trecho saturado 2 - Estacas 123+00 a 124+50.....	49

Figura 18 - Áreas de alteração no final do dreno de pé, próximo à ombreira esquerda - Estacas 137+50 a 140+00.	49
Figura 19 - Áreas de alteração no trecho de transição de altura da barragem - Estacas 125+80 a 128+20.....	50
Figura 20 - Perfil longitudinal do dreno de pé da BTME de Itaipu gerado no ArcGIS.	51
Figura 21 - Identificação das linhas de fluxo a partir da seção transversal. (A) Seção transversal entre as Estacas 139+00 e 139+50. (B) Imagem do dreno de pé em campo.	51
Figura 22 - Seção transversal do dreno de pé na Estaca 129+00*.	52
Figura 23 - Drenagem superficial, exemplo da alteração na Estaca 133+00. (A) Imagem da plataforma SIG, mostrando o fluxo de água. (B) Vista da alteração no talude. (C) Detalhe com a presença de material fino.	53

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Tipos de processos colmatantes.....	19
Quadro 2 – Grau de alteração de rocha.....	23
Quadro 3 – Classificação dos processos de alteração de rocha no dreno de pé.....	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Distância interplanares características dos argilominerais.....	24
Tabela 2 - Presença de musgo, líquen e vegetação nas áreas de alteração.	39
Tabela 3 - Distribuição da alteração de rocha no dreno de pé.....	41
Tabela 4 - Extensão das áreas de alteração de rocha no dreno de pé.	43
Tabela 5 - Intensidade de alteração de rocha por local no dreno de pé.....	46
Tabela 6 - Intensidade de alteração de rocha em áreas com presença de água.	46

LISTA DE SIGLAS

BTMD – Barragem de Terra Margem Direita

BTME – Barragem de Terra Margem Esquerda

MDT – Modelo Digital do Terreno

MET – Microscopia eletrônica de transmissão

MEV – Microscopia eletrônica de varredura

SIG – Sistema de Informação Geográfica

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
1.1	OBJETIVOS.....	15
1.1.1	Objetivo geral.....	15
1.1.2	Objetivos específicos.....	15
1.2	JUSTIFICATIVA.....	16
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
2.1	BARRAGENS DE TERRA.....	17
2.1.1	Processos de colmatção de filtros e drenos.....	18
2.2	ALTERAÇÃO DE ROCHA.....	20
2.2.1	Processos intempéricos.....	20
2.2.2	Grau de alteração.....	22
2.2.3	Presença de argilominerais.....	23
2.3	GEOPROCESSAMENTO E PLATAFORMAS SIG.....	25
2.3.1	Modelo digital do terreno.....	26
2.3.2	Conceitos básicos de cartografia.....	27
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	29
3.1	LOCAL E OBJETO DE ESTUDO.....	29
3.2	LEVANTAMENTOS DE CAMPO.....	32
3.3	DESENVOLVIMENTO DO BANCO DE DADOS.....	35
3.3.1	Inclusão das informações em plataforma SIG.....	36
3.3.2	Ferramentas auxiliares.....	37
3.3.3	Etapas desenvolvidas.....	37
4	RESULTADOS E DICUSSÕES.....	39
4.1	CARACTERÍSTICAS DAS ÁREAS DE ALTERAÇÃO.....	39
4.1.1	Estudos iniciais.....	39
4.1.2	Intensidade dos processos de alteração.....	44
4.1.3	Presença de água de infiltração.....	46
4.2	BANCO DE DADOS E ANÁLISES COMPUTACIONAIS.....	48
4.2.1	Seções transversais e longitudinais do dreno de pé.....	50
4.2.2	Drenagem superficial.....	52
4.2.3	Navegação pelo banco de dados.....	54

5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	55
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	57
	APÊNDICE A.....	62
	APÊNDICE B.....	63
	APÊNDICE C.....	64

1 INTRODUÇÃO

Os filtros e drenos nas barragens de terra possuem a função de direcionar a água de percolação interna para jusante do aterro. Isso evita o carreamento de partículas de solo do interior da barragem e cria um caminho controlado de escoamento de água.

Especificamente, o dreno de pé é uma estrutura localizada no pé da barragem de terra, geralmente na saída do tapete drenante. O material rochoso que o compõe pode sofrer processos de alteração ao longo do tempo por estarem diretamente expostos ao meio ambiente. Além disso, as condições intrínsecas ao material ou condições climáticas extremas podem contribuir para acelerar o processo.

As consequências da alteração de rocha é a fissuração e decomposição dos blocos. Tal fato pode expor os filtros internos ao ambiente ou colmatar o tapete drenante a partir do preenchimento dos vazios pelas partículas finas resultantes da alteração. A colmatação, por sua vez, impede ou diminui a percolação de água no filtro podendo causar o aumento das pressões internas do maciço.

Sendo assim, estudos sobre a alteração de rocha são de grande importância para o contexto nacional e mundial. Isso por que, com o envelhecimento das obras de engenharia, a exposição dos materiais de construção às intemperes pode causar consequências que interferem na segurança da barragem. Além disso, a alteração de rocha está totalmente vinculada a vida útil da obra, sendo essencial monitorar o bom estado de conservação dos blocos que compõe essas estruturas.

Para tanto, o uso de tecnologias de mapeamento está sendo cada vez mais utilizada para auxiliar nas pesquisas de campo e laboratório. As plataformas SIG (Sistema de Informação Geográfica) permitem avaliar e georreferenciar pontos de interesse, fornecendo inúmeras ferramentas para diversas análises. Além disso, o banco de dados é uma ferramenta de gestão, que permite armazenar e gerir as informações devidamente especializadas.

Nesse aspecto, o presente trabalho está dividido da seguinte forma:

No Capítulo 1 apresenta-se a introdução ao tema, os objetivos gerais e específicos do trabalho e aborda a justificativa e a importância do desenvolvimento dessa pesquisa.

No Capítulo 2 faz-se a revisão bibliográfica. Os tópicos abordados incluíram: as estruturas das barragens de terra e os processos de colmatação; a alteração de rocha e seus agentes intempéricos, abordando a interferência dos argilominerais; e uma breve revisão na literatura sobre alguns conceitos básicos de geoprocessamento de dados e cartografia.

No Capítulo 3 encontra-se a metodologia utilizada nesse trabalho, mostrando o passo a passo seguido nos levantamentos de campo. Além disso, nesse mesmo capítulo, aborda-se a criação do banco de dados georreferenciado das áreas de alteração no dreno pé da BTME de Itaipu.

No Capítulo 4 são apresentados os resultados do trabalho, como a caracterização das áreas de alteração mapeadas e os resultados envolvendo as análises do Modelo Digital do Terreno (MDT).

No Capítulo 5 apresenta-se as considerações finais da realização desse trabalho.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Criar um banco de dados georreferenciado dos processos superficiais de alteração de rocha do dreno de pé da barragem de terra de ITAIPU, margem esquerda.

1.1.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos são:

- Mapear e verificar o posicionamento das áreas com alteração superficial de rocha no dreno de pé da barragem de terra de Itaipu, em relação à um sistema de coordenadas;

- Realizar uma caracterização visual completa das áreas de alteração de rocha;
- Permitir uma visão completa e interativa das condições do dreno de pé da barragem de terra de Itaipu em plataforma SIG;
- Criar um banco de dados em plataforma SIG para gerir as informações coletadas em campo e acompanhar a evolução da integridade do dreno de pé.

1.2 JUSTIFICATIVA

Pesquisas e programas voltados à segurança de barragens são de suma importância para a sociedade em geral, pois o risco de ruptura de um maciço envolve a segurança de toda a população próxima e de todos os profissionais que estão trabalhando no local. Portanto, as catástrofes em barragens não são custosas apenas do ponto de vista financeiro, mas a perda de vidas humanas é o principal risco (JASEN, 1983).

Em barragens de terra e enrocamento, as principais patologias enfrentadas pelos engenheiros de segurança de barragem são: alterabilidade de rocha, colmatação em filtros e drenos, *piping*, liquefação, instabilidade dos taludes, problemas na fundação, entre outros (BRASIL, 2002; JASEN, 1983).

Entre as patologias citadas, o processo de alteração de rocha é um viés importante na segurança de barragens, pois acarretam em modificações químicas e físicas na rocha e, conseqüentemente, podem causar a diminuição do volume do bloco, fazendo com que a sua resistência mecânica diminua (FARJALLAT, 1971).

Sendo assim, o presente trabalho justifica-se devido a importância da segurança de barragens para a sociedade. O mapeamento e a criação do banco de dados devem auxiliar no monitoramento dos eventos de alteração de rocha no dreno de pé da barragem de terra de Itaipu.

O trabalho também se justifica por criar uma plataforma georreferenciada que, por sua vez, pode ser utilizada como uma importante ferramenta de gestão para a equipe de Itaipu. Além disso, permite a continuação dos estudos no dreno e o acompanhamento da evolução da alteração de rocha no local.

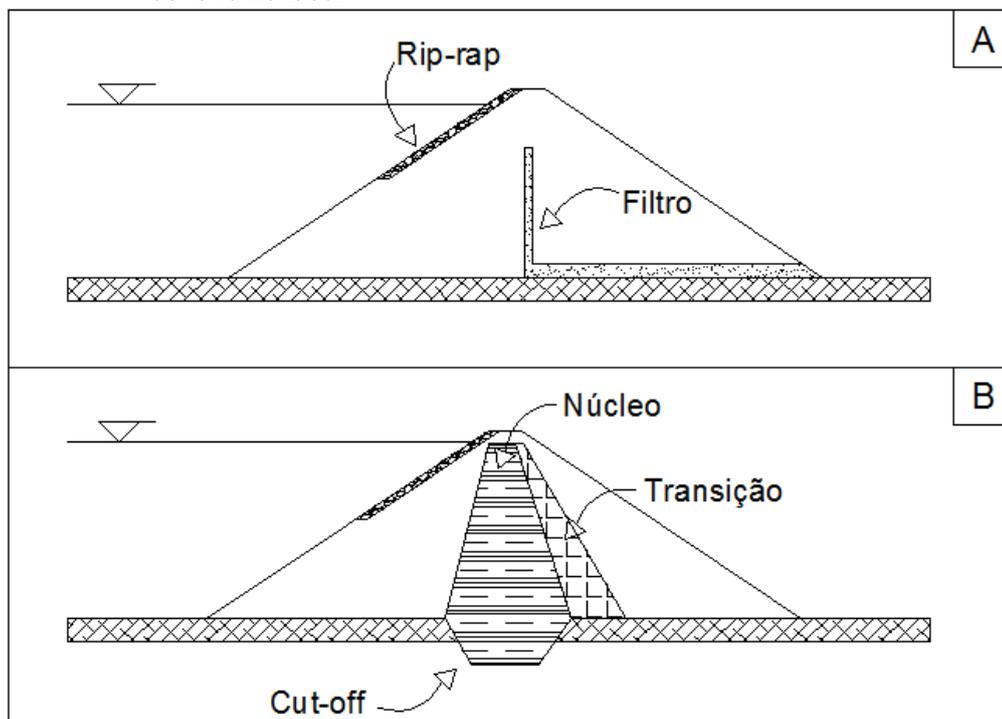
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 BARRAGENS DE TERRA

Barragem de terra é a forma de barramento mais encontrado no Brasil, isso por que as condições topográficas são favoráveis e há abundância de material terroso. Outra vantagem, é a possibilidade de construção sobre solos moles, porém, deve-se ter cuidado com patologias como o *piping* ou erosões tubulares que podem levar ao colapso do maciço (MASSAD, 2010).

No geral, existem dois tipos de barragem de terra, a homogênea e a zonada. As barragens de terra homogêneas são constituídas, em sua maior parte, de um mesmo material, Figura 1.A. As zonadas são constituídas por dois ou mais materiais terrosos com características geotécnicas diferentes, aproveitando os atributos de cada componente para melhorar as condições de estabilidade e permeabilidade do aterro, Figura 1.B (COSTA, 2012; MASSAD, 2010).

Figura 1 – Barragens de terra. (A) Barragem de terra homogênea. (B) Barragem de terra zonada.



Fonte: Adaptado de Costa (2012).

Mesmo tendo como componente principal o solo, nas barragens de terra as rochas também são utilizadas. Na sua maioria, os blocos rochosos são materiais de construção primordiais para estruturas civis auxiliares, como em rip-rap, drenos, parte de filtros, entre outros. Os *rip-rap* têm a função de proteger o talude da barragem das erosões provocadas por ondas, sendo que os tamanhos dos blocos de rocha utilizados dependem do grau da ação erosiva (ROLIM *et al.*, 2009).

Já os filtros possuem a finalidade de captar e canalizar a percolação de água interna e direcioná-la aos drenos, a jusante da barragem. Esses drenos são constituídos, em sua maior parte, de blocos de rocha sã, normalmente conhecidos como drenos de pé. Destaca-se que a utilização dos filtros pode diminuir o risco de ruptura por *piping*, realizando a interceptação das linhas de fluxo de percolação de água interna da barragem (MACIEL FILHO, 1982; NOGUEIRA JUNIOR, 1988; PERINE, 2010; SZPILMAN *et al.*, 1981).

Barragens de terra também podem ser construídas em conjunto com a de enrocamento, formando barragens mistas. As rochas que compõem a parte do enrocamento possuem elevado ângulo de atrito, fornecendo maior estabilidade para os taludes; e o núcleo central de argila garante a estanqueidade do barramento (COSTA, 2012; MASSAD, 2010).

2.1.1 Processos de colmatação de filtros e drenos

O processo de colmatação em barragens é definido como a obstrução total ou parcial dos vazios presentes nos filtros internos e tapetes drenantes. Esse fenômeno ocorre no decorrer do tempo e pode comprometer a eficiência dos filtros, diminuindo a permeabilidade do maciço e impedindo ou dificultando a correta percolação de água interna (MACIEL FILHO, 1982; REMÍGIO, 2006).

Normalmente, os filtros de barragens de terra são obstruídos pelo acúmulo de material fino nos poros da areia constituinte do filtro. Tal fenômeno é causado por ações intempéricas dos tipos: origem física e carreamento de partículas coloidais; processos geoquímicos (partículas resultantes de reações químicas); ou por eventos petrológicos quando ocorre a alteração na textura de areias artificiais (MACIEL FILHO, 1982).

Tais processos de colmatção também podem ser classificados conforme os seus agentes colmatantes, sendo divididos em três grandes grupos, conforme o Quadro 1 (SILVA, 2012).

Quadro 1 – Tipos de processos colmatantes.

TIPO DE COLMATAÇÃO		DEFINIÇÃO	AGENTES COLMATANTES
Inorgânica	Coloidal	Associada a resultados de reações químicas que não possuem compostos orgânicos, como hidróxidos ou óxidos de ferro e alumínio, sais de baixa solubilidade e argilominerais	Argilominerais, sílica coloidal, hidróxidos de ferro e hidróxidos de alumínio
	Particulada		Óxidos metálicos de ferro, alumínio e magnésio
	Incrustação		Sais dissolvidos de baixa solubilidade (sulfato, carbonato e fluoreto de cálcio)
Orgânica	Coloidal	Associada à compostos orgânicos naturais ou sintéticos, sendo que os mais comuns são óleos, polímeros, proteínas e alguns ácidos	Proteínas, taninos, ácidos húmicos e ácidos fúlvicos
	Não-Coloidal		Polissacarídeos, óleos, polímeros
Microbiológica	Biocolmatção	Geralmente relacionada à ação de microorganismos	Microorganismos

Fonte: Adaptado de Silva, 2012.

A fração coloidal é o menor material constituinte do solo, tendo como seus principais componentes os materiais orgânicos e minerais secundários, como argilominerais expansíveis e hidróxido de ferro e hidróxido de alumínio. Além disso, pode-se encontrar em sua composição silte de dimensões menores que 5 μm (AZEVEDO e BONUMÁ, 2004; SODRÉ *et al.*, 2001).

Os processos colmatantes coloidais são obstruções causadas por partículas orgânicas ou inorgânicas, geralmente resultantes de reações químicas. Sendo que o hidróxido de ferro é um dos principais agentes, comumente associado aos processos de colmatção. Outras substâncias químicas, como carbonatos de cálcio e sílica são, geralmente, encontrados no processo de cimentação de solos sedimentares (MACIEL FILHO, 1982).

Os processos microbiológicos são causados pela colonização de microorganismos, podendo ser originada pela produção de gases, acumulação de sais insolúveis resultantes de reações químicas de redução de sulfatos, precipitação de compostos de ferro resultantes de oxidação e acúmulo de células microbianas nos poros dos filtros (BAVEYE *et al.*, 1998; REMÍGIO, 2006).

2.2 ALTERAÇÃO DE ROCHA

2.2.1 Processos intempéricos

Os processos intempéricos podem promover alterações físicas ou químicas na rocha, modificando a textura, cor, resistência e permeabilidade da rocha. Tais processos de alteração ainda podem ser intensificados por agentes biológicos, cita-se: raízes de plantas, atuação de bactérias e dejetos de animais (LEE e PARSONS, 1999; NASCIMENTO, 1970; SMITH, 1999).

De maneira geral, o clima é um dos principais fatores que influencia no processo de intemperização, principalmente com a atuação da umidade e da temperatura. Ele regula a intensidade da alteração de rocha, crescimento de organismos e as reações pedogenéticas - reações de caráter físico, químico ou biológico que criam horizontes de constituição ambiental, correlacionando-se aos fatores de formação do material (LEPSCH, 2002).

O intemperismo de origem física ocasiona desintegração da rocha, alterando o tamanho ou a forma dos minerais, conservando ou pouco modificando suas características químicas e mineralógicas. Tal processo ocorre pela variação de temperatura, tensões mecânicas, pressões internas e atuação de agentes externos - animais, plantas e ações humanas (CARNEIRO *et al.*, 2009; FRASCÁ, 2003; NASCIMENTO, 1970).

Já os de origem química são causados pela ação de agentes atmosféricos, hidrosféricos e biosféricos. Esses agentes reagem com os minerais das rochas através de reações químicas removendo os componentes com maior solubilidade (Ca, Na, Mg, K, Si, Al, Fe) e formando hidroxilas, dióxido de carbono e oxigênio. Entende-se por minerais solúveis aqueles que dissolvem na presença de agentes químicos. Considera-se que o grau de solubilidade depende do valor de *pH* do material, sendo que quanto maior o *pH* menor a solubilidade (PRICE, 1995; THOMAS, 1994).

Para um mesmo local a alteração pode acontecer de maneira diferenciada para cada tipo de rocha. Os principais fatores que interferem na intensidade do

intemperismo são (CARROLL, 1970; FARJALLAT, 1972; FOOKES *et al.*, 1988; MICHEREFF *et al.*, 2005; TARDY, 1969):

- Fatores intrínsecos da rocha: Composição mineralógica, estabilidade química, grau de cimentação, microfissuras, defeitos estruturais, entre outros.;
- Presença de água: precipitação média, quantidade de CO_2 dissolvido e tempo de residência em contato com os minerais e;
- Temperatura: quanto maior a temperatura, mais rápido ocorre as reações químicas, sendo que as reações podem duplicar a cada 10C de elevação.

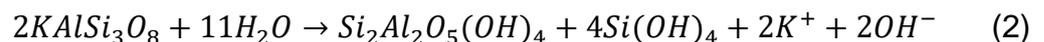
Conforme já mencionado, a água é um dos principais agentes do intemperismo, sendo que pode ser ocasionada de eventos de precipitação ou devido ao contato com solos saturados. A reação química que decompõe o material e é causada pela água é chamada de hidrólise. A umidade se infiltra nas microfissuras do bloco de rocha, reagindo com os seus minerais constituintes resultado na dissolução química do material (CARROL, 1970; MELFI e PEDRO, 1977).

A hidrólise ocorre de duas formas principais (MELFI e PEDRO, 1977):

- Hidrólise total (Equação 1): os minerais primários são completamente liberados, formando hidróxidos. Em sistemas abertos, os componentes solúveis são eliminados completamente, como hidróxidos de silício e sódio $Si(OH)_n$ e $Na+OH$, respectivamente). Elementos insolúveis se acumulam no local, como hidróxidos de alumínio, $Al(OH)_3$;



- Hidrólise parcial (Equação 2): ocorre a formação de sais básicos insolúveis a partir da reação da sílica com o alumínio. O resultado disso são hidroxissilicatos aluminosos, um dos principais componentes da argila.



Em relação aos minerais, sabe-se que os mesmos sofrem intemperização quando estão expostos a condições físico-químicas diferentes daquelas que fizeram parte de sua formação, ou seja, ocorre um desequilíbrio termodinâmico entre as

características intrínsecas dos minerais e as do ambiente (BROWNLOW, 1979; MELFI e PEDRO, 1977).

Em rochas ígneas e metamórficas, quando há o processo de intemperização, os feldspatos reagem se transformando em caulinita. Essa reação forma óxidos hidratados de ferro e alumínio. Conforme o processo de alteração se intensifica, a caulinita anteriormente formada, altera-se para hematita (Fe_2O_3), fazendo com que o solo resultante da intemperização tenha uma colocação avermelhada (RIGO, 2005).

2.2.2 Grau de alteração

O grau de alteração de rocha normalmente é definido em termos de classes de alteração a partir de uma análise visual em campo. A definição das classes deve ocorrer de modo a minimizar os efeitos de uma avaliação subjetiva, estabelecendo parâmetros de comparação adequados para realizar uma análise coerente (GUIDINICI e NIEBLE, 1976).

Para Melfi e Pedro (1977), a alteração de rocha deve ser classificada pela quantidade de minerais alterados daqueles suscetíveis à alteração. Destacando-se a divisão em três níveis de alterabilidade (MELFI e PEDRO, 1977):

- Igual a 100: isso ocorre quando as condições externas permitem a alteração de todos os constituintes com exceção do quartzo, ou seja, a alteração da rocha se desenvolve de forma total. O resultado do processo é uma aparência “argilosa”;
- Menor que 100: ocorre quando as condições externas não permitem uma hidrólise rápida, fazendo com que os minerais mais vulneráveis sofram alteração. Nesse grau de alteração, o bloco de rocha ainda possui minerais alteráveis e apresenta uma textura “arenosa”;
- Nulo: o grau de alteração é nulo ou imperceptível.

Destaca-se que existem diversas classificações para determinação do grau de alteração de um bloco de rocha, sendo que, uma das classificações mais reconhecidas está apresentada no Quadro 2 (ISRM, 1978).

Quadro 2 – Grau de alteração de rocha.

Grau	Denominações	Características da rocha
I	Rocha sã	Nenhum sinal visível de material em alteração. Pode ocorrer leve descoloração na superfície das descontinuidades
II	Rocha pouco alterada	Descoloração indica intemperismo no material rochoso e nas descontinuidades. Toda a rocha pode estar descolorida pela alteração e estar mais fraca do que no estado de rocha sã.
III	Rocha moderadamente alterada	Menos da metade do material rochoso está decomposto ou desintegrado em solo. Rocha sã ou descolorida está presente como estrutura granular contínua ou como núcleos pétreos.
IV	Rocha muito alterada	Mais da metade do material rochoso está decomposto ou desintegrado em solo. Rocha sã ou descolorida está presente como estrutura granular descontínua ou como núcleos pétreos.
V	Rocha completamente alterada	Todo o material rochoso está decomposto ou desintegrado em solo. A estrutura original do maciço está ainda bastante intacta.
VI	Solo residual	Todo o material está transformado em solo. A estrutura original do maciço está destruída. Há grande perda de volume, mas sem transporte de material.

Fonte: Adaptado de ISRM (1978).

2.2.3 Presença de argilominerais

Os argilominerais são estruturas cristalinas bidimensionais distribuídas em camadas, de formato lamelar e com a presença de silicatos de alumínio, ferro e magnésio hidratados. São constituídos por ligações tetraédricas de SiO_4 (silicatos) distribuídas de forma hexagonal, condensados com octaédricos de hidróxidos de metais divalentes e trivalentes - compostos com dois e três orbitais livres, consecutivamente, na última camada de energia (COELHO e SANTOS, 2007; RIGO, 2005).

Existem cerca de 40 argilominerais, sendo que as dimensões são, normalmente, abaixo de 2 μm . Alguns podem conter dimensões entre 1 e 100 nm. Devido a esse tamanho, a maioria desse material só pode ser observado por microscopia eletrônica de transmissão ou de varredura – MET e MEV, respectivamente (COELHO e SANTOS, 2007).

Os tipos de argilominerais são determinados a partir de sua estrutura cristalina, sendo que uma das técnicas para sua identificação é a de difração de raios X. O resultado do experimento fornece um gráfico com picos primários e secundários, sendo que, a partir das distâncias entre os picos (distâncias interplanares) faz-se possível a identificação do argilomineral estudado. Na Tabela 1 apresenta-se as distâncias interplanares características para alguns tipos de argilomineral (ALBERS *et al.*, 2002).

Tabela 1 - Distância interplanares características dos argilominerais.

Distância Interplanar (Å) (pico principal)	Distância Interplanar (Å) (picos secundários)	Argilomineral
7	3,58	Caulinita
10	5 e 3,33	Ilita
14	7,0; 4,7 e 3,5	Clorita
14	7,0; 4,7 e 3,5	Clorita expansível
12 ou 14	5,1 e 3,5	Montmorilonita-12 ou 14
14		Vermiculita

Fonte: Albers *et al.* (2002).

O grupo montmorilonitas são os mais expansíveis quando entram em contato com a água. Tal processo ocorre devido a hidratação dos cátions que formam a sua estrutura cristalina, contribuindo para fraturar o material devido à expansão desses minerais. Elas são compostas por camadas de duas folhas tetraédricas de sílica, com folha central octaédrica de alumina, sendo unidas por átomos de oxigênios (FARJALLAT, 1971; YOUNG e SMITH, 2000).

De maneira geral, quando o argilomineral sofre o processo de expansão, novas microfissuras são encontradas no bloco de rocha, podendo acelerar os processos de desintegração e facilitar a ação de agentes intempéricos. Com isso, o processo de alteração de rocha pode ser mais intenso e mais rápido (FARJALLAT *et al.*, 1972).

2.3 GEOPROCESSAMENTO E PLATAFORMAS SIG

O geoprocessamento de dados é a aplicação de técnicas matemáticas e computacionais, geralmente associadas às plataformas de Sistema de Informação Geográfica (SIG), que tem como objetivo realizar o tratamento dos dados no espaço geográfico. A ferramenta SIG trabalha com os dados espaciais, principalmente com a localização em relação a um sistema de coordenadas (CÂMARA *et al.*, 2004).

O Sistema de Informação Geográfica não é composto apenas do *software* em si, mas é integrado por (ROSA, 2005):

- *Software*: é um conjunto de programas que possuem o objetivo de coletar, armazenar, processar e analisar os dados geográficos, permitindo gerir tais informações a partir de análises computacionais;
- *Hardware*: equipamentos físicos necessários para o bom funcionamento e operação do *software*. Ou seja, computador, impressora, armazenamento, rede, entre outros;
- *Dados*: material bruto que está contido no sistema. A partir dele é que se atribui um significado para o resultado das análises, gerando informações sobre os dados a partir de um modo de apresentação (georreferenciamento ou mapeamento);
- *Usuários*: fator humano do sistema que gere as informações e garante a eficiência do trabalho, necessitando de conhecimento sobre o *software* e capacidade de decisão para correta interpretação dos resultados gerados a partir dos dados iniciais;
- *Técnicas de análise*: metodologia de tratamento dos dados a partir do conhecimento do usuário para obtenção dos resultados desejados.

Ressalta-se que a obtenção dos dados é um dos passos mais importantes para uma análise coerente. Os dados são informações geradas a partir da observação direta de uma situação real, podendo ser classificados conforme sua origem: primária, aqueles obtidos por levantamentos diretos no campo ou por sensoriamento remoto; ou secundária, mapas e estatísticas que são produtos derivados das fontes primárias (ROSA, 2005; ROSA, 2017).

Os dados espaciais estão associados a três características: temporal (quando a coleta foi realizada, condições climáticas e datas), temática (atributos que se referem a uma entidade geográfica) e espacial (coordenadas geográficas associadas a levantamento planialtimétrico do terreno). Todas elas devem ser detalhadas e o mais aproximado possível da realidade (ROSA, 2017).

2.3.1 Modelo digital do terreno

Uma das formas de se trabalhar geoprocessamento em plataforma SIG é a partir de modelos digitais de terreno (MDT). Os modelos digitais são resultados do processamento numérico que transmite ao usuário as características físicas do terreno. A partir do MDT são fornecidas imagens em escala de cinza representando a cota do local, geralmente, o cinza mais escuro representa cotas maiores (CÂMARA *et al.*, 2004).

Para tanto, o levantamento das informações do terreno é realizado a partir de sensoriamento remoto, sendo definido como uma tecnologia que permite a obtenção de imagens da superfície terrestre, fazendo uso de sensores térmicos artificiais ou naturais. É através da velocidade de propagação das ondas eletromagnéticas que se obtém inúmeros pontos, esses representam em forma de escala de cinza a superfície do terreno (FLORENSANO, 2011).

Associado a isso, é possível integrar esse levantamento com imagens aéreas do local, fazendo com que a fotografia esteja em concordância com a planialtimetria levantadas pelo sensoriamento remoto. Os resultados dessa interação são apresentados em duas camadas sobrepostas: imagem aérea fotográfica e uma nuvem de pontos (CÂMARA *et al.*, 2004; FLORENZANO, 2011).

Durante a integração dessas imagens com o sensoriamento remoto, ocorre distorções sistemáticas geométricas. Para tanto, deve-se realizar a correção dos erros a partir de um modelo matemático adequado. A correção se dá em três etapas (CÂMARA *et al.*, 2004):

- Mapeamento direto: transformação geométrica que estabelece uma relação entre a imagem e as coordenadas geográficas, ou seja, as linhas e colunas

das imagens são relacionadas à latitude e longitude do globo, eliminando distorções e definindo o local geográfico da imagem;

- Mapeamento inverso: caminho inverso do mapeamento direto, em que as imagens voltam a sua origem para definição das escalas de cinza que irão compor a imagem corrigida;
- Reamostragem: interpolação sobre os níveis de cinza da imagem original em relação às coordenadas geográficas da imagem corrigida. Esse processo resulta em uma escala de cinza formando a imagem final.

2.3.2 Conceitos básicos de cartografia

Para compreender melhor o geoprocessamento de dados, é importante estudar os sistemas de coordenadas em que o mesmo está inserido, podendo ser geográfico ou cartesiano (FITZ, 2008).

No sistema de coordenadas geográficas, cada ponto da superfície terrestre está localizado conforme um meridiano e um paralelo. Meridianos são círculos fictícios cujo o plano contém os polos do globo terrestre, sendo utilizado como referência o meridiano de Greenwich. Já paralelos são círculos fictícios cujo seu plano é perpendicular ao eixo dos polos, sendo a linha do Equador utilizada como referência (CÂMARA *et al.*, 1996).

As coordenadas desse sistema são representadas por distâncias angulares do ponto estudado ao meridiano e paralelo de origem, denominados latitudes e longitudes (CÂMARA *et al.*, 1996).

Já o sistema de coordenadas cartesianas faz uso de eixos x e y para definição do ponto. O mesmo é obtido pela projeção da localização real nesses eixos perpendiculares, associados a longitude e latitude do globo terrestre. Destaca-se que os dois sistemas de coordenadas apresentados são matematicamente relacionados, sendo que as coordenadas podem ser convertidas de um sistema a outro (CÂMARA *et al.*, 1996; FITZ, 2008).

A representação do modelo esférico é feita em mapas ou cartas cartográficas. Mapas são designados para projeções de locais geográficos como um todo, podendo ser apresentados em várias escalas e, geralmente, mostrando uma visão

geral do local. Cartas são apresentadas em escalas maiores, associadas a caracterização mais detalhada, com distâncias mais próximas do real. Quando é realizada a adaptação para o modelo plano, são utilizadas as projeções cartográficas, as principais são (MENEZES e FERNANDES, 2013):

- Plana: também denominadas de azimutais. Utilizada há mais de dois mil anos, é a projeção da superfície terrestre realizada em um plano tangente, sendo mantido o azimute original quando o mesmo é observado a partir do centro da projeção a qualquer direção do mapa;
- Cilíndrica: a projeção é realizada na superfície de um cilindro tangente ou secante ao globo terrestre. A projeção mais conhecida é a de Mercator que, por sua vez, foi desenvolvida em 1569 e é muito utilizada para navegação marítima até o presente;
- Cônica: a projeção é definida pela superfície de um cone tangente ou secante ao globo terrestre. Geralmente utilizadas para representar pequenas regiões em círculos ortogonais em relação a linha do equador. Uma das mais conhecida é a de Albers, que representa os paralelos como arcos de círculos concêntricos, minimizando as distorções.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia deste trabalho se desenvolveu em duas etapas distintas: levantamento de campo na barragem de terra de Itaipu (margem esquerda) e a criação do banco de dados em plataforma SIG. Neste capítulo serão apresentados o local e objeto de estudo, a metodologia para o mapeamento e coleta das coordenadas geográficas, o tratamento dos dados para inserção em plataforma SIG e o uso das ferramentas SIG para criação do banco de dados.

3.1 LOCAL E OBJETO DE ESTUDO

O mapeamento dos processos de alteração de rocha foi realizado na superfície do dreno de pé na BTME (Barragem de Terra Margem Esquerda) de Itaipu (Figura 2).

Figura 2 – Local de estudo. (A) Barragem de Itaipu. (B) Barragem de terra, margem esquerda. (C) Vista frontal do dreno de pé. (D) Vista superior do dreno de pé.

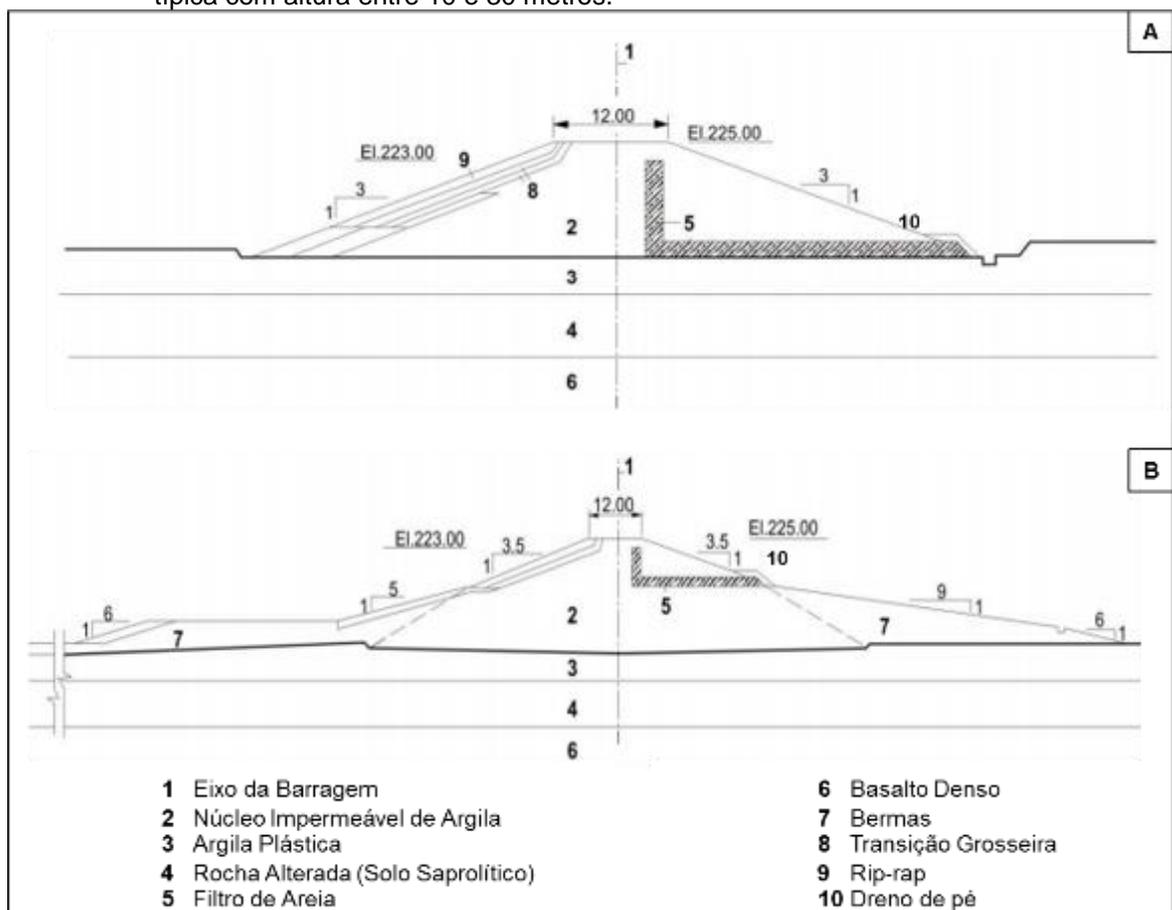


Fonte: (A) e (B) Adaptado de Google Earth, 2017. (C) e (D) O autor.

A barragem tem extensão de 1989,33 metros, sendo constituída por dois trechos distintos (ITAIPU, 2006; ITAIPU, 2008; ITAIPU, 2009):

- Menor que 10 metros de altura (Figura 3.A): localizado entre as estacas 128+80 m a 142+36,5 m com 1356,50 metros de extensão, o tapete drenante está em contato com a fundação e os taludes possuem inclinações à jusante e montante de 1V:3H; não há presença de berma;
- 10 a 30 metros de altura (Figura 3.B): localizado entre as estacas 122+30 m e 127+30 m com 482,83 metros de extensão, o tapete drenante está localizado no interior do aterro e os taludes possuem inclinações à jusante e montante de 1V:3,5H da crista à meia altura e 1V:2H até a base; existência de berma.

Figura 3 – Seções transversais típicas da barragem de terra (margem esquerda) de Itaipu. (A) Seção transversal típica com altura menor que 10 metros. (B) Seção transversal típica com altura entre 10 e 30 metros.

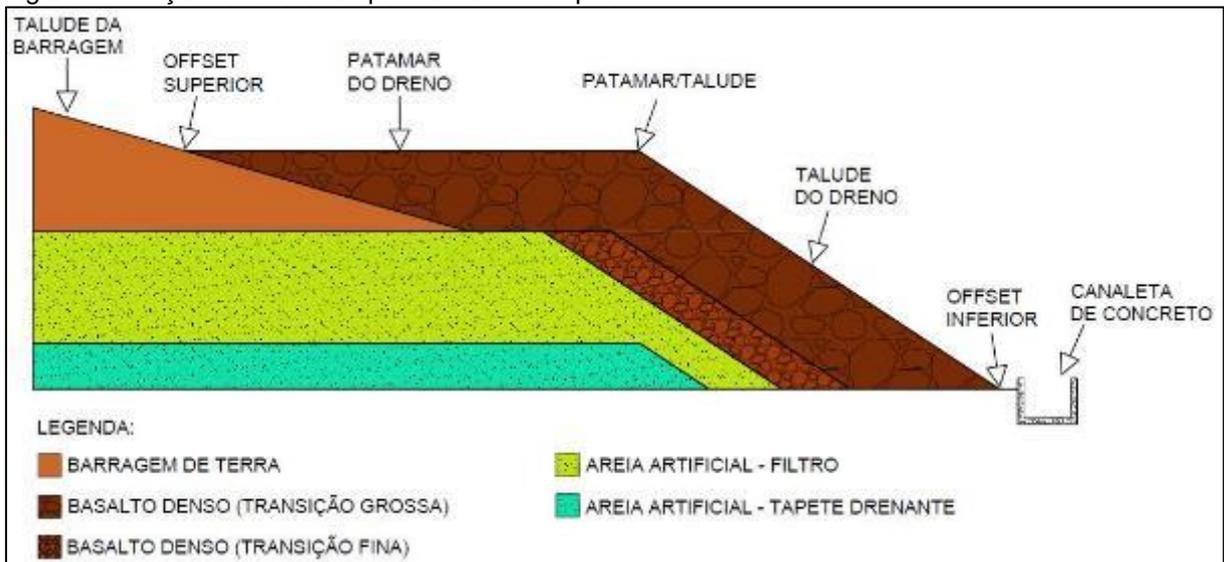


Fonte: Adaptado de Itaipu, 2006.

O sistema de drenagem interna é composto por filtro chaminé e tapete de drenagem, constituído de areia mista e areia artificial resultante do processo de

britagem de basalto denso provenientes das escavações no canal de desvio. Já o dreno de pé é constituído por duas camadas: uma de basalto denso triturado com maior diâmetro de 75 mm (transição fina) e outra de basalto denso triturado com diâmetros entre 75 e 300 mm (transição grossa), Figura 4 (ITAIPU, 1977).

Figura 4 – Seção transversal típica do dreno de pé.



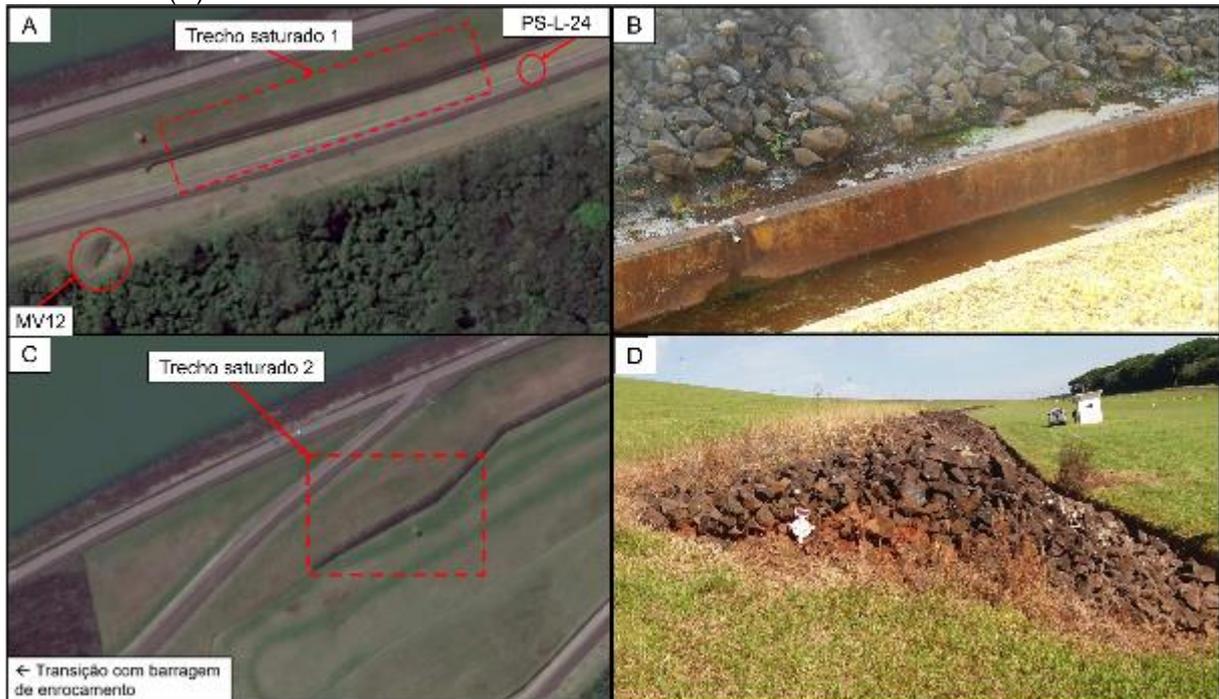
Fonte: Adaptado de Itaipu, 2006.

Conforme estudo apresentado em Oliveira *et al.*, 2017, existem dois trechos no decorrer do dreno de pé que permanecem saturados ao longo do ano devido à água de infiltração da barragem, sendo:

- Trecho saturado 1 (Figura 5.A e 5.B): localizado entre as estacas 133+50 e 135+50, entre o medidor de vazão MV12 e o piezômetro PS-L-24, com extensão de cerca de 200 metros;
- Trecho saturado 2 (Figura 5.C e 5.D): localizado entre as estacas 123+00 e 124+50, no início do dreno de pé, com extensão de aproximadamente 150 metros.

Após uma visita prévia no dreno de pé e reunião com a engenheira geotécnica da usina de Itaipu, Dr. Josiele Patias, determinou-se as características principais que seriam verificadas nos locais a serem mapeados. Assim, definiu-se que o mapeamento ocorreria apenas em áreas com significativa alteração de rocha (granulometria reduzida e/ou presença de material fino). Para tanto, foi percorrido todo o dreno de pé da barragem.

Figura 5 – Localização dos trechos saturados por água de infiltração. (A) Trecho saturado 1. (B) Foto em campo de parte do trecho saturado 1. (C) Foto em campo do início do trecho saturado 2. (D) Trecho saturado 2.



Fonte: (A) e (C): Adaptado de Google Earth, 2017; (B) e (D): O autor.

Não foram mapeados blocos individuais, estudos realizados anteriormente por Pandolfi (2014) e Gottardi (2014). Por sua vez, nesses trabalhos, não se obteve um mapeamento completo dos processos de alteração, sendo georreferenciados alguns blocos individuais em malhas de investigação espaçadas a cada 50 metros, não abrangendo toda a superfície do dreno. A partir disso, fez-se necessário o aprimoramento da metodologia adotada por tais pesquisadores.

3.2 LEVANTAMENTOS DE CAMPO

Os levantamentos de campo ocorreram nas datas de 16 (período matutino) e 21 (período matutino e vespertino) de fevereiro de 2017. As áreas de alteração foram identificadas a partir de uma análise tátil-visual, sendo percorrida toda a extensão do dreno de pé. A identificação dos locais a serem mapeados foi realizada com tinta amarela, diretamente nos blocos de rocha próximos, numeradas a partir da ombreira esquerda. Na Figura 6, observa-se a demarcação da área de alteração número 30.

Figura 6 - Exemplo de demarcação das áreas de alteração em campo, Área 30.



Fonte: O autor.

Após isso, as coordenadas geográficas foram coletadas com GPS de precisão pela equipe de topografia de Itaipu, que as disponibilizou em formato de texto (.txt). O sistema de coordenadas utilizado foi o SIRGAS 2000.

Além disso, durante as vistorias de campo, verificou-se algumas características predominantes em cada área de alteração demarcada. Para tanto, anotações foram realizadas e transcritas para a criação do banco de dados. Sendo elas:

- Presença de vegetação, musgo e líquen: registrados quando próximos às áreas de alteração, em alguns casos anotou-se a cor e a quantidade observada;
- Presença de água: observou-se a presença de água na canaleta de concreto localizada a jusante do dreno. Além disso, verificou-se a presença de água no pé do dreno, represado pela mureta de concreto da canaleta de drenagem;
- Extensão da alteração de rocha: foi tomado nota da extensão das áreas de alteração de rocha no sentido longitudinal do dreno de pé. A medida sempre foi anotada da esquerda para a direita, ou seja, da ombreira esquerda para a transição com a barragem de enrocamento, partindo sempre do ponto georreferenciado. Os locais em que o processo de alteração era concentrado em um único domínio, considerou-se uma área pontual, não registrando sua extensão;
- Localização na seção transversal do dreno de pé (Figura 4): para melhor identificação dos processos de alteração de rocha, fez-se a seguinte divisão de sua localização no dreno de pé: no patamar (a alteração está concentrada apenas no patamar do dreno); no talude (a alteração se encontra apenas no talude);

no patamar e no talude (o processo de alteração se encontra tanto no patamar quanto no talude do dreno); e patamar/talude (alteração na linha divisória que separa o patamar e o talude do dreno);

- Intensidade dos processos de alteração de rocha: determinou-se a intensidade dos processos de alteração em cada área mapeada, para tanto, adaptou-se as classificações já existentes para a situação desse trabalho (Quadro 3). Ressalta-se que em alguns casos a intensidade de alteração no talude era diferente do patamar, portanto, as anotações foram realizadas de acordo com a posição do evento de alteração no dreno;

Quadro 3 - Classificação dos processos de alteração de rocha no dreno de pé.

Classificação	Descrição
G0	Ausência de alteração nos blocos de rocha ou processo de alteração física pouco acentuada (blocos isolados pouco fraturados, com matriz rochosa inalterada)
G1	Áreas com concentração de blocos de rocha moderadamente fragmentados, sem exposição de material rochoso subsequente (transição fina ou areia do tapete drenante)
G2	Áreas com material rochoso preservado, mas sendo possível visualização de material fino sob os blocos do enrocamento (alteração de rocha, transição fina ou areia do tapete drenante, devendo ser investigado)
G3	Áreas com blocos de rocha fragmentados e pouca presença de material decomposto (consistência de solo)
G4	Áreas com blocos de rocha fragmentados, com moderada presença de material decomposto (consistência de solo)
G5	Áreas com blocos de rocha intensamente fragmentados e expressiva presença de material decomposto (consistência de solo)

Fonte: O autor.

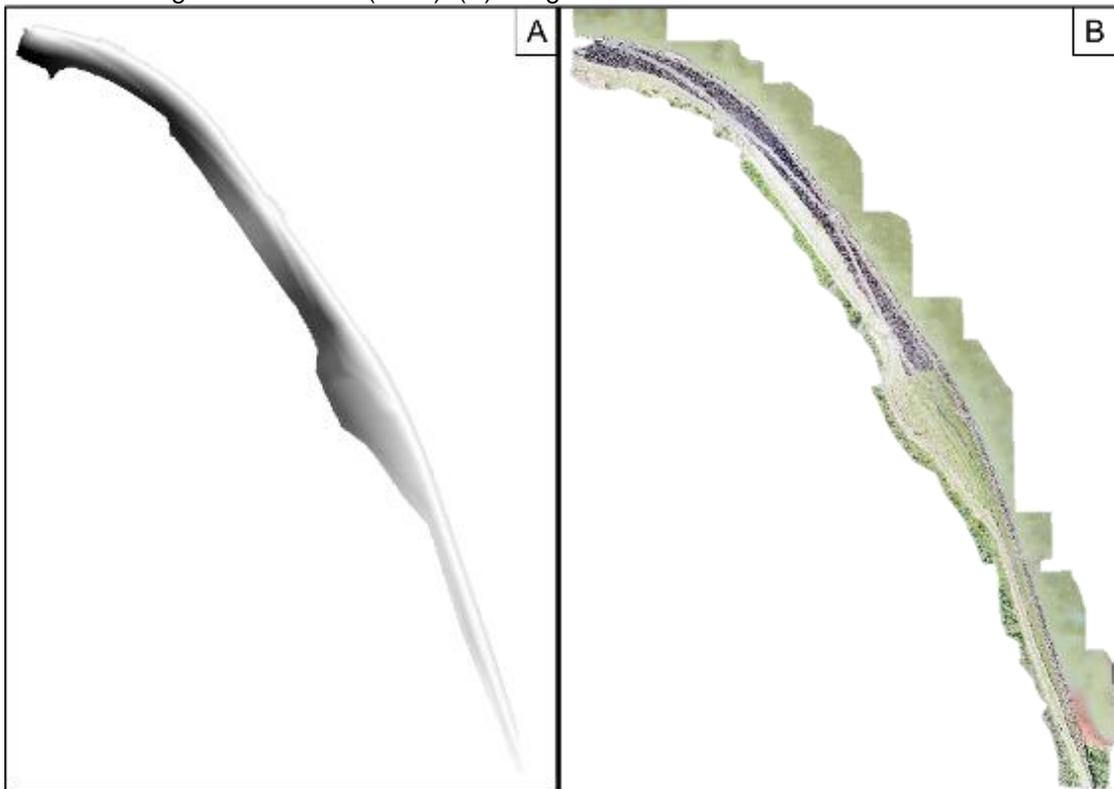
- Indicação para poço de inspeção: outro aspecto registrado foi um possível local para abertura de poço de inspeção. O poço de inspeção tem como objetivo analisar a alteração de rocha em profundidade no dreno de pé. Ressalta-se que esse procedimento não é objeto de estudo desse trabalho, sendo apenas abordado se as áreas de alteração mapeadas poderiam ser utilizadas para abertura do poço ou não (utilizado como um dos itens para criação do banco de dados);

- Outras observações: além de todas as características já citadas, as áreas de alteração foram registradas com fotografias e, também, fez-se observações gerais e específicas de cada local anotando quaisquer observações visuais julgadas importantes.

3.3 DESENVOLVIMENTO DO BANCO DE DADOS

Para continuidade desse trabalho, a equipe de Itaipu forneceu o Modelo Digital de Terreno (MDT), as imagens aéreas, as linhas de fluxo de água e a localização geográfica das Estacas. O formato disponibilizado foi compatível para plataforma SIG, ou seja, os arquivos possuíam extensão *.shp* (*ShapeFiles*) e *.fw* (*WordFiles*). Os arquivos cedidos estavam no sistema global de coordenadas WGS 1984 UTM Zone_21S (Figura 7).

Figura 7 – Barragem de terra e enrocamento de Itaipu, margem esquerda. (A) Modelo Digital do Terreno (MDT). (B) Imagens aéreas.



Fonte: Itaipu, 2017.

Sendo assim, o *software* escolhido para gerir as informações e criar o banco de dados foi o *ArcGIS*. O programa foi utilizado no laboratório da UTFPR de Toledo que possui a licença e extensões necessárias para andamento das atividades, sendo elas: *3D Analyst*, *Geostatistical Analyst* e *Spatial Analyst*.

3.3.1 Inclusão das informações em plataforma SIG

O próximo passo foi realizar a incorporação das informações dos levantamentos de campo no MDT disponibilizado, padronizando-as em um único arquivo de *Excel* (.xlsx). Nessa etapa, fez-se a conversão e compatibilização dos sistemas de coordenadas para o sistema WGS 1984 UTM Zone_21S.

A importação do banco de dados para o *ArcGIS* foi realizada com arquivo de texto (.txt). Para tanto, a planilha completa criada no *software Excel* foi importada para um bloco de notas. Esse procedimento foi efetuado devido à dificuldade da importação da planilha diretamente para o *ArcGIS*, sendo que o mesmo não reconhecia as informações inseridas.

Após isso, trabalhou-se com as fotografias registradas em campo. A forma escolhida para visualizar as imagens no *ArcGIS* foi o sistema de *hiperlinks*, contudo o programa permite apenas um *hiperlink* por ponto. Sendo assim, para cada área de alteração, foi construído um mosaico de fotos em um mesmo arquivo de imagem (.jpg), com uma ou mais fotos que melhor representava o local (Figura 8).

Figura 8 - Exemplo do mosaico de fotos do banco de dados.



Fonte: O autor.

3.3.2 Ferramentas auxiliares

Para trabalhar com as extensões das áreas de alteração e modelar o perfil transversal do dreno de pé utilizou-se o *software AutoCAD*. Isso por que, o programa apresenta uma maior trabalhabilidade para apresentação do gráfico que foi desenvolvido.

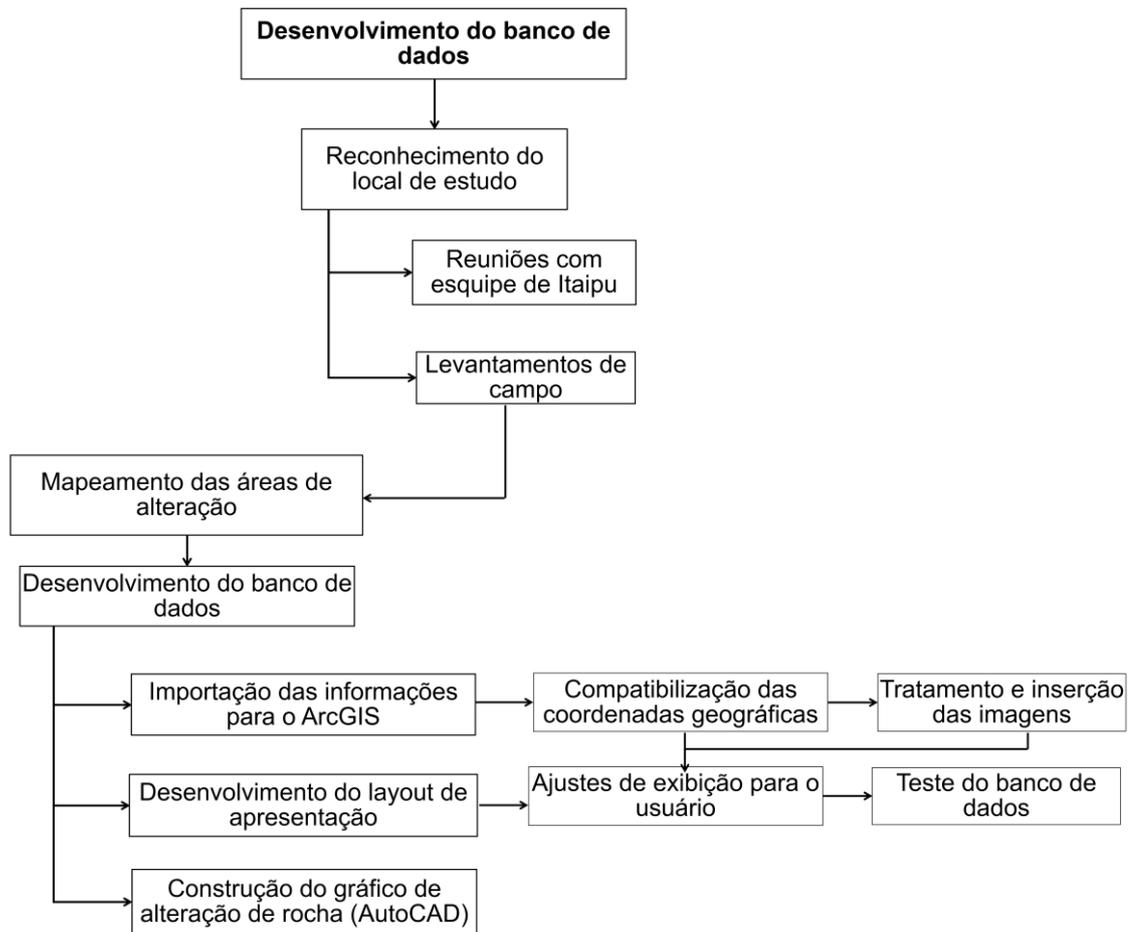
O primeiro passo foi importar as coordenadas geográficas das áreas de alteração e das estacas para o *AutoCAD*. Após isso, a partir de *polylines*, fez-se a extensão de cada área conforme anotado em campo. No mesmo gráfico, identificou-se a intensidade de alteração a partir de um gráfico de barras com hachuras.

Por fim, importou-se o perfil longitudinal do dreno de pé gerado no *ArcGIS*, sendo que todos os gráficos foram alinhados com a ferramenta *ALING (AL)* e ajustados em um mesmo referencial geográfico (posicionamento das estacas).

3.3.3 Etapas desenvolvidas

Para o desenvolvimento do banco de dados foi necessário separar o trabalho em etapas, sendo que as mesmas estão apresentadas em forma de fluxograma na Figura 9.

Figura 9 - Fluxograma de etapas desenvolvidas para criação do banco de dados.



Fonte: O autor.

4 RESULTADOS E DICUSSÕES

Após os levantamentos de campo no dreno de pé, registrou-se quarenta e três (43) locais com processos de alteração de rocha. Sendo dez (10) deles mapeados no primeiro dia de observação (16/02/2017), e trinta e três (33) no segundo dia (21/02/2017).

Nesse capítulo, são apresentados os principais resultados obtidos a partir dos levantamentos de campo, do mapeamento e criação do banco de dados. Ressalta-se que as coordenadas planas das áreas mapeadas estão expostas no Apêndice A.

4.1 CARACTERÍSTICAS DAS ÁREAS DE ALTERAÇÃO

A seguir, apresentam-se alguns comportamentos e características observados durante as inspeções visuais no dreno de pé.

4.1.1 Estudos iniciais

O primeiro aspecto estudado foi a presença de musgo, líquen e vegetação nas áreas de alteração de rocha. Notou-se suas ausências apenas nos 250 metros finais do dreno de pé. Ou seja, nas 6 áreas (14,0%) próximas à transição com a ombreira esquerda não foi observado a presença de líquen, musgo ou vegetação. Em todas as outras 37 áreas (86%), identificou-se pelo menos um dos três aspectos apresentados. Na Tabela 2, observa-se as porcentagens encontradas.

Tabela 2 – Presença de musgo, líquen e vegetação nas áreas de alteração.

Presença de:	Qtd.	Porc.
Musgo	11	25,6%
Líquén	35	81,4%
Vegetação	27	62,8%
Total de áreas	43	100,0%

Fonte: O autor.

A presença de musgo foi registrada em áreas de alteração por toda a extensão do dreno de pé, não sendo observado nenhuma relação espacial. Sabe-se que o musgo é biófito e se desenvolve em regiões com alto teor de umidade. Sendo assim, pode-se relacionar o surgimento dos musgos com a umidade do dreno, que é exposto às precipitações e tem contato (por capilaridade ou contato direto) com a água de infiltração da barragem (VANDERPOORTEN e GOFFINET, 2009).

Em relação aos líquens, notou-se a sua presença em 35 áreas de alteração (81,4%). Segundo Pereira (2000), o líquen é um agente que contribui para a alteração de rocha a partir de sua atividade micobionte, ou seja, através das ações dos fungos. Destaca-se que na maioria dos locais foi verificada uma quantidade pequena, geralmente localizado em alguns blocos espaçados no entorno da alteração. Na Figura 10, observa-se a área de alteração na Estaca 136+50 como exemplo do descrito.

Figura 10 - Presença de líquen na área de alteração na Estaca 136+50. (A) Vista geral do talude. (B) Detalhe.



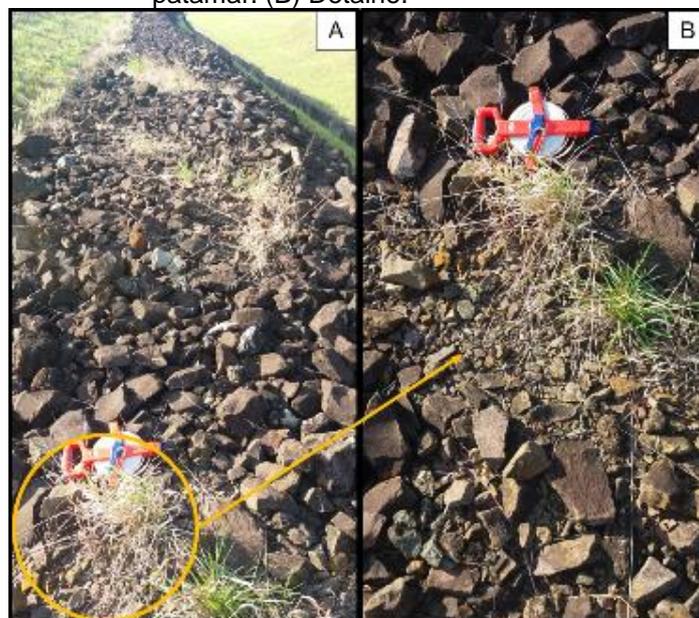
Fonte: O autor.

A presença de vegetação também foi elevada, sendo encontrada em 27 locais (62,8%), geralmente situada no patamar do dreno de pé. Tal situação pode ter relação com a facilidade de acúmulo de água e solo (proveniente de erosão ou

alteração de rocha) no patamar, sendo que no talude ocorre apenas o escoamento de água para jusante, não criando poças.

A vegetação pode intensificar a exposição dos blocos de rocha e aumentar ainda mais a ação dos processos intempéricos. Além disso, pode contribuir para direcionar o fluxo de água de precipitação para o talude, criando linhas preferenciais de escoamento e aumentando o intemperismo nesses blocos. Na Figura 11, observa-se a área de alteração na Estaca 136+50, agora com a vista do patamar.

Figura 11 – Presença de vegetação na área de alteração na Estaca 136+50. (A) Vista geral do patamar. (B) Detalhe.



Fonte: O autor.

A relação entre a posição da alteração no dreno e a vegetação é ainda mais estreita. No total, observou-se 24 áreas (55,8%) com alteração no patamar, sendo que em 20 delas (83,0%) identificou-se a presença de vegetação. Em todos esses casos, a alteração se estendeu até o talude, não sendo registrada nenhuma área isolada no patamar (Tabela 3).

Tabela 3 - Distribuição da alteração de rocha no dreno de pé.

Posição da alteração	Qtd.	Porc.
Patamar	0	0,0%
Talude	12	27,9%
Patamar e Talude	24	55,8%
Patamar/Talude	7	16,3%
Total	43	100,0%

Fonte: O autor.

Ainda em relação a posição da alteração no dreno, notou-se que em 36 áreas (83,7%) a mesma ocorria no talude. Tais ocorrências possivelmente estão relacionadas à formação de linhas preferenciais de percolação de água. Além disso, devido a sua inclinação, também ocorre o rolamento de blocos, o que pode causar o fraturamento e diminuir a granulometria da rocha.

Em 12 áreas dessas áreas (27,9%) observou-se apenas alterações lineares no talude do dreno de pé, indicando relação com a drenagem superficial. As formações de linhas de fluxo de água eram visíveis durante os levantamentos de campo, sendo registradas em vários locais. Na Figura 12 observa-se a situação descrita na Estaca 133+90.

Figura 12 - Linhas de fluxo de água na área de alteração na Estaca 133+90.



Fonte: O autor.

Já a alteração no Patamar/Talude, pode ser influenciada pela mudança de inclinação do patamar para o talude do dreno, o que pode acarretar em um caminho preferencial de drenagem natural. Além disso, facilita o rolamento de blocos, causando a redução de granulometria. Todavia, em 71% dos casos, a alteração é linear e de pouca intensidade. Na Figura 13, observa-se um exemplo de alteração no Patamar/Talude na Estaca 127+60.

Figura 13 – Área de alteração na Estaca 127+60, alteração na linha divisória entre patamar e talude. (A) Visão geral do patamar. (B) Detalhe.



Fonte: O autor.

No que se diz respeito a extensão das áreas mapeadas, tem-se que 20 delas (46,5%) são alterações concentradas e lineares, transversais ao dreno. Ou seja, quase metade da alteração mapeada é austera e pouco extensa, geralmente relacionada com a força abrasiva da drenagem superficial. Na Tabela 4 apresenta-se todas as extensões das áreas observadas.

Tabela 4 - Extensão das áreas de alteração de rocha no dreno de pé.

Extensão	Qtd.	Porc.
Linear	20	46,5%
Até 8 metros	4	9,3%
de 8,5 a 16 metros	9	20,9%
de 16,5 a 24 metros	6	14,0%
de 24,5 a 32 metros	3	7,0%
Mais de 32 metros	1	2,3%
Total	43	100,0%

Fonte: O autor.

4.1.2 Intensidade dos processos de alteração

Quase a metade da alteração no dreno de pé foi classificada como G1, ou seja, ocorreu a diminuição da granulometria dos blocos de rocha sem a presença de materiais finos na área alterada. Além disso, 32,9% dos locais mapeados foram registrados com intensidade G3, sendo áreas concentradas com blocos de rocha fragmentados e pouca exposição de material fino.

Esse resultado mostra que, apesar do longo período de exposição dos blocos de rocha aos agentes intempéricos, o dreno de pé está em bom estado de conservação, verificando-se que praticamente 80% dos locais mapeados apresentam baixa intensidade de alteração. No geral, essa ocorrência pode ser relacionada aos caminhos preferências de água de chuva (drenagem natural do terreno).

Destaca-se que 85,7% das alterações registradas na linha divisória entre patamar e talude são de intensidade G1, sendo áreas concentradas e apresentando leve fragmentação dos blocos de rocha, sem a presença de materiais finos.

Contudo, próximo a transição com a barragem de enrocamento, observou-se a exposição de materiais finos sob os blocos de rocha do talude do dreno (intensidade de alteração G2). Esse material pode ser alteração de rocha, mas deve-se investigar melhor a região, pois a camada de transição grossa (blocos de rocha expostos) pode ter sido executada com menor espessura (Figura 14).

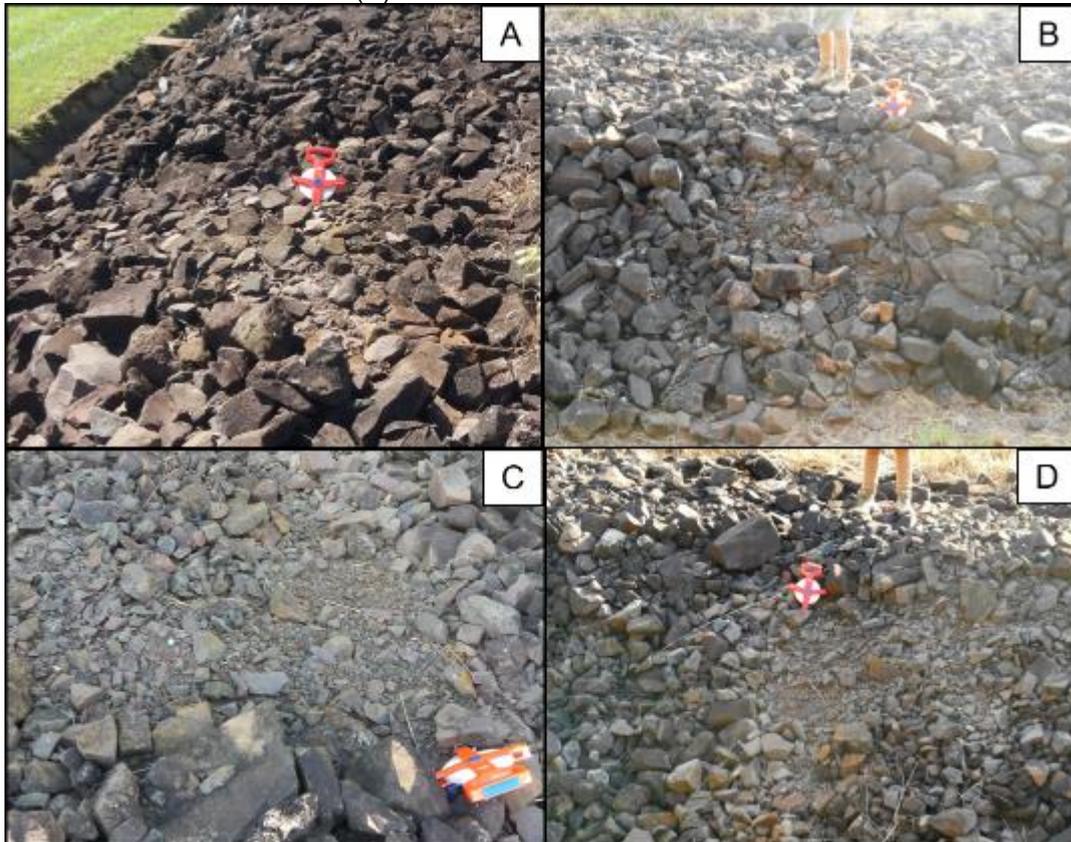
As intensidades G4 (blocos de rocha fragmentados, com moderada exposição de material fino) e G5 (blocos de rocha intensamente fragmentados, com expressiva exposição de material fino) somaram 9,6%, não sendo observada em grande quantidade no dreno. Na Figura 16, apresenta-se um exemplo para cada tipo de intensidade de alteração de rocha, com exceção da G2, já apresentada na Figura 15.

Figura 14 - Exemplo de exposição de material fino sob os blocos de rocha (G2). Área de alteração na Estaca 127+20.



Fonte: O autor.

Figura 15 - Exemplos de intensidade de alteração de rocha no dreno de pé. (A) G1 - Área 30 - Estaca 127+80. (B) G3 - Área 11 - Estaca 136+60. (C) G4 - Área 16 - Estaca 134+80. (D) G5 - Área 15 - Estaca 135+70.



Fonte: O autor.

A porcentagem de ocorrência de áreas de alteração do enrocamento do dreno de pé (BTME), por intensidade, estão apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5 - Intensidade de alteração de rocha por local no dreno de pé.

Intensidade de Alteração	Geral	Patamar	Talude	Patamar/Talude
G1	46,6%	41,7%	34,3%	85,7%
G2	1,4%	0,0%	2,9%	0,0%
G2/G3	5,5%	8,3%	5,7%	0,0%
G3	32,9%	33,3%	40,0%	14,3%
G3/G4	4,1%	4,2%	5,7%	0,0%
G4	4,1%	4,2%	5,7%	0,0%
G5	5,5%	8,3%	5,7%	0,0%

Fonte: O autor.

4.1.3 Presença de água de infiltração

Em 37,2% das áreas mapeadas identificou-se água na canaleta de concreto à jusante do dreno de pé, ou seja, áreas inseridas nos trechos saturados por água de infiltração da barragem. Na Tabela 6, observa-se a relação entre a presença de água e a intensidade da alteração de rocha.

Tabela 6 – Intensidade de alteração de rocha em áreas com presença de água.

Intensidade de Alteração	Água na canaleta de concreto?	
	Sim	Não
G1	23,1%	58,7%
G2	3,8%	0,0%
G2/G3	11,5%	2,2%
G3	38,5%	30,4%
G3/G4	7,7%	2,2%
G4	7,7%	2,2%
G5	7,7%	4,3%

Fonte: O autor.

Nos trechos saturados, a intensidade da alteração é mais elevada que nos demais. Isso porque, as áreas G3/G4, G4 e G5 somam 23,1%, sendo que em áreas sem a presença de água essa porcentagem atinge apenas 8,7%, ou seja, quase o

triplo. Isso demonstra uma maior intensidade de alteração nos trechos com a presença de água.

Além disso, os dois trechos saturados somados apresentam cerca de 400 metros de extensão, representando cerca de 23% da extensão total do dreno de pé. Todavia, nessas regiões, mapeou-se 16 áreas de alteração, que representam 37,2% das áreas mapeadas. Tal resultado evidencia que, além de uma maior intensidade de alteração, os trechos saturados também apresentaram um maior número de áreas alteradas.

Na Figura 16, observa-se a área de alteração na Estaca 134+80, em que o offset inferior apresenta a formação de poças de água provenientes de infiltração da barragem. A área tem extensão de 13 metros, com alteração no patamar e no talude de intensidade G4 espaçadas regularmente. Nota-se o acúmulo de material orgânico no offset inferior e vegetação no patamar.

Figura 16 – Área de alteração na Estaca 134+80. (A) Visão geral do local. (B) Vista da canaleta de concreto e do pé do dreno. (C) Detalhe para o acúmulo de água com presença de material orgânico.



Fonte: O autor.

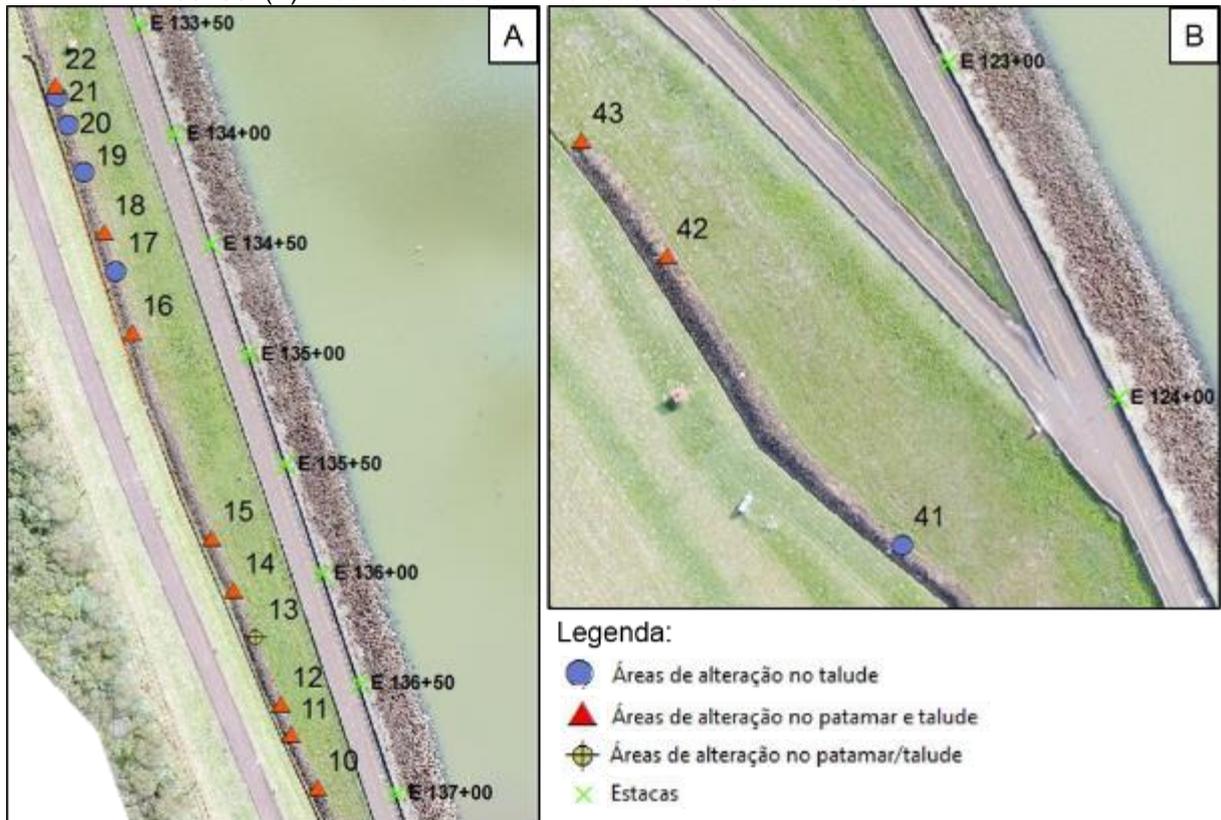
4.2 BANCO DE DADOS E ANÁLISES COMPUTACIONAIS

O mapeamento dos processos de alteração de rocha permitiu uma visualização geral dos locais alterados no dreno de pé, apresentando algumas tendências:

- Trecho saturado 1 (Figura 17.A): concentração de áreas de alteração, com elevada intensidade em relação aos demais locais, somando 13 áreas, localizado entre as estacas 133+60 e 136+90;
- Trecho saturado 2 (Figura 17.B): vários pontos concentrados distribuídos ao longo das 3 áreas de alteração mapeadas, geralmente com intensidade G1 ou G2, localizado no início do dreno de pé, entre as estacas 123+00 e 124+50;
- Próximo à ombreira esquerda (Figura 18): concentração de áreas de alteração, geralmente no talude ou no patamar/talude, pontuais e de intensidade G1 ou G3, somando 9 áreas em um trecho de 250 metros (estacas 137+50 a 140+00);
- Trecho de transição (Figura 19): esse trecho está localizado na mudança de altura da barragem de terra, aonde a berma se inicia, entre as estacas 125+80 a 128+20. Observou-se 10 áreas em 250 metros, com intensidade de alteração G1 ou G3.
- Demais áreas: as 7 áreas de alteração restantes não apresentaram nenhuma localização específica, estando distribuídas ao longo da extensão do dreno de pé, possivelmente estando relacionadas a drenagem superficial;
- Berma: alteração do tipo G2 foi observada apenas no trecho com berma, ou seja, no início do dreno de pé, entre as estacas 122+30 m e 127+30 m.

O desenvolvimento dos gráficos de intensidade e extensão das áreas de alteração, em conjunto com o perfil do dreno de pé, permitiu uma ampla visão espacial da atual situação do local. Os gráficos estão apresentados em prancha A1 no Apêndice B.

Figura 17 – Áreas de alteração nos trechos saturados. (A) Trecho saturado 1 - Estacas 133+60 a 136+90. (B) Trecho saturado 2 - Estacas 123+00 a 124+50.



Fonte: O autor.

Figura 18 – Áreas de alteração no final do dreno de pé, próximo à ombreira esquerda - Estacas 137+50 a 140+00.



Fonte: O autor.

Figura 19 – Áreas de alteração no trecho de transição de altura da barragem - Estacas 125+80 a 128+20.



Fonte: O autor.

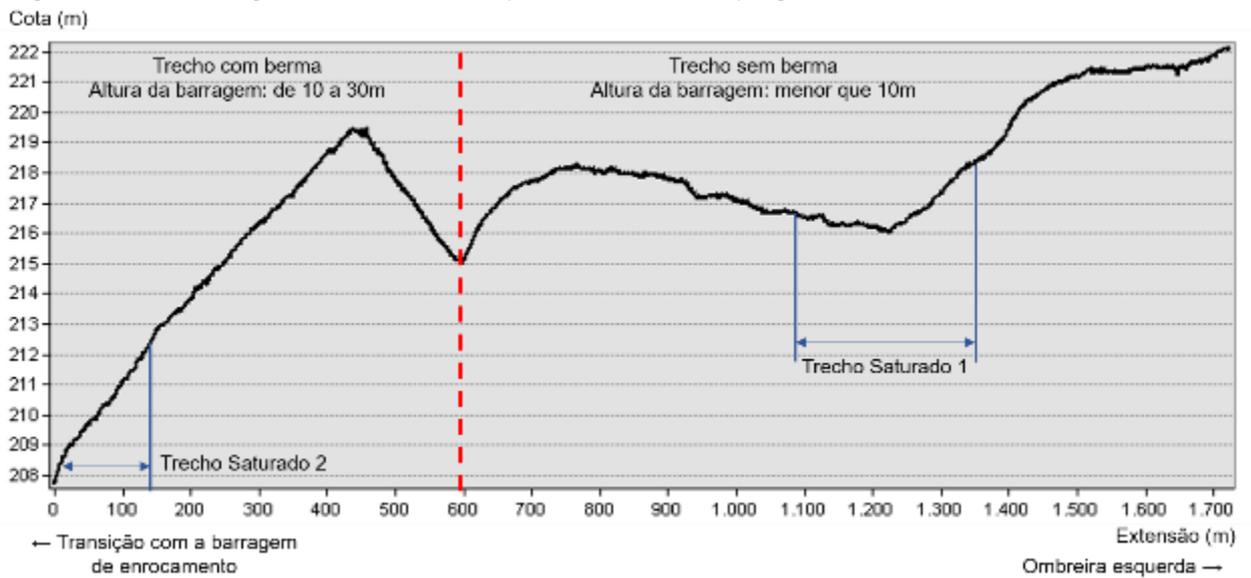
4.2.1 Seções transversais e longitudinais do dreno de pé

A análise das seções se desenvolveu de duas formas distintas, realizando seções transversais e longitudinais em relação ao dreno pé. Todos os gráficos foram gerados com a ferramenta *3D Analyst* do *ArcGIS*.

O perfil longitudinal foi feito por toda a extensão do dreno, no offset superior. Nele foi possível identificar os dois trechos da BTME (com e sem a presença de berma) e os dois trechos saturados por água de infiltração. Além disso, nota-se a formação de uma bacia na localização do trecho saturado 1 (Figura 20). Isso significa que a água de drenagem interna da área saturada é proveniente da fundação. Essa constatação também foi observada nos estudos de Rodrigues (2017).

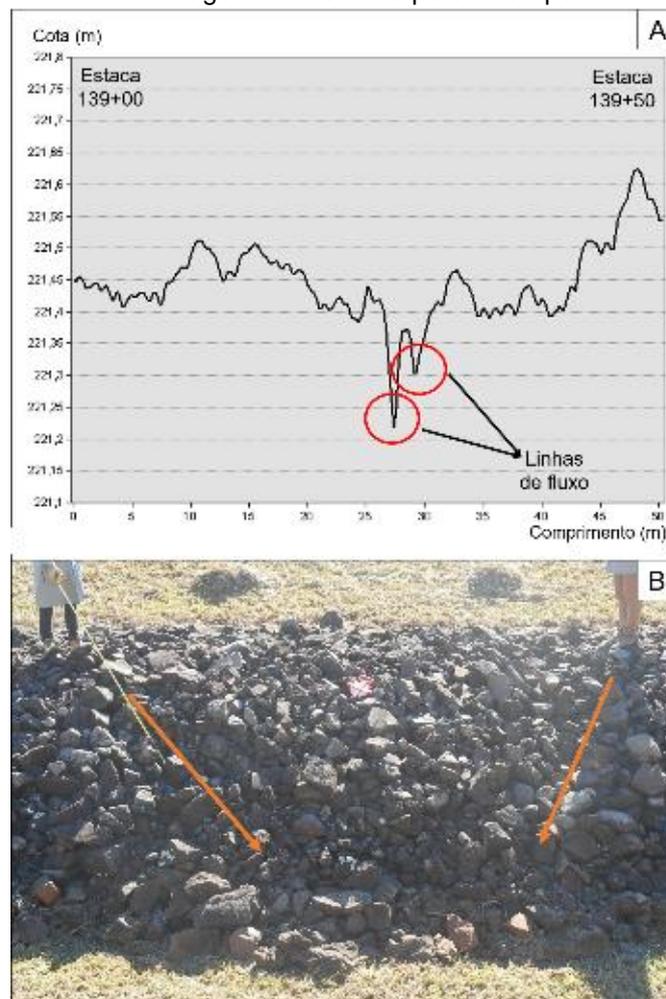
Em algumas áreas alteradas, foi possível identificar a formação das linhas de fluxo a partir do perfil longitudinal do local. Por exemplo, entre as Estacas 139+00 e 139+50, nota-se duas linhas de fluxo, conforme observada em campo (Figura 21).

Figura 20 - Perfil longitudinal do dreno de pé da BTME de Itaipu gerado no ArcGIS.



Fonte: O autor.

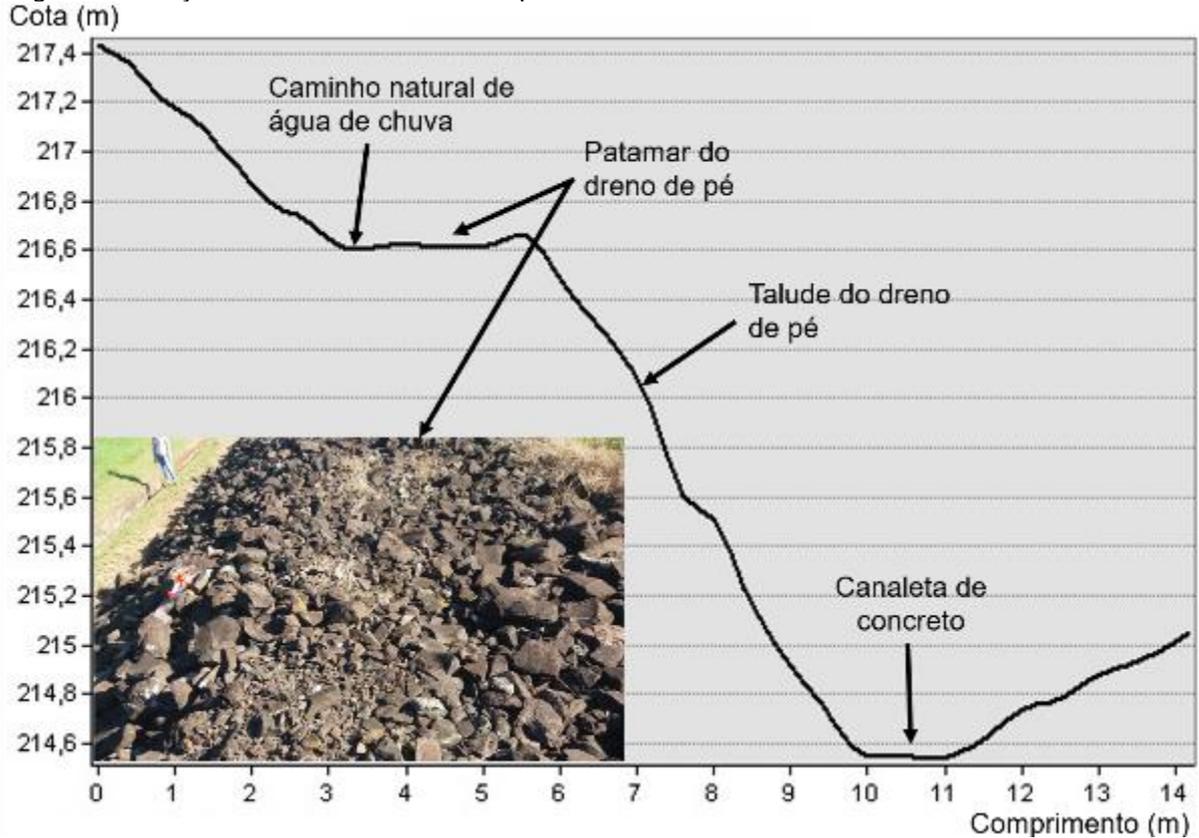
Figura 21 – Identificação das linhas de fluxo a partir da seção transversal. (A) Seção transversal entre as Estacas 139+00 e 139+50. (B) Imagem do dreno de pé em campo.



Fonte: O autor.

Já com os perfis transversais, realizados nas áreas alteradas, verificou-se a formação da canaleta de drenagem natural no offset superior do dreno de pé, como exemplo a área na Estaca 129+00. Além disso, nessa mesma estaca, verifica-se um pequeno abaloamento no patamar, identificando-se a alteração no patamar (Figura 22).

Figura 22 - Seção transversal do dreno de pé na Estaca 129+00*.



Fonte: O autor.

* Escala vertical ampliada para destacar o caminho natural de água de chuva.

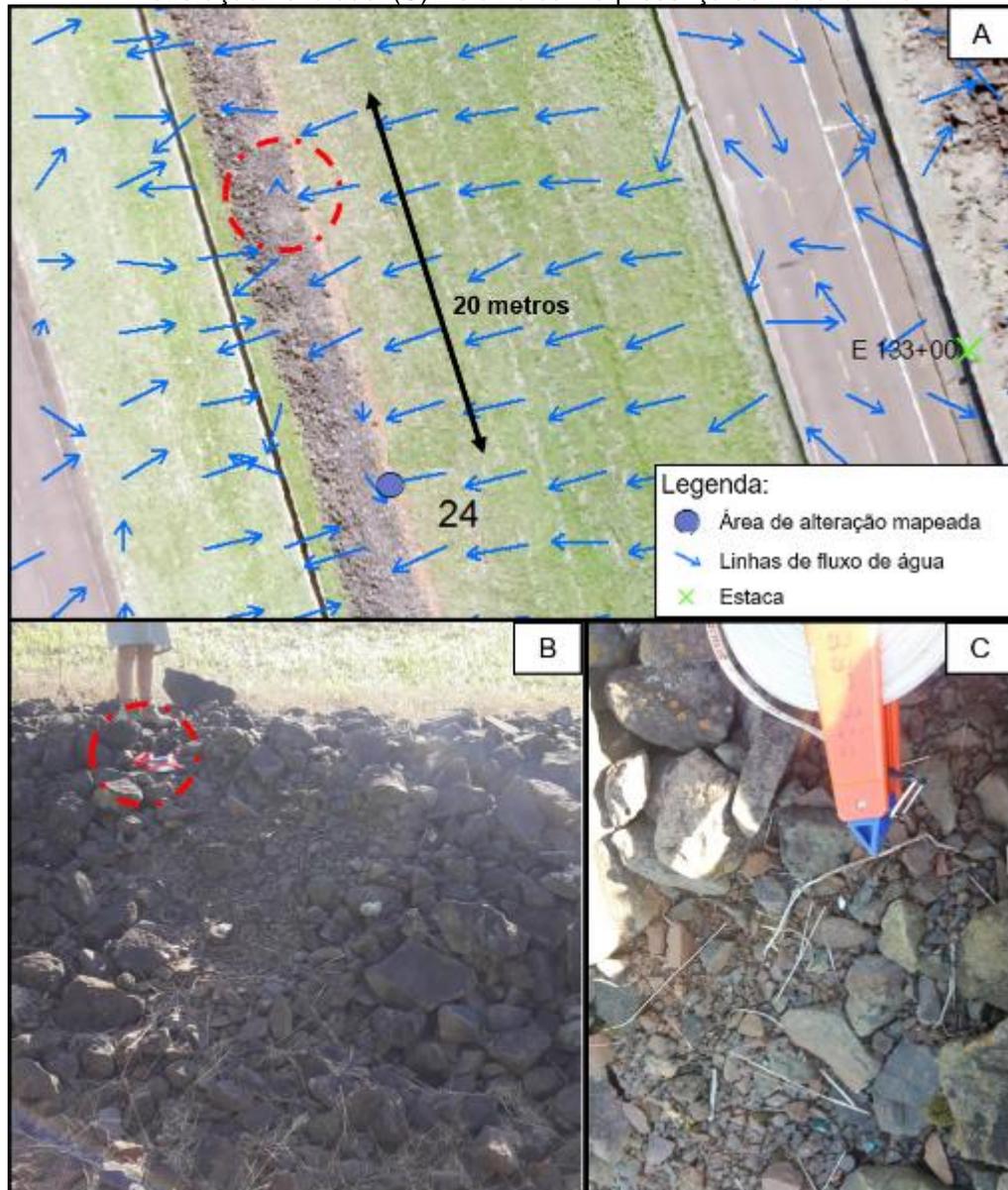
4.2.2 Drenagem superficial

Outro aspecto estudado foi a drenagem superficial do terreno, tal análise foi realizada a partir das linhas de fluxo fornecidas por Itaipu. Verificou-se que pelo menos 34 áreas mapeadas (81%) possuem relação direta com a drenagem superficial.

Na Figura 23, observa-se o exemplo da alteração entre as Estacas 132+50 e 133+00, em que as linhas de fluxo não apresentam um comportamento padrão.

Essa área de alteração possui 20 metros de extensão e foi classificada com intensidade G5, devido a diminuição da granulometria dos blocos no talude, com presença de finos e uma elevada alteração dos blocos.

Figura 23 - Drenagem superficial, exemplo da alteração na Estaca 133+00. (A) Imagem da plataforma SIG, mostrando o fluxo de água. (B) Vista da alteração no talude. (C) Detalhe com a presença de material fino.



Fonte: O autor.

4.2.3 Navegação pelo banco de dados

Para melhor entendimento e facilidade de navegação pelo usuário do banco de dados foi desenvolvido um manual de utilização. Nele, é possível visualizar minuciosamente todos os procedimentos realizados para a criação do banco de dados, além de apresentar ao usuário a interface do programa e as telas de navegação (Apêndice C).

É possível acrescentar novas informações no banco de dados, bem como realizar novos levantamentos para acompanhar a evolução da alteração de rocha no dreno de pé. O seu desenvolvimento gerou uma ferramenta de suporte importante para caracterização das áreas alteradas. Além disso, permite a visualização espacial e garante a consulta eficiente e rápida à inúmeras informações armazenadas em um único arquivo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o mapeamento das áreas de alteração no dreno de pé da BTME de Itaipu (margem esquerda), foi possível desenvolver um banco de dados dos processos de alteração de rocha superficiais. O banco de dados apresenta ao usuário, de forma iterativa a localização, o registro fotográfico e a descrição dos fenômenos identificados nas inspeções visuais.

O banco de dados foi totalmente georreferenciado, ou seja, todos os pontos inseridos estão em um único sistema de coordenadas e representa a sua localização no espaço geográfico. Somando a isso, a posição geográfica das estacas inseridas na plataforma permite identificar as áreas conforme o estaqueamento, método utilizado por Itaipu nos levantamentos de campo.

A plataforma desenvolvida é uma ferramenta de suporte e de gestão, podendo ser utilizada para acompanhamento dos eventos de alteração em termos de extensão e intensidade ao longo do tempo. Além do banco de dados, a plataforma permitiu análises de drenagem superficial a partir do MDT, a qual se mostrou relevante para compreensão de alguns fenômenos.

Em relação a caracterização realizada para o banco de dados, notou-se que em 37,2% dos locais mapeados, há presença de água de drenagem interna. Nessas áreas a intensidade dos processos de alteração é mais elevada em relação as demais. Possivelmente, a água de infiltração está acelerando os processos de alteração. No entanto, notou-se que a drenagem superficial do terreno tem mais influência nos eventos de alteração de rocha no dreno de pé.

Outro local que se destacou, em termos de alteração de rocha, foi próximo à ombreira esquerda (21%). Nessa região não se observou fenômenos específicos, pelo contrário, a área de contribuição da drenagem superficial é inferior às demais estacas. A inclinação do perfil longitudinal também é mais suave na região da ombreira. Sendo assim, o local necessita de maiores investigações, como: (i) composição mineralógica da rocha, como blocos de basalto alteráveis (presença de argilominerais); (ii) drenagem superficial fora da área da barragem (contribuição do terreno natural na ombreira); (iii) dissipação de energia da água de drenagem da estrada (a distância entre o dreno de pé e a estrada é menor na ombreira).

No geral, apesar da grande quantidade de tempo exposto a ações intempéricas, o dreno de pé se encontra em bom estado de conservação. A maioria dos eventos de alteração causam pouca interferência na composição granulométrica do dreno de pé, sem interferir na segurança da barragem.

Adicionalmente as conclusões técnico-científicas verificou-se a importância do trabalho em equipe para a construção do conhecimento e execução otimizada das atividades. Esse trabalho foi possível de ser realizado dentro do tempo previsto devido a contribuição de diferentes setores e empresas. Na Itaipu, teve-se a colaboração dos setores de engenharia, topografia e geoprocessamento. Na UTFPR, teve-se suporte científico, técnico e operacional.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBERS, A. P. F.; MELCHIADES, F. G.; MACHADO, R.; BALDO, J. B.; BOSCHI, A. O. **Um método simples de caracterização de argilominerais por difração de raios X**. Cerâmica. 2002, vol.48, n.305, p.34-37.

AZEVEDO, A. C.; BONUMÁ, A. S. **Partículas coloidais, dispersão e agregação em latossolos**. Ciência Rural. 2004, vol.34, n.2. p.609-617.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Secretaria de Infra-Estrutura Hídrica. Próágua/Semi-Árido – UGPO. Departamento de Projetos e Obras Hídricas (DPOH). **Manual de segurança e inspeção de barragens**. Brasília, 2002, 148 p.

BROWNLOW, A.H. **Geochemistry**. Englewood Cliffs. Prentice Hall. 1979.

CÂMARA, G.; CASANOVA, M. A.; HERMERLY, A. S.; MAGALHÃES, G. C.; MEDEIROS, C. M. B. **Anatomia de sistemas de informação geográfica**. Rio de Janeiro: INPE, 1996. 191p.

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M.; D'ALGE, J. C. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos, INPE, 2001 (on-line, 2a. edição, revista e ampliada).

CARNEIRO, C. D. R.; GONÇALVES, P. W.; LOPES, O. R. **O Ciclo das Rochas na Natureza**. Terræ Didática. 2009, vol.5, n.1. p. 50-62.

CARROLL, D. **Rock weathering**. Plenum Press. New York, 1970.

COELHO, A. C. V. SANTOS, P. S. **Argilas especiais: o que são, caracterização e propriedades**. Quim. Nova, v. 30, n.1, p. 146-152, 2007.

COSTA, Walter Duarte. **Geologia de barragens**. São Paulo: Oficina de textos, 2012. 521p.

FARJALLAT, J. E. S. **Desagregabilidade de rochas e problemas relativos à sua aplicabilidade**: Sessão 1 - Relato sobre o tema. In: SEMANA PAULISTA DE GEOLOGIA APLICADA, 4., 1972, São Paulo. Anais... São Paulo: APGA, 1972. p. 19-54.

FARJALLAT, J. E. S.; MONTEZZO NETO, V.; RATTI, G. **Relação entre teores de minerais argilosos expansivos e desagregação de rochas basálticas**. Semana Paulista de Geologia Aplicada, 4., 1972, São Paulo. Anais... São Paulo: APGA, 1972. p. 123-143.

FITZ, P. R. **Cartografia básica**. São Paulo: Oficina de textos, 2008. 144p.

FLORENSANO, T. G. **Iniciação em sensoriamento remoto**. São Paulo: Oficina de textos, 2011. 128p.

FRASCÁ, M. H. B. O. **Estudos experimentais de alteração acelerada em rochas graníticas para revestimento**. 2003. 282 f. Tese (Doutorado) - Curso de Instituto de Goeciências, Recursos Minerais e Hifrogeologia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

FOOKES, P. G.; GOURLEY, C. S.; OHIKERE, C. **Rock Weathering in Engineering Time**. Quarterly Journal of Engineering Geology, London, vol. 21, p. 33-57, 1988.

GOTTARDI, R. **Avaliação da alteração superficial do dreno de pé da barrage de terra de Itaipu, trecho 2: análise qualitativa, absorção capilar e compressão pontual**. 2014. 89 f. Trabalho de conclusão de curso – Curso de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, 2014.

GUIDINICE, G. NIEBLE, C. M. **Estabilidade de taludes naturais e de escavação**. São Paulo: Edgar Blucher, 1976.

INTERNATIONAL SOCIETY OF ROCK MECHANICS - ISRM. **Methods for the quantitative description of rock masses and discontinuities**. Int. J. Rock Mech. Miner. Sci. Geomechem. Abstr., 15:319-368, 1978.

ITAIPU. **Aprovechamiento Hidroelectrico de Itaipu**. 4280.50.8003-E-R0, Foz do Iguaçu, 1977. 120p.

_____. **Aproveitamento hidrétrico de Itaipu**. 11 p. Sistema de Arquivo Técnico, 2112.20.0001-P-R0. Foz do Iguaçu. 1978a.

_____. **Enrocamento Experimental**. Poço de inspeção n. 7. 18 p. Sistema de Arquivo Técnico, 2112.50.01754-P. Foz do Iguaçu. 1978b.

_____. **Descripción de funcionamiento**. 1972.DD7.19510 E (1) R0, Foz do Iguaçu, 2006. 62p.

_____. **Usina Hidrelétrica de Itaipu: aspectos técnicos das estruturas civis**. Superintendência de engenharia - diretoria técnica. Organização e revisão: FIORINI, A. S. (Org.). Foz do Iguaçu, 2008. 133p.

_____. **Projeto: Aspectos de Engenharia**. Diretoria Técnica de Itaipu Binacional; coordenação geral da Superintendência de Engenharia da Itaipu Binacional; Apoio da Assessoria de Comunicação Social; Execução de TAB Marketing Editorial. Foz do Iguaçu, 2009.

JANSEN, R. B. **Dams and Public Safety**. A Water Resources Technical Paper, U. S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation, Denver, CO, EUA, 1983.

LEE, M. R.; PARSONS, I. **Biomechanical and bioquematical weathering of lichen-encrusted granite: textural controls on organic-mineral interactions and deposition of silica-rich layers**. Chemical Geology, Elsevier, n. 161, p. 385-397, 1999.

LEPSCH, Igo F. **Formação e Conservação dos Solos**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2002. 218p.

MACIEL FILHO, C. L. **Estudo do processo geoquímico de obstrução de filtros de barragens**. 1982. 151 f. Tese (Doutorado) – Instituto de geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1982.

MASSAD, F. **Obras de terra**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. 203p.

MELFI, J. A e PEDRO, G. **Estudo geoquímico dos solos e formações superficiais do Brasil**. Parte 1 – Tipos de evolução pedogeoquímica. Rev. Bras. Geociên. (4), p. 271-286, 1977.

MENEZES, P. M. L.; FERNANDES, M. D. **Roteiro de Cartografia**. São Paulo: Oficina de textos, 2013. 288p.

MICHEREFF, Sami J.; ANDRADE, Domingos E.g.t.; MENEZES, Maria. **Ecologia e Manejo de Patógenos Radiculares em Solos Tropicais**. ed. by Sami J. Michereff, Domingos E.G.T. Andrade e Maria Menezes. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2005.

NASCIMENTO, Ú. **Problema da alterabilidade das rochas em engenharia civil**. Memória n. 363. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Ministério das Obras Públicas. Lisboa, 1970.

NOGUEIRA JUNIOR, J. **Possibilidade de colmatção dos filtros e drenos da barragem de Porto Primavera (SP) por compostos de ferro**. 1988. 247 f. Tese (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1988.

OLIVEIRA, P. C.; PATIAS, J.; ZUQUETTE, L. V.; **Considerações sobre o ensaio de ciclagem acelerada (NBR 12696) aplicadas à litotipos basálticos da área da usina hidrelétrica de Itaipu**. In: XXIX Seminário de Grandes Barragens, 2013, Porto de Galinhas. Anais: T.107. A.07., Porto de Galinhas: SNGB, 2013.

_____. **Ensaio de ciclagem acelerada: considerações sobre a NBR 12696/1992 para litotipos basálticos**. In: Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 2014, Goiânia. Anais: Goiânia: COBRANSEG, 2014.

OLIVEIRA, P. C.; ZUQUETTE, L. V. **Evaluation of weathering of basaltic lithotypes based on pH, electrical conductivity, and point-load strength tests**. Civil Engineering, n.67, p. 13-19, 2014.

OLIVEIRA, P. C.; PATIAS, J; DUMALAK, M.; ZUQUETTE, L. V. **Análise dos processos de alteração superficial do dreno de pé da barragem de terra de Itaipu**. In: XXXI Seminário de Grandes Barragens, 2017, Belo Horizonte. Anais: T.2. A.2., Belo Horizonte: SNGB, 2017.

PANDOLFI, T. N. **Avaliação da alteração superficial do dreno de pé da barragem de terra de Itaipu, trecho 1: análise qualitativa e parâmetros físicos-mecânicos**. 2014. 102 f. Trabalho de conclusão de curso – Curso de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, 2014.

PANDOLFI, T. N.; GOTTARDI, R.; PATIAS, J.; ZUQUETTE, L. V.; OLIVEIRA, P. C. **Avaliação do processo de alteração superficial do dreno de pé da barragem de terra de Itaipu: análise qualitativa e parâmetros físicos da rocha.** In: Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 2014, Goiânia. Anais: Goiânia: COBRANSEG, 2014.

PEREIRA, E. C. **Biologia de Liquens.** Departamento de Ciências Geográficas, Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2000, 28p.

PERINE, D. S. **Estudos dos processos envolvidos na análise de riscos em barragens de terra.** 2009. 149 f. Tese (Doutorado) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, 2010.

PRICE, D. G. **Weathering and weathering processes.** Quarterly Journal of Engineering Geology, n. 28, p. 243-252, 1995.

REMÍGIO, A. F. N. **Estudo da colmatção biológica de sistemas filtro-drenantes sintéticos de obras de disposição de resíduos domésticos urbanos sob condições anaeróbicas.** 2006. 154 f. Tese (Doutorado) – Departamento de Geotecnia, Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

RIGO, M. L. **Mineralogia, intemperismo e comportamento geotécnico de solos saprolíticos de rochas vulcânicas da formação Serra Geral.** 2005. 351 f. Tese (Doutorado) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

RODRIGUES, R. L; **Comportamento da barragem de terra da margem esquerda de Itaipu durante período de operação.** 2017. 170 f. Tese (Mestrado) – Curso de Engenharia Civil, Pontifca Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

ROLIM, F. A. O.; DINIZ, G. R.; PEREIRA, T. A. C. **Uma contribuição para a auditoria em pequenas barragens de terra: Pontos críticos de análise.** Instituto Brasileiro de Auditoria de Engenharia (IBRAENG), Recife, 2009.

ROSA, R. **Geotecnologias na geografia aplicada.** Revista do departamento de geográfica, n.16, p. 81-90, 2005.

_____. **Análise espacial em geografia.** Revista da ANPEGE, n.1, p. 275-289, 2011.

SILVA, A. F. **Análises tridimensionais de barragens de enrocamento com face de concreto com objetivo de otimizar os critérios de projeto.** 2007. 169 f. Tese (Doutorado) – Geotecnia, Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

SILVA, A. F.; ASSIS, A. P.; FARIAS, M. M.; CORDÃO NETO, M. P. **Estudo de barragens de enrocamento com face de concreto sob condições tridimensionais.** In: XXVII Seminário de Grandes Barragens, 2007, Belém. Anais: T.100. A.32., Belém: SNGB, 2007.

SILVA, R. G. L. **Mecanismos de formação e de incrustação por sulfato de cálcio em processos de nanofiltração**. 2012. 206 f. Tese (Doutorado) – Curso de Engenharia de Materiais, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

SMITH, M. R. (Ed.). **Stone: building stone, rock fill and armourstone in construction**. Engineering Geology Special Publication, 16. London: Geological Society, 1999.

SODRÉ, F. F.; LENZI, E.; COSTA, A. C. S. **Utilização de modelos físico-químicos de adsorção no estudo do comportamento do cobre em solos argilosos**. Quim. Nova, v. 24, n.3, p. 324-330, 2001.

SZPILMAN, Adolfo; MEDAGLIA, Libero; MORI Rui T.; MEYER, Luis Fernando. **Barragens de terra e de enrocamento de Itaipu: Transições entre seções homogêneas de terra e seções de enrocamento com núcleo e correspondentes abraços com estruturas de concreto**. In: XIV Seminário de Grandes Barragens, 1981, Recife. Anais: Recife: SNGB, 1981. p. 71-103.

TARDY, Y. **Géochimie des Altérations**. Étude des Arenes et des Eaux de Quelques Massifs Cristallines d'Europe e d'Afrique. Mém. Serv. Carte Géol. Alsace-Lorraine, 31, 199 p., 1969.

THOMAS, H. H.. **Geomorphology in Tropics: A Study of Weathering and Denudation in Low Latitudes**. New York: John Wiley e Sons, 443 p, 1994.

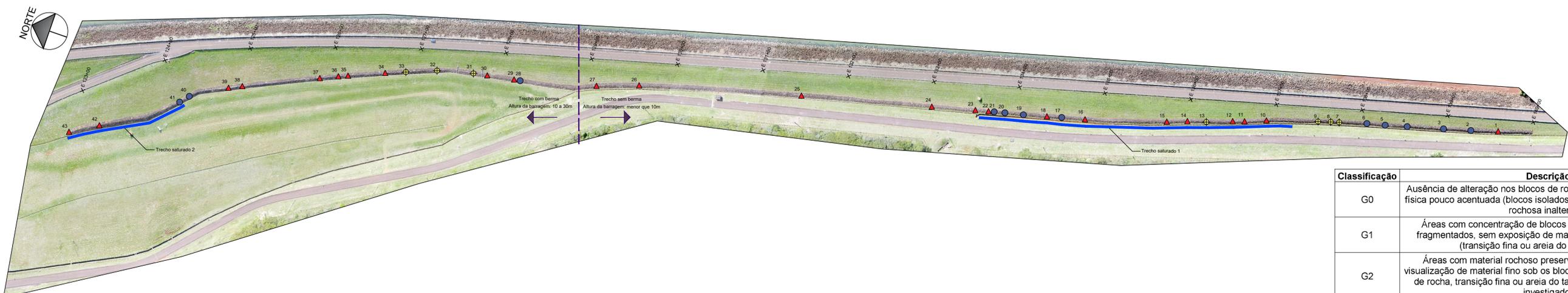
YOUNG, D. A.; SMITH, D. E. **Simulations of clay mineral swelling and hydration: dependence upon interlayer ion and charge**. J. Phys. Chem., v. 104, n. 39, p.9163-9170, 2000.

APÊNDICE A

Área de Alteração	Estaca*	WGS 1984**	
		ESTE	NORTE
1	139+60	745263,88	7184296,53
2	139+30	745254,16	7184326,88
3	139+00	745246,44	7184357,94
4	138+50	745234,83	7184398,84
5	138+30	745227,77	7184423,69
6	138+10	745221,61	7184443,81
7	137+80	745212,05	7184474,83
8	137+60	745209,16	7184484,34
9	137+50	745204,87	7184498,44
10	136+90	745185,81	7184555,66
11	136+60	745175,44	7184579,00
12	136+50	745172,19	7184592,52
13	136+20	745162,51	7184621,76
14	136+00	745154,49	7184642,28
15	135+70	745146,32	7184664,90
16	134+80	745116,49	7184755,50
17	134+50	745110,44	7184782,26
18	134+40	745106,16	7184798,99
19	134+10	745098,78	7184825,57
20	133+90	745092,98	7184846,31
21	133+70	745089,04	7184858,71
22	133+60	745088,23	7184863,55
23	133+50	745084,56	7184879,85
24	133+00	745071,67	7184929,21
25	131+50	745033,04	7185076,74
26	129+60	744979,75	7185258,67
27	129+10	744963,60	7185305,81
28	128+20	744938,75	7185391,90
29	128+10	744936,69	7185398,18
30	127+80	744930,68	7185429,27
31	127+60	744926,84	7185445,03
32	127+20	744917,17	7185486,59
33	126+90	744904,11	7185520,51
34	126+60	744894,95	7185542,93
35	126+20	744878,76	7185583,13
36	126+00	744873,62	7185593,23
37	125+80	744864,91	7185613,24
38	124+90	744826,53	7185695,56
39	124+70	744818,55	7185709,76
40	124+30	744796,69	7185750,64
41	124+10	744786,99	7185759,10
42	123+30	744731,04	7185838,73
43	123+00	744710,95	7185870,25

*Estaqueamento da barragem de terra de Itaipu, margem esquerda.

**Coordenadas planas no sistema WGS1984 referentes ao estaqueamento de Itaipu.

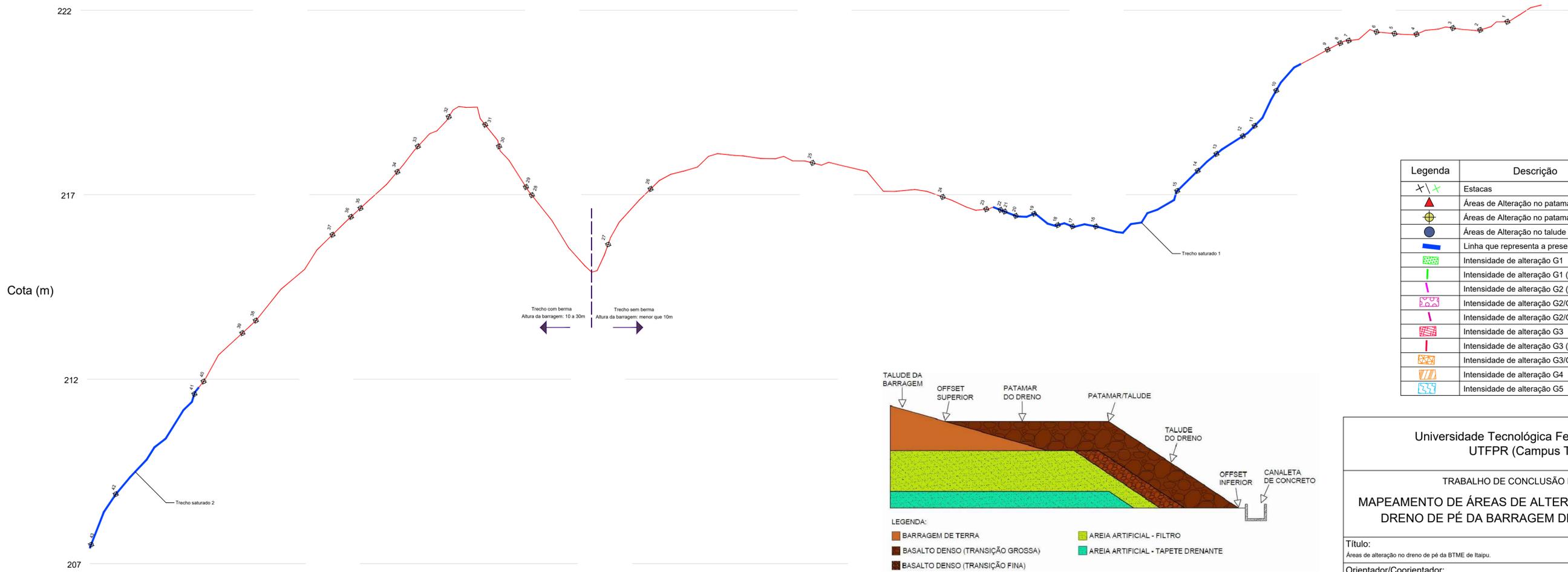


VISTA SUPERIOR
Localização das áreas de alteração no dreno de pé
Escala: 1:2.500

Classificação	Descrição
G0	Ausência de alteração nos blocos de rocha ou processo de alteração física pouco acentuada (blocos isolados pouco fraturados, com matriz rochosa inalterada)
G1	Áreas com concentração de blocos de rocha moderadamente fragmentados, sem exposição de material rochoso subsequente (transição fina ou areia do tapete drenante)
G2	Áreas com material rochoso preservado, mas sendo possível visualização de material fino sob os blocos do enrocamento (alteração de rocha, transição fina ou areia do tapete drenante, devendo ser investigado)
G3	Áreas com blocos de rocha fragmentados e pouca presença de material decomposto (consistência de solo)
G4	Áreas com blocos de rocha fragmentados, com moderada presença de material decomposto (consistência de solo)
G5	Áreas com blocos de rocha intensamente fragmentados e expressiva presença de material decomposto (consistência de solo)

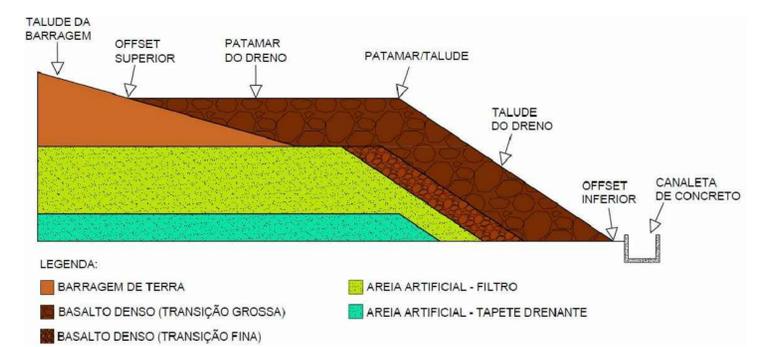


DRENO DE PÉ - PLANIMETRIA
Em relação a linha patamar/talude (ver detalhe 1)
Escala horizontal: 1:2.500
Escala vertical: gráfica



PERFIL LONGITUDINAL POR ESTACA
Altimetria do offset superior do dreno de pé
Escala horizontal: 1:2.500
Escala vertical: gráfica

Legenda	Descrição
X	Estacas
▲	Áreas de Alteração no patamar e talude
●	Áreas de Alteração no patamar/talude
○	Áreas de Alteração no talude
—	Linha que representa a presença de água de infiltração
■	Intensidade de alteração G1
■	Intensidade de alteração G1 (alteração concentrada)
■	Intensidade de alteração G2 (alteração concentrada)
■	Intensidade de alteração G2/G3
■	Intensidade de alteração G2/G3 (alteração concentrada)
■	Intensidade de alteração G3
■	Intensidade de alteração G3 (alteração concentrada)
■	Intensidade de alteração G3/G4
■	Intensidade de alteração G4
■	Intensidade de alteração G5



Detalhe 1
Sem escala

**Universidade Tecnológica Federal do Paraná
UTFPR (Campus Toledo)**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
**MAPEAMENTO DE ÁREAS DE ALTERAÇÃO SUPERFICIAL DO
DRENO DE PÉ DA BARRAGEM DE TERRA DE ITAIPU**

Título:
Áreas de alteração no dreno de pé da BTME de Itaipu.

Orientador/Coorientador:
Prof. Dr. Elmagno Catarino Santos Silva / Prof. MSc. Patricia Casarotto de Oliveira

Responsável pelo desenho:
Matheus Dumalak

Local/Data:
Toledo - PR / 2018

Escala:
Indicada

APÊNDICE B

FOLHA
A1
Única

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
UTFPR

Manual do Usuário

Banco de dados em plataforma

SIG:

Áreas de alteração de rocha

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
UTFPR

Manual do Usuário

Banco de dados em plataforma SIG:
Áreas de alteração de rocha

Desenvolvido por: Matheus Dumalak*

Orientação: Prof. Patricia Casarotto de Oliveira

*matheus.dumalak@hotmail.com

Sumário

Capítulo 1 – Apresentação da plataforma.....	4
Capítulo 2 – Ferramentas e Área de Controle.....	6
Capítulo 3 – Inclusão de dados.....	8
Capítulo 4 – Modificação de rótulos e legendas .	11
Capítulo 5 – Hiperlinks.....	14
Capítulo 6 – Exibir informações dos pontos.....	16
Capítulo 7 – Visualização das shapes.....	18
Capítulo 8 – Gráfico de perfis.....	20
Capítulo 9 – Considerações.....	21

Capítulo 1 – Apresentação da plataforma

Esse manual é exclusivo para o desenvolvimento de um banco de dados, com o objetivo de auxiliar o usuário a:

- ✓ Conhecer as principais ferramentas utilizadas para a criação do banco de dados;
- ✓ Conhecer o procedimento para inclusão de informações na plataforma;
- ✓ Modificar o layout de apresentação dos dados inseridos;
- ✓ Configurar e ativar hiperlinks para exibição de imagens;
- ✓ Gerar gráficos de perfis longitudinais e transversais da superfície do terreno, inclusive do dreno de pé;
- ✓ Exibir informações do banco de dados de cada ponto mapeado;
- ✓ Conhecer e visualizar todas as *shapes* disponíveis;
- ✓ Navegar pela interface do programa de forma rápida.



Esse manual foi elaborado utilizando o software ArcGIS, possuindo algumas extensões:

- 3D Analyst: ferramentas 3D, como criação de perfis e MDT;
- Geostatistical Analyst: trabalho com superfícies, caminhos preferenciais de água de chuva, modelação do terreno, entre outros;
- Spatial Analyst: análise e modelagem espacial a partir de dados geográficos.

Observação: os **requisitos mínimos** do computador para utilizar o programa devem ser consultados com o fornecedor do software.

Capítulo 2 – Ferramentas e Área de Controle

Nesse capítulo serão apresentadas as principais ferramentas utilizadas para a criação do banco de dados, bem como proporcionar uma visão geral da interface do programa e da Área de Controle.

Ao iniciar o banco de dados, o usuário irá se deparar com a seguinte interface (Figura 1):

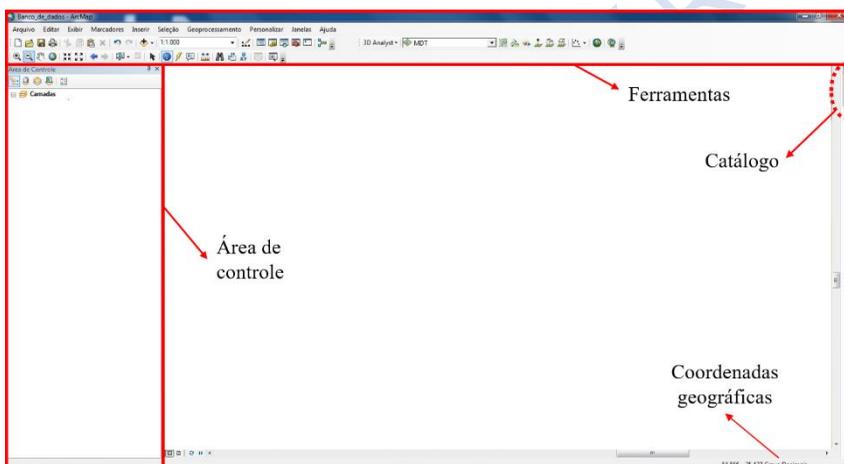


Figura 1 – Visão geral da interface do banco de dados.

Na barra de ferramentas, as principais utilizadas são (Figura 2):

- Adicionar dados: ferramenta para importar dados externos, como arquivos de texto e planilhas;
- Hiperlink: ferramenta para acessar o hiperlink de um ponto sem a necessidade de entrar no banco de dados;
- Identificar: ferramenta para exibir informações referentes ao ponto selecionado com o mouse;

- Ir para XY: ferramenta para encontrar um ponto desejado informando suas coordenadas de latitude e longitude;
- Medida: ferramenta que mede a distância entre pontos selecionados com o mouse;
- Mover: ferramenta para mover a tela de visualização;
- Selecionar Elementos: ferramenta para selecionar objetos criados no software.

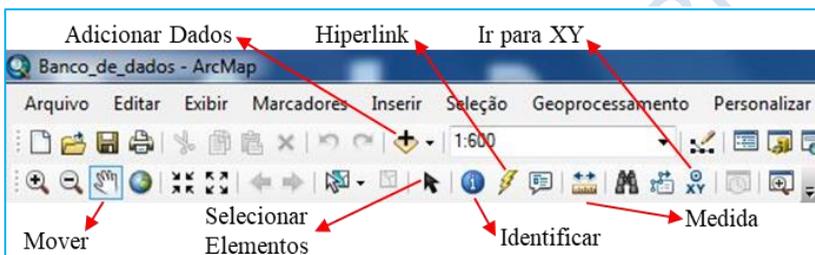


Figura 2 – Principais ícones da barra de ferramentas.

A opções de acesso as propriedades da camada, layouts, exibição e outras ferramentas são encontradas na Área de Controle (Figura 3).

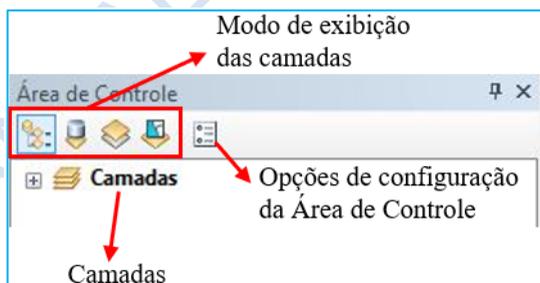


Figura 3 – Área de controle.

Dica: caso a Área de Controle não esteja visível na tela principal, vá na aba **Janelas** na linha de comandos e selecione a opção **Área de Controle**.

Capítulo 3 – Inclusão de dados

Nesse capítulo apresenta-se como as informações do banco de dados são inseridas, podendo ser tomado como base para a inserção de novos dados, se necessário.

O passo a passo a ser seguido é:

- Criar arquivo de texto com as informações a serem inseridas:

Os arquivos de texto são mais facilmente reconhecidos pelo software, portanto, os dados devem ser inseridos a partir de um arquivo com formato .txt.



As informações devem ser organizadas em linhas e colunas;

As colunas devem estar separadas por tabulações (tecla TAB);

Pode-se inserir a quantidade de informações desejadas, desde que organizadas nesse formato.

O arquivo deve conter, obrigatoriamente, campos de:

ID → campo numérico sequencial para identificação dos pontos

Coordenadas geográficas → coordenadas geográficas dos pontos

➤ Abrir arquivos de texto no software ArcGIS:

Para inserir o arquivo de texto no ArcGIS utilizou-se a ferramenta **Adicionar Dados**. Na janela seguinte o usuário deve procurar o arquivo de texto no computador e seleciona-lo para abrir, conforme a Figura 4.

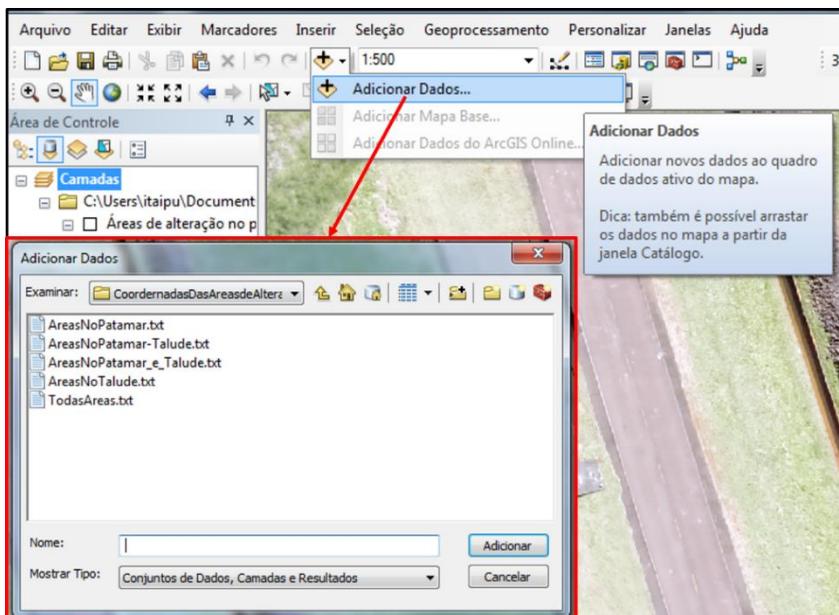


Figura 4 – Adicionando novas informações no banco de dados.

Ao realizar tal procedimento, o arquivo de texto será exibido na Área de Controle. O mesmo ainda não está em formato de camada e os pontos ou o banco de dados ainda não serão exibidos na área de trabalho do programa.

Dica: as camadas no ArcGIS são inseridas a partir de arquivos com extensão **.shp (shapes)**. Para adicionar camadas **.shp** basta arrastá-las para a Área de Controle.

➤ Exibir coordenadas geográficas:

Para exibir as coordenadas geográficas dos pontos, deve-se selecionar o arquivo de texto com o botão direito do mouse e selecionar a opção **Exibir Dados XY**.

Ao abrir a janela dessa ferramenta, deve-se (Figura 5):

→ Informar em quais colunas do banco de dados as coordenadas se encontram;

→ Selecionar o sistema de coordenadas em que os pontos estão inseridos.

Após isso, os pontos serão exibidos na tela de trabalho do ArcGIS e uma nova camada será automaticamente criada.

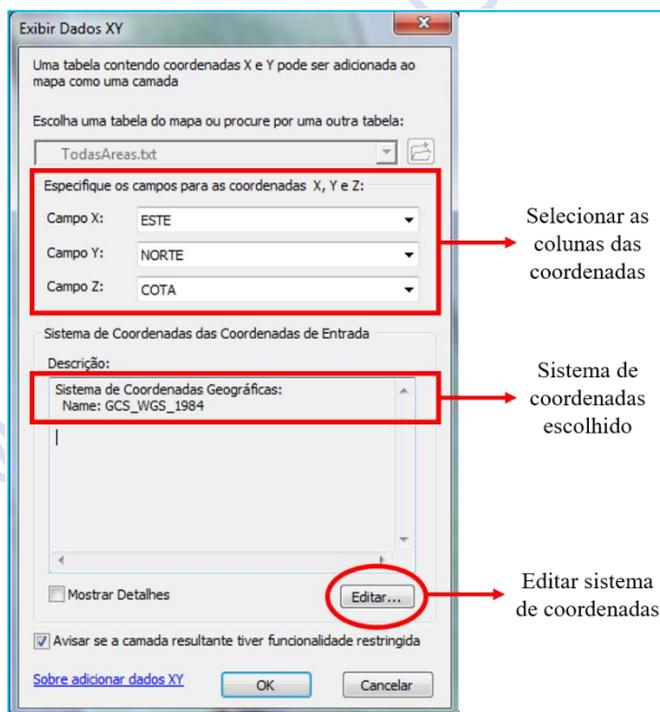


Figura 5 – Exibir as coordenadas geográficas de um arquivo de texto.

Capítulo 4 – Modificação de rótulos e legendas

O ArcGIS proporciona uma configuração de layout completa para o usuário, facilitando a visualização das informações e interpretação dos dados adicionados. Nesse capítulo, será apresentado como modificar algumas configurações de exibição e layout no banco de dados desenvolvido.

Depois que todos os pontos estão inseridos na plataforma de trabalho do software é possível alterar sua forma de exibição. Para alterar os ícones de legenda, basta clicar sobre o ícone que se deseja alterar na Área de Controle, abrindo a janela de configurações de símbolos. Para alterar o nome da camada deve-se clicar uma vez sobre o nome da camada (Figura 6).

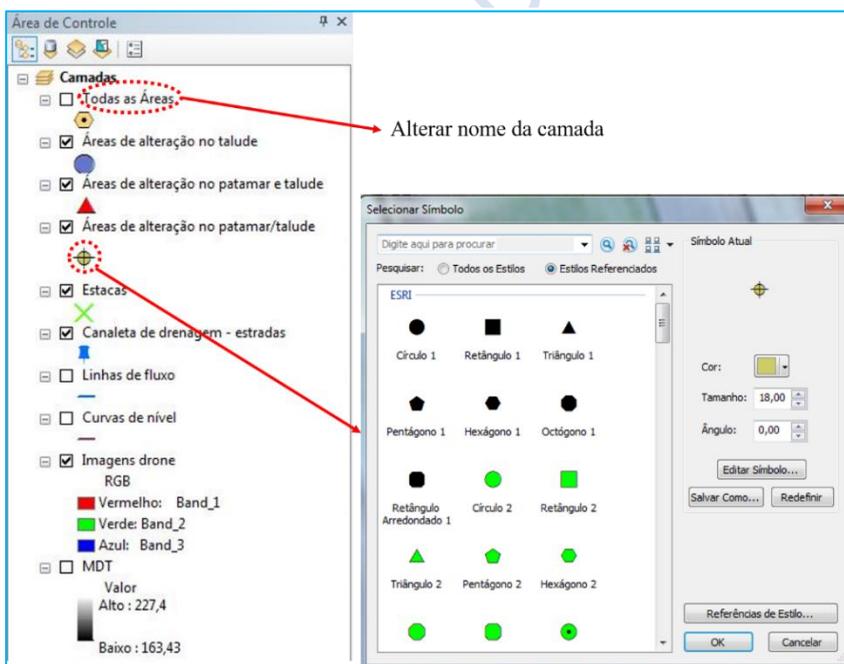


Figura 6 – Alterar ícone de legenda das camadas.

Para mostrar os rótulos na tela de exibição, deve-se escolher um dos campos inseridos no banco de dados, sendo que é o usuário que define a forma em que o rótulo irá ser mostrado na área de trabalho. O passo a passo é (Figura 7):

→ Acessar as propriedades da camada: clicar com o botão direito do mouse sobre o nome da shape que será alterada e selecionar **Propriedades**;

→ Exibir rótulos: na aba **Rótulos**, marcar a opção **Rotular feições nesta camada**;

→ Selecionar o campo do rótulo: na opção **Campo do Rótulo** selecionar a coluna em que deseja exibir na tela de trabalho;

→ Editar as configurações do rótulo: nas opções posteriores é possível alterar as propriedades de exibição do rótulo, modificando a fonte, cor, posicionamento, entre outros.

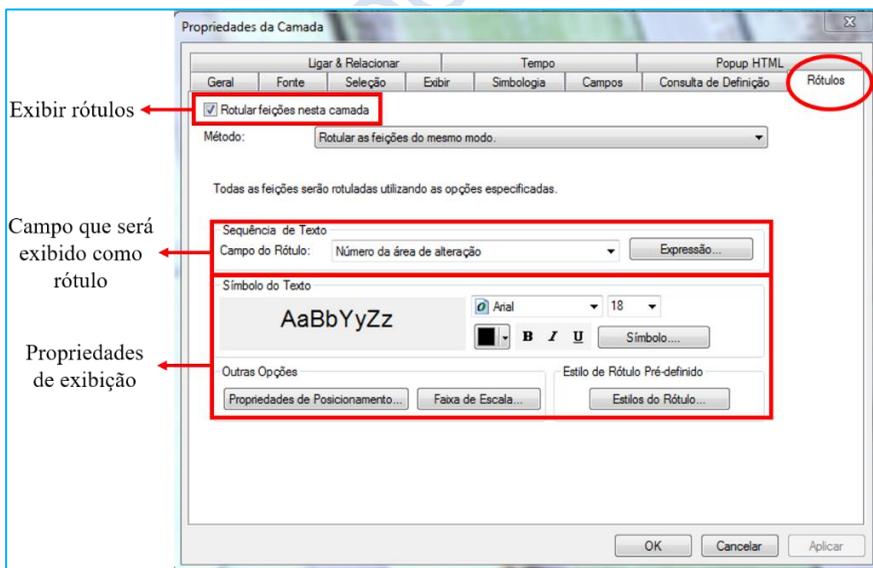


Figura 7 – Exibir rótulos da camada.

Ressalta-se que os rótulos estão vinculados às camadas, sendo que em uma mesma shape é possível exibir apenas um rótulo, sempre selecionando apenas um campo para exibição.

Dica: nas **Propriedades de Posicionamento**, é possível estabelecer qual será a posição do rótulo em relação ao ponto na tela de trabalho.

MANUAL DO USUÁRIO

Capítulo 5 – Hiperlinks

O sistema de hiperlinks foi utilizado para inserir fotos na plataforma. Cada ponto suporta apenas um hiperlink, portanto, apenas um arquivo .JPG.

Para que o sistema de hiperlinks funcione corretamente, ainda na criação do banco de dados, deve-se inserir um campo com o caminho do arquivo de imagem desejado.

Por exemplo, se a fotografia se encontra na Área de Trabalho de seu computador, o campo FOTO deverá, para cada ponto, conter o seguinte caminho:

C:\Desktop\foto.jpg

Depois que o banco de dados for inserido no software, é possível ativar os hiperlinks. Para isso, realize os seguintes procedimentos (Figura 8):

- Acessar as propriedades da camada: clicar com o botão direito do mouse sobre o nome da shape que será alterada e selecionar **Propriedades**;
- Ativar os hiperlinks: na aba **Exibir**, marcar a opção **Suportar Hiperlinks utilizando o campo**;
- Selecionar o campo do hiperlink: selecionar a coluna em que foi descrito o caminho da imagem;
- Formato: deixar marcada a opção **Documentos**.

Observação: **para cada camada** adicionada no programa deve-se realizar o procedimento descrito nesse capítulo para ativar os hiperlinks.

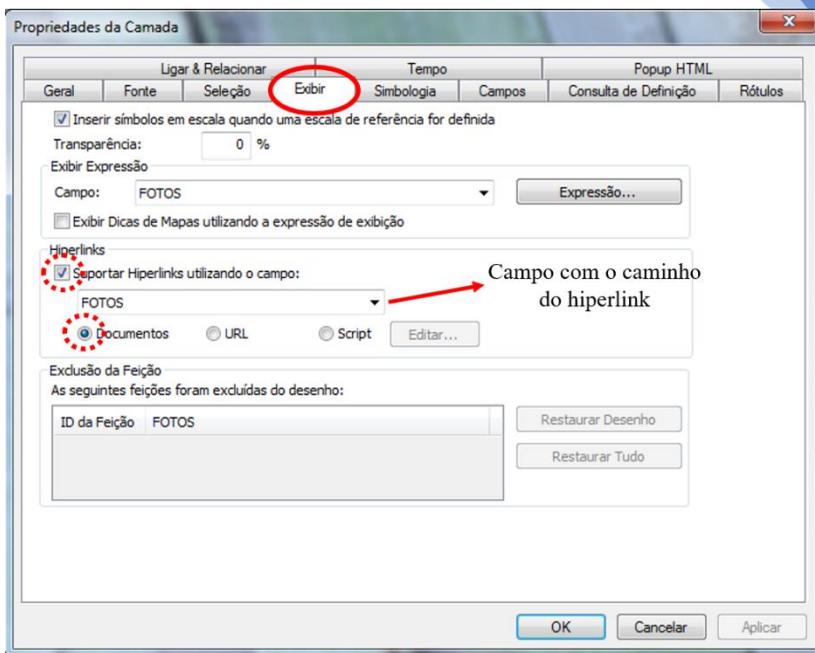


Figura 8 – Ativar hiperlink para visualização das fotografias.

Cuidado: depois de inserido o caminho da imagem e ativado o hiperlink, **não** altere o nome dos arquivos. Caso seja necessário trocar a imagem, **mantenha o nome original** para o correto funcionamento do programa.

Observação: para **acessar as imagens** verifique o passo a passo descrito no **Capítulo 6**.

Dica: caso seja necessário exibir **mais de uma** fotografia por ponto, faça um **mosaico** e salve em um **único arquivo** de imagem. Esse procedimento foi utilizado para o desenvolvimento inicial do banco de dados.

Capítulo 6 – Exibir informações dos pontos

Para consulta às informações inseridas no banco de dados, deve-se (Figura 9):

- Selecionar a ferramenta **Identificar** (apresentada no Capítulo 2);
- Selecionar o ponto desejado: clique sobre o ponto qdesejado;
- Mostrar imagem do ponto: selecionar o ícone  para exibir a imagem do local ou clicar sobre o campo em que o hiperlink foi ativado.

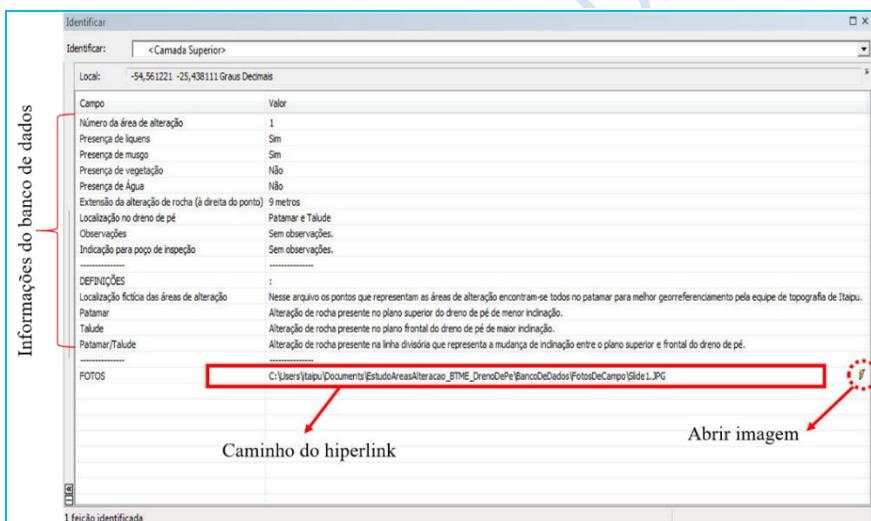


Figura 9 – Exibindo as informações do banco de dados.

Destaca-se que nem todas as informações do banco de dados estão sendo exibidas ao usuário. Por exemplo, o campo ID e os campos utilizados para o georreferenciamento são elementos utilizados apenas para o correto funcionamento do sistema, não sendo importante sua exibição para o usuário do programa.

Para ver ou editar quais campos estão sendo ocultados ou exibidos para o usuário deve-se (Figura 10):

→ Acessar as propriedades da camada: clicar com o botão direito do mouse sobre o nome da shape que será alterada e selecionar **Propriedades**;

→ Escolher os campos visíveis: na aba **Campos** selecione as informações que se deseja exibir ao usuário.

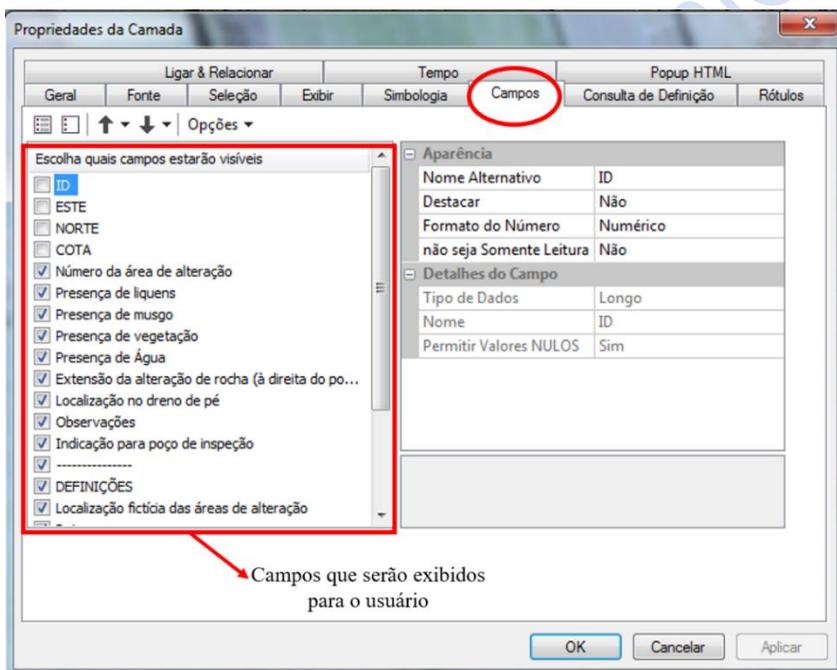


Figura 10 – Ocultar ou exibir campos do banco de dados para o usuário.

Observação: As informações que não são exibidas para o usuário são apenas **ocultas**, **não sendo excluídas** do banco de dados.

Capítulo 7 – Visualização das shapes

Para visualizar as camadas deve-se selecioná-las na **Área de Controle** (ver Capítulo 2).

As camadas disponíveis no banco de dados criado são (Figura 11):

- Todas as Áreas: exibe a shape que contém todos os pontos com as áreas de alteração, sem distingui-las segundo sua localização no dreno;
- Áreas de alteração no talude: exibe apenas os pontos em que a alteração se encontra no talude do dreno de pé;
- Áreas de alteração no patamar e talude: exibe apenas os pontos em que a alteração se encontra no patamar e talude do dreno de pé;
- Áreas de alteração no patamar/talude: exibe apenas os pontos em que a alteração se encontra no talude/patamar do dreno de pé;
- Estacas: exibe os pontos em que se encontram as estacas da BTME;
- Canaleta de drenagem – estrada: exibe os pontos em que existem canaletas de drenagem da estrada localizada na crista da BTME;
- Linhas de fluxo: mostra, a partir de setas, a tendência de escoamento superficial da água de chuva e tendência de rolamento de blocos no dreno;
- Curvas de nível: exibe as curvas de nível das barragens de terra e enrocamento, margem esquerda;
- Imagens drone: exibe imagens aéreas das barragens de terra e enrocamento, margem esquerda;
- MDT: exibe o MDT do terreno através de uma nuvem de pontos georreferenciados.

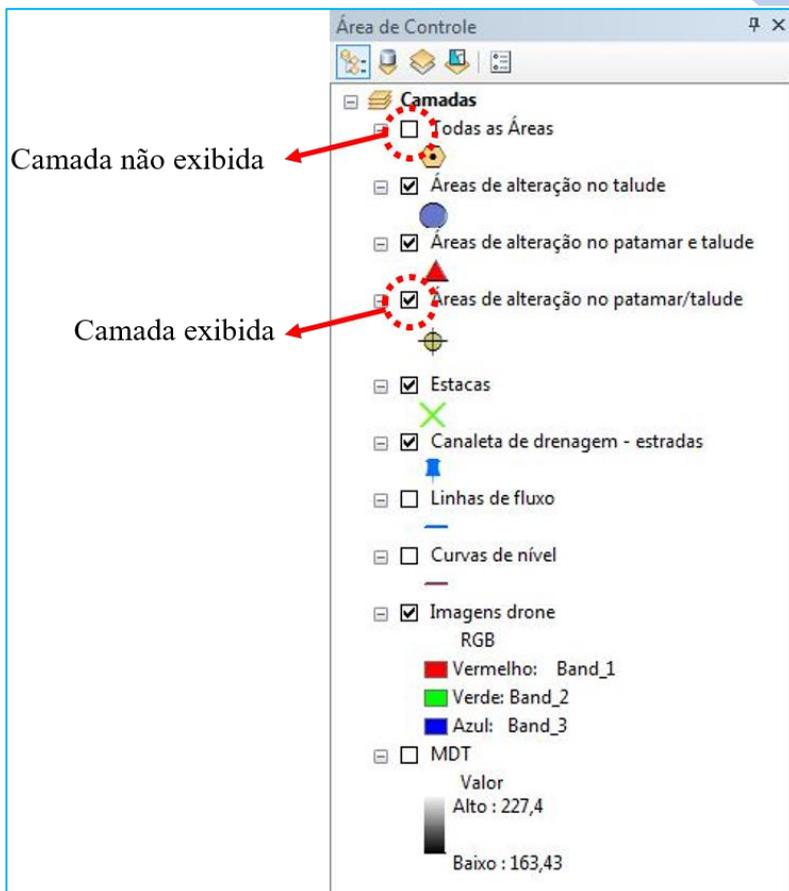


Figura 11 – Ocultar ou exibir as camadas do banco de dados.

Importante: a ordem apresenta anteriormente também é a ordem de exibição das shapes, sendo que as mesmas podem estar sobrepostas. Caso alguma camada esteja selecionada, mas não está visível, verifique se existe alguma camada de ordem superior ativa.

Capítulo 8 – Gráfico de perfis

Com as ferramentas de geoprocessamento do 3D Analyst, é possível gerar perfis longitudinais e transversais do MDT. Para exibí-las na tela principal deve-se clicar com o botão direito na barra de ferramentas e selecionar a opção 3D Analyst. As principais são (Figura 12):

- Interpolador Linha: permite o usuário desenhar uma linha no MDT em que será criado o gráfico de perfil;
- Gráfico de Perfil: gera o perfil da linha anteriormente criada pelo usuário;
- Criar Caminho de Descida Mais Fácil: ferramenta para verificar o caminho de escoamento de água a partir de um ponto selecionado no MDT.

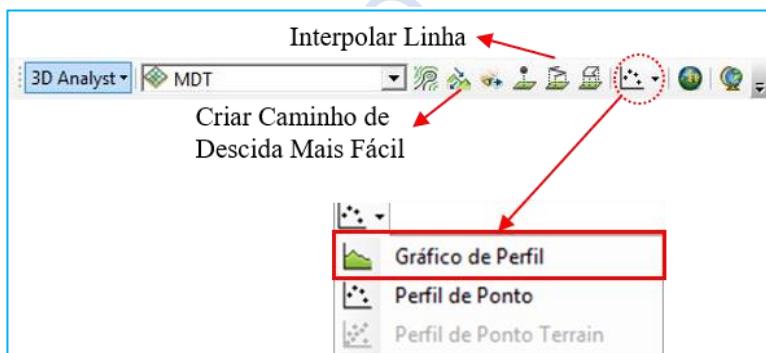


Figura 12 – Ferramentas mais utilizadas do 3D Analyst.

Para gerar o gráfico do perfil deve-se desenhar a linha com a ferramenta **Interpolador Linha** e gerar o gráfico com a opção **Gráfico de Perfil**.

Dica: para **encerrar** o uso da ferramenta **Interpolador Linha** deve-se dar um **clique duplo** no último ponto selecionado.

Capítulo 9 – Considerações

O banco de dados desenvolvido em plataforma SIG é uma ferramenta de suporte importante para futuros estudos relacionados a alteração de rocha do dreno de pé da BTME de Itaipu. Nele é possível acrescentar novas informações e realizar análises referentes aos processos de alteração de rocha no dreno.

Com esse manual, buscou-se apresentar as principais ferramentas e a metodologia utilizada para construção do banco de dados, bem como fornecer ao usuário uma visão geral da estrutura do programa.

Além disso, com o presente manual, será possível que o usuário insira novas informações de forma mais ágil e prática, contribuindo para o avanço do estudo na barragem.