



ESTUDO BARRAGEM B6 - ARAXÁ REVISÃO DO ESTUDO DE RUPTURA HIPOTÉTICA - EL. 980 m RELATÓRIO TÉCNICO

 N° MOSAIC
 PÁGINA

 1/65
 REV.

 DF20-163-1-EG-RTE-0006
 0

REVISÕES								
TE: TIPO EMISSÃO		A - PRELIMINAR B - PARA APROVAÇÃO	C - PARA CONHECIMENTO D - PARA COTAÇÃO	E - PAI CONST F - CO COMPR	RUÇÃO NFORME	G - CONI H - CANO		NSTRUÍDO
Rev.	TE	Desci	rição	Por	Ver.	Apr.	Aut.	Data
А	В	EMISSÃO INICIAL		LL	MC/ TO	ТО	МС	09/11/20
0	С	APROVADO		ТО	то	ТО	МС	21/12/20





PÁGINA

2/65

REV.

0

N° MOSAIC

N° DF+ **DF20-163-1-EG-RTE-0006**

ESTUDO BARRAGEM B6 - ARAXÁ REVISÃO DO ESTUDO DE RUPTURA HIPOTÉTICA - EL. 980 m RELATÓRIO TÉCNICO

SUMÁRIO

<u>ITEM</u>	<u>DESCRIÇÃO</u>	<u>PÁGINA</u>
1.0	INTRODUÇÃO E OBJETIVO	3
2.0	DESCRIÇÃO GERAL DA ESTRUTURA	6
3.0	DESCRIÇÃO GERAL DA ÁREA A JUSANTE	6
4.0	METODOLOGIA	7
4 .0 5.0	ESTUDO DA RUPTURA HIPOTÉTICA DA BARRAGEM	10
6.0	PREMISSAS E CRITÉRIOS	14
7.0	ACERVO DE INFORMAÇÕES E DADOS	15
8.0	MATERIAL DO RESERVATÓRIO	18
9.0	HIDROGRAMA DE RUPTURA	26
10.0	PROPAGAÇÃO DA ONDA DE RUPTURA	33
11.0	RESULTADOS DO ESTUDO DE RUPTURA HIPOTÉTICA	47
12.0	MAPEAMENTO DA INUNDAÇÃO	54
13.0	ZONEAMENTO DE RISCO	54
14.0	CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	56
15.0	REFERÊNCIAS	60
16.0	EQUIPE TÉCNICA	62
17.0	ANEXOS	63
18.0	APÊNDICE A – MAPEAMENTO DA INUNDAÇÃO POTENCIAL MÁXIMA	64





ESTUDO BARRAGEM B6 - ARAXÁ REVISÃO DO ESTUDO DE RUPTURA HIPOTÉTICA - EL. 980 m RELATÓRIO TÉCNICO

Nº MOSAIC	PÁGINA
	3/65
Nº DF+	REV.
DF20-163-1-EG-RTE-0006	0

1.0 INTRODUÇÃO E OBJETIVO

Este relatório apresenta o estudo de ruptura hipotética desenvolvido pela DF+ Engenharia Geotécnica e Recursos Hídricos para a Barragem B6, de propriedade da Mosaic Fertilizantes, integrante do Complexo Mineroquímico Araxá (Figura 1.1), na condição do maciço na elevação 980 m.

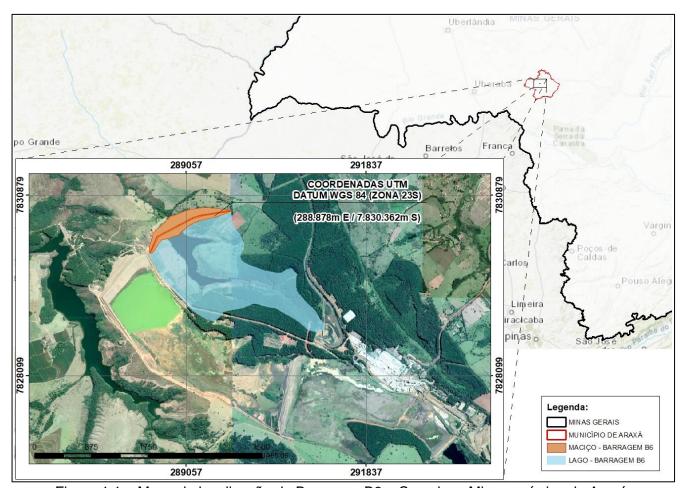


Figura 1.1 - Mapa de localização da Barragem B6 - Complexo Mineroquímico de Araxá

Apesar de cenários críticos de rompimento de barragens serem considerados eventos raros, eles podem ocasionar impactos econômicos, de vidas, ambientais e sociais significativos. Para conhecer os efeitos de uma ruptura de barragem, é necessário estudar quais fenômenos podem levar tal estrutura a uma ruptura e como será o comportamento da onda no curso de água a jusante.

Este estudo constitui-se de avaliações, com o intuito de estimar a extensão e abrangência da inundação potencial máxima em caso de ruptura hipotética da Barragem B6. Tais informações, fornecidas neste estudo, auxiliarão a Mosaic Fertilizantes a identificar as principais regiões potencialmente atingidas, a zona de autossalvamento (ZAS) e a zona de segurança secundária (ZSS), orientando o planejamento e tratamento dos riscos a jusante.





ESTUDO
BARRAGEM B6 - ARAXÁ
REVISÃO DO ESTUDO DE RUPTURA HIPOTÉTICA - EL. 980 m
RELATÓRIO TÉCNICO

Nº MOSAIC	PÁGINA
	4/65
Nº DF+	REV.
DF20-163-1-EG-RTE-0006	0

A Barragem B6 destina-se à contenção de rejeitos e assume, portanto, fundamental importância no quadro de estruturas do Complexo Mineroquímico de Araxá (CMA), pelo alto potencial de dano inerente às suas características geométricas e volumétricas.

Por estar localizada em um vale que apresenta ocupação humana permanente, o potencial de dano ao patrimônio público e privado pode elevar o risco associado à estrutura caso a probabilidade de falha das barragens não seja devidamente controlada em níveis aceitáveis (toleráveis).

Nesse aspecto, a Mosaic Fertilizantes, em conformidade com a Portaria 70.389:2017 outorgada pela Agência Nacional da Mineração (ANM), deve dispor de um Plano de Segurança da Barragem (PSB) que estabeleça controles e sistemáticas de monitoramento e inspeção para a devida manutenção e gestão dos riscos. No contexto do PSB, destaca-se o Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração (PAEBM). O PAEBM é o documento que direciona as ações corretivas e de mitigação dos impactos na eminência ou ocorrência de uma eventual adversidade na estrutura, incluindo aí a possibilidade de uma ruptura total do maciço.

O mapeamento de áreas inundáveis causadas pela ruptura de barragens é uma ferramenta de fundamental importância para elaboração de planos de ação de emergência (PAEBM).

A devida estruturação do PAEBM presume o conhecimento do potencial de danos decorrentes de uma hipotética ruptura da barragem. Dessa forma, como subsídio ao desenvolvimento do PAEBM, elaboram-se estudos de ruptura hipotética da Barragem B6, tendo como principal produto o mapeamento de envoltórias de inundação potencial máxima.

A Figura 1.2 apresenta a localização da Barragem B6 e das estruturas componentes do CMA de maneira ampla.





ESTUDO BARRAGEM B6 - ARAXÁ REVISÃO DO ESTUDO DE RUPTURA HIPOTÉTICA - EL. 980 m RELATÓRIO TÉCNICO

Nº MOSAIC	PÁGINA
	5/65
Nº DF+	REV.
DF20-163-1-EG-RTE-0006	0



Figura 1.2 - Localização das estruturas do CMA.

O presente estudo apresenta a avaliação hidráulica da propagação da onda proveniente da ruptura da Barragem B6 no vale a jusante. Esse estudo não contempla a análise de pluma de contaminantes ou propagação de material coloidal nos cursos de água atingidos.

O estudo foi realizado considerando a Barragem B6 em sua elevação final (crista na El. 980,0 m) e ocupação final do reservatório, com seu volume máximo de rejeitos.

Para este estudo, foram utilizadas topografias distintas, favorecendo a melhor resolução disponível. Nas áreas contempladas, foi utilizada a topografia disponibilizada pela Mosaic Fertilizantes, extraída do modelo digital de elevação – MDE, obtido a partir do princípio da estereoscopia aplicado às imagens de satélite coletadas. Esta base foi complementada, em alguns trechos isolados e de área reduzida, por base topográfica gratuita, obtida pelo projeto Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) com resolução de 30 metros, disponibilizados pela National Aeronautics and Space Administration – NASA. As curvas de nível foram utilizadas para geração do modelo digital de elevação – MDE do vale a jusante, que por sua vez configura-se como dado de entrada para o *software* RiverFlow2D® (HYDRONIA, 2016).

Apresenta-se, a seguir, os estudos de ruptura hipotética da Barragem B6, elaborado com vistas à definição do potencial máximo de inundação do vale a jusante, mediante a hipótese de ocorrência de uma falha na estrutura supracitada.





ESTUDO BARRAGEM B6 - ARAXÁ REVISÃO DO ESTUDO DE RUPTURA HIPOTÉTICA - EL. 980 m RELATÓRIO TÉCNICO

DF20-163-1-EG-RTE-0006	0
Nº DF+	REV.
	6/65
Nº MOSAIC	PÁGINA

2.0 DESCRIÇÃO GERAL DA ESTRUTURA

A Barragem B6, de propriedade da Mosaic Fertilizantes, se localiza a noroeste das usinas de beneficiamento do Complexo Mineroquímico de Araxá, no vale adjacente à direita da Barragem B5, e encontra-se em operação desde setembro de 2019.

A Tabela 2.1 apresenta a localização e principais características do empreendimento, considerando o cenário em estudo (El. 980,0 m), conforme relatório do Projeto Conceitual (AR42-RT-01_Rev.1) elaborado pela Geoconsultoria em 2019.

Tabela 2.1 – Localização e características técnicas da Barragem B6 – El. 980,0 m.

Localização e Características Técnicas da Barragem B6		
Estado	Minas Gerais	
Município	Araxá	
Coordenadas UTM WGS 84 (Fuso 23S)	288.877,67m E / 7.830.361,69m S	
Tipo de Seção	Mista	
Altura (m)	60,0	
Comprimento da Crista (m)	1.515,0	
Elevação da crista (m)	980,0	
Volume (hm³)	57,4	
Vertedouro (Tipo)	Torre com stop-logs para fechamento de abertura lateral, que se constituirá na soleira vertente.	
NA Normal Operacional (m)	977,50	
NA Máximo Maximorum (m)	978,50	

3.0 DESCRIÇÃO GERAL DA ÁREA A JUSANTE

A área a jusante da Barragem B6, considerada como área de impacto, inicia-se no talude de jusante da estrutura e termina no ponto de interrupção das análises, na confluência do Rio Capivara com o Córrego da Gurita, a aproximadamente 65 km da Barragem B6, levando em conta a distância medida com base no talvegue observado através de imagens de satélite.

A área de potencial impacto atinge parte dos limites territoriais dos municípios de Araxá e Perdizes, em sua zona rural. No caminho da onda, estão áreas de ocupação permanente de pessoas, com existência de algumas edificações e propriedades rurais, estradas de solo, de asfalto, a Ferrovia Centro-Atlântica (FCA), a BR-262 e a BR-452. A Figura 3.1 apresenta as interferências na área de impacto a jusante da Barragem B6.





Figura 3.1 – Localização das interferências ao longo do talvegue.

4.0 METODOLOGIA

A metodologia de desenvolvimento dos estudos de ruptura hipotética inicia-se com a coleta e compilação de informações básicas ao conhecimento do problema, das características das barragens e condições de contorno.

A partir da análise dos dados definem-se as premissas e critérios, apresentados no item 6.0 deste relatório.

Após consolidadas as bases gerais, procede-se ao cerne do estudo de ruptura hipotética, respeitando-se três principais etapas: (i) definição do bloco ou hidrograma de ruptura, (ii) propagação da onda de ruptura e (iii) mapeamento da inundação potencial.

Resume-se então, por meio do fluxograma simplificado apresentado na Figura 4.1, as principais etapas percorridas no estudo de ruptura hipotética.





ESTUDO BARRAGEM B6 - ARAXÁ REVISÃO DO ESTUDO DE RUPTURA HIPOTÉTICA - EL. 980 m RELATÓRIO TÉCNICO

DF20-163-1-EG-RTE-0006	0
Nº DF+	REV.
	8/65
Nº MOSAIC	PÁGINA

DEFINIÇÃO DO BLOCO/ HIDROGRAMA DE RUPTURA

- Definição das hipóteses de ruptura e escolha do método de falha
- Definição dos parâmetros da brecha (em caso de ruptura por galgamento ou piping)
- Construção do bloco de ruptura (em caso de ruptura por instabilidade estrutural ou liquefação)
- Simulação hidráulica do método de falha para caracterização da propagação/hidrograma de ruptura
 - Definição dos parâmetros reológicos
- Desenvolvimento da modelagem hidráulica computacional

MAPEAMENTO DA INUNDAÇÃO

RUPTURA

Pós-processamento dos resultados da modelagem computacional

Construção do modelo digital de terreno do vale a jusante (MDT)

Mapeamento dos parâmetros da inundação potencial

Figura 4.1 - Fluxograma simplificado das etapas do estudo de ruptura hipotética

CENÁRIO DE ANÁLISE 4.1

Inicialmente, para realização dos estudos, é necessário definir o cenário de simulação a ser considerado. Neste estudo foi considerado para a Barragem B6 o alteamento futuro com crista na EL. 980,0 m.

O item 9.0 apresenta maior detalhamento dos critérios adotados para desenvolvimento do cenário de simulação.

BLOCO/ HIDROGRAMA DE RUPTURA 4.2

A definição do bloco ou hidrograma de ruptura inicia-se pelas avaliações das hipóteses de ruptura.

Nesse sentido, caso confirmada a susceptibilidade do maciço à liquefação, ou à instabilidade estrutural e definindo-se um destes como o cenário mais crítico, utiliza-se como premissa a ruptura instantânea (desprendimento imediato do volume total mobilizado durante a ruptura hipotética) da Barragem B6. Assim, a condição de contorno de montante é representada pela geometria tridimensional do bloco de ruptura considerado no estudo, sobre a geometria da configuração final do terreno após a ruptura.

Por outro lado, caso seja definido o galgamento ou piping como modo de falha mais crítico para a Barragem B6, os parâmetros da brecha são definidos com o auxílio de modelos paramétricos ajustados a banco de dados de rupturas de barragens. Os modelos paramétricos nada mais são do que formulações empíricas e ajustes matemáticos que buscam correlacionar parâmetros geométricos das barragens em seus estados pré e pós-ruptura. Diante da definição da brecha da estrutura, estima-se o hidrograma de ruptura aplicando-se princípios da conservação da massa para computarem-se as afluências à brecha durante e





ESTUDO
BARRAGEM B6 - ARAXÁ
REVISÃO DO ESTUDO DE RUPTURA HIPOTÉTICA - EL. 980 m
RELATÓRIO TÉCNICO

Nº MOSAIC	PÁGINA
	9/65
Nº DF+	REV.
DF20-163-1-EG-RTE-0006	0

após o seu desenvolvimento, até que o volume mobilizado no reservatório seja completamente escoado.

Salienta-se que a escolha do método de falha é baseada em análises documentais e avaliações geotécnicas da estrutura, conforme será explicitado no item 5.0.

4.3 PROPAGAÇÃO DA ONDA DE RUPTURA

A propagação do hidrograma de ruptura é antecedida pela preparação e consistência da base topográfica que define a morfologia do vale a jusante.

Dessa forma, os Modelos Digitais de Elevação (MDE's) recebem os devidos tratamentos e filtros justificados pela necessidade de correção dos modelos de superfície, a fim de que se tornem hidráulica e hidrologicamente consistentes.

Após o tratamento do terreno e do bloco ou hidrograma de ruptura (que representará a condição de entrada do modelo hidráulico, a ser detalhado no item 9.0), procede-se à construção do modelo computacional.

Para o presente estudo, adotou-se um modelo matemático cujas formulações assumem a hipótese de representatividade dos escoamentos bidimensionais para a simulação do fenômeno de propagação da onda de ruptura.

Portanto, a representação do modelo geométrico do vale a jusante será realizada por modelos digitais de elevação obtidos a partir da base topográfica fornecida pela Mosaic Fertilizantes, com complemento, em alguns trechos isolados e de área reduzida, por base topográfica gratuita, obtida pelo projeto *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM).

Paralelamente à construção do modelo geométrico, definem-se os parâmetros de resistência ao escoamento, representados pelo coeficiente de rugosidade e pelos aspectos reológicos do rejeito.

Posteriormente, as condições de contorno hidráulicas são impostas ao modelo com vistas à representação do cenário de ruptura avaliado.

Convém destacar que o modelo computacional utilizado (RiverFlow2D®) cumpre o objetivo do estudo apresentando resultados compatíveis com a representação do fenômeno, estando de acordo com as diretrizes da Resolução 32.

4.4 MAPEAMENTO DA INUNDAÇÃO

O mapeamento da inundação constitui um dos principais produtos do estudo de ruptura hipotética, e é por meio dele que os interessados conseguem assimilar e compreender a extensão potencial dos impactos decorrentes de um acidente com a estrutura.

Para se definirem as envoltórias da inundação, os resultados do modelo computacional são pós-processados e tratados, para formarem uma única mancha. A poligonal resultante é, por





ESTUDO
BARRAGEM B6 - ARAXÁ
REVISÃO DO ESTUDO DE RUPTURA HIPOTÉTICA - EL. 980 m
RELATÓRIO TÉCNICO

Nº MOSAIC	PÁGINA
	10/65
Nº DF+	REV.
DF20-163-1-EG-RTE-0006	0

fim, sobreposta às imagens de satélite para que as principais regiões atingidas sejam identificadas e destacadas, orientando o planejamento e tratamento dos riscos a jusante.

5.0 ESTUDO DA RUPTURA HIPOTÉTICA DA BARRAGEM

Os estudos de ruptura hipotética de barragens se baseiam na identificação dos modos de falha a que a estrutura possa estar susceptível, bem como na caracterização dos potenciais eventos adversos e circunstâncias anômalas que podem engatilhar tais modos de falha. Frente a esta análise inicial, é adotado o modo de falha que apresenta maior probabilidade de ocorrência associado ao maior dano potencial possível. Com a definição do mecanismo de ruptura mais provável, ou mais crítico, iniciam-se os estudos de propagação da onda de ruptura.

Alguns eventos adversos e circunstâncias anômalas que podem desencadear a ruptura de uma estrutura são:

- Evento extremo de precipitação;
- Obstrução do sistema extravasor da estrutura;
- Abalos sísmicos;
- Recalques ou colapso da fundação;
- Colmatação da drenagem interna.
- Falta de compactação e garantia do controle tecnológico na construção do maciço.

Essas circunstâncias podem levar à ruptura da barragem pelos seguintes mecanismos:

- Erosão interna (piping);
- Galgamento (overtopping);
- Liquefação;
- Instabilidade estrutural.

5.1 MECANISMOS DE RUPTURA

Nesse item são apresentados os quatro mecanismos de ruptura em estruturas de barramento: erosão interna (*piping*), galgamento, liquefação e instabilidade do maciço.

Erosão tubular regressiva (piping)

A erosão interna ocorre quando partículas de solo, dentro de um maciço ou em suas fundações, são carreadas para jusante pelo fluxo de percolação (Silva, 2016). Geralmente,





ESTUDO BARRAGEM B6 - ARAXÁ REVISÃO DO ESTUDO DE RUPTURA HIPOTÉTICA - EL. 980 m RELATÓRIO TÉCNICO

DF20-163-1-EG-RTE-0006	0
Nº DF+	REV.
	11/65
Nº MOSAIC	PÁGINA

este fenômeno pode ocorrer devido a um conjunto de fatores, tais como: elevado gradiente hidráulico, granulometria uniforme dos materiais utilizados, ausência de dimensionamento de transições entre fundação e maciço, dentre outros.

O processo de erosão interna pode acontecer somente pelo maciço, somente pela fundação, ou por ambos e, segundo o ICOLD (2015) pode ocorrer de três formas:

- Erosão interna regressiva e erosão por vazamento concentrado;
- Erosão interna regressiva na fundação com a formação de um piping;
- Erosão interna no maciço para a fundação com a formação de um piping.

O risco de erosão interna (*piping*) fica reduzido quando:

- A estrutura apresenta sistema de drenagem interna operativo, dimensionado considerando o nível de água máximo operacional do reservatório;
- A construção do maciço se dá com controle tecnológico, atendendo aos critérios estabelecidos em projeto;
- Os materiais utilizados durante a construção da estrutura foram os especificados em projeto, atendendo às características de granulometria, resistência e permeabilidade;
- Há monitoramento das vazões de saída do sistema de drenagem interna.

Uma vez que o dique de partida da Barragem B6 (El. 945,0 m) é constituído de solo, com alto controle tecnológico, e o coroamento de cada alteamento a jusante será realizado utilizando um material de predominância argilosa, além da existência de drenagem interna em todas as etapas de alteamento, entende-se que o *piping* seja uma hipótese de falha de baixa probabilidade de ocorrência nessa estrutura.

Galgamento (overtopping)

Para que ocorra o galgamento em uma barragem é necessária a ocorrência de um evento de precipitação que gere vazões as quais a estrutura não seja capaz de amortecer, ou devido à obstrução total ou parcial do sistema extravasor.

Segundo o relatório técnico do Projeto Conceitual da Barragem B6 para a El. 980,0 m (AR39-RT-01), elaborado pela Geoconsultoria em 2020, os estudos hidrológicos e hidráulicos não foram atualizados para a El. 980,0 m, de forma que as informações adotadas foram retiradas do relatório "AR28-RT-02", elaborado pela mesma empresa, em setembro de 2017. Este estudo aponta que o sistema extravasor da estrutura para a etapa de alteamento na El. 975,0 m suporta cheias associadas ao período de retorno de 10.000 anos. Assim, a Geoconsultoria assumiu que, para a El. 980,0 m, o sistema fica mais confortável, devido às maiores áreas observadas para as cotas superiores. A nível conceitual, foi considerado desnível entre soleira





ESTUDO BARRAGEM B6 - ARAXÁ REVISÃO DO ESTUDO DE RUPTURA HIPOTÉTICA - EL. 980 m RELATÓRIO TÉCNICO

DF20-163-1-EG-RTE-0006	0
Nº DF+	REV.
	12/65
Nº MOSAIC	PÁGINA

e crista de 2,5 m, elevação máxima do nível de água de cerca de 1,0 m e borda livre de 1,5 m, informações estas que foram adotadas como premissa para o atual estudo. Desta forma, entende-se que, de acordo com as informações supracitadas, o sistema extravasor da Barragem B6 teria capacidade de transitar cheias com tempo de recorrência decamilenares.

Diante do exposto, a probabilidade de o sistema extravasor não ser capaz de suportar cheias é inferior a 0,01, sendo o galgamento um método de falha de baixa probabilidade de ocorrência para as estruturas em estudo. No entanto, uma falha ou obstrução no sistema poderia ocasionar o enchimento do reservatório até a elevação da crista, tornando o galgamento um modo de falha plausível.

Instabilidade Estrutural

A ruptura local ou global dos taludes de um maciço ocorre pela redução do fator de segurança, provocada por diversos mecanismos, tais como: erosões nos taludes de jusante ou montante, elevação do nível freático, deformação excessiva, rebaixamento rápido do nível do reservatório, eventos sísmicos, colmatação de filtros e drenos, deficiência na compactação do maciço, falhas no tratamento de fundação e erros durante o dimensionamento de projeto.

De acordo com o relatório AR42-RT-01, elaborado pela Geconsultoria em 2019 e que apresenta o projeto conceitual simplificado de alteamento da Barragem B6 para a El. 980,0 m, o estudo de percolação e análise de estabilidade para a Barragem B6 do projeto detalhado de alteamento para a elevação 975,0 m, também desenvolvido pela Geoconsultoria (relatório AR39-RT-02) em 2017, mostrou que os fatores de segurança obtidos encontram-se acima dos mínimos admitidos pela NBR 13.028:2017. Diante da informação supracitada, o referido documento do projeto para a El. 980,0m cita que se optou por realizar novos estudos de estabilidade apenas na fase do projeto executivo.

Face ao exposto acima, foi considerado que a Barragem B6 atende aos fatores de segurança mínimos preconizados pela NBR 13.028:2017. Dessa forma, não é esperado, em condições normais ou críticas de operação, a ruptura do maciço por este modo de falha.

Liquefação

Segundo Silva (2010), o termo liquefação traduz basicamente um fenômeno gerado pelo acréscimo rápido de poropressões não passíveis de dissipação imediata, que implicam em uma redução súbita de tensão efetiva e consequentemente em uma queda substancial na resistência ao cisalhamento. Isso implica em rupturas ocorrendo com deslocamentos de massas com altas velocidades e grandes mobilizações.

A construção de aterros e diques sobre rejeitos fofos e saturados, podem induzir a aumentos rápidos nos níveis de tensões e condições não drenadas, além de a disposição de rejeitos nesse tipo de barramento ser feita por aterro hidráulico, ou seja, acrescentando-se rejeito saturado à estrutura (SILVA, 2010).

O escorregamento, quando iniciado, continuará até que as tensões atuantes sejam igualadas às tensões resistentes do solo no estado liquefeito. Os trechos não envolvidos na ruptura





ESTUDO
BARRAGEM B6 - ARAXÁ
REVISÃO DO ESTUDO DE RUPTURA HIPOTÉTICA - EL. 980 m
RELATÓRIO TÉCNICO

DF20-163-1-EG-RTE-0006	0
Nº DF+	REV.
	13/65
Nº MOSAIC	PÁGINA

inicial podem liquefazer posteriormente por descarregamento lateral, aumentando o volume de solo que flui a jusante.

Diante disso, é válido dizer que para barragens construídas com sistema de alteamento a montante, a probabilidade de ocorrência desse fenômeno é maior que para barragens construídas pelo método de linha de centro ou a jusante.

A Barragem B6, apesar de não ter sido construída pelo método a montante, apresenta alteamentos a jusante sucessivos executados com dois tipos de materiais (seção mista): a porção de jusante é composta por rejeito de flotação *underflow* e o coroamento da crista é executado com material argiloso compactado. A Figura 5.1 apresenta o desenho esquemático do maciço da Barragem B6 na El. 960,0 m.

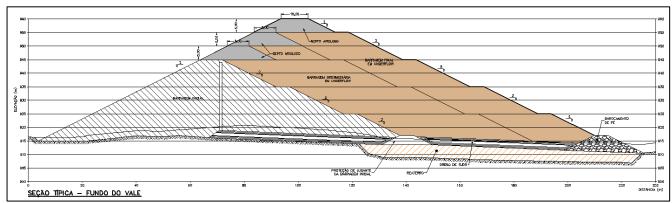


Figura 5.1 – Desenho esquemático do maciço da Barragem B6. Fonte: Apresentação disponibilizada pela Mosaic.

Com o intuito de aumentar a segurança da estrutura, a Geoconsultoria realizou, em 2020, uma revisão no sistema de drenagem interna da Barragem B6, através da implantação de um filtro vertical inclinado a partir da El. 955,0 m, conectado ao tapete drenante (dreno central), revisado considerando a condição da estrutura na elevação 980,0 m. O relatório AR44RT-02 apresenta a revisão supracitada. A DF+ entende tais medidas como sendo de boas práticas de engenharia, já que o intuito foi elevar a segurança da estrutura mesmo que, em termos de performance, o projeto já mostre que os fatores de segurança mínimos encontram-se atendidos.

Ademais, o relatório supracitado apresenta uma avaliação da susceptibilidade do paramento de jusante do maciço, constituído de rejeito de flotação, ao fenômeno de liquefação. É citado que o aterro da estrutura, mesmo apresentando predominância arenosa, deverá permanecer seco ao longo da operação da barragem, haja visto as simulações por percolação realizadas no projeto.

Adotando como premissa a consideração de que a Barragem B6 será implantada conforme especificado em projeto e que a estrutura irá performar conforme previsto, a DF+ entende que a liquefação seja um modo de falha com baixa probabilidade de ocorrência.

Método de falha adotado para a simulação





ESTUDO
BARRAGEM B6 - ARAXÁ
REVISÃO DO ESTUDO DE RUPTURA HIPOTÉTICA - EL. 980 m
RELATÓRIO TÉCNICO

Nº MOSAIC	PÁGINA
	14/65
Nº DF+	REV.
DF20-163-1-EG-RTE-0006	0

Em virtude do exposto anteriormente a respeito dos possíveis modos de falha para a Barragem B6, a DF+, buscando considerar a análise do cenário com maior probabilidade de ocorrência e maior criticidade, dentre os plausíveis, optou por adotar o galgamento como mecanismo de ruptura hipotética para a Barragem B6, que será objeto do estudo nos capítulos subsequentes.

6.0 PREMISSAS E CRITÉRIOS

Apresenta-se na sequência uma lista das principais premissas e critérios assumidos para o estudo:

- Como a Barragem B6 encontra-se em fase de seu 1º alteamento e o estudo de ruptura hipotética foi desenvolvido para o alteamento final, não foi possível avaliar o comportamento real da estrutura. Face ao exposto, definiu-se para realização do presente estudo, em comum acordo com a Mosaic Fertilizantes, a consideração da premissa de que a estrutura será implantada conforme diretrizes e especificações técnicas construtivas dos projetos desenvolvidos;
- A hipótese de ruptura por galgamento, englobando parte do maciço da estrutura, juntamente ao rejeito e água mobilizados, contidos no reservatório, foi adotada para a ruptura hipotética da barragem, independente da condição operacional desta. Para tanto, considerou-se que o nível de água na barragem estivesse 0,1 m acima da elevação correspondente à da crista no início da simulação (El. 980,1 m);
- Considerando-se a hipótese de ruptura por galgamento, o volume do reservatório mobilizado na ruptura se deu a partir da cota de fundo do talude de montante do maciço (acima das sinuosidades do terreno natural na base deste - El. 923,0 m), adotando o ângulo de repouso do material do rejeito pósruptura (1°), radialmente projetado em direção às extremidades de montante do reservatório, de forma que apenas o volume contido acima desta superfície, foi mobilizado. A curva cota-volume utilizada, acima da superfície supracitada, foi obtida a partir de uma composição de curvas, onde foram considerados intervalos referentes aos rejeitos da praia de montante (lamas e rejeitos finos) e aos rejeitos de flotação overflow (rejeitos grossos) e à água possivelmente acumulada no reservatório até a crista, conforme o relatório do Projeto Conceitual "AR42-RT-01" e o desenho "AR42DE004-R0" da planta de ocupação do reservatório da Barragem B6 na El. 980,0 m, elaborados pela Geoconsultoria em abril e março de 2019, respectivamente. O coeficiente volumétrico foi obtido a partir dessa mesma composição, considerando ainda o volume do maciço mobilizado na brecha. A estimativa de mobilização do volume está explicitada no item 9.4;
- Os dados trabalhados das propriedades reológicas da massa mobilizada, abrangem todo o volume a ser escoado para jusante, levando em conta os volumes de rejeitos, de maciço e de água;





ESTUDO BARRAGEM B6 - ARAXÁ REVISÃO DO ESTUDO DE RUPTURA HIPOTÉTICA - EL. 980 m RELATÓRIO TÉCNICO

DF20-163-1-EG-RTE-0006	0
Nº DF+	REV.
	15/65
Nº MOSAIC	PÁGINA

- Os parâmetros geotécnicos considerados para o rejeito e maciço da Barragem B6 foram baseados em informações apresentadas no relatório VF-133-RL-28188-00, referente ao projeto executivo da Barragem B6, elaborado pela Pimenta Ávila em 2013;
- A propagação da onda de ruptura foi efetuada por um modelo matemático bidimensional, baseado nas equações de águas rasas (Shallow Water Equations), e resultante de adaptações feitas às equações de movimento de Navier-Stokes. A justificativa para tal é apresentada no tópico 10.1 deste relatório;
- Para a simulação da propagação da onda de ruptura, considerou-se dia seco, ou seja, sem a ocorrência de chuvas a jusante da barragem. A DF+ entende que a adoção dessa premissa considera o cenário mais crítico em termos de alcance longitudinal da onda de ruptura, uma vez que a consideração de evento pluviométrico decamilenar simultâneo no vale a jusante levaria a mudanças no critério de interrupção da simulação, levando a onda a atingir menores distâncias. Ademais, vale destacar que nos trechos iniciais da propagação não haveria diferença nos resultados apresentados, devido à discrepância na ordem de grandeza das vazões decorrentes da ruptura, em comparação às de uma chuva no vale a jusante. Nos trechos mais afastados do local da ruptura, entende-se que o acréscimo no alcance transversal da onda, ou seja, o acréscimo pelas margens, sobre a ocupação da calha considerando-se dia chuvoso, seria irrisório;
- Não foi considerada erosão do terreno ou solo a jusante da estrutura, sendo representados apenas os parâmetros reológicos e a deposição do material no vale a jusante;
- A interrupção das simulações foi dada quando o hidrograma da onda em trânsito pelo Rio Capivara alcançou vazões de mesma ordem de grandeza que as naturalmente existentes no curso de água.

7.0 ACERVO DE INFORMAÇÕES E DADOS

As informações e dados utilizados nos estudos embasaram-se nos documentos apresentados na Tabela 7.1. Boa parte da documentação utilizada já existia nos servidores da DF+ por se tratarem de projetos antigos das mesmas estruturas. Para os documentos que não apresentavam numeração própria optou-se por referenciá-los pelo nome dos arquivos eletrônicos enviados pela Mosaic.

Ressalta-se que apenas os documentos aplicados nas análises e definições de premissas para os estudos estão apresentados. Os demais arquivos disponibilizados encontram-se nos servidores da DF+ e poderão ser consultados sempre que necessário.





ESTUDO BARRAGEM B6 - ARAXÁ REVISÃO DO ESTUDO DE RUPTURA HIPOTÉTICA - EL. 980 m RELATÓRIO TÉCNICO

DF20-163-1-EG-RTE-0006	0
Nº DF+	REV.
	16/65
Nº MOSAIC	PÁGINA

Tabela 7.1 – Lista de documentos utilizados no estudo.

Nome do arquivo	Referência
curvas_de_nivel_cma_CC3.shp	Base topográfica – fornecida pela Mosaic em 2016
curvas_de_nivel_cma1.shp	Base topográfica – fornecida pela Mosaic em 2016
AR28-RT-02.docx	Relatório Técnico – Barragem B6 – Alteamento – Estudos Hidráulicos e Hidrológicos - Elaborado pela Geoconsultoria em 2017 e disponibilizado pela Mosaic
AR42DE002-R0 - Bar B6 - EL.980 - Implantação - Planta.dwg	Projeto Conceitual – Barragem B6 – EL.980 – Implantação – Planta - Elaborado pela Geoconsultoria em 2019 e disponibilizado pela Mosaic
AR42RT01-R1-B6-Conceitual Simplificado - El.980m.pdf	Projeto Conceitual – Barragem B6 – EL.980 – Elaborado pela Geoconsultoria em 2019 e disponibilizado pela Mosaic
AR42DE004-R0 - Bar B6 - EL.980 - Ocupação do Reservatório - Planta.dwg	Projeto Conceitual – Barragem B6 – EL.960 – Ocupação do Reservatório – Planta - Elaborado pela Geoconsultoria em 2019 e disponibilizado pela Mosaic
CNP01DE01 - R0 - Bar B6 - EL.945 - As Built Levantamento Planialtimetrico – Planta.dwg	Barragem B6 – EL.945 – Primitivo Consorcio Nobrega Pavdez - As Built Planialtimétrico – Planta - Elaborado pela Nóbrega Pimenta Construtora/Pavidez Engenharia Ltda. em 2018 e fornecido pela Mosaic
VF-133-RL-28188-00	Relatório do Projeto Executivo da Barragem B6, elaborado pela Pimenta Ávila em 2013.

7.1 CARTOGRAFIA E IMAGEAMENTO

As bases topográficas utilizadas (curvas_de_nivel_cmt.shp e curvas_de_nivel_cma_CC3.shp) foram disponibilizadas pela Mosaic Fertilizantes para a realização desse trabalho. O MDE utilizado para as simulações foi elaborado pelo princípio da estereoscopia aplicado às imagens de satélite coletadas. A estereoscopia permitiu a obtenção de dados tridimensionais, por meio da observação de um par de imagens planas (estereopares) de uma mesma cena, com ângulos de incidência distintos.

Estas bases foram fornecidas no datum Córrego Alegre e reprojetada para WGS84, conforme os parâmetros oficiais do IBGE. As curvas de nível foram utilizadas para geração do Modelo Digital de Elevação (MDE) que, após receber um tratamento para consistência hidrológica e hidráulica, foi utilizado como condição de contorno geométrica para as análises no *software* RiverFlow2D® (HYDRONIA, 2016).

Em alguns pontos isolados, de área reduzida, a mancha de inundação extrapolou os limites da topografia de detalhe, de forma que foi necessário o incremento topográfico nestes pontos. Para tal, optou-se por utilizar os Modelos Digitais de Elevação (MDE's) do projeto *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) com resolução de 30 metros, disponibilizados pela NASA.

Foi possível observar pontos de discordância entre a base topográfica fornecida e as imagens de satélite. Dessa forma, indica-se novo levantamento topográfico por parte da Mosaic, de forma a melhor representar o terreno a jusante.



Em estudos de ruptura hipotética de barragens, o aumento da precisão da topografia da planície de inundação exerce grande influência na delimitação da área atingida pela ruptura. Assim sendo, cabe salientar que a simulação e os resultados apresentados estão associados às limitações e incertezas da informação utilizada.

A Figura 7.1 apresenta os pontos onde faz-se necessário um complemento topográfico, quando analisada a base topográfica de detalhe. Além disso, exemplifica a discordância observada entre o talvegue natural e a topografia fornecida pela Mosaic Fertilizantes.

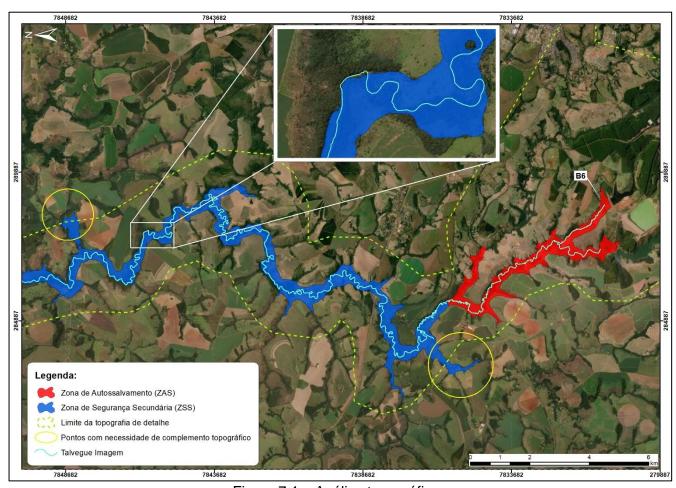


Figura 7.1 – Análise topográfica.

Ressalta-se que, além da complementação da base topográfica, indica-se um novo levantamento, ou tratamento da base fornecida, já que foi possível observar discordância entre esta e as imagens de satélite, além de pontos de acumulação ao longo do vale.

7.2 REGISTROS FLUVIOMÉTRICOS

Os estudos fluviométricos apresentados neste documento foram obtidos no projeto de *Dam Break* da Barragem B6 (VG16-152-1-EG-RTE-0015), elaborado pela VOG no ano de 2016.





ESTUDO
BARRAGEM B6 - ARAXÁ
REVISÃO DO ESTUDO DE RUPTURA HIPOTÉTICA - EL. 980 m
RELATÓRIO TÉCNICO

DF20-163-1-EG-RTE-0006	0
Nº DF+	REV.
	18/65
Nº MOSAIC	PÁGINA

Para a definição da magnitude das cheias naturais nos cursos de água potencialmente impactados pela ruptura hipotética da Barragem BR, coletaram-se os registros fluviométricos de estações de monitoramento da Agência Nacional de Águas (ANA), disponibilizados por meio do canal de divulgação HIDROWEB (www.hidroweb.ana.gov.br).

Os dados cadastrais das estações fluviométricas estão apresentados na Tabela 7.2, bem como a área de drenagem das bacias hidrográficas referenciadas a partir das coordenadas das estações.

Tabela 7.2 – Dados cadastrais das estações fluviométricas regionais.

Código	60100000	60145000	60265000	60010000					
Nome	Nome Charqueada do Patrocínio Iraí de Minas		Ibiá	Santana de Patos					
Rio	Rio Dourados		Rio Dourados Rio Bagagem R		Rio Misericordia	Rio Paranaíba			
Latitude	-18:54:4	-18:58:41	-19:28:30	-18:50:28					
Longitude	-46:57:57	-47:27:23	-46:32:31	-46:33:3					
Área de Drenagem(km²)	78	93	1370	2730					
Disponibilidade de dados de vazão	03/1952 a 03/2016	10/1952 a 02/2016	06/1946 a 02/2016	05/1949 a 06/2016					

Ressalta-se que apenas os registros fluviométricos consistidos pela própria ANA/CPRM foram utilizados nos estudos, tendo sido analisados e validados. Não houve, no entanto, qualquer tratamento da série de vazões por parte da equipe técnica da DF+.

8.0 MATERIAL DO RESERVATÓRIO

Em consonância com o exposto no segundo parágrafo do artigo 6° da Resolução 32, este capítulo apresenta a caracterização do material do reservatório da Barragem B6 através de resultados de ensaios de caracterização física, química e mineralógica, bem como da classificação do material frente à NBR 10.004 e apresentação da batimetria mais atualizada da estrutura em tela.

8.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA, QUÍMICA E MINERALÓGICA

Segundo relatório VF-133-RL-28188-00, referente ao projeto executivo da Barragem B6, elaborado pela Pimenta Ávila em 2013, os rejeitos dispostos no reservatório da estrutura são agrupados em: rejeitos de lama e rejeitos de flotação. As lamas são depositadas hidraulicamente no reservatório através de um ponto de lançamento localizado à montante, por gravidade, através de um canal aberto denominado canal de lamas. Este tipo de rejeito apresenta granulometria fina, de predominância siltosa e com baixo teor de sólidos.





ESTUDO BARRAGEM B6 - ARAXÁ REVISÃO DO ESTUDO DE RUPTURA HIPOTÉTICA - EL. 980 m RELATÓRIO TÉCNICO

Nº MOSAIC	PÁGINA
	19/65
Nº DF+	REV.
DF20-163-1-EG-RTE-0006	0

Do ponto de vista geotécnico, as lamas normalmente apresentam uma elevada plasticidade (no caso da rocha fosfática, com valores típicos de LL = 80% e IP = 40%), geralmente associados a baixos coeficientes de permeabilidade, da ordem de 10⁻⁹ cm/s.

No relatório VF-133-RL-28188-00, referente ao projeto executivo da Barragem B6, elaborado pela Pimenta Ávila em 2013, foram realizados ensaios de granulometria em doze amostras de rejeitos *overflow*, utilizando um granulômetro a laser. As amostras apresentaram natureza areno siltosa, com exceção de duas delas, que se mostraram tipicamente silto arenosas. Além disso, também foram realizados ensaios para determinação da massa específica dos grãos. Os resultados encontram-se apresentados na Tabela 8.1.

Tabela 8.1 - Massa específica dos grãos das amostras *overflow* (praia de rejeitos) – (VF-133-RL-28188-00).

Ensaios	S1-F1	S1-F2	S1-F3	S1-F4	S1-F5	S1-F6	S2-F1	S2-F2	S2-F3	S2-F4	S2-F5	S2-F6
Massa específica dos grãos (g/cm³)	3,48	3,62	3,51	3,50	3,47	3,62	3,44	3,57	3,41	3,52	3,44	3,44
Média Geral (g/cm³)		3,50										

As maiores densidades, obtidas na praia, podem estar associadas ao teor de ferro presente na fração mais fina do rejeito ou mesmo ao próprio processo de ciclonagem, que condiciona uma concentração de rejeitos com maiores teores de ferro nesta região da Barragem B6.

Destaca-se que não foram encontradas muitas informações a respeito da caracterização física do material do reservatório uma vez que a estrutura se encontra em processo de alteamento.

Segundo o documento WBH122-17-MOSC138- RTE-0013, os parâmetros de resistência do material do reservatório (*overflow*), que foram obtidos através das correlações das sondagens, correspondem a intercepto coesivo nulo e ângulo de atrito efetivo da ordem de 30°, características típicas de um material com predominância arenosa.

Por se tratar de um material arenoso, infere-se que um dos minerais mais abundantes presentes na composição mineralógica é o quartzo. Cabe ressaltar, porém, que outros minerais em menor proporção podem estar presentes em sua constituição, mas não foram localizados/disponibilizados relatórios com base em ensaios específicos (como difratometria de raio X e MEV), para maiores detalhes.

No que tange à caracterização geoquímica do rejeito, os laudos elaborados pela empresa Geoenviron, documento RT-MIN-MS-01-19-RV00, datado de 19/03/2020, se basearam na caracterização de quatro amostras coletadas em diferentes pontos do reservatório da Barragem B5,, sendo duas delas de lama e duas de rejeito de flotação, identificadas como AM 04 Lama B5, AM 05 Lama B5, AM 06 RJ FLT B5 e AM 07 RJ FLT B5, conforme apresentado na Figura 8.1. Destaca-se que apesar do referido relatório ter sido elaborado para os rejeitos da Barragem B5, os rejeitos são os mesmos, produzidos a partir da planta industrial de CMA.





ESTUDO BARRAGEM B6 - ARAXÁ REVISÃO DO ESTUDO DE RUPTURA HIPOTÉTICA - EL. 980 m RELATÓRIO TÉCNICO

Nº MOSAIC	PÁGINA
	20/65
Nº DF+	REV.
DF20-163-1-FG-RTF-0006	0



Figura 8.1 - Localização das amostras coletadas (Geoenviron, 2020).

Outras duas amostras de rejeitos frescos (coletados ainda na usina) foram também avaliadas (AM 09 e AM 10). A denominação rejeitos frescos se refere a rejeitos não depositados na barragem e recentemente coletados no processo. Esse processo de coleta de rejeitos frescos é conveniente para avaliação da influência de descargas de processo que aconteceram no passado na estrutura, e que por esse motivo poderiam influenciar o comportamento dos rejeitos.

Além destas amostras, dados de outras 10 amostras, coletadas na Barragem B5 no ano de 2015, foram também interpretados, elevando assim o caráter de representatividade geral do comportamento dos rejeitos.

O programa de análise dos rejeitos coletados compreendeu vários testes de lixiviação de curto prazo, incluindo testes relevantes em termos regulatórios tais como ABNT NBR 10.005/2004 – Lixiviação (Tabela 8.2) e ABNT NBR 10.006/2004 – Solubilização (Tabela 8.3), testes para avaliar o potencial de mobilização de metais sob diferentes condições de pH (pH dependente-USEPA 1313) e diferentes condições de relações sólido-líquido (USEPA 1316) que podem ser visualizados no Anexo I.

Tabela 8.2 - Caracterização dos rejeitos segundo a norma ABNT NBR 10004:2004 – Ensaio de Lixiviação (ABNT NBR 10005:2004).

PARÂMETRO	UNIDADE	VMP*	AM 04 LAMA B5	AM 05 LAMA B5	AM 06 RJ FLT B5	AM 07 RJ FLT B5	AM 09 Lama Usina	AM 10 Lama Usina
Alumínio Total	mg Al/L	-	0,3	0,06	0,05	0,11	0,07	0,05
Antimônio Total	mg/L	-	0,001	<0,001	0,001	0,001	<0,001	<0,001





ESTUDO BARRAGEM B6 - ARAXÁ REVISÃO DO ESTUDO DE RUPTURA HIPOTÉTICA - EL. 980 m RELATÓRIO TÉCNICO

 N° MOSAIC
 PÁGINA

 21/65
 REV.

 DF20-163-1-EG-RTE-0006
 0

PARÂMETRO	UNIDADE	VMP*	AM 04 LAMA B5	AM 05 LAMA B5	AM 06 RJ FLT B5	AM 07 RJ FLT B5	AM 09 Lama Usina	AM 10 Lama Usina
Arsênio Total	mg/L	1	0,004	0,002	0,004	0,002	<0,001	<0,001
Bário Total	mg Ba/L	70	20,3	8,3	4,62	4,45	13,8	15
Berílio Total	mg Be/L	-	0,004	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Bismuto Total	mg Bi/L	-	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Boro Total	mg B/L	-	<0,05	0,06	0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Cádmio Total	mg Cd/L	0,5	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,006	0,005
Cálcio Total	mg Ca/L	-	101	72,6	77,6	88,4	92,7	101
Chumbo Total	mg Pb/L	1	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Cobalto Total	mg Co/L	-	0,71	0,05	<0,01	0,01	0,71	0,71
Cobre Total	mg Cu/L	-	0,014	0,013	<0,007	<0,007	0,017	0,013
Condutividade Elétrica	μS/cm	-	6339	4856	4954	4917	5374	5437
Corrosividade	-	-	7,55	8,96	8,97	9,05	7,51	8,42
Cromo Total	mg Cr/L	5	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Escândio Total	mg Sc/L	-	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Estanho Total	mg Sn/L	-	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Estrôncio Total	mg Sr/L	-	2,27	1,27	1,55	1,47	2,1	2,35
Ferro Total	mg Fe/L	-	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Fluoreto	mg F-/L	150	1,16	0,23	0,26	0,41	0,12	0,12
Fósforo Total	mg P/L	ı	0,31	2,84	8,75	3,44	1,04	1,37
Ítrio Total	mg Y/L	-	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Lantânio Total	mg La/L	ı	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Lítio Total	mg Li/L	-	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Magnésio Total	mg Mg/L	-	25,7	22,1	19,1	29,1	19,4	22,7
Manganês Total	mg Mn/L	-	108	14,8	0,7	2,82	58,1	53,9
Mercúrio Total	mg Hg/L	0,1	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002
Molibdênio Total	mg Mo/L	-	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Níquel Total	mg Ni/L	-	0,33	0,15	0,03	0,08	0,24	0,26
Peso Amostra	g	-	50	50	50	50	50	50
pH Extrato Lixiviado	-	-	5,28	4,78	4,92	4,85	4,99	5,06
Potássio Total	mg K/L	-	12,4	7,5	8,2	9,83	9,86	11,1
Potencial Redox	mV	-	228	262	257	260	247	245
Prata Total	mg Ag/L	5	0,011	<0,005	<0,005	<0,005	0,006	0,006





ESTUDO BARRAGEM B6 - ARAXÁ REVISÃO DO ESTUDO DE RUPTURA HIPOTÉTICA - EL. 980 m RELATÓRIO TÉCNICO

Nº MOSAIC	PÁGINA
	22/65
N° DF+	REV.
DF20-163-1-EG-RTE-0006	0

PARÂMETRO	UNIDADE	VMP*	AM 04 LAMA B5	AM 05 LAMA B5	AM 06 RJ FLT B5	AM 07 RJ FLT B5	AM 09 Lama Usina	AM 10 Lama Usina
Reatividade	-	-	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo
Selênio Total	mg/L	1	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Sódio Total	mg Na/L	-	157	159	160	158	154	154
Sólidos Secos	%	-	37,3	79,4	N.A.	89,5	65,7	61,5
Telúrio Total	mg Te/L	-	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
Tempo Lixiviação	Н	-	18	18	18	18	18	18
Titânio Total	mg Ti/L	-	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Tungstênio Total	mg W/L	-	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Urânio Total	mg/L	-	0,006	0,002	0,002	0,002	<0,001	<0,001
Vanádio Total	mg V/L	-	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Volume	mL	-	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Zinco Total	mg Zn/L	-	0,35	0,24	0,12	0,13	0,24	0,26
Zircônio Total	mg Zr/L	-	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2

^{*}VMP = Valor Médio Previsto

Tabela 8.3 - Caracterização dos rejeitos segundo a norma ABNT NBR 10004:2004 – Ensaio de Solubilização (ABNT NBR 10006:2004).

PARÂ- METRO	UNID.	VMP*	AM LAM	04 A B5		05 A B5		06 RJ 1 B5		7 RJ B5		Lama ina		Lama ina
Alumínio Total	mg Al/L	0,2	0,7	0,78	0,78	0,74	0,64	0,61	0,73	0,68	0,33	0,37	1,3	1,35
Antimônio Total	mg/L	-	0,00 2	0,00 2	0,00 2	0,00 2	0,00 2	0,00 1	0,00	0,00 2	<0,0 01	<0,0 01	<0,0 01	<0,0 01
Arsênio Total	mg/L	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00 4	0,00	0,00 2	0,00 2	0,00 2	<0,0 01	<0,0 01	<0,0 01	<0,0 01
Bário Total	mg Ba/L	0,7	0,73	0,74	0,34	0,3	0,11	0,1	0,17	0,16	0,55	0,61	0,98	0,98
Berílio Total	mg Be/L	-	<0,0 02	<0,0 02	<0,0 02	<0,0 02	<0,0 02	<0,0 02	<0,0 02	<0,0 02	<0,0 02	<0,0 02	0,00 2	0,00
Bismuto Total	mg Bi/L	-	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Boro Total	mg B/L	-	0,07	<0,0 5	<0,0 5	<0,0 5	<0,0 5	<0,0 5	<0,0 5	<0,0 5	<0,0 5	<0,0 5	0,08	0,05
Cádmio Total	mg Cd/L	0,005	<0,0 01	<0,0 01	<0,0 01	<0,0 01	<0,0 01	<0,0 01	<0,0 01	<0,0 01	0,00 2	0,00 1	0,00	0,00
Cálcio Total	mg Ca/L	-	3,78	3,9	3,59	3,9	1,06	1,26	2,01	1,92	4,12	3,82	6,91	6,83
Chumbo Total	mg Pb/L	0,01	<0,0 1	<0,0 1	<0,0 1	<0,0 1	<0,0 1	<0,0 1	<0,0 1	<0,0 1	<0,0 1	0,02	0,02	0,02
Cianeto Total	mg CN-/L	0,07	<0,0 02	<0,0 02	<0,0 02	<0,0 02	<0,0 02	<0,0 02	<0,0 02	<0,0 02	<0,0 02	<0,0 02	<0,0 02	<0,0 02
Cloreto	mg CI-/L	250	20,5	21,5	1,18	1,27	<1	<1	<1	<1	2,85	2,73	1,49	1,41





ESTUDO BARRAGEM B6 - ARAXÁ REVISÃO DO ESTUDO DE RUPTURA HIPOTÉTICA - EL. 980 m RELATÓRIO TÉCNICO

 N° MOSAIC
 PÁGINA

 23/65
 REV.

 DF20-163-1-EG-RTE-0006
 0

PARÂ- METRO	UNID.	VMP*		l 04 A B5		l 05 A B5		06 RJ 1 B5		7 RJ B5		Lama ina		Lama ina
Cobalto Total	mg Co/L	-	<0,0 1	<0,0 1	<0,0 1	<0,0 1	<0,0 1	<0,0 1	<0,0 1	<0,0 1	<0,0 1	<0,0 1	0,03	0,03
Cobre Total	mg Cu/L	2	0,01 1	0,01	<0,0 07	0,00 8	<0,0 07	<0,0 07	<0,0 07	<0,0 07	0,00 7	0,00 7	0,01 4	0,01 5
Condutivid ade Elétrica	μS/c m	-	433	433	237	237	139	139	198	198	120	120	146	141
Cromo Total	mg Cr/L	0,05	<0,0 1	<0,0 1	<0,0 1	<0,0 1	<0,0 1	<0,0 1	<0,0 1	<0,0 1	<0,0 1	<0,0 1	<0,0 1	<0,0 1
Escândio Total	mg Sc/L	-	<0,0	<0,0	<0,0	<0,0	<0,0	<0,0 3	<0,0	<0,0	<0,0	<0,0	<0,0	<0,0
Estanho Total	mg Sn/L	-	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Estrôncio Total	mg Sr/L	-	0,12	0,13	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,10	0,12	0,22	0,21
Fenóis Totais	mg/L	0,01	<0,0 02	<0,0 02	<0,0 02	<0,0 02	<0,0 02	<0,0 02	<0,0 02	<0,0 02	<0,0 02	<0,0 02	<0,0 02	<0,0 02
Ferro Total	mg Fe/L	0,3	1,08	1,29	2,22	2,42	1,95	1,79	1,86	1,72	0,75	0,89	2,52	2,52
Fluoreto	mg F- /L	1,5	18,4	16,8	2,06	1,74	0,91	0,96	3,67	4,12	0,90	0,86	1,02	0,96
Fósforo Total	mg P/L	-	1,17	1,09	3,39	3,79	2,37	2,29	1,82	1,62	1,37	1,36	4,34	4,97
Ítrio Total	mg Y/L	-	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Lantânio Total	mg La/L	-	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Lítio Total	mg Li/L	-	<0,0	<0,0	<0,0	<0,0	<0,0	<0,0 3	<0,0	<0,0	<0,0	<0,0	<0,0	<0,0
Magnésio Total	mg Mg/L	-	1,71	1,66	1,01	1,09	0,36	0,47	0,65	0,6	0,72	0,74	1,12	1,11
Manganês Total	mg Mn/L	0,1	0,78	0,87	0,18	0,19	0,06	0,07	0,09	0,07	0,67	0,76	1,14	1,21
Mercúrio Total	mg Hg/L	0,001	<0,0 002	<0,0 002	<0,0 002	<0,0 002	<0,0 002	<0,0 002	<0,0 002	<0,0 002	<0,0 002	<0,0 002	<0,0 002	<0,0 002
Molibdênio Total	mg Mo/L	-	0,43	0,39	0,09	0,1	0,04	0,03	<0,0 1	<0,0 1	0,03	0,02	0,01	<0,0
Níquel Total	mg Ni/L	-	<0,0 1	<0,0 1	<0,0 1	<0,0 1	<0,0 1	<0,0 1	<0,0 1	<0,0 1	<0,0 1	<0,0 1	0,01	0,01
Nitrato (N)	mg N_N O3/L	10	<0,0 2	<0,0	<0,0 2	<0,0	<0,0 2	<0,0 2	<0,0	<0,0 2	<0,0	<0,0	<0,0	<0,0
pH Extrato Solubilizad o	-	-	7,39	7,32	7,44	7,49	7,69	7,8	7,94	7,87	7,89	7,90	7,92	7,99
Potássio Total	mg K/L	-	2,47	2,33	1,11	1,36	0,88	0,9	1,24	1,18	1,62	1,57	1,79	1,82
Potencial Redox	mV	-	204	204	248	249	198	197	195	195	126	128	111	110
Prata Total	mg Ag/L	0,05	<0,0 05	<0,0 05	<0,0 05	<0,0 05	<0,0 05	<0,0 05	<0,0 05	<0,0 05	<0,0 05	<0,0 05	<0,0 05	<0,0 05
Selênio Total	mg/L	0,01	<0,0 01	<0,0 01	<0,0 01	<0,0 01	<0,0 01	<0,0 01	<0,0 01	<0,0 01	<0,0 01	<0,0 01	<0,0 01	<0,0 01





ESTUDO BARRAGEM B6 - ARAXÁ REVISÃO DO ESTUDO DE RUPTURA HIPOTÉTICA - EL. 980 m RELATÓRIO TÉCNICO

Nº MOSAIC	PÁGINA
	24/65
N° DF+	REV.
DF20-163-1-EG-RTE-0006	0

PARÂ- METRO	UNID.	VMP*		l 04 A B5		AM 05 LAMA B5				AM 06 RJ FLT B5		AM 07 RJ FLT B5		AM 09 Lama Usina		AM 10 Lama Usina	
Sódio Total	mg Na/L	200	55	52,6	36,8	37,2	23,7	24,4	29,9	30	19,6	19,7	26	25,2			
Sulfato	mg SO4/ L	250	43,3	40	18,5	17	10	10,8	21,7	20,3	3,39	3,40	3,46	3,39			
Surfactant es Aniônicos	mg MBA S/L	0,5	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3			
Telúrio Total	mg Te/L	-	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3			
Titânio Total	mg Ti/L	-	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1			
Tungstênio Total	mg W/L	-	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2			
Umidade	%	-	62,7	N.A.	20,6	N.A.	19,7	N.A.	10,5	N.A.	34,3	N.A.	38,5	N.A.			
Urânio Total	mg/L	-	0,00	0,00	0,00 4	0,00 4	0,00 2	0,00 2	0,00	0,00 2	<0,0 01	<0,0 01	<0,0 01	<0,0 01			
Vanádio Total	mg V/L	-	<0,0 1	<0,0 1	<0,0 1	<0,0 1	<0,0 1	<0,0 1	<0,0 1	<0,0 1	<0,0 1	<0,0 1	0,01	0,01			
Zinco Total	mg Zn/L	5	0,03	0,03	<0,0 2	<0,0 2	<0,0 2	<0,0 2	0,05	0,03	0,06	0,07	0,12	0,11			
Zircônio Total	mg Zr/L	-	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2			

^{*}VMP = Valor Médio Previsto

A respeito dos resultados das análises físico-químicas, observa-se que nenhuma amostra dentre as coletadas em 2020 foi classificada como resíduo perigoso nos termos da norma NBR ABNT 10.004/2004, sendo o material avaliado classificado como Classe II A, resíduo não perigoso não inerte, por apresentar alguma liberação de parâmetros de interesse ambiental em contato com a água.

Essa classificação já foi obtida em trabalho anterior de caracterização química do material utilizando 10 amostras coletadas na Barragem B5 (material equivalente ao da Barragem B6) no ano de 2015 (Laudos Bioagri Ambiental, 2015) como pode ser visto no Anexo II.

Como observado na Tabela 8.2, nenhuma amostra apresentou lixiviação acima dos limites previstos da norma ABNT NBR 10.004/2004. Desta maneira, nenhuma amostra foi classificada como resíduo perigoso, nos termos da referida norma.

À exceção do Bário, detectado em todas as amostras avaliadas em concentrações que poderiam ser consideradas significativas em termos ambientais, nenhum outro elemento de potencial interesse ambiental apresentou lixiviação relevante. O Bário possui grande afinidade pelo acetato utilizado no ensaio, o que afeta a representação das condições ambientais pelo ensaio. Vale a ressalva de que, mesmo em teores significativos, o Bário não ultrapassou os valores permitidos.

Com relação aos ensaios de solubilização apresentados na Tabela 8.3, as amostras avaliadas exibiram extrapolações aos limites previstos da norma ABNT NBR 10.004/2004,





ESTUDO
BARRAGEM B6 - ARAXÁ
REVISÃO DO ESTUDO DE RUPTURA HIPOTÉTICA - EL. 980 m
RELATÓRIO TÉCNICO

Nº MOSAIC	PÁGINA
	25/65
Nº DF+	REV.
DF20-163-1-EG-RTE-0006	0

principalmente para os parâmetros Alumínio, Fluoreto, Manganês e Ferro. As amostras de rejeito de flotação (AM 04 e AM 10) apresentaram, ainda, solubilizações de Bário. Todas as amostras, assim como recomenda a norma, foram analisadas em duplicata, que por sua vez apresentaram sempre resultados consistentes com as amostras originais.

A Amostra AM 04 Lama B5 foi a amostra que apresentou concentrações mais pronunciadas para os parâmetros que extrapolaram os limites da legislação, à exceção do Ferro, e principalmente para o Flúor.

Deve-se recordar que, no passado, alguns efluentes industriais (usina de beneficiamento da rocha fosfática e plantas químicas) eram encaminhados para a Barragem B1B4 e, na sequência, para Barragem B5, porém em volumes essencialmente inferiores àqueles mantidos pela usina de beneficiamento, prática essa não mais adotada. Alguns desses efluentes possuíam elevadas concentrações de flúor, que podem ter ficado associados na forma de precipitados de solubilidade intermediária junto aos rejeitos.

A amostra 04 está posicionada junto ao dreno de fundo da B1B4, por este motivo pode ter recebido e continuar recebendo maiores descargas de flúor, justificando assim seu comportamento distinto das demais amostras.

É bem provável que os rejeitos depositados na Barragem assumam comportamentos intermediários entre a amostra AM 04 e os rejeitos frescos avaliados (AM 09 e AM 10), que por sinal apresentaram as menores concentrações médias de flúor dentre as demais amostras.

A amostra AM 06 também apresentou concentrações similares de flúor as de rejeito fresco, o que reforça a afirmação anterior, e que demonstra que a influência das descargas de efluente do passado não influenciam de maneira homogênea todo o rejeito.

Fluoreto, Fósforo e Manganês foram observados de maneira sistemática nos extratos das amostras da Barragem B5, submetidos aos ensaios USEPA 1316, em praticamente todas as razões sólido líquido de todas as amostras, e em concentrações superiores aos limites de águas superficiais.

Especificamente o Flúor e Manganês foram observados em várias amostras e em várias razões sólido líquido acima dos limites permitidos para efluentes.

Em valores de pH abaixo de 4, significativa solubilização de Bário, Manganês, Fósforo, Alumínio, Flúor, Ferro, Cobalto, Chumbo e Zinco foi observada. No entanto, a ocorrência deste cenário somente seria possível através da geração de drenagem ácida, que não é provável que ocorra, visto que a mineralização não é sulfetada.

Ignorando a possibilidade da ocorrência de águas ácidas, o que se observa é que nas mais diversas condições testadas (pH e Razão Sólido-Líquido), as amostras de rejeito basicamente mostram o mesmo perfil de liberação de contaminantes. Em outras palavras, existe um quadro previsto, e consistente, de mobilidade de elementos associado aos rejeitos em todos os ensaios avaliados.





ESTUDO BARRAGEM B6 - ARAXÁ REVISÃO DO ESTUDO DE RUPTURA HIPOTÉTICA - EL. 980 m RELATÓRIO TÉCNICO

Nº MOSAIC	PÁGINA
	26/65
Nº DF+	REV.
DF20-163-1-EG-RTE-0006	0

8.2 CLASSIFICAÇÃO DO REJEITO

Em função dos resultados obtidos na caracterização química do material, apresentada no item 8.1, a amostra de rejeito é classificada como Classe II A – Resíduo Não Inerte. Esta classificação é dada a materiais que podem ter propriedades como combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água, mas que não estão contaminados por resíduos de processo industrial.

8.3 BATIMETRIA

O reservatório possui levantamento topobatimétrico datado de julho de 2019 realizado pela CCC Topografia, documento denominado "Barragem_B6_-_Lev._Planialtimetrico__Cota_980_-_Jul19" que pode ser encontrado no Anexo III. Este levantamento, no entanto, não foi diretamente utilizado no presente estudo, já que a avaliação foi feita para situação futura da Barragem B6.

9.0 HIDROGRAMA DE RUPTURA

9.1 HIPÓTESES DE RUPTURA E MODO DE FALHA

Foi utilizada como premissa a ruptura da Barragem B6 por galgamento, englobando o volume contido no reservatório, acima da superfície radial de 1º, projetada a partir do pé do talude de montante do maciço (acima das sinuosidades do terreno natural na base deste - El. 923,0 m), em direção às extremidades de montante do reservatório, conforme anteriormente explicitado, acrescido do volume da brecha. As definições de mobilização volumétrica e parâmetros de brecha para definição do hidrograma de ruptura são apresentadas nos itens que se seguem.

9.2 DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS DA BRECHA

O hidrograma de ruptura hipotética representa uma distribuição do volume de massa mobilizado no tempo. Essa distribuição temporal do volume é definida pela geometria da seção de controle (brecha) e do vale a jusante, pela energia potencial mobilizada e pela geometria do reservatório.

Pautados em casos reais de ruptura de barragens, os modelos paramétricos constituem-se de regressões matemáticas, usualmente multivariadas, ajustadas a parâmetros geométricos e hidráulicos medidos durante e após a abertura da brecha.

Pela relevância evidenciada na literatura aplicou-se, para definição dos parâmetros de formação da brecha das estruturas em estudo, o modelo paramétrico proposto por Froehlich (2016), que se baseia na análise de dados de 111 eventos de ruptura de barragem.

Os principais parâmetros envolvidos nos modelos paramétricos estão apresentados na Figura 9.1.





ESTUDO BARRAGEM B6 - ARAXÁ REVISÃO DO ESTUDO DE RUPTURA HIPOTÉTICA - EL. 980 m RELATÓRIO TÉCNICO

Nº MOSAIC	PAGINA
	27/65
Nº DF+	REV.
DF20-163-1-EG-RTE-0006	0

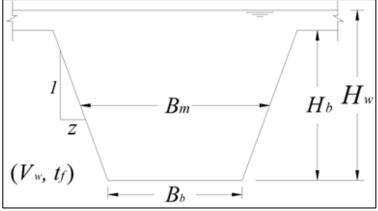


Figura 9.1 - Principais parâmetros de uma brecha típica.

Os parâmetros apresentados na Figura 9.1 referem-se a:

- V_w é a soma do volume de água e rejeitos no instante inicial da ruptura (m³);
- t_f é o tempo de formação total da brecha (h);
- z é o coeficiente de declividade lateral (adimensional);
- B_b é a largura da base inferior da brecha (m);
- B_m é a largura média da brecha (m);
- H_b é a altura final da brecha (m);
- H_w é a altura referente ao volume armazenado no reservatório no início da ruptura (m).

As etapas para a definição dos parâmetros apresentados na Figura 9.1, podem ser resumidas da seguinte maneira:

- Definição da altura da brecha (H_h);
- Definição da altura de material armazenado (H_w) , fixada nesses estudos com referência na cota da crista das estruturas;
- A partir da definição da altura H_w estima-se o volume V_w pela relação estabelecida na curva cota x volume do reservatório;
- Os demais parâmetros referentes à largura da brecha, tempo de formação e declividade são calculados pelas equações que correlacionam a altura da brecha, altura de material armazenado, volume armazenado e modo de falha.

Apresentam-se na sequência as equações paramétricas propostas por Froehlich (2016).

$$B_m = 0.23k_0V_w^{-1/3}$$
 Equação 9.1

$$t_f = 60.0 \sqrt{\frac{V_w}{gH_b^2}}$$
 Equação 9.2

Nas equações apresentadas:





ESTUDO BARRAGEM B6 - ARAXÁ REVISÃO DO ESTUDO DE RUPTURA HIPOTÉTICA - EL. 980 m RELATÓRIO TÉCNICO

DF20-163-1-EG-RTE-0006	0
Nº DF+	REV.
	28/65
Nº MOSAIC	PÁGINA

• k_0 é o coeficiente de ajuste em função do modo de falha (1,0 para o caso de *piping*, 1,5 para o caso de galgamento).

As equações de Froehlich (2016) apresentaram resultados geométricos coerentes com a geometria das ombreiras do maciço para a estrutura analisada.

Apresentam-se, na Tabela 9.1, os resultados resumidos dos parâmetros estimados para a brecha de ruptura hipotética da Barragem B6. Destaca-se que o volume da brecha no maciço não foi considerado para definição dos parâmetros.

Tabela 9.1 - Parâmetros da brecha de ruptura hipotética.

Parâmetros	Barragem B6
Modo de falha	Galgamento
Elevação da crista da barragem (m)	980,0
Elevação do pé do talude de montante do maciço (m)	920,0
Elevação do pé do talude de jusante do maciço (m)	911,0
Elevação do fundo da brecha (m)	923,0
Altura da barragem (m)	60,0
Volume total mobilizado para formação da brecha (x 103 m3)	53.531,82
Altura da brecha (m)	57,0
Inclinação lateral (H:1V)	1,0
NA no início da ruptura (m)	980,1
Carga hidráulica à montante da brecha (m)	57,10
Largura mínima da brecha (m)	73,0
Tempo de formação da brecha (h)	0,68
Modo de progressão	Curva "S" Senoidal

Os parâmetros apresentados na Tabela 9.1 foram utilizados para o desenvolvimento do hidrograma de ruptura apresentado na sequência.

9.3 DESENVOLVIMENTO DO HIDROGRAMA DE RUPTURA

Os parâmetros calculados por meio das equações paramétricas permitem a definição das características geométricas finais da brecha e dos tempos de formação que ditarão a taxa de progressão de seu instante inicial até sua plenitude.





ESTUDO BARRAGEM B6 - ARAXÁ REVISÃO DO ESTUDO DE RUPTURA HIPOTÉTICA - EL. 980 m RELATÓRIO TÉCNICO

Nº MOSAIC	PÁGINA
	29/65
Nº DF+	REV.
DF20-163-1-EG-RTE-0006	0

Para a definição da progressão da brecha no tempo, adotou-se a relação denominada "Curva S" ou curva senoidal.

O conceito por trás da curva senoidal é o de atribuir, ao crescimento da brecha, intensidades diferentes no tempo. Teoricamente, no início do processo de abertura da brecha, o maciço da barragem fornece maior resistência à erosão e o fenômeno de transporte de sedimentos é menos intenso.

Na medida em que a brecha se desenvolve, seu processo de abertura é intensificado pelo aumento das velocidades do fluxo descarregado por ela, que apresenta alto potencial de carreamento de sólidos. Próximo ao final da ruptura, quando do esvaziamento do reservatório, as velocidades afluentes à brecha são reduzidas, assim como a carga hidráulica sobre ela. Essas reduções desaceleram o processo de abertura, tendendo a um estado de equilíbrio entre as tensões de arraste do escoamento e a resistência do solo.

Dessa forma, durante a abertura da brecha, o reservatório é deplecionado e as vazões constituintes do hidrograma efluente são calculadas, considerando o estrangulamento do escoamento, a carga hidráulica a montante e as dimensões instantâneas da brecha. No âmbito desse trabalho, essa simulação foi realizada pela aplicação da lei de conservação da massa introduzida no modelo de armazenamento incorporado ao programa HEC-HMS (USACE, 2010).

A simulação de deplecionamento do reservatório, realizada por meio da taxa de crescimento associada aos parâmetros de tempo de formação e geometria final da brecha, resultou na formação do hidrograma de ruptura hipotética da Barragem B6 (Figura 9.2), que foi utilizado como entrada para a propagação da onda a jusante da estrutura.

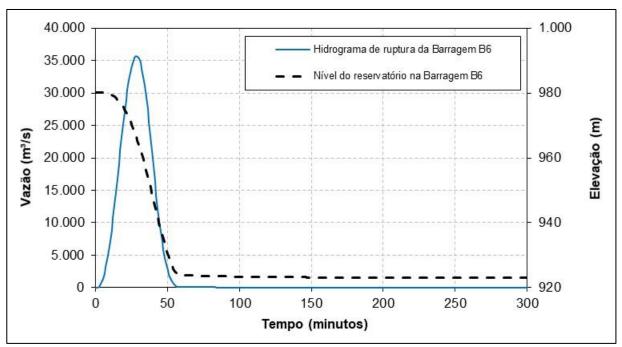


Figura 9.2 - Deplecionamento do reservatório e hidrograma de ruptura da Barragem B6.





ESTUDO BARRAGEM B6 - ARAXÁ REVISÃO DO ESTUDO DE RUPTURA HIPOTÉTICA - EL. 980 m RELATÓRIO TÉCNICO

DF20-163-1-EG-RTE-0006	0
Nº DF+	REV.
	30/65
Nº MOSAIC	PÁGINA

9.4 VOLUME MOBILIZADO

Para estruturas de contenção de rejeito, muitas vezes apenas parte do material depositado no reservatório é liberada para jusante em caso de ruptura, diferentemente das estruturas de contenção de água, em que o volume armazenado é integralmente mobilizado. Assim, para estudos de ruptura hipotética de estruturas de armazenamento de rejeitos, faz-se necessária uma análise para definição da parcela do volume a ser propagada para jusante.

Lucia (1981) desenvolveu uma metodologia baseada no equilíbrio estático para prever a configuração final de um evento de ruptura por fluxo. De acordo com o autor, após desencadeado o fenômeno da liquefação, as forças de contato entre grãos vão se desfazendo e passando para o fluido, que possui apenas resistência viscosa. Durante o fluxo, sempre haverá contato entre os grãos, resultando em resistência residual. No momento em que as forças atuantes se igualam às desenvolvidas pela mobilização da resistência residual, a massa entra em repouso.

Lucia (1981) desenvolveu estudos de retro análise de casos históricos de quatorze rupturas de barragens de rejeitos, observando que todos os rejeitos liquefeitos saturados continuaram a fluir até que se atingisse taludes de 1° a 4°.

Dessa forma, para a Barragem B6, o volume contido no reservatório acima da praia formada, considerando o ângulo de repouso dos rejeitos em sua estabilização pós-ruptura igual a 1°, projetado a partir da cota do pé do talude de montante do maciço (923,0 m) para montante do reservatório, foram mobilizados.

A ocupação por rejeitos se deu conforme informação de ocupação do reservatório apresentada no desenho "AR42DE004-R0" da Barragem B6 na El. 980,0 m, elaborado pela Geoconsultoria em março de 2019. Conforme o desenho supracitado e o relatório "AR42RT01-R1" do Projeto Conceitual elaborado pela Geoconsultoria, em abril de 2019, os rejeitos de flotação *overflow* apresentam declividade emersa de 2% e submersa de 5%, e os rejeitos da praia de montante (lama e rejeitos finos) apresentam declividade emersa de 0,2% e submersa de 1%.

Considerou-se ainda a mobilização do volume da brecha de ruptura formada no maciço da Barragem B6.

O croqui esquemático da Figura 9.3 ilustra, em seção transversal, a ocupação considerada e a parcela deslocada para a Barragem B6.



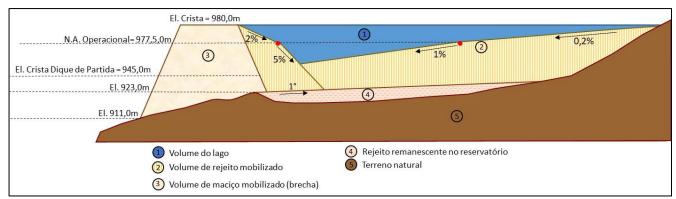


Figura 9.3 – Esquema representativo do volume mobilizado na ruptura da Barragem B6.

O volume total mobilizado, considerando as premissas apresentadas, foi da ordem de 54,5 hm³.

Apresenta-se, na sequência (Tabela 9.2 e Figura 9.4), a curva cota x volume adotada para a estimativa do hidrograma de ruptura da Barragem B6, conforme considerações supracitadas.

Tabela 9.2 – Curva cota x volume – Volume mobilizado – Ruptura hipotética Barragem B6.

	va oota x volame	Volumes Acumu	ılados (x1000 m³)	
Elevação (m)	Rejeitos	Água	Brecha	Total Mobilizado
911	-	-	0,0	0,0
912	-	-	5,1	5,1
913	-	-	13,6	13,6
914	-	-	25,2	25,2
915	-	-	40,3	40,3
916	-	-	59,0	59,0
917	-	-	80,2	80,2
918	-	-	102,4	102,4
919	-	-	124,9	124,9
920	-	-	147,9	147,9
921	-	-	171,1	171,1
922	-	-	194,7	194,7
923	0,0	-	218,7	218,7
924	2,9	-	242,9	245,8
925	9,9	-	267,3	277,3
926	24,2	-	291,7	315,9
927	49,8	-	316,1	365,8
928	89,7	-	340,6	430,4
929	147,3	-	365,4	512,6
930	224,1	-	390,2	614,4
931	319,4	-	415,2	734,5





ESTUDO BARRAGEM B6 - ARAXÁ REVISÃO DO ESTUDO DE RUPTURA HIPOTÉTICA - EL. 980 m RELATÓRIO TÉCNICO

Nº MOSAIC	PÁGINA
	32/65
N° DF+	REV.
DF20-163-1-EG-RTE-0006	0

		1		
932	435,6	-	440,1	875,8
933	575,2	-	465,1	1.040,3
934	736,2	-	490,1	1.226,3
935	917,6	-	515,0	1.432,6
936	1.121,0	-	539,6	1.660,6
937	1.350,0	-	563,8	1.913,9
938	1.607,3	-	588,0	2.195,3
939	1.892,7	-	612,1	2.504,8
940	2.206,5	-	636,1	2.842,7
941	2.550,2	-	660,0	3.210,2
942	2.924,5	-	683,7	3.608,2
943	3.330,5	-	707,3	4.037,7
944	3.769,3	-	730,7	4.500,0
945	4.242,3	-	753,9	4.996,1
946	4.750,8	-	776,5	5.527,3
947	5.297,1	-	798,6	6.095,7
948	5.883,7	-	820,4	6.704,1
949	6.512,6	-	842,0	7.354,6
950	7.187,1	-	863,3	8.050,4
951	7.910,5	-	884,3	8.794,7
952	8.685,0	-	905,0	9.589,9
953	9.512,2	-	925,3	10.437,6
954	10.393,7	-	945,4	11.339,1
955	11.330,7	-	964,9	12.295,7
956	12.322,9	-	983,7	13.306,6
957	13.369,9	-	1.001,8	14.371,7
958	14.472,1	-	1.019,5	15.491,6
959	15.630,1	-	1.036,8	16.666,9
960	16.845,1	-	1.053,6	17.898,6
961	18.118,3	-	1.069,9	19.188,2
962	19.451,0	-	1.085,8	20.536,8
963	20.845,6	-	1.101,1	21.946,7
964	22.305,5	-	1.116,0	23.421,5
965	23.834,3	-	1.130,0	24.964,3
966	25.430,8	-	1.143,1	26.573,8
967	27.097,5	-	1.155,4	28.252,9
968	28.827,0	-	1.167,1	29.994,1
969	30.602,7	-	1.178,3	31.781,0
970	32.423,6	0,0	1.188,8	33.612,4
971	34.201,9	94,0	1.198,7	35.494,6



972	35.939,6	278,7	1.207,9	37.426,3
973	37.623,0	564,2	1.216,5	39.403,7
974	39.147,4	1.054,9	1.224,4	41.426,7
975	40.481,9	1.787,1	1.231,5	43.500,5
976	41.640,2	2.739,3	1.237,4	45.617,0
977	42.651,3	3.855,4	1.242,2	47.748,9
978	43.157,3	5.523,0	1.246,2	49.926,5
979	43.765,0	7.190,5	1.249,4	52.205,0
980	44.439,5	8.858,1	1.251,4	54.549,0

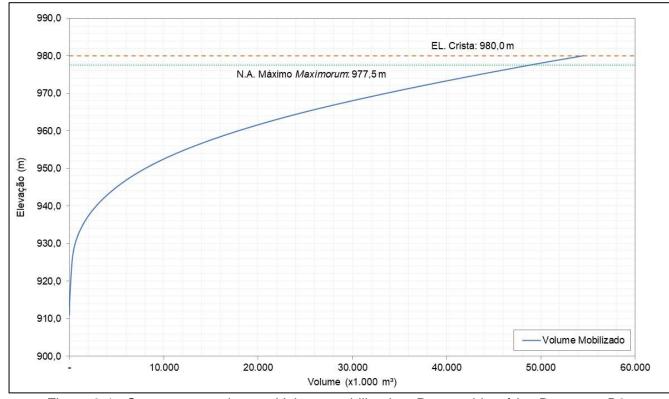


Figura 9.4 - Curva cota x volume – Volume mobilizado – Ruptura hipotética Barragem B6.

10.0 PROPAGAÇÃO DA ONDA DE RUPTURA

10.1 MODELO MATEMÁTICO COMPUTACIONAL

Para a simulação da propagação da onda de ruptura hipotética, aplicou-se o modelo computacional bidimensional RiverFlow2D® (HYDRONIA, 2016), baseado nas equações de águas rasas (*Shallow Water Equations*), e resultante de adaptações feitas às equações de movimento de Navier-Stokes.

Esse modelo matemático não inclui os termos de dispersão e turbulência. A dissipação de energia e turbulência é considerada apenas pela aplicação do parâmetro de rugosidade de





ESTUDO BARRAGEM B6 - ARAXÁ REVISÃO DO ESTUDO DE RUPTURA HIPOTÉTICA - EL. 980 m RELATÓRIO TÉCNICO

Nº MOSAIC	PÁGINA
	34/65
Nº DF+	REV.
DF20-163-1-EG-RTE-0006	0

Manning (n) nas equações de momentum. As equações desse modelo matemático foram solucionadas pelo método aproximado de Riemann aplicado a volumes finitos.

Para os escoamentos hiperconcentrados, o módulo de corrida de lama e detritos (*Mud and Debris Flow – MD*) possui disponíveis 8 formulações reológicas, e trabalha com fluidos diluídos (escoamento turbulento) a fluidos mais concentrados (movimento de massa). De acordo com a formulação reológica utilizada, o modelo leva em consideração os parâmetros mais característicos e representativos da massa, os quais fazem parte a tensão de cisalhamento (τ_y) , a viscosidade dinâmica (η) , a densidade do fluido (ρ) e o ângulo de repouso do material.

Independentemente da distância entre os elementos de cálculo, para a convergência numérica do modelo hidrodinâmico, o RiverFlow2D[®] apresenta intervalo de tempo computacional variável e automático, sempre respaldado pelo critério de estabilidade de *Courant–Friedrichs–Lewy* (CFL).

Para a definição dos volumes finitos de controle, o modelo RiverFlow2D[®] utiliza malhas não-estruturadas capazes de representar adequadamente o contorno geométrico do terreno. Para a modelagem do fluxo bidimensional foram geradas malhas computacionais com células de dimensões 20 m, adensadas para 10 m na região dos talvegues. A região limitada pela malha define o limite em que os cálculos 2D serão realizados, com base nos detalhes do modelo digital de elevação utilizado. A Figura 10.1 apresenta o domínio computacional e linha de adensamento gerados para o desenvolvimento da simulação.





ESTUDO BARRAGEM B6 - ARAXÁ REVISÃO DO ESTUDO DE RUPTURA HIPOTÉTICA - EL. 980 m RELATÓRIO TÉCNICO

Nº MOSAIC	PÁGINA
	35/65
Nº DF+	REV.
DF20-163-1-EG-RTE-0006	0

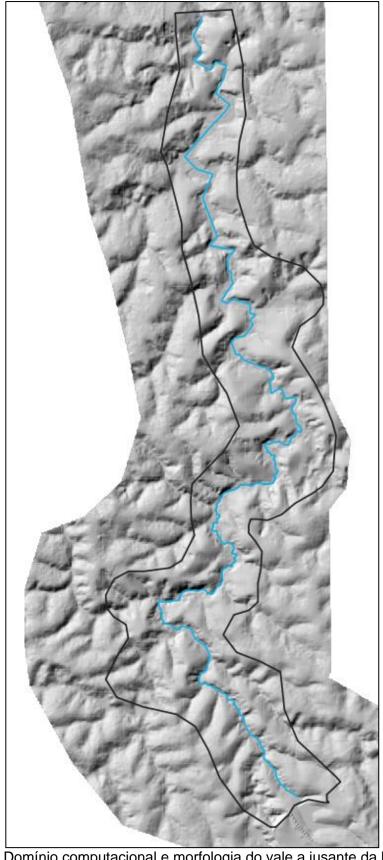


Figura 10.1 – Domínio computacional e morfologia do vale a jusante da Barragem B6.



A Figura 10.2 apresenta, a título de exemplificação, um trecho da malha computacional.

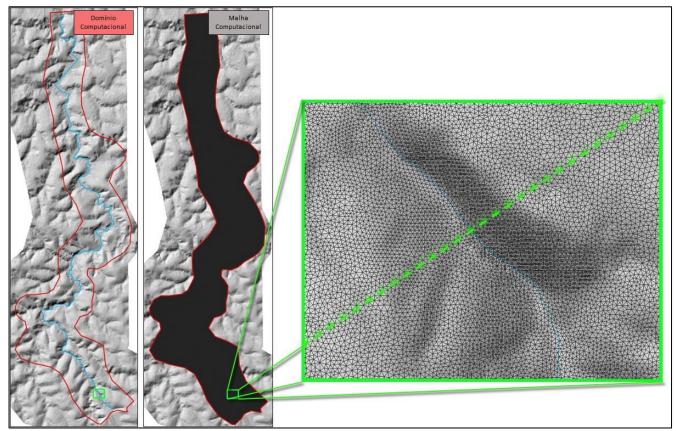


Figura 10.2 – Malha Computacional.

10.2 PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA

Em consonância com os objetivos desse trabalho, a simulação da propagação da onda de ruptura aplicou apenas o modelo matemático de propagação de lama e detritos. Quando da utilização de determinadas formulações reológicas, o coeficiente de Manning é aplicado como o parâmetro de rugosidade do terreno.

Dessa forma, foi gerado um mapa de uso do solo da região a jusante da Barragem B6 e, a partir dele, associado um valor de coeficiente de rugosidade de Manning para cada pixel analisado, tendo como base cada um dos tipos de uso e ocupação identificado em imagens de satélite.

Destaca-se que os parâmetros de rugosidade de Manning não foram calibrados em função da inexistência de registros e medições de descarga nas estações fluviométricas que fossem da mesma ordem de grandeza das vazões do hidrograma de ruptura.

Os coeficientes de rugosidade foram atribuídos a partir de valores reportados em bibliografia (Chow, 1959), considerando-se o julgamento de engenharia aplicado às variações da





ESTUDO BARRAGEM B6 - ARAXÁ REVISÃO DO ESTUDO DE RUPTURA HIPOTÉTICA - EL. 980 m RELATÓRIO TÉCNICO

DF20-163-1-EG-RTE-0006	0
Nº DF+	REV.
	37/65
Nº MOSAIC	PÁGINA

cobertura do solo, apresentados na Tabela 10.1. Na Figura 10.3 apresenta-se a espacialização dos parâmetros de rugosidade.

Tabela 10.1 – Parâmetros de rugosidade de Manning (n).

Tipologia	Coeficiente de rugosidade de Manning (n)
Corpo d'água	0,025
Áreas Industriais	0,015
Solo exposto	0,035
Vegetação densa	0,070
Vegetação esparsa	0,050
Vegetação rasteira	0,045
Áreas mineradas	0,035
Rejeito/Sedimento	0,035
Plantações	0,050
Áreas de plantações – sem cultivo	0,040
Vias asfaltadas	0,015
Áreas urbanas	0,060





ESTUDO BARRAGEM B6 - ARAXÁ REVISÃO DO ESTUDO DE RUPTURA HIPOTÉTICA - EL. 980 m RELATÓRIO TÉCNICO

 N° MOSAIC
 PÁGINA

 38/65
 REV.

 DF20-163-1-EG-RTE-0006
 0

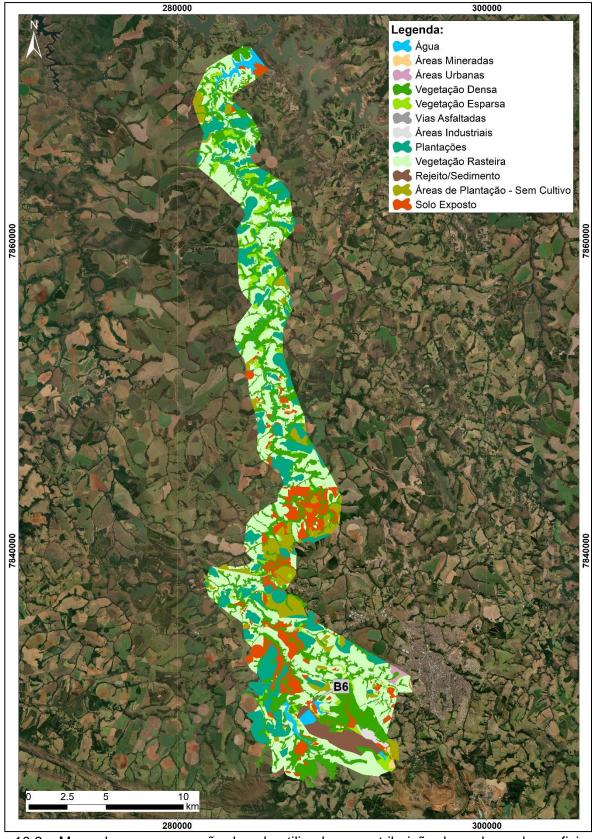


Figura 10.3 – Mapa de uso e ocupação do solo utilizado para atribuição dos valores de coeficiente de rugosidade de Manning.





ESTUDO
BARRAGEM B6 - ARAXÁ
REVISÃO DO ESTUDO DE RUPTURA HIPOTÉTICA - EL. 980 m
RELATÓRIO TÉCNICO

Nº MOSAIC	PÁGINA
Nº DF+	39/65 REV.
DF20-163-1-EG-RTE-0006	0

10.3 ASPECTOS REOLÓGICOS DO REJEITO

A utilização de parâmetros reológicos é representativa para se obter uma assertividade maior na propagação do fluido, que pode apresentar resultados de tempo, distância e área inundada diferentes de quando se utiliza o fluido somente como água. Isso se deve ao fato de que a energia presente na mecânica do fluxo dos rejeitos quando de uma eventual ruptura (peso e velocidade do fluxo), quando passa a ser superada pelas forças de resistência ao fluxo (cisalhantes e turbulentas), forças viscosas ao longo da base do fluxo e forças de tensão com a superfície do terreno, faz com que o fluido reduza a velocidade e tenda ao repouso. Quanto maior a concentração de sedimentos na massa, maiores serão as tensões internas no fluido, e maior energia será necessária ao escoamento.

Os dados trabalhados das propriedades reológicas da massa mobilizada, abrangem todo o volume a ser escoado para jusante, levando em conta os volumes de rejeitos, dos maciços e de água.

Uma vez determinado o volume de ruptura dos rejeitos e do maciço, deve-se mensurar o volume de água sobrenadante presente nos reservatórios no momento da ruptura. O volume de água presente no reservatório no momento da ruptura tem relação direta com o modo de falha que dá gatilho à ruptura.

Um ponto importante na estimativa dos parâmetros está relacionado à concentração volumétrica da massa a ser mobilizada, que depende do nível freático e índice de vazios do rejeito e do maciço.

Uma vez determinado o volume do lago (V_W) e o volume de ruptura (V_R) e tendo posse das relações reológicas constitutivas dos rejeitos (τ_y x C_V e η_p x C_V) é possível estimar as propriedades reológicas do fluxo de rejeitos para diferentes cenários.

Segundo Queiroga (2015), o teor de sólidos médio do rejeito em fluxo, após a mistura com a água do lago é dado por:

$$C_V = \frac{R}{(\tilde{\mathrm{e}}+1)}$$
 Equação 10.1

Em que,

- C_V é o teor de sólidos médio do rejeito em fluxo;
- ē é o índice de vazios médio da massa de rejeitos rompidos;
- R é um parâmetro adimensional, dado por:

$$R = \left(\frac{V_R}{V_R + V_W}\right)$$
 Equação 10.2





PÁGINA

40/65

REV.

0

ESTUDO
BARRAGEM B6 - ARAXÁ
REVISÃO DO ESTUDO DE RUPTURA HIPOTÉTICA - EL. 980 m
RELATÓRIO TÉCNICO

Nº MOSAIC

Nº MOSAIC

Nº DF+

DF20-163-1-EG-RTE-0006

- V_R é o volume de ruptura dos rejeitos;
- V_W é o volume de água livre presente no reservatório no momento da ruptura.

O parâmetro "R" pode ser denominado "razão da mistura" da massa de rejeitos rompida e a água do lago, e varia de zero, quando o volume de água no reservatório é infinitamente maior que o volume de ruptura, a um, quando a estrutura não apresenta lago (QUEIROGA, 2015).

O`Brien & Julien (1985) apresentaram uma classificação dos tipos de fluxo de corridas de massa de acordo com a concentração de sólidos em volume (Cv) da massa rompida. Essa classificação é apresentada na Tabela 10.2.

Tabela 10.2 – Classificação do tipo de escoamento em função do teor de sólidos volumétrico

(O`BRIEN & JULIEN, 1985 apud MELO, 2013).

Característica do escoamento	Concentração Volumétrica (Cv)	Descrição do escoamento
Facerragements	0,53 – 0,90	Não há escoamento
Escorregamento	0,50 – 0,53	Deformações internas e movimento lento devido às tensões.
Lama plástica	0,48 – 0,50	Escoamento evidente, apesar de lento / Deformações plásticas sem espraiamento sobre as superfícies adjacentes.
	0,45 – 0,48	Início de espraiamentos, apesar da atuação de forças coesivas.
	0,40 – 0,45	Mistura-se com facilidade / Apresenta fluidez na deformação alastrando-se sobre superfícies horizontais / Durante movimento a superfície do fluido apresenta considerável declividade / Aparecimento de ondas com dissipação rápida.
Corrida de lama	0,35 – 0,40	Acentuada sedimentação / Alastra-se quase por completo sobre superfícies horizontais / Identificação de duas fases
	0,30 – 0,35	Separação de água na superfície / ondas propagam-se com facilidade / decantação de partículas granulares
	0,20 - 0,30	Ação de ondas distinta / Superfície fluida / todas as partículas foram decantadas
Escoamento aquoso	<0,20	Inundação provocada por propagação de onda no estado líquido com de carga de sedimentos suspensos

A Tabela 10.3 apresenta a composição do teor de sólidos volumétrico para a Barragem B6, conforme considerações apresentadas no item 9.4.

Tabela 10.3 - Teor de sólidos para a Barragem B6.

Tabela 10:0 Teel de collace para à Barragelli Be.		
Barragem B6 – El. 980 m		
Vol. de rejeitos - V _R (m³)	44.439.534	
Vol. do maciço - V _R (m³)	1.251.359	
Vol. de Água Livre - Vw (m³)	8.858.083	
Índice de Vazios (ē)	1,0	



Barragem B6 – El. 980 m	
Teor de Sólidos Volumétrico – Cv	0,42
Razão da Mistura - R	0,84
Característica do escoamento	Corrida de Lama

Em seu estudo, Queiroga (2015), para determinação das propriedades reológicas dos rejeitos, ensaiou rejeitos de minério de ferro para diversos teores de sólidos, através de ensaios de naturezas distintas. Os resultados do viscosímetro coaxial de palhetas permitiram calcular com maior precisão a resistência desenvolvida nos rejeitos para teores de sólidos volumétricos abaixo de 35%, o que não foi possível com a utilização dos ensaios de *Slump* e Mini Vane. Ainda assim, o mínimo Cv ensaiado no viscosímetro por Queiroga (2015), foi de 21,8%.

Para o cenário em estudo, o escoamento apresenta característica de corrida de lama, de forma que se optou por realizar as simulações considerando comportamento não-newtoniano (escoamento hiperconcentrado). Assim, utilizou-se o *software* RiverFlow2D[®] no módulo de corrida de lama e detritos (*Mud and Debris Flow – MD*).

Em virtude da falta de dados específicos sobre as características reológicas do rejeito acumulado na Barragem B6 (e na B5, que foi utilizada como referência deste estudo), os parâmetros foram definidos por meio das equações propostas por Queiroga (2015) para os dados do rejeito estudado, através de ensaios no viscosímetro, mesmo que seja esperada a existência de diferenças nas propriedades reológicas destes (Figura 10.4 e Figura 10.5).

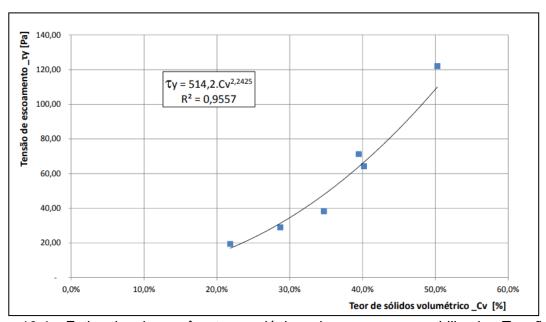


Figura 10.4 – Estimativa dos parâmetros reológicos da massa a ser mobilizada - Tensão de cisalhamento. Fonte: Queiroga, 2015.





ESTUDO
BARRAGEM B6 - ARAXÁ
REVISÃO DO ESTUDO DE RUPTURA HIPOTÉTICA - EL. 980 m
RELATÓRIO TÉCNICO

 N° MOSAIC
 PÁGINA

 42/65
 REV.

 DF20-163-1-EG-RTE-0006
 0

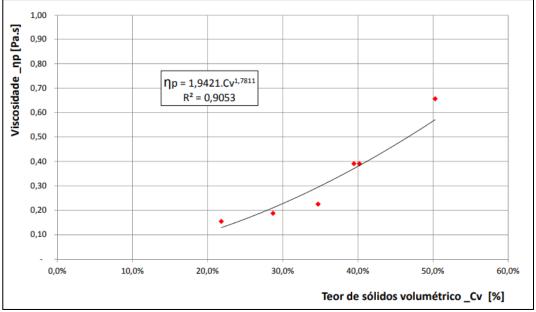


Figura 10.5 – Estimativa dos parâmetros reológicos da massa a ser mobilizada - Viscosidade Dinâmica. Fonte: Queiroga, 2015.

Para a determinação da densidade do fluido (ρ), utilizou-se a equação proposta no *software* RiverFlow2D®:

$$\rho = 1000 * (1 + (\delta - 1) * Cv)$$

Equação 10.3

Em que,

- ρ é a densidade do fluido (kg/m³);
- δ é a massa específica do material (g/cm³);
- *Cv* é o teor de sólidos volumétrico da mistura (Adimensional).

Adotou-se como premissa o índice de vazios médio igual a 1,0 As informações de massa específica do material do rejeito e maciço da Barragem B6 foram extraídas do relatório VF-133-RL-28188-00, referente ao projeto executivo da Barragem B6, elaborado pela Pimenta Ávila em 2013.

A Tabela 10.4 apresenta a estimativa média dos parâmetros reológicos frente às premissas abordadas para o presente estudo.

Tabela 10.4 - Parâmetros reológicos da massa de rejeitos a ser mobilizada no cenário de simulação.

Estrutura	Barragem B6
Teor de Sólidos Volumétrico (C _V)	0,42
Tensão de Cisalhamento (τ _γ) - Pa	73,03





ESTUDO
BARRAGEM B6 - ARAXÁ
REVISÃO DO ESTUDO DE RUPTURA HIPOTÉTICA - EL. 980 m
RELATÓRIO TÉCNICO

Nº MOSAIC	PÁGINA
	43/65
Nº DF+	REV.
DF20-163-1-EG-RTE-0006	0

Viscosidade Dinâmica (η _p) – Pa.s	0,42
Massa específica dos grãos do rejeito - g/cm³	3,5
Massa específica dos grãos do maciço - g/cm³	3,39
Densidade da mistura (ρ) – Kg/m³	2.045,75

Todos os índices físicos apresentados foram calculados assumindo que o solo esteja saturado (S=100%) no momento da ruptura.

10.4 CONDIÇÕES INICIAIS E DE CONTORNO

Para as simulações hidráulicas da ruptura hipotética da Barragem B6, aplicaram-se condições de contorno compatíveis com o sistema simulado e com os objetivos do estudo, tal como sintetizado a seguir.

- A condição de contorno de entrada para a simulação consistiu no hidrograma de ruptura da Barragem B6, apresentado na Figura 9.2;
- Como condição de contorno de saída para a simulação foi utilizada profundidade normal, referente a uma declividade média do talvegue natural no trecho, correspondente a aproximadamente a 0,001 m/m;
- Como equação reológica para propagação da massa de rejeito, optou-se pela utilização da formulação *Full Bingham*, que leva em consideração a tensão de cisalhamento (τ_y), a viscosidade dinâmica (η) e a densidade do fluido (ρ). A propagação dos rejeitos foi simulada considerando uma fase única (média) de escoamento.

10.5 VERIFICAÇÃO DO CRITÉRIO DE INTERRUPÇÃO

A aproximadamente 65 km da Barragem B6 (285.257m E/ 7.858.863m S), a onda de ruptura em trânsito pelo Rio Capivara atinge a confluência com o Córrego da Gurita. A Figura 10.6 apresenta a localização do ponto para verificação da possibilidade de interrupção, com área de drenagem de 1.231 km², e os demais pontos analisados.



RELATÓRIO TÉCNICO

	COMPLEXO MINEROO DE ARAXÁ	QUÍMICO
	Nº MOSAIC	PÁGINA
		44/65
)	Nº DF+	REV.

0

DF20-163-1-EG-RTE-0006

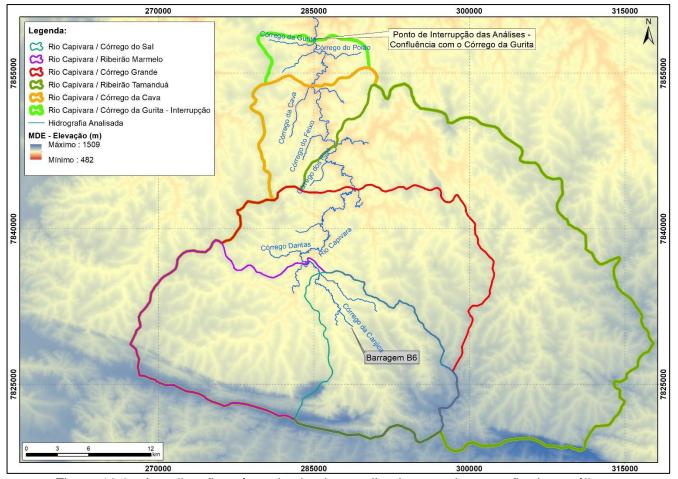


Figura 10.6 – Localização e área das bacias analisadas para interrupção das análises.

A magnitude da área de drenagem da bacia hidrográfica neste ponto subsidiou a hipótese de que o hidrograma de ruptura, já abatido pela resistência ao escoamento nos trechos a montante, apresentaria vazões da mesma ordem de grandeza das vazões de cheias naturais neste trecho do curso de água.

Comprovada essa hipótese, as vazões do hidrograma de ruptura não apresentariam potencial de dano e sobrelevação além daqueles já comumente experimentados no curso de água em questão.

Os registros apresentados no item 7.2 foram utilizados para desenvolvimento de uma análise de frequência regional de eventos hidrológicos máximos a partir do método da cheia índice (*Index-Flood Method*).

Essa etapa iniciou-se com uma análise sucinta dos registros fluviométricos das estações relacionadas na Tabela 7.2.

Para as estações selecionadas (Figura 10.7) aplicou-se a metodologia de análise de frequência local à série de vazões médias diárias máximas anuais consistidas na origem.





ESTUDO
BARRAGEM B6 - ARAXÁ
REVISÃO DO ESTUDO DE RUPTURA HIPOTÉTICA - EL. 980 m
RELATÓRIO TÉCNICO

Nº MOSAIC	PÁGINA
	45/65
№ DF+	REV.
DF20-163-1-EG-RTE-0006	0

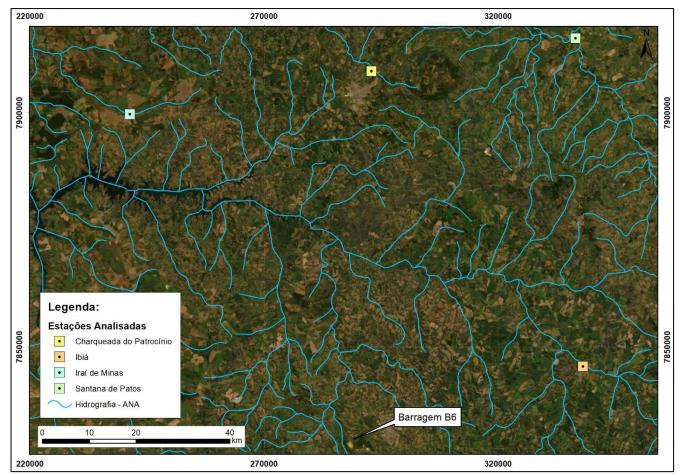


Figura 10.7 - Localização das estações fluviométricas analisadas.

A partir do ajuste da distribuição teórica Gumbel às amostras de vazões máximas obtiveramse os quantis de tempo de retorno igual a 2,33 anos ($Q_{2,33}$) posteriormente regionalizados em função da área de drenagem das estações fluviométricas.

Os resultados da regionalização da cheia $Q_{2,33}$, bem como o ajuste matemático aplicado aos pontos de referência estão apresentados na Figura 10.8.



BARRAGEM B6 - ARAXÁ

RELATÓRIO TÉCNICO



COMPLEXO MINEROQUÍMICO DE ARAXÁ

REVISÃO DO ESTUDO DE RUPTURA HIPOTÉTICA - EL. 980 m

Nº MOSAIC	PÁGINA
	46/65
Nº DF+	REV.
DF20-163-1-EG-RTE-0006	0

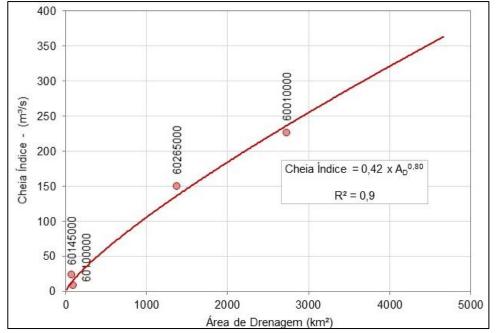


Figura 10.8 - Curva de regionalização da cheia índice - Q_{2,33}.

Os valores da cheia índice estimada nas estações fluviométricas foi utilizado como referência para a adimensionalização dos quantis de vazão resultantes da análise de frequência local.

Apresenta-se na Figura 10.9 a distribuição de probabilidades regional, adimensionalizada pela cheia índice e representativa das análises de frequência de todas as estações fluviométricas.

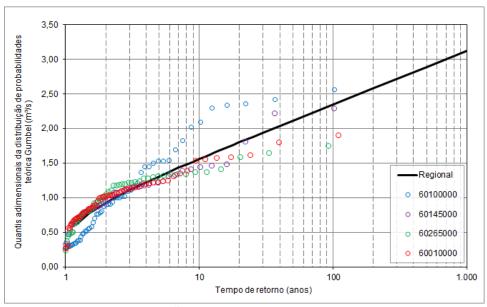


Figura 10.9 – Distribuição de probabilidades regional adimensional

Finalmente, a distribuição de probabilidades regional foi aplicada aos eixos fluviais de interesse nos estudos para a definição dos quantis de cheia nesses locais.





ESTUDO BARRAGEM B6 - ARAXÁ REVISÃO DO ESTUDO DE RUPTURA HIPOTÉTICA - EL. 980 m RELATÓRIO TÉCNICO

Nº MOSAIC	PÁGINA
	47/65
Nº DF+	REV.
DF20-163-1-EG-RTE-0006	0

Ressalta-se que os quantis resultantes da análise de frequência regional representam valores de vazões médias diárias e foram corrigidos para a devida representação da vazão instantânea por meio da aplicação do coeficiente de Füller.

O resumo dos resultados para os cálculos das cheias em vários eixos de referência está apresentado na Tabela 10.5.

Tabela 10.5 – Estimativa das cheias naturais nos trechos de interesse para o estudo.

Eixo fluvial / confluência de referência	Rio Capivara / Córrego do Sal	Rio Capivara / Ribeirão Marmelo	Rio Capivara / Córrego Grande	Rio Capivara / Ribeirão Tamanduá	Rio Capivara / Córrego da Cava	Rio Capivara / Córrego da Gurita – Interrupção das Análises
Área de drenagem (km²)	164	387	622	1.112	1.192	1.231
Coeficiente de Füller	1,58	1,45	1,39	1,32	1,32	1.31

Tempo de retorno (anos)	Quantis de vazão máxima instantânea (m³/s)					
2	36,3	66,2	92,9	141	149	152
5	51,2	93,4	131	199	210	215
10	61,1	111	156	238	250	256
25	73,5	134	188	286	301	308
50	82,7	151	212	322	339	347
100	91,9	168	235	358	376	385

Pelos resultados apresentados na Tabela 10.5 observa-se que, para um tempo de retorno de 2 anos, a vazão na confluência em análise é da ordem de 152 m³/s.

Essa constatação facultou a interrupção das análises hidráulicas e apresentação dos resultados da propagação da onda de cheia até o ponto considerado, a aproximadamente 65km da Barragem B6, uma vez que o pico de vazão do hidrograma da onda proveniente da ruptura da estrutura propagado até esse trecho (12 m³/s) apresentou grandeza inferior à das cheias naturais para tempo de retorno de 2 anos.

11.0 RESULTADOS DO ESTUDO DE RUPTURA HIPOTÉTICA

Os resultados da inundação foram extraídos do modelo matemático apenas para as seções transversais notáveis cujas posições estão evidenciadas nos desenhos relacionados no APÊNDICE A.

As seções notáveis (Figura 11.1) foram posicionadas de modo a representarem a inundação em pontos de interesse relevante ao longo do vale a jusante da estrutura analisada.





ESTUDO BARRAGEM B6 - ARAXÁ REVISÃO DO ESTUDO DE RUPTURA HIPOTÉTICA - EL. 980 m RELATÓRIO TÉCNICO

Nº MOSAIC	PÁGINA
	48/65
Nº DF+	REV.
DF20-163-1-FG-RTF-0006	0

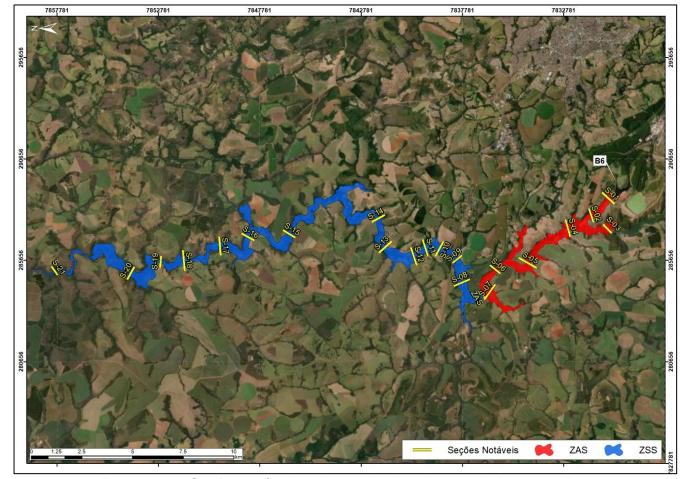


Figura 11.1 – Seções notáveis ao longo do vale a jusante da Barragem B6.

Considerou-se como tempo de chegada da onda de ruptura o momento em que a vazão observada na seção notável analisada deixa de ser nula.

Recomenda-se a consulta simultânea dos mapas de inundação para identificação da localização das seções de interesse.

As características da cheia potencial máxima provocada pela onda de ruptura hipotética da Barragem B6 estão apresentadas na Tabela 11.1.

Tabela 11.1 – Parâmetros críticos da inundação nas seções notáveis – Ruptura Barragem B6.

Seção	Distância em relação ao eixo da Barragem B6 (km)	Profundidade máxima da inundação (m)	Velocidade Máxima (m/s)	Vazão na máxima inundação (m³/s)	Tempo aproximado de chegada da onda	Tempo para a vazão de pico
S-01	0,1	28,6	15,4	36.200,0	0h2min	0h28min
S-02	1,5	12,8	24,9	31.290,0	0h8min	0h28min
S-03	4,7	17,2	2,5	2.761,0	0h24min	0h34min
S-04	3,3	26,9	13,3	30.020,0	0h13min	0h30min
S-05	7,2	27,0	13,7	23.320,0	0h21min	0h38min
S-06	10,7	16,6	16,9	22.550,0	0h28min	0h42min





ESTUDO BARRAGEM B6 - ARAXÁ REVISÃO DO ESTUDO DE RUPTURA HIPOTÉTICA - EL. 980 m RELATÓRIO TÉCNICO

Nº MOSAIC	PÁGINA
	49/65
Nº DF+	REV.
DE20-163-1-EG-RTE-0006	0

Seção	Distância em relação ao eixo da Barragem B6 (km)	Profundidade máxima da inundação (m)	Velocidade Máxima (m/s)	Vazão na máxima inundação (m³/s)	Tempo aproximado de chegada da onda	Tempo para a vazão de pico
S-07	13,5	19,3	14,0	5.542,0	0h32min	0h37min
ZAS	14,2	23,6	9,4	18.193,0	0h30min	0h51min
S-08	17,0	27,0	9,3	14.330,0	0h39min	0h56min
S-09	18,9	20,8	13,7	13.000,0	0h44min	1h2min
S-10	20,4	20,0	11,2	12.100,0	0h48min	1h3min
S-11	21,9	19,8	6,8	11.460,0	0h52min	1h9min
S-12	23,1	19,2	11,2	10.980,0	0h55min	1h13min
S-13	26,1	18,4	8,5	7.623,0	1h3min	1h14min
S-14	28,7	13,0	9,5	5.882,0	1h10min	1h40min
S-15	40,7	8,7	6,4	2.865,0	2h1min	2h22min
S-16	45,4	9,3	5,8	2.217,0	2h28min	3h6min
S-17	48,2	8,1	3,0	1.096,0	2h54min	3h37min
S-18	51,2	6,7	3,4	697,4	3h27min	3h54min
S-19	52,9	6,5	4,3	628,6	3h51min	5h3min
S-20	56,0	6,3	1,5	222,6	5h10min	5h52min
S-21	64,0	3,8	0,2	12,0	19h30min	37h10min

Esse comportamento está coerente, uma vez que as maiores velocidades de transporte da onda decorrem dos hidrogramas de ruptura de maior volume, e, portanto, maior inércia. Quanto menores os volumes dos hidrogramas de ruptura, as velocidades de transporte da onda tendem a convergir para a velocidade de transporte normal correspondente às cheias naturais dos cursos de água.

Importante destacar que as informações contidas na tabela anterior, no que tange as distâncias de cada seção notável relativas ao eixo da Barragem B6, foram obtidas a partir do eixo do talvegue traçado com base em imagens de satélite, por se entender que essa referência representa critério fixo, facilmente replicável e de fácil verificação em campo, apesar de, no estudo em questão, a mancha ter se mostrado, em alguns pontos, divergente do talvegue observado nas imagens.

Observa-se, pelos resultados da tabela, que o abatimento do hidrograma de ruptura ocorre, mais intensamente, nos trechos iniciais.

Os efeitos de amortecimento da onda de ruptura também podem ser avaliados pela diferença temporal entre a chegada da frente de onda (Figura 11.2), valores de elevação máxima da inundação (Figura 11.3), vazões de pico na inundação (Figura 11.4) e o perfil de escoamento (Figura 11.5). As distâncias apresentadas têm como referência o eixo da Barragem B6.





ESTUDO BARRAGEM B6 - ARAXÁ REVISÃO DO ESTUDO DE RUPTURA HIPOTÉTICA - EL. 980 m RELATÓRIO TÉCNICO

Nº MOSAIC	PÁGINA
	50/65
Nº DF+	RFV.
DF20-163-1-EG-RTE-0006	0

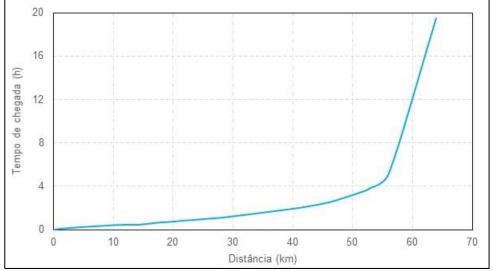


Figura 11.2 - Variação do tempo da frente de onda ao longo dos talvegues.

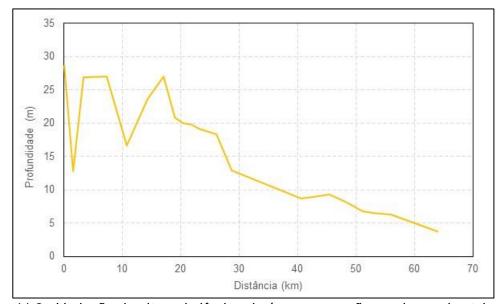


Figura 11.3 - Variação da altura da lâmina de água nas seções ao longo dos talvegues.





ESTUDO BARRAGEM B6 - ARAXÁ REVISÃO DO ESTUDO DE RUPTURA HIPOTÉTICA - EL. 980 m RELATÓRIO TÉCNICO

Nº MOSAIC	PÁGINA
	51/65
Nº DF+	REV.
DF20-163-1-EG-RTE-0006	0

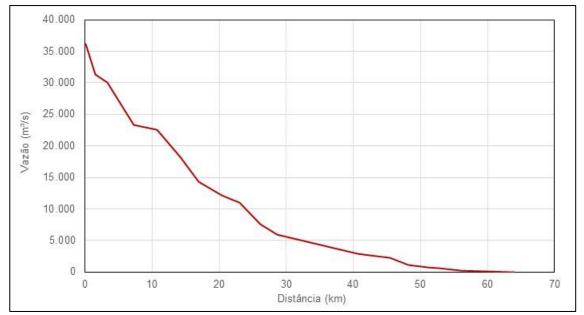


Figura 11.4 - Variação da vazão de pico nas seções ao longo dos talvegues.

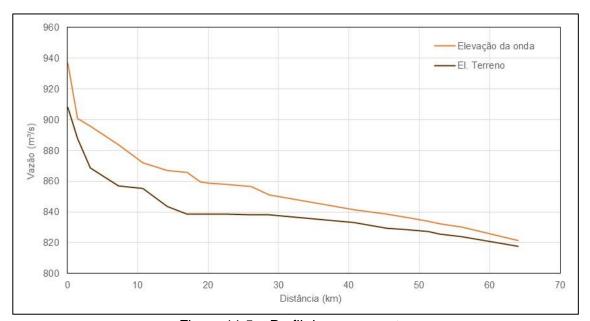


Figura 11.5 – Perfil de escoamento.

A partir dos resultados apresentados nas tabelas e gráficos observa-se que os hidrogramas e elevações da inundação potencial comportaram-se de maneira coerente com o esperado para esse tipo de estudo.

11.1 INTERFERÊNCIAS A JUSANTE

A propagação da onda da ruptura hipotética da Barragem B6 no Córrego da Canjica foi simulada ao longo do vale a jusante da estrutura, pela calha do Rio Capivara, em um trecho com vegetação em quase toda a sua extensão, com existência de algumas edificações e



povoados isolados, por cerca de 65 quilômetros entre as cidades de Araxá/MG e Perdizes/MG, até a confluência com o Córrego da Gurita, quando foram interrompidas as análises.

Apresenta-se na Figura 11.6 o perfil longitudinal do trecho de propagação.

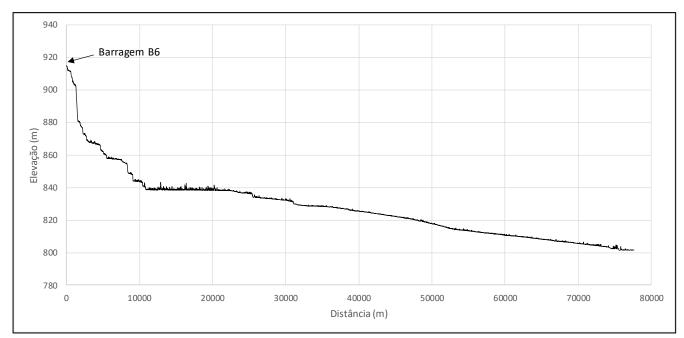


Figura 11.6 - Perfil longitudinal do trecho de propagação.

Os documentos relacionados no Apêndice A mostram uma visão geral do vale a jusante da estrutura, sendo possível identificar mais detalhadamente o trecho estudado.

Alguns pontos merecem atenção especial quando analisado o cenário de ruptura hipotética da Barragem B6. Assim, foram elencados (de acordo com imagens do Google Earth) os elementos em risco, tais como: população, edifícios e outras infraestruturas. A Tabela 11.2 apresenta a caracterização dos principais elementos de risco estudados na Zona de Autossalvamento (ZAS), com base nas imagens de satélite.





ESTUDO	Nº MOSAIC
BARRAGEM B6 - ARAXÁ	
REVISÃO DO ESTUDO DE RUPTURA HIPOTÉTICA - EL. 980 m	Nº DF+
RELATÓRIO TÉCNICO	DF20-163-1-EG-RTE

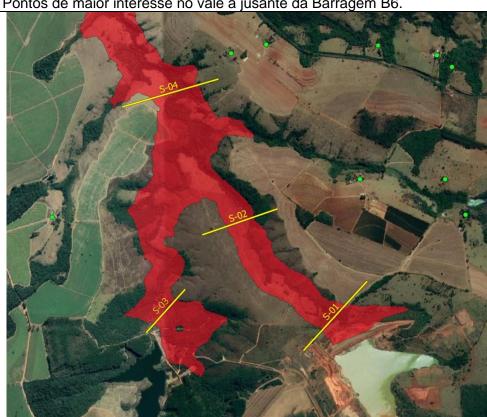
Nº MOSAIC	PÁGINA
	53/65
Nº DF+	REV.
DE20-163-1-EG-DTE-0006	0

Tabela 11.2 - Pontos de maior interesse no vale a jusante da Barragem B6.

Acessos no entorno da barragem, maciço Barragem

Tempo de chegada aproximado da onda de ruptura:

S-01: 0h2min S-02: 0h8min S-03: 0h24min S-04: 0h13min



BR-262, Ferrovia Centro-Atlântica, acessos, edificações.

Tempo de chegada aproximado da onda de ruptura:

S-05: 0h21min S-06: 0h28min S-07: 0h32min ZAS: 0h30min







ESTUDO BARRAGEM B6 - ARAXÁ REVISÃO DO ESTUDO DE RUPTURA HIPOTÉTICA - EL. 980 m RELATÓRIO TÉCNICO

Nº MOSAIC	PÁGINA
	54/65
Nº DF+	REV.
DF20-163-1-EG-RTE-0006	0

12.0 MAPEAMENTO DA INUNDAÇÃO

O mapeamento dos parâmetros de inundação constitui o principal produto dos estudos de ruptura hipotética por representar de maneira sintética e espacialmente distribuída o potencial de dano e ameaça decorrente da propagação da onda de ruptura.

Nesse contexto, dentre uma série de opções de mapeamento da informação, optou-se pela compilação do mapeamento da inundação máxima adotando-se a escala adequada para cada mapa.

O mapeamento da inundação máxima trata-se de um produto onde são apresentados os limites dos parâmetros do potencial de inundação da onda de ruptura hipotética. Neste estudo, foram apresentados os mapas da envoltória de ruptura, de profundidades e velocidades máximas e o mapa do máximo produto entre a velocidade e a profundidade (risco hidrodinâmico). Os referidos mapas estão apresentados nos desenhos referenciados no Apêndice A.

13.0 ZONEAMENTO DE RISCO

O zoneamento de risco é a divisão do território potencialmente atingido em áreas classificadas segundo o risco envolvido, a magnitude do dano, a vulnerabilidade e os tempos de alerta envolvidos. Para definir o zoneamento de risco foram utilizados os quatro principais parâmetros fornecidos pelo estudo de propagação:

- Tempo de chegada da onda de ruptura;
- Distância em relação à barragem;
- Profundidade da lâmina de água e;
- Velocidades do fluxo.

13.1 ZONA DE AUTOSSALVAMENTO

A portaria ANM N°70.389, publicada 17/05/2017, define a zona de autossalvamento como a região localizada à jusante da barragem em que se considera que os avisos de alerta à população são da responsabilidade do empreendedor, por não haver tempo suficiente para uma intervenção das autoridades competentes em situação de emergência, devendo-se adotar a maior das seguintes distâncias para a sua delimitação: a distância que corresponde a um tempo de chegada da onda de inundação igual a trinta minutos ou 10 km.

A zona de segurança secundária, também segundo a portaria ANM N°70.389, publicada 17/05/2017 é a região constante do mapa de inundação, não definida como ZAS.

Conforme análise realizada, a delimitação da ZAS foi realizada com base no critério de 30 minutos, que, para o caso em questão, localiza-se entre as seções notáveis S-06 e S-08, a





ESTUDO
BARRAGEM B6 - ARAXÁ
REVISÃO DO ESTUDO DE RUPTURA HIPOTÉTICA - EL. 980 m
RELATÓRIO TÉCNICO

Nº MOSAIC	PÁGINA
	55/65
Nº DF+	REV.
DF20-163-1-EG-RTE-0006	0

uma distância de 14,2 km do maciço da Barragem B6, de acordo com os desenhos DF20-163-1-EG-DWG-0032 e DF20-163-1-EG-DWG-0033.

Como a área a jusante da estrutura analisada e afetada pela ruptura apresenta áreas de ocupação permanente de pessoas, com existência de algumas edificações e propriedades rurais, constatação feita a partir de imagem de satélite, obtida gratuitamente no *software* Google Earth (Figura 1.2), conclui-se que a ZAS em questão carece de sinalização sonora, conforme estabelecido na portaria ANM N° 70.389/17, o que já foi realizado pela Mosaic Fertilizantes, com base em estudos anteriores. Essas informações podem ser consultadas no relatório de PAEBM (DF20-163-1-EG-RTE-0007).

13.2 GRAU DE PERIGO EM FUNÇÃO DO TEMPO DE CHEGADA DA ONDA

Para a definição do número esperado de vítimas significantes e potencialmente significante (NEV) em função do tempo de chegada da onda são utilizados os critérios apresentados na Tabela 13.1. A obtenção do NEV é possível a partir da consideração de um número médio de pessoas em cada residência e de posse do cadastro do número de residências nas regiões afetadas, o que já foi realizado pela Mosaic Fertilizantes, com base em estudos anteriores.

Tabela 13.1 – Número esperado de vítimas em função do tempo de alerta (USBR, 1999).

TEMPO DE AVISO	PERDA DE VIDAS	NÚMERO ESPERADO DE VÍTIMAS (NEV)
0 a 15 minutos	Significante	NEV = 50% no número de pessoas em risco
15 a 90 minutos	Potencialmente significante	NEV = (número de pessoas em risco) ^{0,6}
Mais que 90 minutos	Perda de vidas virtualmente eliminada	NEV = 0,0002 x número de pessoas em risco

13.3 GRAU DE PERIGO EM FUNÇÃO DO RISCO HIDRODINÂMICO

O grau de perigo em função do Risco Hidrodinâmico – RH, é definido pelo produto da profundidade da lâmina de água pela velocidade da propagação da onda. Em cada seção notável, a Tabela 13.2 mostra o respectivo RH. A Tabela 13.3 mostra as consequências do risco hidrodinâmico de acordo com o estabelecido por SYNAVEN et al., 2000..

Tabela 13.2 - Grau de risco para as secões notáveis.

Seção	Distância em relação ao eixo da Barragem B6 (km)	RH (m²/s)
S-01	0,1	251,0
S-02	1,5	297,9
S-03	4,7	26,2
S-04	3,3	230,6
S-05	7,2	263,9
S-06	10,7	177,9





ESTUDO BARRAGEM B6 - ARAXÁ REVISÃO DO ESTUDO DE RUPTURA HIPOTÉTICA - EL. 980 m RELATÓRIO TÉCNICO

	56/65
Nº DF+	REV.
DF20-163-1-EG-RTE-0006	0

Seção	Distância em relação ao eixo da Barragem B6 (km)	RH (m²/s)
S-07	13,5	59,6
ZAS	14,2	203,0
S-08	17,0	129,8
S-09	18,9	202,4
S-10	20,4	139,9
S-11	21,9	82,0
S-12	23,1	98,5
S-13	26,1	89,7
S-14	28,7	47,9
S-15	40,7	23,9
S-16	45,4	19,5
S-17	48,2	13,0
S-18	51,2	9,9
S-19	52,9	17,0
S-20	56,0	4,5
S-21	64,0	0,9

Tabela 13.3 – Consequência do risco. Fonte: SYNAVEN et al., 2000.

RH (m²/s)	CONSEQUÊNCIAS
< 0,5	Crianças e deficientes são arrastados
0,5 - 1,0	Adultos são arrastados
1,0 - 3,0	Danos de submersão em edifícios, estruturais em casas fracas
3,0 - 7,0	Danos estruturais em edifícios e possíveis colapsos
> 7,0	Colapso em certos edifícios

Comparando o RH da Tabela 13.2 com o da Tabela 13.3 podemos verificar que a onda de ruptura possui características que indicam que esta é suficiente para causar danos significativos, em diferentes níveis, a jusante da Barragem B6.

14.0 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os estudos de ruptura hipotética foram desenvolvidos com o objetivo de mapear as áreas potencialmente inundáveis a jusante da Barragem B6 e consideraram sua geometria com crista na elevação 980,0 m, conforme Projeto Conceitual Simplificado elaborado pela Geoconsultoria em 2019.





ESTUDO
BARRAGEM B6 - ARAXÁ
REVISÃO DO ESTUDO DE RUPTURA HIPOTÉTICA - EL. 980 m
RELATÓRIO TÉCNICO

Nº MOSAIC	PÁGINA
	57/65
Nº DF+	REV.
DF20-163-1-EG-RTE-0006	0

Como premissa dos estudos, a hipótese de ruptura por galgamento foi adotada para a Barragem B6, por se tratar do cenário mais crítico dentre os plausíveis, e que apresenta maior volume mobilizado para o vale a jusante.

Para a simulação da propagação da onda de ruptura, considerou-se dia seco, ou seja, sem a ocorrência de chuvas a jusante da barragem. A DF+ entende que a adoção dessa premissa considera o cenário mais crítico em termos de alcance longitudinal da onda de ruptura, uma vez que a consideração de evento pluviométrico decamilenar simultâneo no vale a jusante levaria a mudanças no critério de interrupção da simulação, levando a onda a atingir menores distâncias. Ademais, vale destacar que nos trechos iniciais da propagação não haveria diferença nos resultados apresentados, devido à discrepância na ordem de grandeza das vazões decorrentes da ruptura, em comparação às de uma chuva no vale a jusante. Nos trechos mais afastados do local da ruptura, entende-se que o acréscimo no alcance transversal da onda, ou seja, o acréscimo pelas margens, sobre a ocupação da calha considerando-se dia chuvoso, seria irrisório.

Para caracterização do material do reservatório, o rejeito de lamas normalmente apresenta uma elevada plasticidade (no caso da rocha fosfática, com valores típicos de LL = 80% e IP = 40%), geralmente associados a baixos coeficientes de permeabilidade, da ordem de 10⁻⁹ cm/s. A massa específica média geral dos grãos é de 3,5g/cm³.

O uso do modelo matemático-computacional adotado para a representação do fenômeno hidráulico de propagação da onda de cheia decorrente da ruptura hipotética da Barragem B6 foi satisfatório para apresentação do deslocamento da massa mobilizada numa eventual ruptura e verificação dos resultados obtidos de profundidade e velocidades ao longo do vale a jusante.

A aquisição de dados primários para definição da concentração volumétrica e dos parâmetros reológicos para a massa a ser mobilizada, fazem-se essenciais para refinamento do estudo e uma maior assertividade nos resultados. Porém, a utilização de referências bibliográficas regionais traz importantes elementos para auxílio preliminar nas tomadas de decisão.

O resultado da envoltória de inundação apresenta discordância, em alguns pontos, com o talvegue das imagens de satélite, o que indica que o nível de detalhamento da base disponível é insuficiente para entendimento definitivo do comportamento da onda ao longo do vale. Nesse sentido, indica-se a atualização do levantamento do vale a jusante da estrutura, de forma a melhor representar o terreno nessa região e aumentar a assertividade do estudo. Ainda, a mancha de inundação extrapolou os limites da topografia de detalhe em algumas regiões, de forma que foi necessário o incremento topográfico com base topográfica gratuita. Assim, fazse necessário um complemento topográfico.

Conforme apresentado, a delimitação da ZAS foi realizada com base no critério de 30 minutos, que, para o caso em questão, localiza-se entre a seção S-06 e a seção S-08, a 14,2 km de distância da Barragem B6 (levando em conta o talvegue traçado com base em imagens de satélite).





ESTUDO BARRAGEM B6 - ARAXÁ REVISÃO DO ESTUDO DE RUPTURA HIPOTÉTICA - EL. 980 m RELATÓRIO TÉCNICO

Nº MOSAIC	PÁGINA
	58/65
Nº DF+	REV.
DF20-163-1-EG-RTE-0006	0

A simulação da propagação da onda proveniente da ruptura hipotética da Barragem B6 foi interrompida quando o hidrograma da onda em trânsito pelo Rio Capivara alcançou vazões de mesma ordem de grandeza que as naturalmente existentes no curso de água. Isso ocorreu na confluência com o Córrego da Gurita, cerca de 65 km a jusante da Barragem B6.

Como a área a jusante da estrutura analisada e afetada pela ruptura apresenta áreas de ocupação permanente de pessoas, com existência de edificações e propriedades rurais, constatação feita a partir de imagem de satélite, obtida gratuitamente no *software* Google Earth (Figura 1.2), conclui-se que a ZAS em questão carece de sinalização sonora, conforme estabelecido na portaria ANM N° 70.389/17, o que já foi realizado pela Mosaic Fertilizantes, com base em estudos anteriores. Essas informações podem ser consultadas no relatório de PAEBM (DF20-163-1-EG-RTE-0007).

Na ocorrência de uma eventual falha no maciço da barragem em estudo, a passagem da onda de ruptura a jusante poderia ocasionar diversos danos, tais como:

- Danos estruturais em residências e edificações existentes no vale a jusante;
- Exposição ao risco de morte de pessoas residentes/existentes ao longo do vale a jusante;
- Impactos em APP Área de Preservação Permanente nas faixas marginais ao leito dos cursos de água;
- Possíveis problemas relacionados ao abastecimento de água e irrigação nas regiões abastecidas, caso existam;
- Possíveis interrupções em acessos locais de terra;
- Inundação de áreas rurais do vale a jusante, com danos a benfeitorias e a alguns moradores;
- Assoreamento dos cursos de água a jusante das barragens, com deposição de rejeitos no leito a jusante e possível alteração da calha principal dos córregos/rios em alguns trechos;
- Destruição da camada vegetal e do habitat, remoção do solo de cobertura, deposição de rejeitos, destruição de vida animal, biota aquática, e demais prejuízos à fauna e flora características da região;
- Interrupção das operações da unidade por tempo indeterminado;
- Impactos negativos na produção e na imagem da Mosaic;
- Possíveis dificuldades para obtenção de novas licenças ambientais;
- Interrupção temporária no abastecimento de água em cidades a jusante que utilizam a água do manancial para abastecimento humano, caso existam.

Os resultados numéricos apresentados nesse estudo devem ser interpretados com discernimento e parcimônia, uma vez que os parâmetros da inundação potencial estão





ESTUDO
BARRAGEM B6 - ARAXÁ
REVISÃO DO ESTUDO DE RUPTURA HIPOTÉTICA - EL. 980 m
RELATÓRIO TÉCNICO

Nº MOSAIC	PÁGINA
	59/65
N° DF+	REV.
DF20-163-1-EG-RTE-0006	0

condicionados a uma hipótese de ruptura da barragem, regida sob premissas conservadoras, cujo hidrograma de ruptura foi propagado sobre uma base topográfica de precisão específica. Assim, cabe destacar que quaisquer alterações nas premissas ou na base de dados iniciais podem invalidar os resultados apresentados e demandar novas avaliações e revisões nos estudos.

Cabe destacar que os estudos de ruptura hipotética estão sujeitos a incertezas, como por exemplo a definição do volume mobilizado e a determinação de parâmetros de resistência e reológicos, e limitações computacionais e de *software* (RiverFlow2D®). Os parâmetros da inundação potencial estão condicionados a uma hipótese de ruptura da barragem, regida sob definição de premissas, cuja ruptura foi propagada sobre uma base topográfica de precisão específica.

Assim, cabe destacar que os resultados apresentados devem ser interpretados com discernimento e parcimônia, uma vez que quaisquer alterações nas premissas ou na base de dados iniciais ou, até mesmo, em virtude do avanço do estado da arte relacionada a este tipo de estudo em tese ou possíveis melhorias e aperfeiçoamentos de *software*, podem invalidálos e demandar novas avaliações e revisões nos estudos.

Por fim, de maneira geral, o presente estudo buscou utilizar as metodologias vigentes na boa prática da engenharia, de forma a indicar, por meio de hipóteses, os possíveis impactos da inundação decorrente da ruptura da Barragem B6.





ESTUDO BARRAGEM B6 - ARAXÁ REVISÃO DO ESTUDO DE RUPTURA HIPOTÉTICA - EL. 980 m RELATÓRIO TÉCNICO

Nº MOSAIC	PÁGINA
	60/65
Nº DF+	REV.
DF20-163-1-EG-RTE-0006	0

15.0 REFERÊNCIAS

ARATANNO, M. 2003. On the evaluation of debris flows dynamics by means of mathematical models. Natural Hazards and Earth System Sciences. Italy, p. 539-544.

BERNEDO C.E.; JULIEN P.; LEON A.; (2011). Dam Breach Analysis in Tailings Storage Facilities (TSF). World Environmental and Water Resources Congress: Bearing Knowledge for Sustainability – ASCE. 9p.

CHANG, D. S.; ZHANG, L. M.. Simulation of the erosion process of landslide dams due to overtopping considering variations in soil erodibility along depth. Natural Hazards And Earth System Science, [s.l.], v. 10, n. 4, p.933-946, 29 abr. 2010.

CHOW, V. 1959. Open-channel hydraulics. McGraw-Hill. New York, 1959, 680 p.

DENG, Zhao et al. Research on the Overtopping-Induced Breaching Mechanism of Tailings Dam and Its Numerical Simulation. Advances In Civil Engineering, [s.l.], v. 2019, p.1-10, 4 fev. 2019.

FREAD, D. L.; LEWIS, J. M., NWS FLDWAV Model: Theoretical description and user documentation, National Weather Service – NWS – NOAA, Office of Hydrology, Hydrologic Research Laboratory, Silver Springs, Maryland, 1998, 335 p.

HROMADKA, et al. 2010. Manning's equation and two-dimensional flow analogs. J. Hydrology, 2010, 389 p.

HYDRONIA, 2016. RiverFlow2D, Two-Dimensional River Dynamics Model. Reference Manual. Pembroke Pines, Hydronia LLC, 2016, 236p.

Julien, P. Y. Erosion and Sedimentation. Cambridge University Press. Cambridge, 2010, 371 p.

MACHADO, N.C. 2015. Retroanálise da propagação decorrente da ruptura da Barragem do fundão com diferentes modelos numéricos e hipóteses de simulação. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Belo Horizonte, 188 p.

MARTIN, V.; FONTAINE, D.; CATHCART, J. Challenges with conducting tailings dam breach studies. Proceedings of Tailings and Mine Waste 2015 Conference, Vancouver, Canada. 2015.

NASA; National Aeronautics and Space Administration. U. S. Release Enhanced Shuttle Land Elevation Data. Disponível em: https://www2.jpl.nasa.gov/srtm/. Acesso em: abr. 2020.

NETO, L.V. Estudo de ruptura da barragem da Pampulha, em Belo Horizonte: Retroanálise da brecha do acidente de 1954 e ruptura hipotética nas condições atuais. 2016. 228 p. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, UFMG.





ESTUDO
BARRAGEM B6 - ARAXÁ
REVISÃO DO ESTUDO DE RUPTURA HIPOTÉTICA - EL. 980 m
RELATÓRIO TÉCNICO

Nº MOSAIC	PÁGINA
	61/65
Nº DF+	REV.
DF20-163-1-EG-RTE-0006	0

RIBEIRO, V.Q.F. 2015. Proposta de metodologia para avaliação do efeito de rupturas de estruturas de contenção de rejeitos. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Belo Horizonte, UFMG, 292 p.

RICO, M.; BENITO, G.; DÍEZ-HERRERO, Floods from tailings dam failures. Journal of Hazardous Materials, v. 154, p. 79-87, October, 2007.

SILVA, W.P. Estudo do Potencial de Liquefação Estática de uma Barragem de Rejeito Alteada para Montante Aplicando a Metodologia de Olson (2001). 2010. 120 p. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia Geotécnica da UFOP) — Escola de Minas, UFOP.

USACE – U. S. ARMY CORPS OF ENGINEERS. Hydrologic Modeling System HEC-HMS: user's manual – version 3.5. Davis: Hydrologic Engineering Center (HEC), 2010a, 318 p.

USACE – U. S. ARMY CORPS OF ENGINEERS. HEC-RAS, River Analysis System Hydraulic Reference Manual. Davis: Hydrologic Engineering Center (HEC), 2010b, 417p.

USACE – U. S. ARMY CORPS OF ENGINEERS. Using HEC-RAS for Dam Break Studies – TD-39, Davis: Hydrologic Engineering Center (HEC), 2014.

VICK, S. (1991). Inundation risk from tailing dam flow failures. In: IX PANAMERICAN CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING, 1991, Santiago. Proceedings... Santiago: Sociedad Chilena de Geotecnia, 1991.





ESTUDO BARRAGEM B6 - ARAXÁ REVISÃO DO ESTUDO DE RUPTURA HIPOTÉTICA - EL. 980 m RELATÓRIO TÉCNICO

Nº MOSAIC	PÁGINA
	62/65
N° DF+	REV.
DF20-163-1-EG-RTE-0006	0

16.0 EQUIPE TÉCNICA

EMPRESA RESPONSÁVEL POR ESTE RELATÓRIO

Razão social: DF + ENGENHARIA GEOTÉCNICA E

RECURSOS HIDRICOS

http: www.dfmais.eng.br

CNPJ: 07.214.006/0001-00

Belo Horizonte / MG - dfmais@dfmais.com.br - Av. Barão Homem de Melo, 4554, 4º e 5º Andares - 30 494 270 - Belo

Horizonte - MG - Tel. 0 (**) 31 2519 1001

	EQUIF	PE TÉCNICA DA DF+
		DA ELABORAÇÃO DESTE DOCUMENTO CAMENTE POR SUAS RESPECTIVAS ÁREAS
E RI	ESPONSABILIZA-SE TECNI	CAMENTE PUR SUAS RESPECTIVAS AREAS
TÉCNICO	ÁREA DE ATUAÇÃO	RESPONSABILIDADE NO PROJETO
Marcus Cruz	Hidrologia	Revisão dos documentos
Laura Leite	Hidrologia	Elaboração dos estudos e dos documentos
Thiago Oliveira	Geotecnia	Coordenação do Projeto e Revisão dos documentos
Gissele Rocha	Geotecnia	Elaboração dos estudos e dos documentos
Abdo Filho	Proietista	Elaboração de bases topográficas e CCAV





ESTUDO BARRAGEM B6 - ARAXÁ REVISÃO DO ESTUDO DE RUPTURA HIPOTÉTICA - EL. 980 m RELATÓRIO TÉCNICO

Nº MOSAIC	PÁGINA
	63/65
Nº DF+	REV.
DF20-163-1-EG-RTE-0006	0

17.0 ANEXOS

RT-MIN-MS-01-19-R V00.pdf	ANEXO I – Relatório de Análises do Rejeito 2020 - RT-MIN-MS-01-19-RV00 Formato: PDF
Laudos Bioagri Ambiental zip	ANEXO II – Relatório de Análises do Rejeito 2015 - LAUDOS BIOAGRI AMBIENTAL Formato: zip
Barragem_B6Lev. _PlanialtimetricoC	ANEXO III – LEVANTAMENTO PLANIALTIMÉTRICO BARRAGEM B6 – Julho 2019 – CCC TOPOGRAFIA Formato: DWG





ESTUDO BARRAGEM B6 - ARAXÁ REVISÃO DO ESTUDO DE RUPTURA HIPOTÉTICA - EL. 980 m RELATÓRIO TÉCNICO

Nº MOSAIC	PÁGINA
	64/65
Nº DF+	REV.
DF20-163-1-EG-RTE-0006	0

18.0 APÊNDICE A – MAPEAMENTO DA INUNDAÇÃO POTENCIAL MÁXIMA

Tabela A1: LISTA DE DESENHOS REFERENTES AO MAPEAMENTO DA INUNDAÇÃO POTENCIAL MÁXIMA

Código DF+	POTENCIAL MAXIMA Título
oodige 51 1	ESTUDO
DF20-163-1-EG-DWG-0032	BARRAGEM B6 - ARAXÁ REVISÃO DO ESTUDO DE RUPTURA HIPOTÉTICA - EL. 980 m MAPEAMENTO DA INUNDAÇÃO POTENCIAL MÁXIMA ARTICULAÇÃO DE FOLHAS
DF20-163-1-EG-DWG-0033	ESTUDO BARRAGEM B6 - ARAXÁ REVISÃO DO ESTUDO DE RUPTURA HIPOTÉTICA - EL. 980 m MAPEAMENTO DA INUNDAÇÃO POTENCIAL MÁXIMA FOLHA 01/03
DF20-163-1-EG-DWG-0034	ESTUDO BARRAGEM B6 - ARAXÁ REVISÃO DO ESTUDO DE RUPTURA HIPOTÉTICA - EL. 980 m MAPEAMENTO DA INUNDAÇÃO POTENCIAL MÁXIMA FOLHA 02/03
DF20-163-1-EG-DWG-0035	ESTUDO BARRAGEM B6 - ARAXÁ REVISÃO DO ESTUDO DE RUPTURA HIPOTÉTICA - EL. 980 m MAPEAMENTO DA INUNDAÇÃO POTENCIAL MÁXIMA FOLHA 03/03
DF20-163-1-EG-DWG-0036	ESTUDO BARRAGEM B6 - ARAXÁ REVISÃO DO ESTUDO DE RUPTURA HIPOTÉTICA - EL. 980 m MAPEAMENTO DAS PROFUNDIDADES MÁXIMAS ARTICULAÇÃO DE FOLHAS
DF20-163-1-EG-DWG-0037	ESTUDO BARRAGEM B6 - ARAXÁ REVISÃO DO ESTUDO DE RUPTURA HIPOTÉTICA - EL. 980 m MAPEAMENTO DAS PROFUNDIDADES MÁXIMAS FOLHA 01/02
DF20-163-1-EG-DWG-0038	ESTUDO BARRAGEM B6 - ARAXÁ REVISÃO DO ESTUDO DE RUPTURA HIPOTÉTICA - EL. 980 m MAPEAMENTO DAS PROFUNDIDADES MÁXIMAS FOLHA 02/02
DF20-163-1-EG-DWG-0039	ESTUDO BARRAGEM B6 - ARAXÁ REVISÃO DO ESTUDO DE RUPTURA HIPOTÉTICA - EL. 980 m MAPEAMENTO DAS VELOCIDADES MÁXIMAS ARTICULAÇÃO DE FOLHAS
DF20-163-1-EG-DWG-0040	ESTUDO BARRAGEM B6 - ARAXÁ REVISÃO DO ESTUDO DE RUPTURA HIPOTÉTICA - EL. 980 m MAPEAMENTO DAS VELOCIDADES MÁXIMAS FOLHA 01/02
DF20-163-1-EG-DWG-0041	ESTUDO BARRAGEM B6 - ARAXÁ REVISÃO DO ESTUDO DE RUPTURA HIPOTÉTICA - EL. 980 m MAPEAMENTO DAS VELOCIDADES MÁXIMAS FOLHA 02/02
DF20-163-1-EG-DWG-0042	ESTUDO BARRAGEM B6 - ARAXÁ REVISÃO DO ESTUDO DE RUPTURA HIPOTÉTICA - EL. 980 m MAPEAMENTO DO RISCO HIDRODINÂMICO ARTICULAÇÃO DE FOLHAS





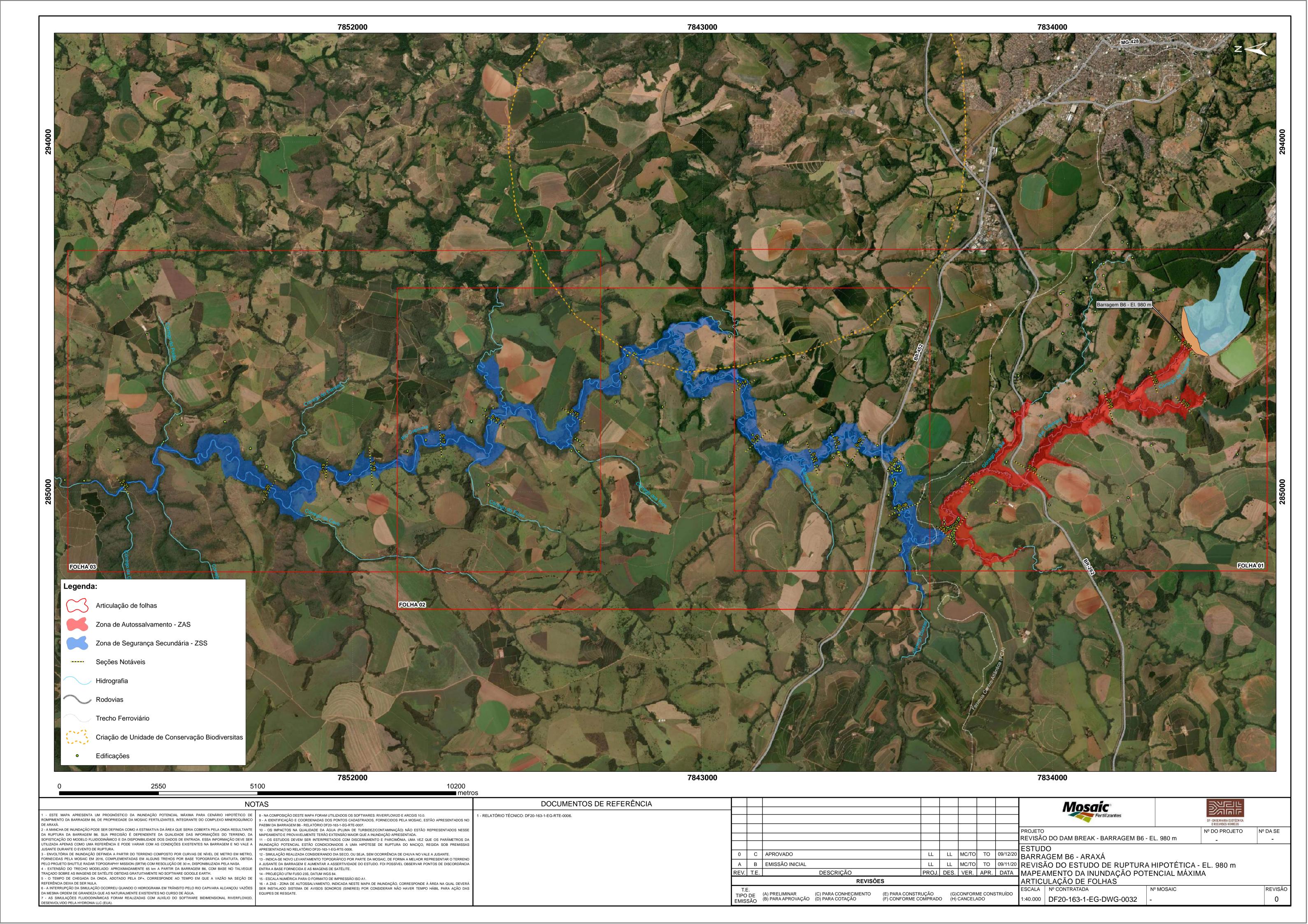
ESTUDO BARRAGEM B6 - ARAXÁ REVISÃO DO ESTUDO DE RUPTURA HIPOTÉTICA - EL. 980 m RELATÓRIO TÉCNICO

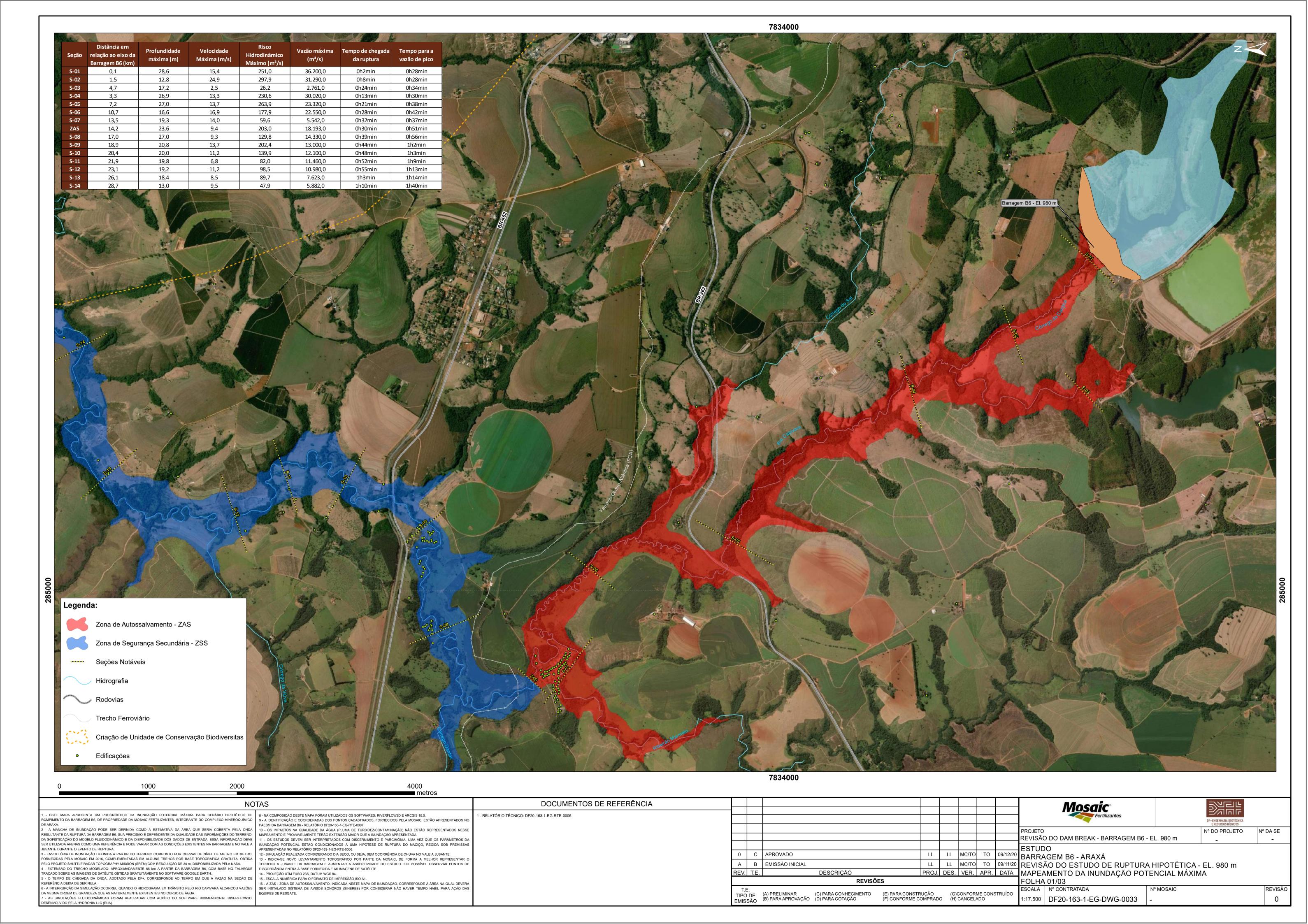
DF20-163-1-EG-RTE-0006	0
Nº DF+	REV.
	65/65
Nº MOSAIC	PÁGINA

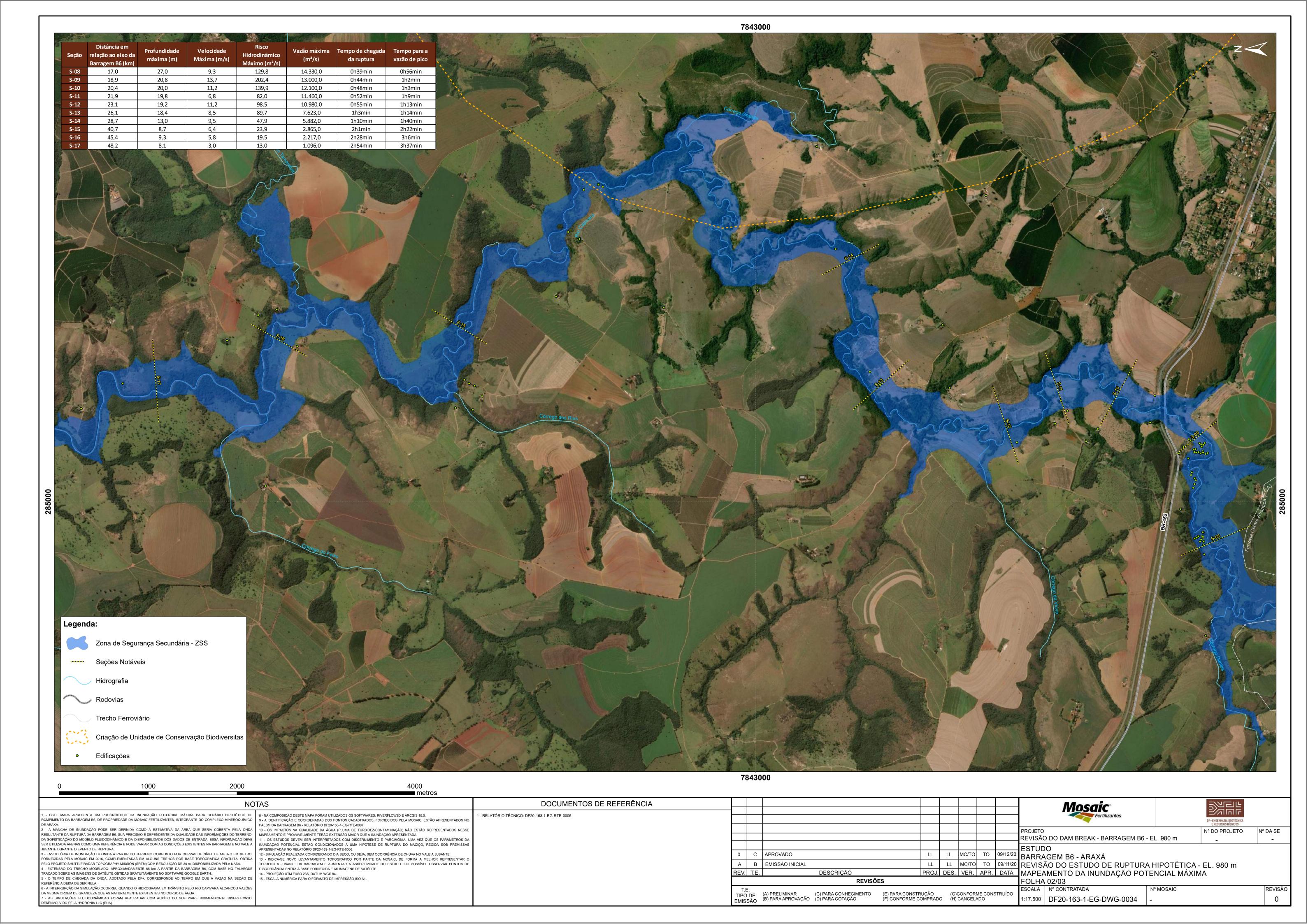
Código DF+	Título
DF20-163-1-EG-DWG-0043	ESTUDO BARRAGEM B6 - ARAXÁ REVISÃO DO ESTUDO DE RUPTURA HIPOTÉTICA - EL. 980 m MAPEAMENTO MAPEAMENTO DO RISCO HIDRODINÂMICO FOLHA 01/02
DF20-163-1-EG-DWG-0044	ESTUDO BARRAGEM B6 - ARAXÁ REVISÃO DO ESTUDO DE RUPTURA HIPOTÉTICA - EL. 980 m MAPEAMENTO MAPEAMENTO DO RISCO HIDRODINÂMICO FOLHA 02/02
DBRK_B6_EL980m.k mz	KMZ – MANCHA DE INUNDAÇÃO BARRAGEM B6 – EL. 980 m

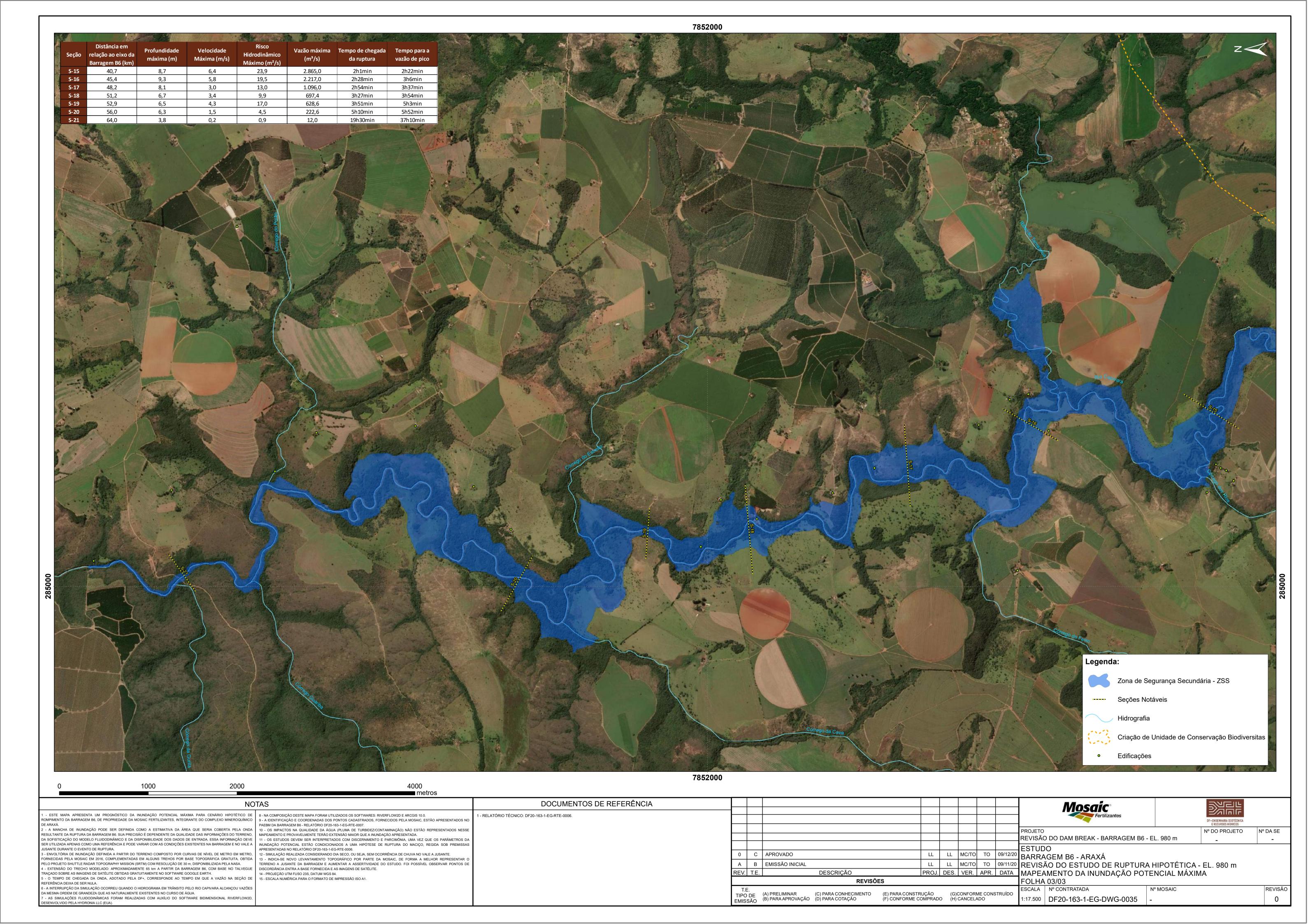


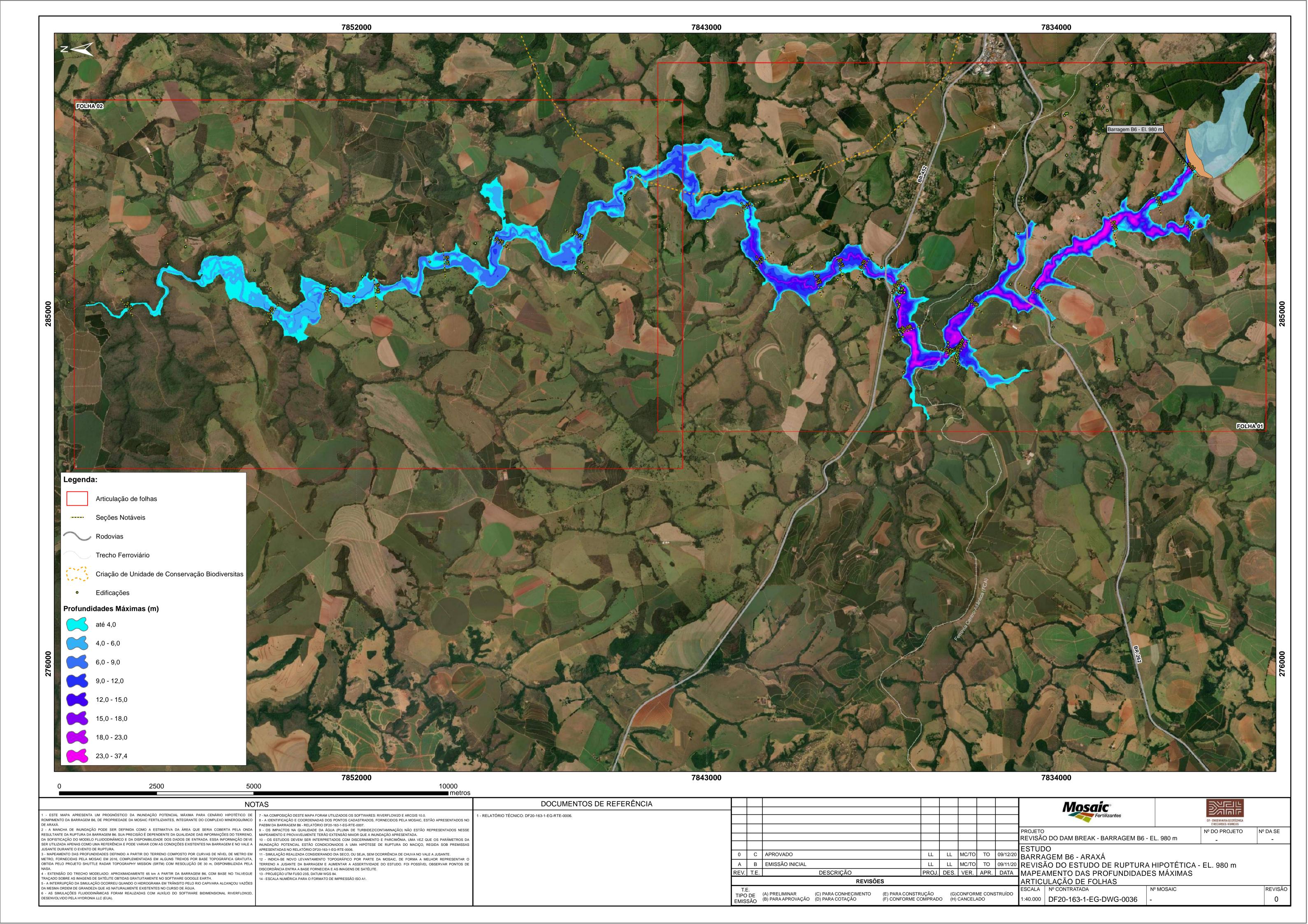
Barão Homem de Melo, 4554, 4º e 5º andares Estoril, Belo Horizonte/MG CEP:30494-270 Fone: 31-2519-1001 / Fax: 31-2519-1002

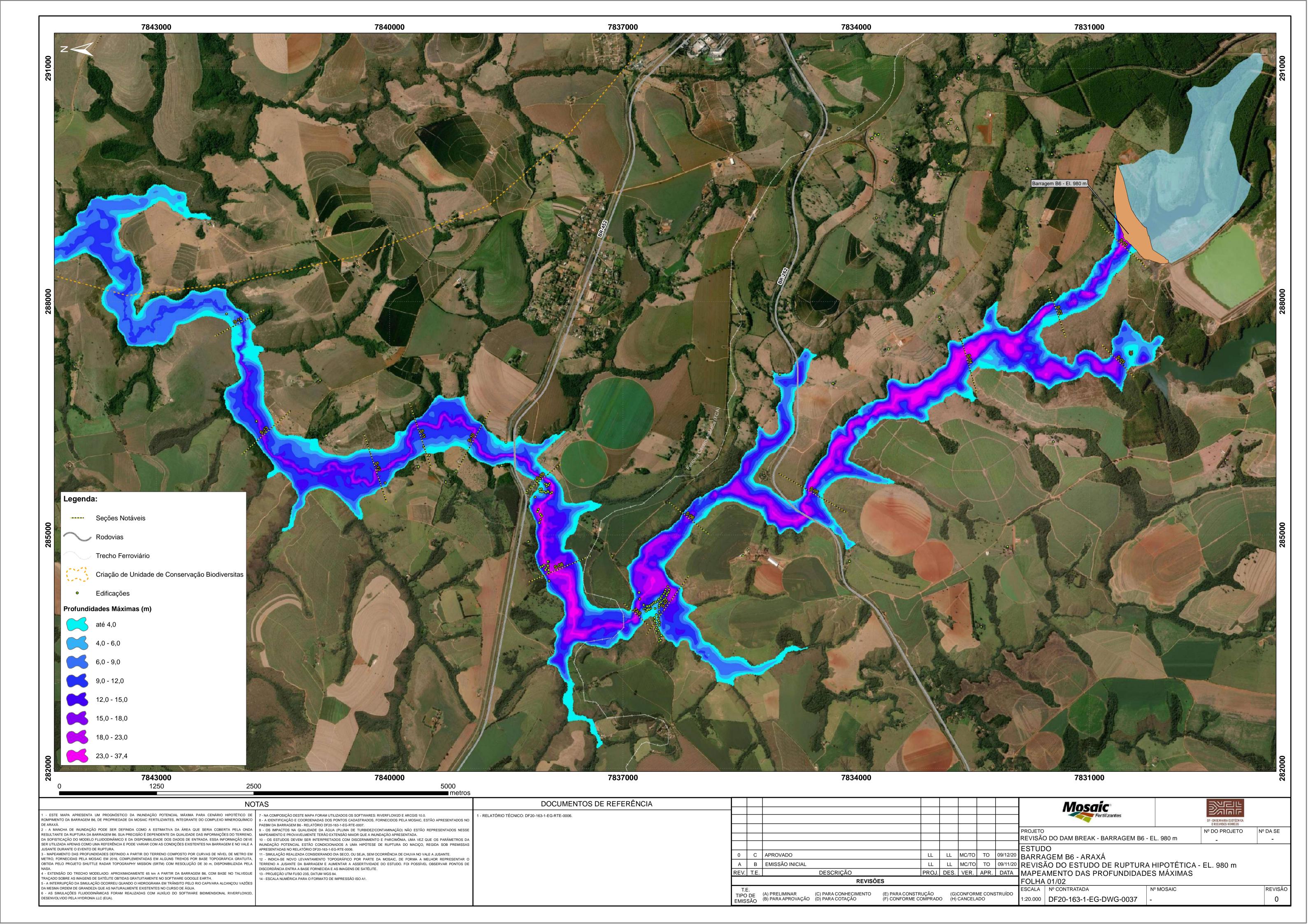


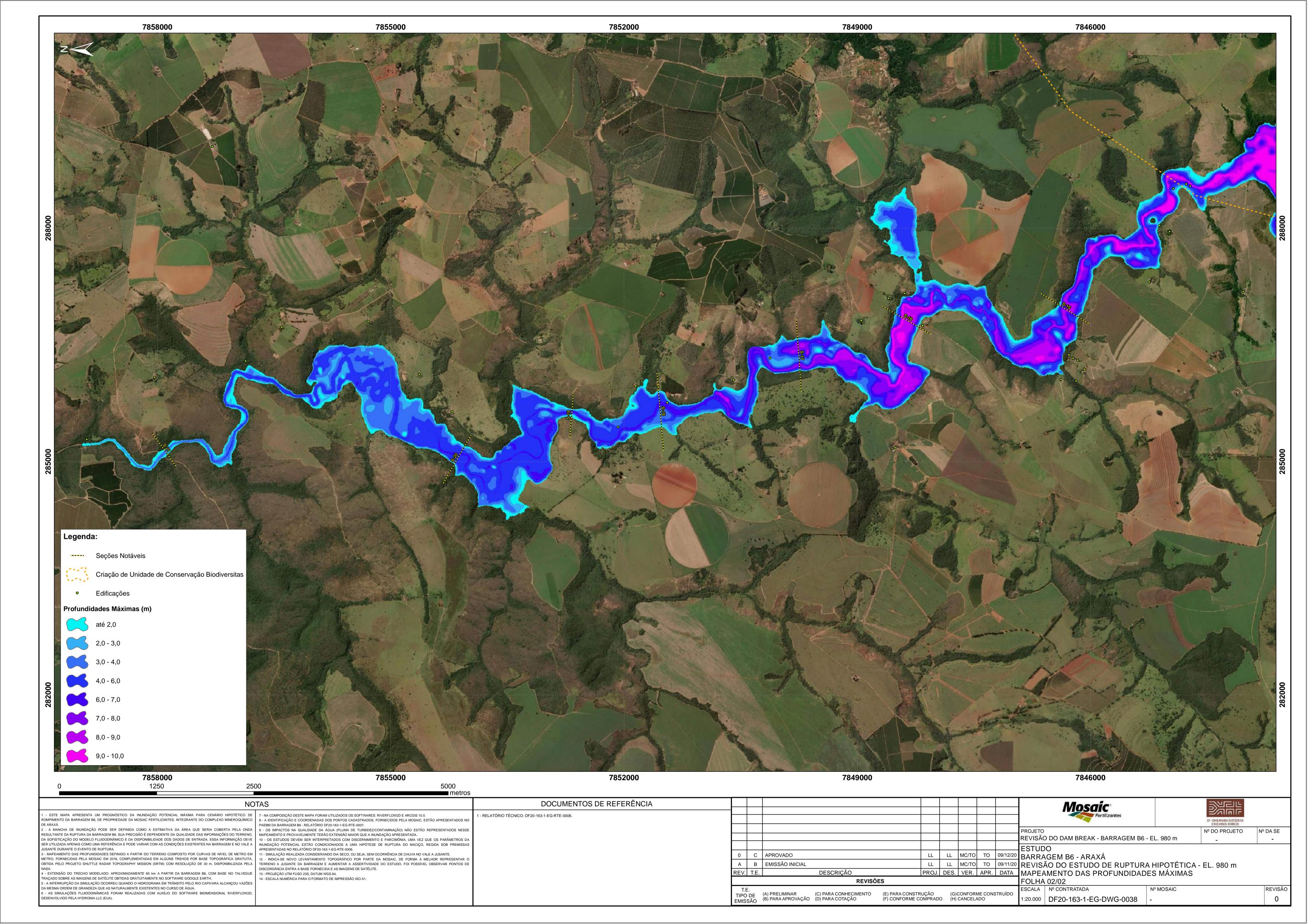


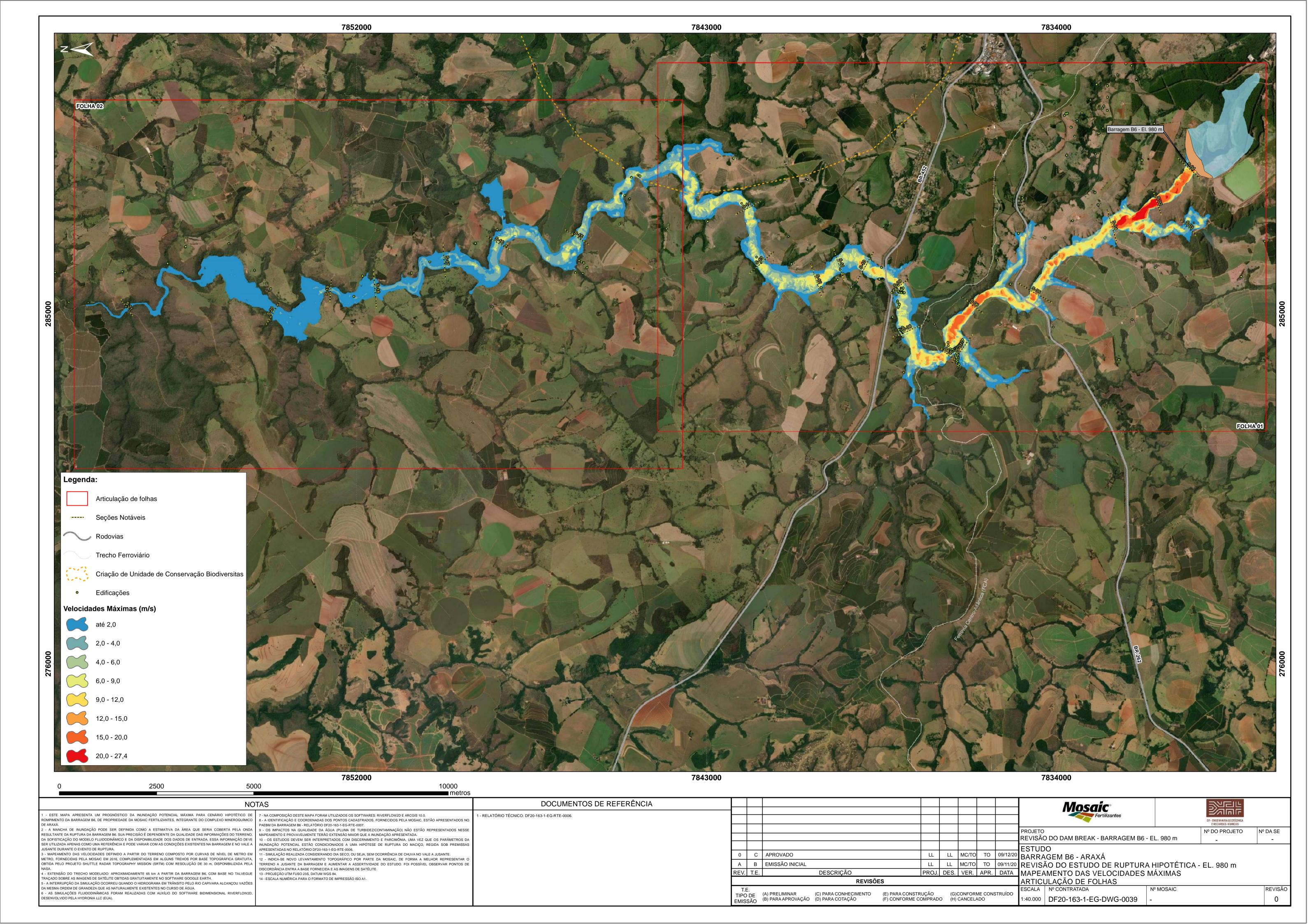


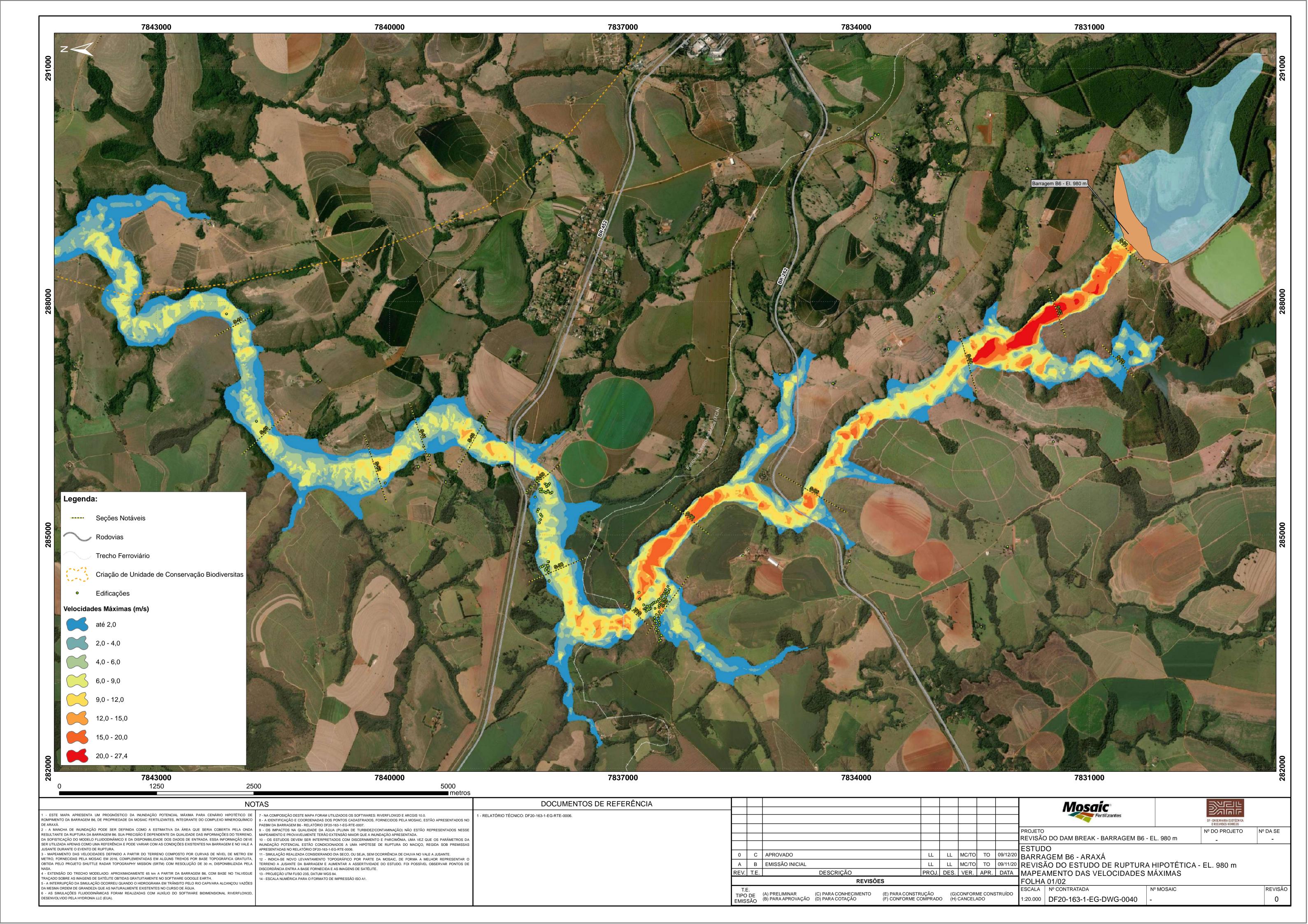


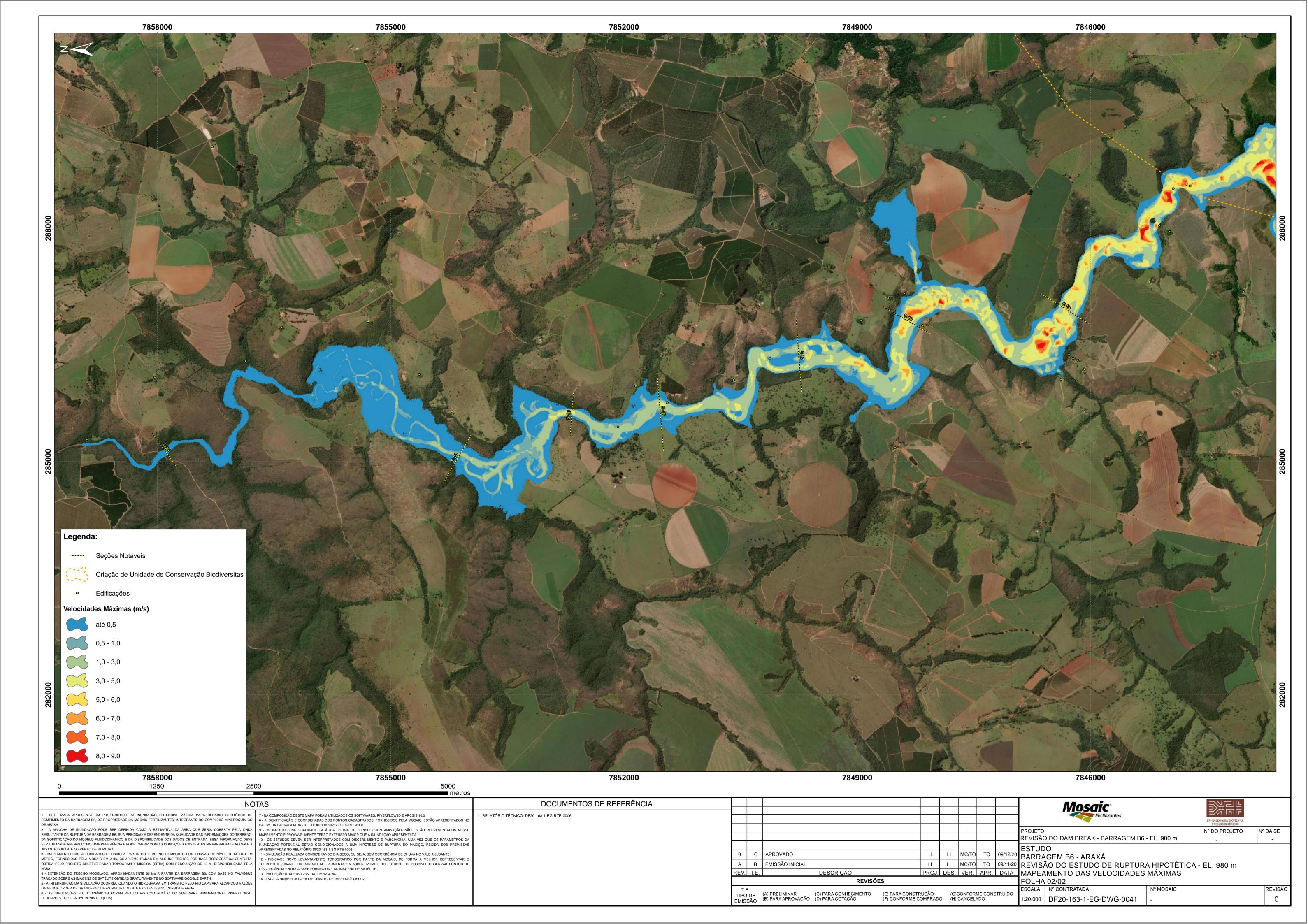


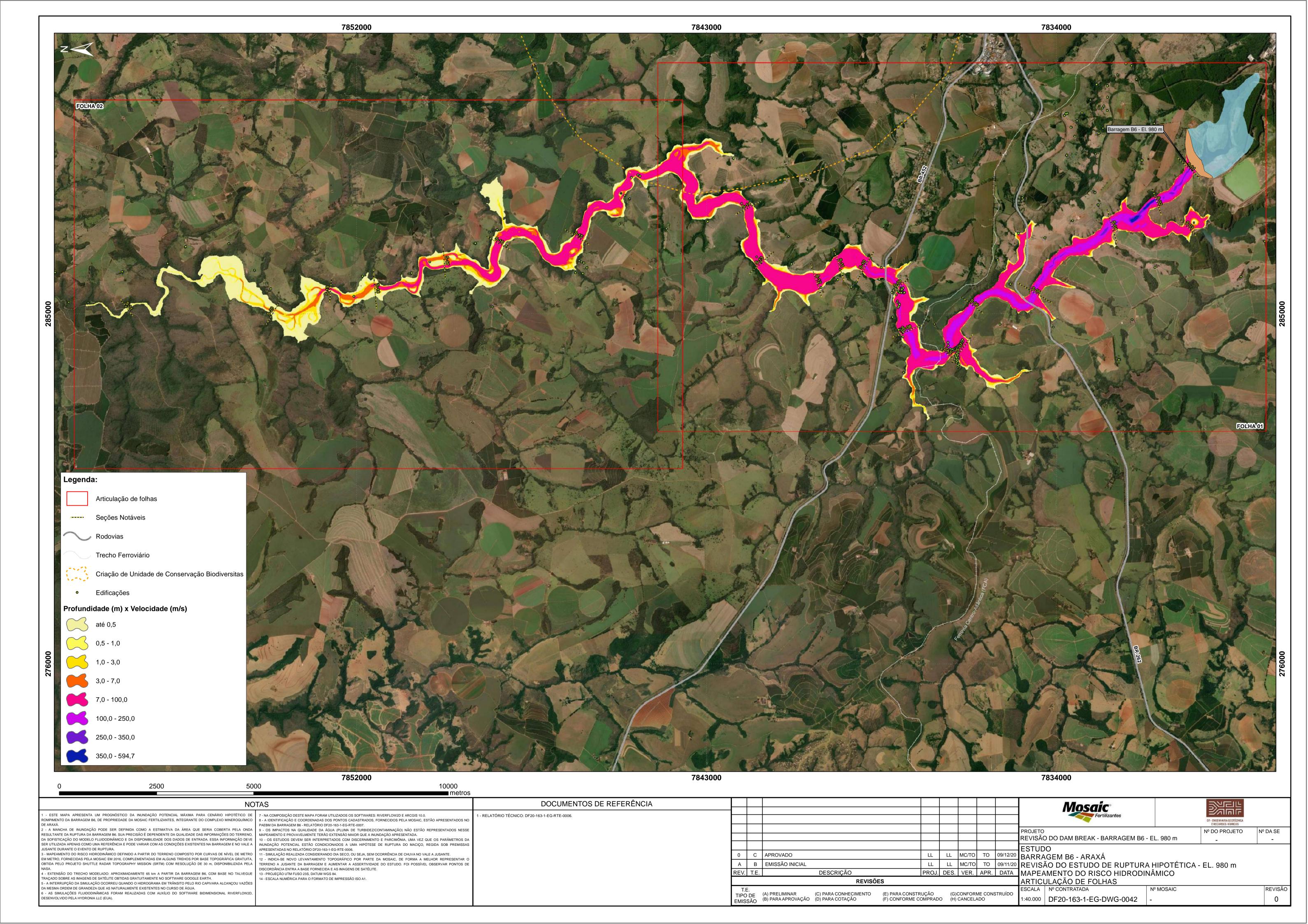


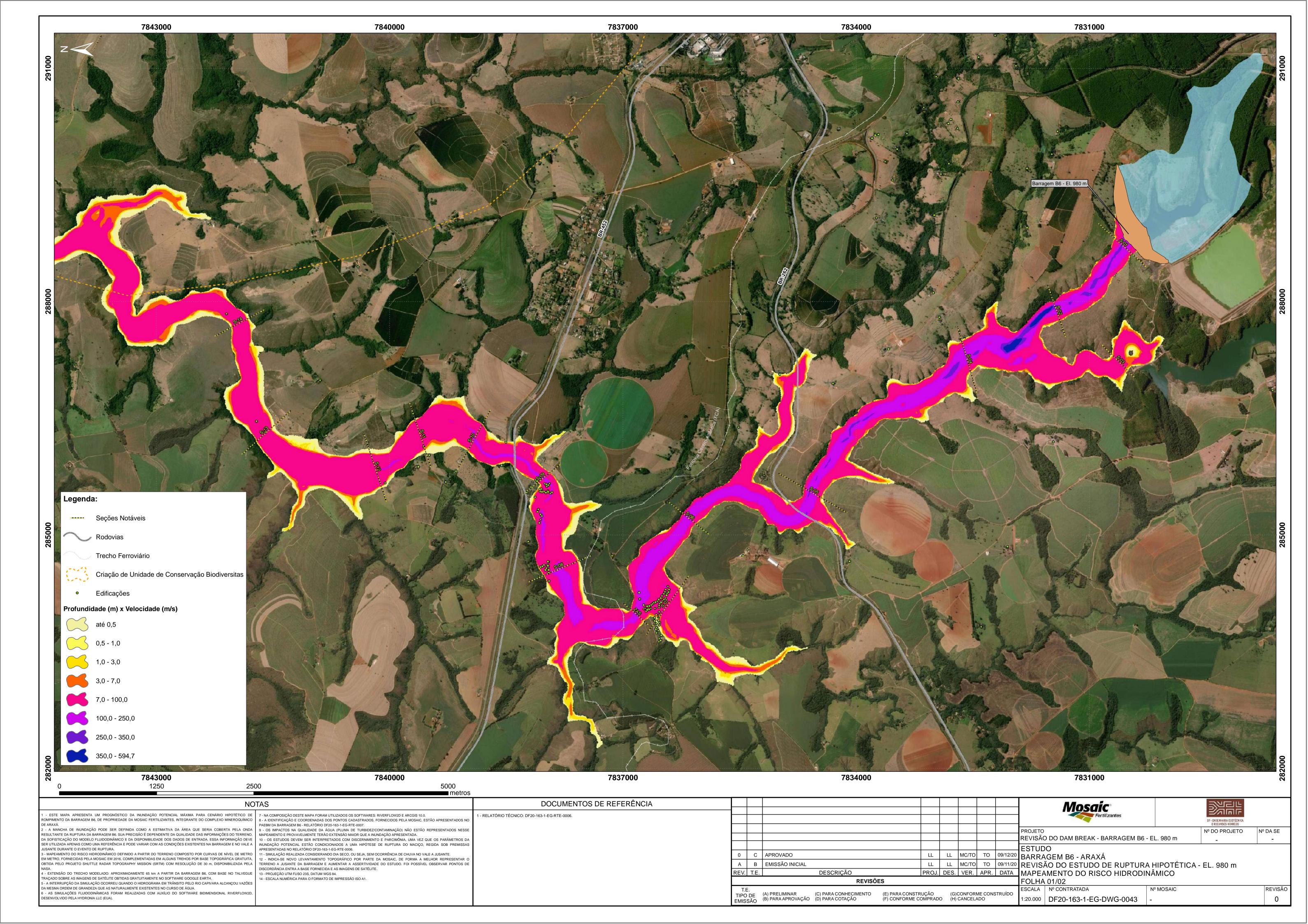


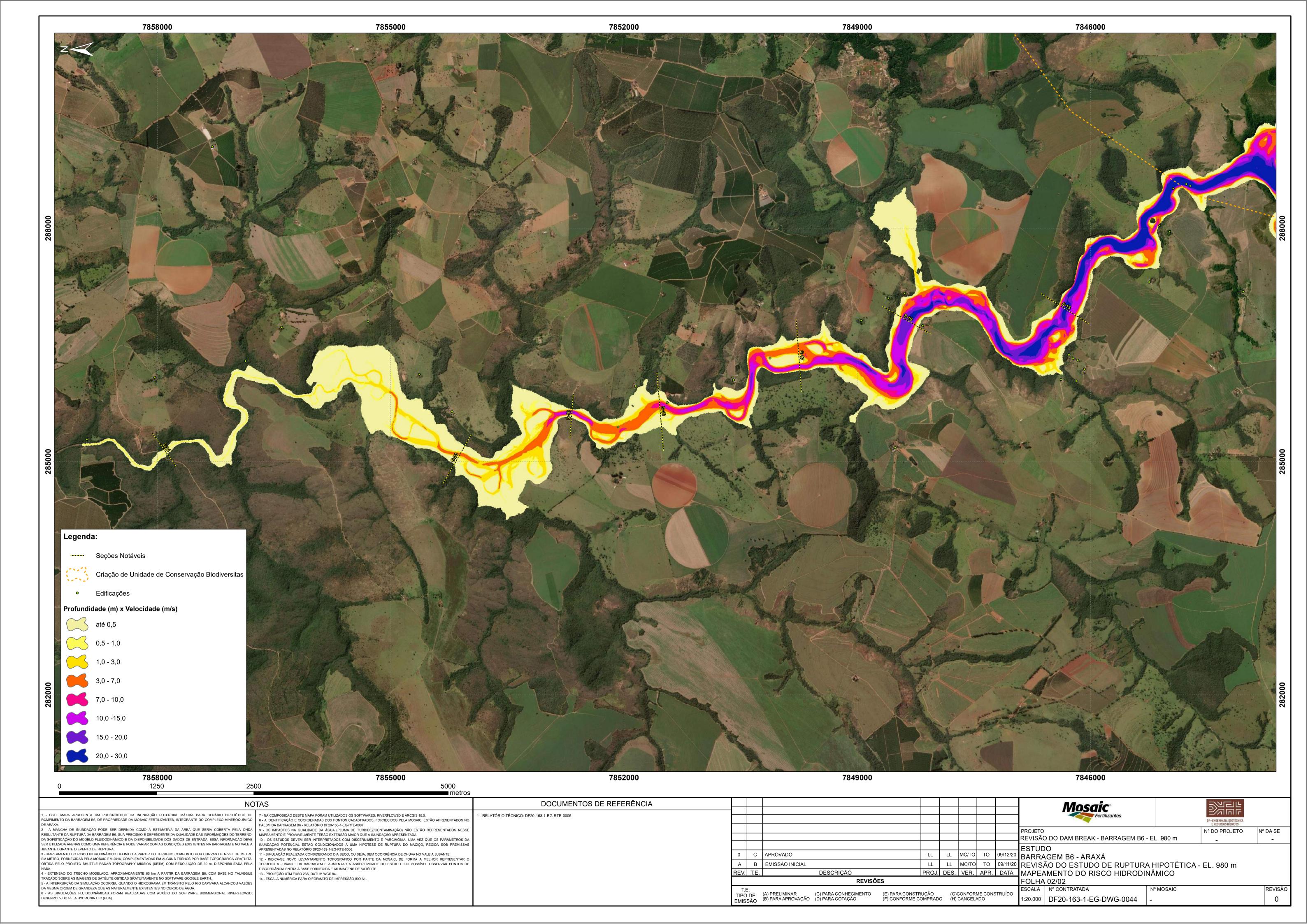














Anotação de Responsabilidade Técnica - ART CRFA-MG Leinº 6.496, de 7 de dezembro de 1977

Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Minas Gerais

ART de Obra ou Serviço 1420200000005983811

COMPLEMENTAR À ART 14201900000005423546

	1. Res	sponsável	lecnic	0
CERM	NO	STLVA	DE	ARAU

OT.

Titulo profissional:

ENGENHEIRO CIVIL;

RNP: 2706864494

Registro: 21.0.000011003

CNPJ: 33.931.486/0014-55

Empresa contratada:

DF+ ENGENHARIA GEOTECNICA E RECURSOS HIDRICOS LTDA

Registro: 34506

Nº: 000000

CEP: 38044795

- 2 Dados do Contrato -

Contratante: MOSAIC FERTILIZANTES P&K LTDA

Logradouro: ESTRADA DA CANA

Complemento: KM11

Cidade: UBERABA

Celebrado em: 07/03/2019

Contrato: Valor: 1.884.070,00

UF:MG

Tpo de contratante: PESSOA JURÍDICA DE DIREITO PRIVADO

- 3. Dados da Obra/Serviço

Logradouro: AVENIDA ARAFÉRTIL

Nº: 005000 Bairro: SETOR SUL

Bairro: INDUSTRIAL DE UBERABA

UF: MG

CEP: 38184270

Data de início: 10/04/2020 Previsão de término: 12/06/2020

Finalidade: OUTRO-DETALHAR CAMPO 5 OBSERV. Proprietário: MOSAIC FERTILIZANTES P&K LTDA

CNPJ: 33.931.486/0019-60

Quantidade:

4. Atividade Técnica 1 - COORDENAÇÃO

Cidade: ARAXÁ

ESTUDO, MINERAÇÃO, PARA OUTROS FINS

1.00

חנו

Após a conclusão das atividades técnicas o profissional deverá proceder a baixa desta ART

5.Observações DF20-106 - MOSAIC 030 - ESTUDO DE RUPTURA HIPOTÉTICA E ELABORAÇÃO DO PAEBM PARA A BARRAGEM B6 CONSIDERANDO A CRISTA NA EL. 980,00M.... 6. Declarações

- 7. Entidade de Classe

SINDICATO DE ENGENHEIROS NO ESTADO DE MINAS GEF

8. Assinaturas

Declaro serem v erdadeiras, as informações acima

RNP: 2706864494 GERMANO SILVA DE ARAUJO Luis Antônia Pinto e Almeida

MOSAIC FERSHOWN FOR FERS P&K LTDA CNPJ: 33.931.486/0014-55

9 Informações

 A ART é válida somente quando quitada, mediante apresentação do comprovante do pagamento ou conferência no site do Crea.

 A autenticidade deste documento pode ser verificada no site

A guarda da via assinada da ART será de responsabilidade do profissional e do contratante com o objetivo de documentar o vínculo contratual.

VALOR DA OBRA: R\$ R\$37.176,50. ÁREA DE ATUAÇÃO: HIDROLOGIA,

www.crea-mg.org.br | 0800.0312732



Anotação de Responsabilidade Técnica - ART Leinº 6.496, de 7 de dezembro de 1977

Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Minas Gerais

ART de Obra ou Serviço 1420200000005983811

COMPLEMENTAR À ART 14201900000005423546

1. Responsável Técnico				
GERMANO SILVA DE ARAUJO				
Titulo profissional:		RNP: 2706864494		
ENGENHEIRO CIVIL;		Registro: 21.0.0000011003		
		Registro: 34506		
Empresa contratada: DF+ ENGENHARIA GEOTECNICA E RECURSOS HIDRICOS LTDA DF+ ENGENHARIA GEOTECNICA E RECURSOS HIDRICOS LTDA	1			
2 Dados do Contrato		7 22 221 406	/0014 FF	
Contratante: MOSAIC FERTILIZANTES P&K LTDA		CNPJ: 33.931.486	/0014-55	
Logradouro: ESTRADA DA CANA		Nº: 000000		
Complemento: 14111	Bairro: INDUSTRIAL DE U	CEP: 38044795		
Cidade: UBERADA	UF:MG	CEP. 30044793	AMONG THE STREET	
Contrato: Celebrado em: 07/03/20)19		and the second s	
Valor: 1.884.070,00 Tpo de contratante: PESSOA JURÍDICA	DE DIREITO PRIVADO			
3. Dados da Obra/Serviço		005000		
Logradouro: AVENIDA ARAFÉRTIL		Nº: 005000		
	Bairro: SETOR SUL	OED: 20194270		
Cidade: ARAXA	UF: MG	CEP: 38184270		
Data de início: 10/04/2020 Previsão de término: 12/06/2020				
Finalidade: OUTRO-DETALHAR CAMPO 5 OBSERV.		22 021 406	/0010 60	
Proprietário: MOSAIC FERTILIZANTES P&K LTDA		CNPJ: 33.931.486		
4. Atividade Técnica		Quantidade:	Unidade:	
1 - COORDENAÇÃO ESTUDO, MINERAÇÃO, PARA OUTROS FINS		1.00	un	
Após a conclusão das atividades técnicas o profissio				
5. Observações DF20-106 - MOSAIC 030 - ESTUDO DE RUPTURA HIPOTÉTICA E EI CONSIDERANDO A CRISTA NA EL. 980,00M	indokayato bo 111211 1			
7 Entidade de Classe	9. Informações			
7. Entidade de Classe SINDICATO DE ENGENHEIROS NO ESTADO DE MINAS GEF	A ART é válida somente quando do pagamento ou conferência no A autenticidade deste document	site do Crea. Lo pode ser verificada no site	o do comprova	
SINDICATO DE ENGENHEIROS NO ESTADO DE MINAS GEF 8. Assinaturas	ART é válida somente quando do pagamento ou conferência no A autenticidade deste document www.crea-mg.org.br.ou www.cc A cuyado da via assinada da A	site do Crea. to pode ser verificada no site nfea.org.br RT será de responsabilidade do		
SINDICATO DE ENGENHEIROS NO ESTADO DE MINAS GEF	- A ART é válida somente quando do pagamento ou conferência no - A a u tenticidade deste document www.crea-mg-org-brou www.co - A guarda da via assinada da A contratante com o objetivo de do	site do Crea. to pode ser verificada no site nfea.org.br RT será de responsabilidade do		
SINDICATO DE ENGENHEIROS NO ESTADO DE MINAS GEF 8. Assinaturas	- A ART é válida somente quando do pagamento ou conferência no - A a u tenticidade deste document - A guarda da via assinada da A contratante com o objetivo de doc	site do Crea. co pode ser verificada no site nfea.org.br RT será de responsabilidade do cumentar o vinculo contratual.	profissional e	

Luis Antônio Pinto e Almeida



Anotação de Responsabilidade Técnica - ART CREA-MG Leinº 6.496, de 7 de dezembro de 1977

Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Minas Gerais

ART de Obra ou Serviço 1420200000005983811

COMPLEMENTAR À ART 14201900000005423546

 1. Res	sponsáv el	Técnico	
 Contract Contract			

GERMANO SILVA DE ARAUJO

Titulo profissional:

ENGENHEIRO CIVIL;

RNP: 2706864494

Registro: 21.0.0000011003

Empresa contratada:

DF+ ENGENHARIA GEOTECNICA E RECURSOS HIDRICOS LTDA

Registro: 34506

2 Dados do Contrato

Contratante: MOSAIC FERTILIZANTES P&K LTDA

CNPJ: 33.931.486/0014-55 Nº: 000000

Logradouro: ESTRADA DA CANA Complemento: KM11

Bairro: INDUSTRIAL DE UBERABA

Cidade: UBERABA

Valor: 1.884.070,00

UF:MG

CEP: 38044795

Contrato:

Celebrado em: 07/03/2019

Tipo de contratante: PESSOA JURÍDICA DE DIREITO PRIVADO

3. Dados da Obra/Serviço

Logradouro: AVENIDA ARAFÉRTIL

Nº: 005000

UF: MG

Cidade: ARAXÁ

Bairro: SETOR SUL

CEP: 38184270

Data de início: 10/04/2020 Previsão de término: 12/06/2020

Finalidade: OUTRO-DETALHAR CAMPO 5 OBSERV. Proprietário: MOSAIC FERTILIZANTES P&K LTDA

CNPJ: 33.931.486/0019-60

Quantidade:

Unidade:

4. Atividade Técnica 1 - COORDENAÇÃO

ESTUDO, MINERAÇÃO, PARA OUTROS FINS

1.00

un

Após a conclusão das atividades técnicas o profissional deverá proceder a baixa desta ART

5.Observações DF20-106 - MOSAIC 030 - ESTUDO DE RUPTURA HIPOTÉTICA E ELABORAÇÃO DO PAEBM PARA A BARRAGEM B6 CONSIDERANDO A CRISTA NA EL. 980,00M..... 6. Declarações

- 7. Entidade de Classe -

SINDICATO DE ENGENHEIROS NO ESTADO DE MINAS GEF

Declaro serem verdadeiras as informações acima

Horizoute

CIERMZ GERMANO SILOGUSIQUE ANAUJO

RNP: 2706864494

Luis Antônio Pinto e Almeida

MOSAIC FERTIFICATION FER LTDA CNPJ: 33.931.486/0014-55

9. Informações

 A ART é válida somente quando quitada, mediante apresentação do comprovante A pagmento ou conferência no site do Crea.

A autenticidade deste documento pode ser verificada no site

"The pagment ou conferência no site do Crea.

A autenticidade deste documento pode ser verificada no site

"The pagment ou companiem organiem."

A guarda da via assinada da ART será de responsabilidade do profissional e do

contratante com o objetivo de documentar o vínculo contratual. VALOR DA OBRA: R\$ R\$37.176,50. ÁREA DE ATUAÇÃO:

HIDROLOGIA,

www.crea-mg.org.br | 0800.0312732

Valor da ART: 88,78

Registrada em: 20/04/2020

Valor Pago: 88,78