

## **Plano de Ação de Emergência: Barragem Bonsucesso**

### **PAE da Barragem Bonsucesso**

**Belo Horizonte, 2022**

**Equipe:**

Nilo de Oliveira Nascimento – professor titular, coordenador do estudo, EHR-UFMG

Luiz Rafael Palmier – professor titular, EHR-UFMG

Julian Cardoso Eleutério – professor adjunto, EHR-UFMG

Deyvid W. Barreto Rosa – engenheiro civil, mestre, doutorando

André Rocha da Silva – engenheiro ambiental, mestre, doutorando

Vanessa Lucena Cançado – economista, doutora

## SUMÁRIO

|       |                                                                                                                                                              |    |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1     | Introdução .....                                                                                                                                             | 9  |
| 2     | Apresentação e objetivo do Plano de Ação de Emergência, PAE.....                                                                                             | 9  |
| 3     | Identificação e contatos do Empreendedor, do Coordenador do Plano de Ação de Emergência – PAE e das entidades constantes do Fluxograma de Notificação .....  | 9  |
| 4     | Descrição geral da barragem e estruturas associadas, incluindo acessos à barragem e características hidrológicas, geológicas e sísmicas.....                 | 16 |
| 4.1   | Localização e acesso .....                                                                                                                                   | 16 |
| 4.2   | Características hidrológicas da Barragem de Bonsucesso.....                                                                                                  | 17 |
| 4.3   | Características geológicas e sísmicas da Barragem de Bonsucesso .....                                                                                        | 19 |
| 5     | Instrumentação e Equipamentos .....                                                                                                                          | 20 |
| 6     | Classificação das situações de emergência em potencial conforme Nível de Resposta .....                                                                      | 20 |
| 6.1   | Breve discussão sobre as situações de emergência .....                                                                                                       | 23 |
| 6.1.1 | Evento pluvial extremo.....                                                                                                                                  | 23 |
| 6.1.2 | B. Erosão regressiva (piping) e problemas estruturais nos maciços, em suas fundações e nas ombreiras.....                                                    | 24 |
| 7     | Fluxogramas das Notificações e por Nível de Resposta .....                                                                                                   | 27 |
| 8     | Responsabilidades no Plano de Ação de Emergência – PAE (empreendedor, Coordenador do Plano de Ação de Emergência – PAE, equipe técnica e Defesa Civil) ..... | 37 |
| 8.1   | Coordenador do PAE .....                                                                                                                                     | 37 |
| 8.2   | Empreendedor.....                                                                                                                                            | 39 |
| 8.3   | Equipes Técnicas.....                                                                                                                                        | 40 |
| 8.4   | Grupo de Combate e Salvamento (Defesa Civil) .....                                                                                                           | 42 |
| 9     | Síntese do estudo de inundação com os respectivos mapas, indicação da Zona de Autossalvamento - ZAS e pontos vulneráveis potencialmente afetados .....       | 44 |
| 10    | Zona de Autossalvamento - ZAS e pontos vulneráveis potencialmente afetados .....                                                                             | 56 |
| 11    | Uso do solo, população exposta e análise de vulnerabilidade das áreas potencialmente afetadas ..                                                             | 58 |
| 11.1  | Indicadores de ameaça, exposição, vulnerabilidade e risco de inundação: referencial conceitual, material e métodos .....                                     | 58 |
| 11.2  | Estimativas de edificações e moradores atingidos.....                                                                                                        | 60 |
| 11.3  | Índice de Risco Material (IRM), Índice de Risco Humano (IRH) e Índice de Criticidade (IRC) .....                                                             | 63 |
| 11.4  | Tempos de Chegada das Inundações .....                                                                                                                       | 66 |
| 11.5  | Infraestrutura Socioeconômica .....                                                                                                                          | 68 |
| 11.6  | Rede Viária.....                                                                                                                                             | 72 |
| 12    | Sistema de alerta, setorização do alerta, rotas de fuga e pontos de encontro .....                                                                           | 75 |
| 13    | Plano de Treinamento do Plano de Ação de Emergência .....                                                                                                    | 78 |
| 14    | Meios e recursos disponíveis para serem utilizados em situações de emergência em potencial .....                                                             | 81 |
| 15    | Formulários de declaração de início da emergência, de declaração de encerramento da emergência e de mensagem de notificação.....                             | 81 |

|    |                                                                                                                                                       |    |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 16 | Relação das entidades públicas e privadas que receberam cópia do Plano de Ação de Emergência – PAE com os respectivos protocolos de recebimento ..... | 85 |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|



## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 3.1. Organograma.....                                                                                                                                                                                                       | 10 |
| Figura 3.2. Composição do GID e GAI.....                                                                                                                                                                                           | 11 |
| Figura 3.3. Composição do GAE.....                                                                                                                                                                                                 | 12 |
| Figura 4.1. Localização da barragem Bonsucesso, com a área de drenagem do seu reservatório.....                                                                                                                                    | 16 |
| Figura 4.2. Área de drenagem e hidrografia da região (Fonte: BHMAP 2022).....                                                                                                                                                      | 18 |
| Figura 7.1. Fluxograma de Notificações. ....                                                                                                                                                                                       | 27 |
| Figura 9.1. Hidrogramas de ruptura da Barragem de Bonsucesso para o cenário de piping.....                                                                                                                                         | 44 |
| Figura 9.2. Limites a montante e a jusante para simulação da onda proveniente de ruptura hipotética da Barragem de Bonsucesso – do dique da barragem até a jusante da região urbanizada de Belo Horizonte no Ribeirão Arrudas..... | 46 |
| Figura 9.3. Modelo Digital de Terreno e área de simulação da propagação da onda de ruptura hipotética da barragem de Bonsucesso considerando o cenário de piping.....                                                              | 47 |
| Figura 9.4. Recorte da região na confluência entre o Córrego Bonsucesso e Ribeirão Arrudas com a identificação da orientação das células de modo perpendicular às vias. ....                                                       | 47 |
| Figura 9.5. Mapa com o uso e ocupação da Bacia do Ribeirão Arrudas com base em fotografia área elaborado a partir das ortofotos aéreas disponibilizadas pela Prodabel (Belo Horizonte) – Fonte: FCO, 2021. ....                    | 48 |
| Figura 9.6. Mapa global da região afetada pela propagação da onda de ruptura hipotética da barragem de Bonsucesso considerando o cenário de piping. ....                                                                           | 49 |
| Figura 9.7. Mapa global de profundidades máximas de inundação resultantes da propagação da onda de ruptura hipotética da barragem Bonsucesso considerando o cenário de piping. ....                                                | 51 |
| Figura 9.8. Mapa global de velocidades máximas de inundação resultantes da propagação da onda de ruptura hipotética da barragem de Bonsucesso considerando o cenário de piping.....                                                | 52 |
| Figura 9.9. Mapa global do risco hidrodinâmico da inundação resultante da propagação da onda de ruptura hipotética da barragem de Bonsucesso considerando o cenário de piping.....                                                 | 53 |
| Figura 9.10. Mapa global de tempo de chegada mínimo da inundação resultante da propagação da onda de ruptura hipotética da barragem de Bonsucesso considerando o cenário de piping. ....                                           | 54 |
| Figura 9.11. Mapa global de tempo de chegada para profundidade máxima da inundação resultante da propagação da onda de ruptura hipotética da barragem de Bonsucesso considerando o cenário de piping. ....                         | 55 |
| Figura 10.1. Mapa global da Zona de Autossalvamento e Zona de Segurança Secundária resultante da propagação da onda de ruptura hipotética da barragem de Bonsucesso considerando o cenário de piping. ....                         | 57 |
| Figura 11.1. População residente e número de domicílios na ZAS e ZSS, por grade estatística. ....                                                                                                                                  | 62 |
| Figura 11.2. Índice de Risco Material e Índice de Risco Humano na mancha de inundação localizada na ZAS e ZSS. ....                                                                                                                | 64 |
| Figura 11.3. Mapa de áreas inundáveis segundo o Índice de Criticidade na ZAS e ZSS. ....                                                                                                                                           | 65 |
| Figura 11.4. Tempos de Chegada da Inundação, considerando as grades estatísticas localizadas na ZAS e ZSS. ....                                                                                                                    | 67 |
| Figura 11.5. Atividades econômicas diretamente atingidas pela ruptura hipotética da barragem de Bonsucesso em cenário de piping. ....                                                                                              | 69 |

|                                                                                                                                                                                                     |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 11.6. Atividades econômicas com potencial de concentração de um número elevado de pessoas, diretamente atingidas pela ruptura hipotética da barragem de Bonsucesso em cenário de piping..... | 70 |
| Figura 11.7. Distribuição do comprimento dos trechos viários afetados, por tipo de via. ....                                                                                                        | 72 |
| Figura 12.1. Setores de alerta e evacuação e pontos de encontro. ....                                                                                                                               | 76 |
| Figura 12.2. Exemplos de setores de alerta e evacuação e pontos de encontro.....                                                                                                                    | 77 |

## LISTA DE QUADROS

|                                                                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Quadro 3.1. Contatos do Coordenador e do Empreendedor.....                                                                | 13 |
| Quadro 3.2. Grupos de Intervenção Direta. ....                                                                            | 13 |
| Quadro 3.3. Grupos de Apoio Interno.....                                                                                  | 14 |
| Quadro 3.4. Grupos de Apoio Externo. ....                                                                                 | 15 |
| Quadro 6.1. Classificação das Emergências por Causas. ....                                                                | 26 |
| Quadro 8.1. Responsabilidades do Coordenador do PAE – SMOBI. ....                                                         | 37 |
| Quadro 8.2. Responsabilidades do Empreendedor.....                                                                        | 39 |
| Quadro 8.3. Responsabilidades dos Grupos de Inspeção e Avaliação de Risco (GIAR) e de Manutenção (GM).<br>.....           | 41 |
| Quadro 8.4. Responsabilidades do Grupo de Operação. ....                                                                  | 41 |
| Quadro 8.5. Responsabilidades do Grupo de Meio Ambiente.....                                                              | 42 |
| Quadro 8.6. Classificação das Emergências por Causas. ....                                                                | 42 |
| Quadro 11.1. Indicadores, hipótese, variáveis e índices. ....                                                             | 60 |
| Quadro 11.2. Principais vias afetadas pela mancha de inundação, ordenadas segundo extensão exposta ao<br>risco. ....      | 72 |
| Quadro 13.1. Plano de Treinamento do PAE da Barragem Bonsucesso: objetivos, modalidades e meios. ...                      | 80 |
| Quadro 14.1. Lista de equipamentos mínimos, administração local prevista para o contrato de manutenção<br>de bacias. .... | 81 |
| Quadro 16.1. Instituições que receberam cópia do PAE da Barragem Bonsucesso. ....                                         | 85 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                                                                                                                                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 4.1. Principais características da Barragem Bonsucesso e seu reservatório. ....                                                                                                                                                                        | 17 |
| Tabela 6.1. Critérios para a avaliação de borda livre mínima no reservatório de Bonsucesso (Enemax e FCO, 2021).....                                                                                                                                          | 23 |
| Tabela 6.2. Reservatório Bonsucesso: bordas livres e vazões afluentes e defluentes por tempos de retorno e duração do evento pluvial de projeto (Enemax e FCO, 2021).....                                                                                     | 23 |
| Tabela 9.1. Características do maciço e condições de ruptura da Barragem de Bonsucesso.....                                                                                                                                                                   | 44 |
| Tabela 9.2. Parâmetros da brecha de ruptura da Barragem de Bonsucesso. ....                                                                                                                                                                                   | 44 |
| Tabela 9.3. Bases de dados utilizadas para construção do modelo hidrodinâmico de propagação de onda de cheia proveniente de ruptura hipotética da barragem de Bonsucesso. ....                                                                                | 45 |
| Tabela 9.4. Descrição das metodologias empregadas para desenvolvimento dos diferentes mapas produzidos a partir dos resultados das simulações hidrodinâmicas de propagação de onda de cheia proveniente de ruptura hipotética da barragem de Bonsucesso. .... | 50 |
| Tabela 11.1. Estimativa do número de edificações, domicílios e moradores situados na ZAS e ZSS - Ruptura hipotética da barragem de Bonsucesso considerando o cenário de piping.....                                                                           | 60 |
| Tabela 11.2. Número de edificações situadas na ZAS e ZSS, segundo tipologia de uso do lote - Ruptura hipotética da barragem de Bonsucesso considerando o cenário de piping.....                                                                               | 60 |
| Tabela 11.3. Distribuição dos índices de risco, segundo classes, nas grades estatísticas situadas na ZAS e ZSS. ....                                                                                                                                          | 66 |
| Tabela 11.4. Número de atividades econômicas situadas na mancha de inundação, por zona – cenário de piping da barragem de Bonsucesso.....                                                                                                                     | 68 |
| Tabela 11.5. Porcentagem de atividades econômicas situadas na mancha de inundação, por zona – cenário de piping da barragem de Bonsucesso.....                                                                                                                | 68 |
| Tabela 11.6. Nome e endereço das atividades de potencial concentração de um número elevado de pessoas situadas na mancha de inundação, por zona – cenário de piping da barragem de Bonsucesso. ....                                                           | 71 |

# **PLANO DE AÇÃO DE EMERGÊNCIA: BARRAGEM BONSUCESSO**

## **1 Introdução**

O presente documento, o Plano de Ações Emergenciais da Barragem Bonsucesso, elaborado pelo Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos da UFMG no âmbito do Contrato n. 14/2018 firmado entre a Secretaria Municipal de Obras e Infraestrutura da Prefeitura de Belo Horizonte e a Universidade Federal de Minas Gerais, é parte integrante de seu Plano de Segurança de Barragens.

## **2 Apresentação e objetivo do Plano de Ação de Emergência, PAE**

O Plano de Ação de Emergência (PAE) da Barragem Bonsucesso tem por objetivos identificar situações de emergência relacionadas à estabilidade estrutural e integridade física da barragem e definir ações, responsabilidades, procedimentos e meios materiais e técnicos para minimizar danos e perdas de vida que podem decorrer de tais situações de risco.

Mais especificamente, o PAE define responsabilidades e procedimentos para:

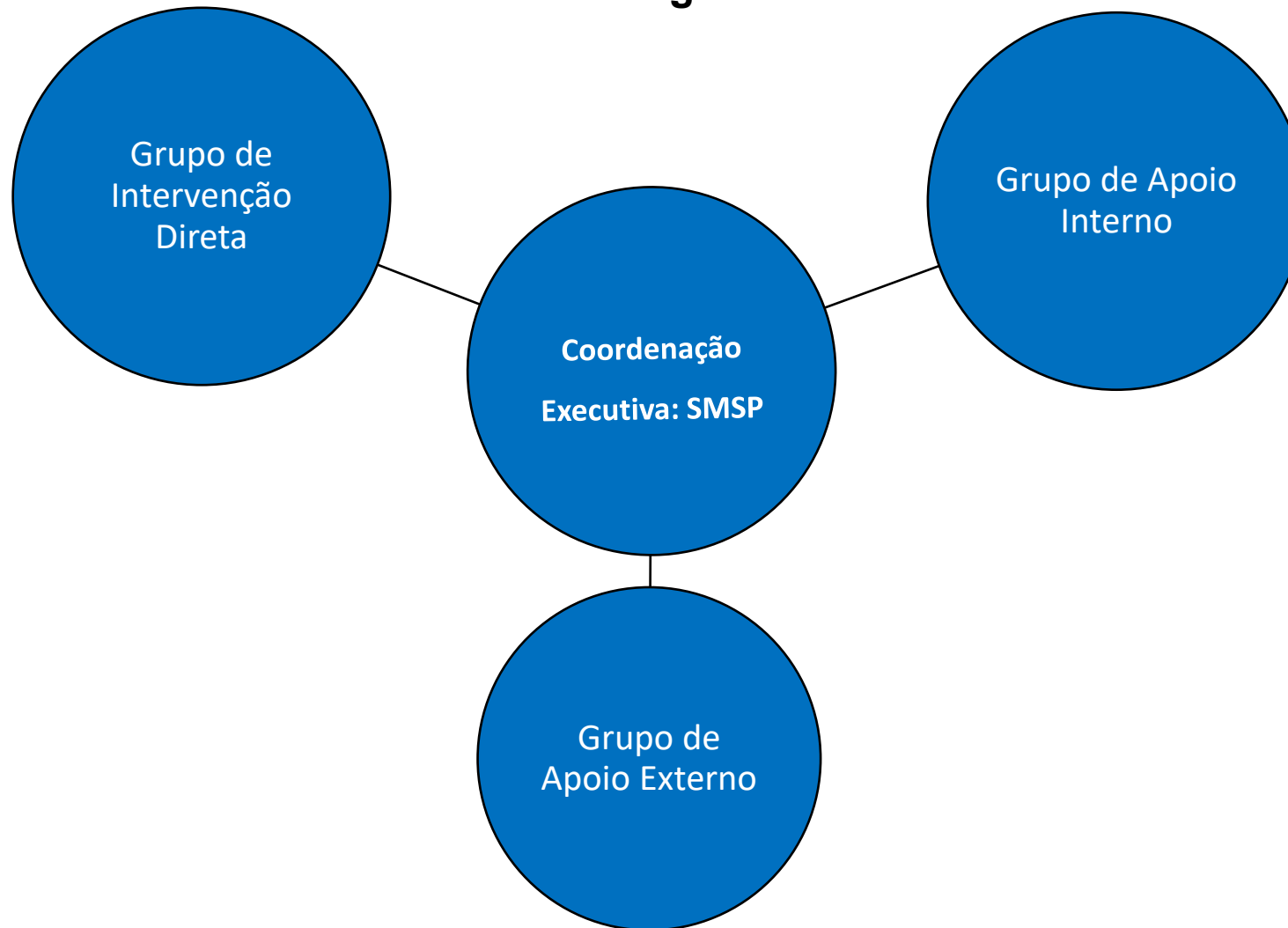
- Identificar e avaliar possíveis situações de emergência;
- Iniciar as ações corretivas e preventivas previstas em situações de emergência;
- Informar as autoridades competentes sobre situações de emergência, sua evolução temporal, correções implantadas e resultados obtidos;
- Alertar as comunidades potencialmente afetadas em situações de emergência conforme a classificação da emergência e o nível correspondente de resposta.

## **3 Identificação e contatos do Empreendedor, do Coordenador do Plano de Ação de Emergência – PAE e das entidades constantes do Fluxograma de Notificação**

A Figura 3.1 contém o Organograma do PAE Bonsucesso e as Figura 3.2 e Figura 3.3 a composição de cada Grupo.

Figura 3.1. Organograma.

## Estrutura Organizacional



## Mapeamento Institucional

Figura 3.2. Composição do GID e GAI.



# Mapeamento Institucional

Figura 3.3. Composição do GAE



Do Quadro 3.1 ao Quadro 3.4 são listados os telefones de contato de entidades que compõem o Organograma do PAE.



**Quadro 3.1.** Contatos do Coordenador e do Empreendedor.

| <b>Posição no Organograma</b> | <b>Organismo</b>                  | <b>Nome do Responsável</b> | <b>Telefones de emergência</b> |
|-------------------------------|-----------------------------------|----------------------------|--------------------------------|
| <b>Coordenador do PAE</b>     | SMSP                              | Genilson Ribeiro Zeferino  | 3277-4414                      |
| <b>Empreendedor</b>           | PBH: Prefeitura de Belo Horizonte | Fuad Noman                 | 156                            |

**Quadro 3.2.** Grupos de Intervenção Direta.

| <b>Grupo</b>                         | <b>Organismos</b>                                                              | <b>Nome do Responsável</b>        | <b>Telefones de emergência</b> |
|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|
| <b>Inspeção e Avaliação de Risco</b> | Subsecretaria de Zeladoria Urbana – SUZURB                                     | Leonardo Gomes                    | 3277-5299                      |
|                                      | Gerência de Manutenção de Bacias de Controle de Cheias e Barragens - GMABC-OBI | Jaime Lourenço Lage               | 3277-8142                      |
|                                      | Diretoria de Gestão de Águas Urbanas – DGAU-OBI                                | Ana Paula Fernandes Viana Furtado | 3277-8191                      |
| <b>Manutenção</b>                    | – Subsecretaria de Zeladoria Urbana – SUZURB                                   | Leonardo Gomes                    | 3277-5299                      |
|                                      | Diretoria de Infraestrutura da SUDECAP (DINF-SD)                               | Adriano Morato                    | 3277-8081                      |
| <b>Operação</b>                      | SUDECAP                                                                        | Henrique de Castilho Marques      | 3277-8001                      |
|                                      | SUPDEC: Subsecretaria de Proteção e Defesa Civil                               | Waldir Figueiredo Vieira          | 199                            |
|                                      | SMOBI: Secretaria de Obras e Infraestrutura                                    | Leandro César Pereira             | 3277-5010                      |
|                                      | URBEL                                                                          | Claudius Vinicius Leite Pereira   | 3277-8109/78113                |
|                                      | BHTRANS                                                                        | Júlia Gallo                       | 3379-5501                      |
| <b>Combate e Salvamento</b>          | SUPDEC: Subsecretaria de Proteção e Defesa Civil                               | Waldir Figueiredo Vieira          | 199                            |
| <b>Meio Ambiente</b>                 | SMMA: Secretaria de Meio Ambiente                                              | Mario de Lacerda Werneck Neto     | 3246-0583                      |
|                                      | SLU: Limpeza Urbana                                                            | Genedempsey Bicalho               | 3277-9333                      |

**Quadro 3.3.** Grupos de Apoio Interno.

| <b>Grupo</b>                                        | <b>Organismo</b>                                                          | <b>Nome do Responsável</b>            | <b>Telefones de emergência</b> |
|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|
| <b>Comunicação</b>                                  | SMAIC: Secretaria de Assuntos Institucionais e Comunicação Social         | Luiz Henrique Michalick               | 3277- 4148                     |
|                                                     | ASCOM: Comunicação Social                                                 | Luiz Henrique Michalick               | 3277-4650                      |
|                                                     | Assessoria de Comunicação da SUDECAP                                      | Adília Dalbem                         | 3277-8004                      |
|                                                     | Assessoria de Comunicação da SUPDEC                                       | Reger Roger Victor                    | 3277-8864                      |
|                                                     | COP-BH: Centro de Operações                                               | Geórgia Ribeiro                       | 3314-7870 e 98524-2545         |
| <b>Assistência Jurídica</b>                         | SMOBI - Assessoria Jurídica                                               | Patrícia Figueiredo                   | 3277-5118                      |
|                                                     | PGM: Procuradoria Geral do Município                                      | Hércules Guerra                       | 3277-4075                      |
| <b>Saúde, Atendimento de Urgência e Assistência</b> | SMSA: Secretaria Saúde                                                    | Claudia Navarro Carvalho Duarte Lemos | 3277-6392                      |
|                                                     | SMASAC: Secretaria de Assistência Social, Segurança Alimentar e Cidadania | Rosilene Rocha                        | 3277-4562/4568                 |
| <b>Segurança</b>                                    | SMOBI: Secretaria de Obras e Infraestrutura                               | Leandro César Pereira                 | 3277-5010                      |
|                                                     | SMSP: Secretaria de Segurança Urbana e Patrimonial                        | Genilson Ribeiro Zeferino             | 3277-4414                      |
|                                                     | GMBH: Guarda Municipal                                                    | CMDT. Rodrigo Sérgio Prates           | 3277-4241/ 4335/ 4455/ 9256    |

**Quadro 3.4.** Grupos de Apoio Externo.

| <b>Grupo</b>                                        | <b>Organismo</b>                                                   | <b>Nome do Responsável</b>                                     | <b>Telefones de emergência</b>      |
|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| <b>Combate e Salvamento</b>                         | CEDEC: Defesa Civil do Estado de MG                                |                                                                | 99818-2400/3915-0274/3915-0998      |
|                                                     | Corpo de Bombeiros Militar                                         |                                                                | 193 ou 3379-3641/3379-3636/ 3609    |
| <b>Saúde e Atendimento de Urgência</b>              | Secretaria de Saúde do Estado                                      |                                                                | 3215-7248/7251 ou plantão 9621-2229 |
|                                                     | SAMU                                                               |                                                                | 192                                 |
| <b>Segurança Patrimonial e de Circulação Viária</b> | Polícia Militar de Minas Gerais                                    |                                                                | 190 ou 3307-0150                    |
|                                                     | Política Rodoviária Estadual                                       |                                                                | 2123-1926/1903                      |
|                                                     | Polícia Rodoviária Federal                                         |                                                                | 191 ou 3064-5385/5386               |
| <b>Meio Ambiente</b>                                | Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável | <b>Superintendência de Estratégia e Fiscalização Ambiental</b> | 3915-1919                           |
|                                                     | Instituto Mineiro de Gestão das Águas                              | Núcleo de Autos de Infração                                    | 3915-1281                           |
|                                                     | Fundação Estadual de Meio Ambiente                                 |                                                                | 3915-1421                           |
| <b>Operadoras de Serviços Públicos</b>              | COPASA: Saneamento                                                 |                                                                | 115                                 |
|                                                     | CEMIG: Energia Elétrica                                            |                                                                | 116                                 |
|                                                     | GASMIG: Gás                                                        |                                                                | 3265-1000                           |
|                                                     | Telefonia:                                                         |                                                                |                                     |

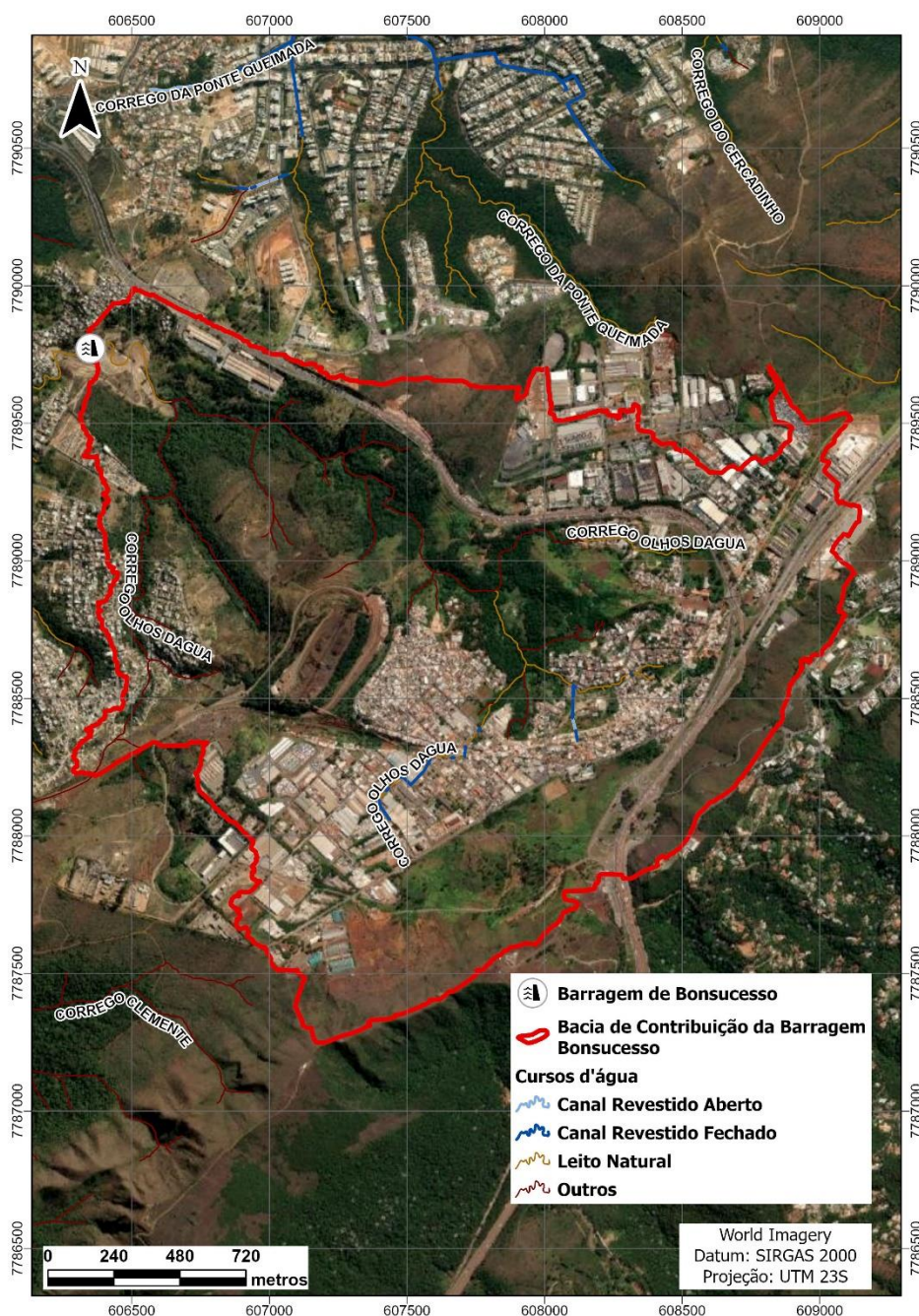
## 4 Descrição geral da barragem e estruturas associadas, incluindo acessos à barragem e características hidrológicas, geológicas e sísmicas

### 4.1 Localização e acesso

A Barragem Bonsucesso localiza-se na Regional....

A barragem de Bonsucesso localiza-se na Regional Barreiro. Ela foi implantada no leito do Córrego Olhos d'Água, afluente do Córrego Bonsucesso, pela Prefeitura Municipal de Belo Horizonte entre os anos de 2009 e 2011. A estrutura se situa em torno das coordenadas 19°59'13,19"S e 43°58'55,21"W, localizada a montante do Bairro Vila Bernadete, próximo ao terreno da Belgo/Arcelor Mittal. (PSB Volume I, SUDECAP 2021). O maciço, o sistema extravasor, o reservatório e a sua área de drenagem estão todos inseridos no município de Belo Horizonte. O acesso à Barragem Bonsucesso pode ser feito pela BR 040/ Anel Rodoviário. Na Figura 4.1 apresenta-se a localização da barragem Bonsucesso, com a área de drenagem do seu reservatório e a hidrografia da região.

**Figura 4.1.** Localização da barragem Bonsucesso, com a área de drenagem do seu reservatório.



A barragem compõe a Bacia de Detenção Bonsucesso, que não é permanente e é utilizada para retenção temporária do volume de chuva e amortecimento de cheias relacionadas a eventos extremos de precipitação. A estrutura do barramento é de terra homogênea, tem altura máxima de 20 m, com crista na el.967,64 m e comprimento de 85 m. O sistema de evacuação de cheias da bacia é composto por um vertedouro operacional do tipo descarga de fundo e por um vertedouro de emergência do tipo soleira livre (PSB Volume I, SUDECAP 2021). Conforme cálculos realizados e, exigindo-se o atendimento aos critérios de borda livre mínima, o tempo de retorno admissível pelo sistema é compatível com a precipitação máxima provável (PMP) (PSB Volume III, SUDECAP 2021). Considerando a configuração atual, as principais características da barragem, da área de armazenamento e do sistema extravasor são apresentadas na Tabela 4.1.

**Tabela 4.1.** Principais características da Barragem Bonsucesso e seu reservatório.

| <b>Barragem</b>                                          |                                                   |
|----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| Finalidade atual                                         | Amortecimento de cheias / regularização de vazões |
| Ano de início de projeto e construção/ano de inauguração | 2009 / 2011                                       |
| Tipo                                                     | Terra homogênea                                   |
| Crista da barragem                                       | el. 968,00m                                       |
| Altura máxima do maciço                                  | 20,00m                                            |
| Largura da crista                                        | 10,00m                                            |
| Comprimento da crista                                    | 85,00m                                            |
| Inclinação dos taludes                                   | Montante: 1V:2H / Jusante: 1V:1,85H               |
| <b>Reservatório</b>                                      |                                                   |
| NA máximo <i>maximorum</i>                               | el. 967,02m (PMP)                                 |
| NA normal                                                | el. 964,00m                                       |
| Área inundada (NA normal)                                | 28.620m <sup>2</sup>                              |
| Volume (NA normal)                                       | 120.565m <sup>3</sup>                             |
| Área de drenagem do reservatório                         | 4,77km <sup>2</sup>                               |
| <b>Vertedouro de emergência</b>                          |                                                   |
| Tipo                                                     | Canal com superfície livre                        |
| Número de vãos                                           | 1                                                 |
| Cota da soleira                                          | el. 964,00m                                       |
| Largura de soleira                                       | 15,00m                                            |
| Capacidade de vazão                                      | 180,00m <sup>3</sup> /s (NA 968,00m)              |
| Período de retorno                                       | PMP                                               |
| Tipo de dissipação                                       | Ressalto Hidráulico (equivalente à USBR TYPEIII)  |
| <b>Vertedouro operacional</b>                            |                                                   |
| Tipo                                                     | Descarga de fundo                                 |
| Dimensões                                                | 2,00m x 2,00m (altura x vão livre)                |
| Número de vãos                                           | 1                                                 |
| Cota da soleira                                          | el.953,50m                                        |
| Capacidade de vazão                                      | 39,71m <sup>3</sup> /s (NA 968,00m)               |
| Período de retorno                                       | PMP                                               |
| Tipo de dissipação                                       | Ressalto Hidráulico                               |

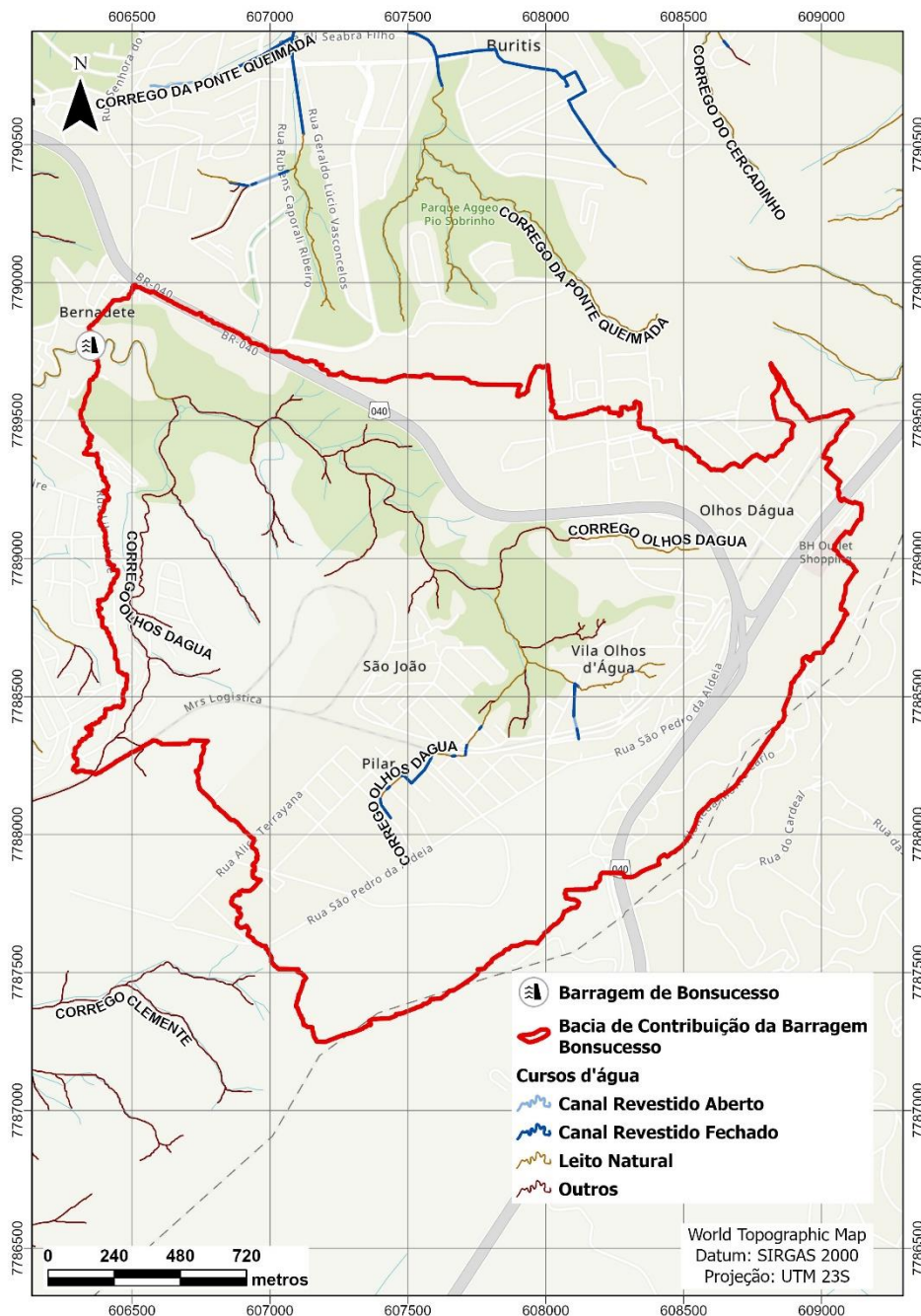
#### 4.2 Características hidrológicas da Barragem de Bonsucesso

A barragem foi implantada no leito do Córrego Olhos d'Água, afluente à margem direita do Córrego Bonsucesso. (PSB Volume I, SUDECAP 2021) A bacia hidrográfica da Barragem Bonsucesso possui área de drenagem de aproximadamente 4,77 km<sup>2</sup> (Figura 4.2). O córrego Bonsucesso é afluente do Ribeirão Arrudas, tributário do Rio das Velhas. A bacia hidrográfica de contribuição à Bacia de Detenção Bonsucesso abrange os bairros do Bonsucesso, Olhos d'Água, Pilar, São João, Vila Olhos d'Água, Vila Pilar e porções de outros



bairros como Belvedere, Bernadete, Buritis, Palmeiras e Serra do Curral. Uma maior concentração urbana é presente na porção norte da bacia, no entanto, a taxa de impermeabilização é relativamente baixa, da ordem de 26% da área total da bacia (PSB Volume V, SUDECAP 2021).

**Figura 4.2.** Área de drenagem e hidrografia da região (Fonte: BHMAP 2022).



Simulações hidrológicas realizadas em (PSB Volume V, SUDECAP 2021) concluíram que o evento pluviométrico crítico admissível pelo sistema corresponde à PMP com duração de 2 horas. Para este evento, o NA no reservatório atinge a elevação 967,02m, deixando uma borda livre de 62 cm em relação à elevação da crista da barragem (el. 967,64m). A vazão de pico defluente do reservatório calculada para o evento crítico é de 160,24m<sup>3</sup>/s (NA 967,02m). A partir dos resultados das simulações de trânsito de cheias considerando as condições de operação do sistema extravasor completo, não foram consideradas necessárias eventuais medidas corretivas (PSB Volume V, SUDECAP 2021).

### **4.3 Características geológicas e sísmicas da Barragem de Bonsucesso**

As características apresentadas aqui foram retiradas de forma a resumir o conteúdo detalhado em (PSB Volume IV, SUDECAP 2021) e (PSB Volume V, SUDECAP 2021), que com base em estudos anteriores e levantamentos e testes recentes fizeram a caracterização em questão. Segundo (PSB Volume IV, SUDECAP 2021), o barramento existente está consolidado sobre rocha alterada e rocha sã. A Barragem é constituída por um maciço de terra compactado de material silto-argiloso e seu sistema de drenagem interna é composto por filtro vertical e tapete drenante horizontal. Segundo o relatório, foram realizadas duas campanhas de sondagem para identificação e caracterização do material de fundação do maciço. Essas permitiram identificação das seguintes unidades geológico-geotécnicas: áreas com aterro e estruturas de concreto; solo aluvionar composto por areia fina a média, silto, pouca a medianamente argilosa, pedregulhos milimétricos a centimétricos de quartzo, laterita e rocha decomposta; solo coluvionar com horizontes de origem laterítica com composição silto-argiloso a areno-siltoso, apresentando variações composicionais e consistência mole a média nos metros iniciais passando a dura nos finais; apresenta pedregulhos finos a grossos, cor vermelho a marrom avermelhado; solo residual maduro de composição predominantemente silto-argiloso pouca a medianamente arenoso, por vezes silto-arenoso, areia fina; consistência dura, cor cinza a amarelado; blocos e matacões de rocha fraturada e muito alterada; solo residual jovem de composição predominantemente silto-argiloso pouca a medianamente arenoso, com passagens para rocha muito alterada a alterada, com consistência dura, cor amarelo a marrom amarelado; rocha muito alterada a alterada composta por filito muito alterado a alterado, extremamente fraturado, medianamente coerente, por vezes com passagens para solo residual maduro ou jovem em níveis centimétricos a métricos, com cor cinza esbranquiçada; rocha pouca alterada composta por filito pouca alterado, fraturado e coerente, por vezes com passagens para rocha sã, composta por filito, sã, maciço, por vezes com foliação bem marcada e veios calcíticos e quartzosos, pouca a ocasionalmente fraturada, muito coerente, cinza esverdeada (PSB Volume IV, SUDECAP 2021).

Também foram realizados ensaios de permeabilidade e análises de estabilidade. Identificou-se que o maciço se apresentava muito fraturado em toda a sua extensão. Valores de  $10^{-3}$  cm/s foram registrados em todos os horizontes perfurados. Foram previstas medidas de controle da percolação/erosão interna para que essas fraturas sejam devidamente avaliadas e tratadas, com previsão da realização de uma linha de injeção, em caráter experimental, para verificar a absorção de calda de cimento pela fundação. Análises de estabilidade executadas para o projeto executivo apresentadas no documento Sistema de Drenagem Interna e Estabilidade dos Taludes, adotaram parâmetros de resistência dos materiais do maciço arbitrados, com exceção do material de fundação. Não há estudo posterior que confirme se tais valores de resistência representam o aterro efetivamente construído (PSB Volume IV, SUDECAP 2021). Portanto, segundo estudo referência, é necessário confirmar a adequabilidade de tais parâmetros a partir de uma campanha de investigação que caracterize os materiais constituintes do maciço. Além disso, de acordo com as informações disponíveis na documentação, foi executada uma cortina de injeção no eixo da barragem, com o objetivo de reduzir a percolação pela fundação do maciço, no entanto, não existem desenhos “como construído” que indiquem esse elemento bem como documentos que confirmem a sua execução. Sendo assim, de modo conservador, este elemento não foi considerado nas análises de estabilidade realizadas.

Segundo (PSB Volume V, SUDECAP 2021), os parâmetros geotécnicos do solo adotados nas análises de estabilidade foram determinados com base nos dados dos ensaios de campo e laboratório executados na campanha de investigações complementares executada em outubro de 2021 e a partir dos dados de estudo anterior. Os ensaios de granulometria indicam que o material é composto predominantemente por areia (58%), silte (24%), argila (8%) e uma parcela de pedregulho (10%). Os ensaios de limites de consistência indicam LL = 53% e IP = 15%. Os parâmetros geotécnicos do maciço foram definidos a partir dos dados obtidos no ensaio triaxial CIU. A envoltória de resistência ao cisalhamento para tensões efetivas indicou intercepto coesivo de 16,6 kPa e ângulo de atrito de 32,3°. Ensaio de permeabilidade indicou permeabilidade média de  $5,61 \times 10^{-7}$  cm/s. Já os parâmetros dos materiais que constituem o sistema de drenagem interna, o

enrocamento de proteção e a fundação foram obtidos a partir do estudo anterior (PSB Volume V, SUDECAP 2021). Os resultados das análises de estabilidade indicam condição satisfatória de segurança da barragem da Bacia de Detenção Bonsucesso. Os fatores de segurança obtidos para todas as condições de carregamento analisadas são superiores aos mínimos preconizados pelos critérios de projeto atuais. As análises de enchimento e rebaixamento rápido do reservatório indicaram que o tempo de permanência obtido nas simulações dos estudos hidrológicos-hidráulicos não é suficiente para a freática se estabelecer e atingir a situação de Percolação Estável. Vale ressaltar que o cenário avaliado representa uma situação de operação do reservatório hipotética. Devido a essa condição recomenda-se que após a operação do reservatório durante o período de cheias sejam programadas inspeções para avaliar a condição do talude de montante. (PSB Volume V, SUDECAP 2021)

## **5 Instrumentação e Equipamentos**

Segundo (PSB Volume V, SUDECAP 2021), A Barragem da Bacia de Detenção Bonsucesso não apresenta equipamentos hidromecânicos para controle de cheias, captação ou qualquer outra finalidade. O Plano de Instrumentação da Barragem Bonsucesso conta com piezômetros, indicadores de nível d'água e marcos superficiais, no entanto, não existem registros de leitura e acompanhamento da instrumentação na documentação disponibilizada. Não foram encontradas réguas de medição do nível do reservatório e tampouco foram localizados todos os instrumentos indicados nos desenhos de projeto da instrumentação. Além disso, todos os instrumentos identificados em campo se encontram danificados e sem condições de serem recuperados. O estudo recomenda a instalação de 4 medidores de nível d'água em duas seções da barragem com o intuito de monitorar a posição da freática no interior do maciço (PSB Volume V, SUDECAP 2021).

## **6 Classificação das situações de emergência em potencial conforme Nível de Resposta**

Com base no Plano de Segurança de Barragens da Barragem Bonsucesso (Enemax e FCO, 2021) a principal situação de emergência para a Barragem Bonsucesso está relacionada a evento pluvial extremo, oferecendo risco de galgamento da barragem. Esse risco pode ocorrer na eventualidade de um evento pluvial superior a eventos raros, como o evento PMP ou de TR superior a 10.000 anos ou, em situações particulares, mais frequentes, na hipótese de obstrução total ou parcial do vertedor operacional (descarregador de fundo) por objetos transportados pelo escoamento, como galhos e troncos de árvores, resíduos sólidos de grande porte ou depósitos de sedimentos e rochas.

As simulações hidrológicas e hidráulicas realizadas no âmbito do PSB da Barragem Bonsucesso indicam que o reservatório atende aos critérios mínimos de borda livre e aos de simulações de estabilidade do maciço (Enemax e FCO, 2021). Por outro lado, a eventual obstrução do descarregador de fundo que resulte em prolongado armazenamento de água de escoamento na bacia de detenção pode conduzir a gradientes de pressão elevado nas fundações da barragem (Enemax e FCO, 2021). Essa é uma situação de risco que deve ser acompanhada pelo GID durante a ocorrência de eventos de grande intensidade de precipitações.

Segundo o PSB da Barragem Bonsucesso, os resultados de análises de estabilidade indicam condições satisfatórias de segurança. Para todas as condições de carregamento analisadas, os fatores de segurança estimados são superiores aos mínimos preconizados (Enemax e FCO, 2021). Não se anteveem, portanto, problemas de erosão interna do maciço ou riscos de outros problemas estruturais como abalos sísmicos, recalques ou colapso da fundação da barragem. Como uma das medidas para o aumento da segurança da Barragem Bonsucesso, ENEMAX e FCO (2021) recomendam instalar 4 indicadores de nível d'água em duas seções da barragem, para o monitoramento da freática no interior do maciço.

O A bacia de detenção Bonsucesso não possui função de reservação de água, ela permanece seca a maior parte do ano e armazena, temporariamente, excedentes de escoamentos pluviais provenientes da bacia hidrográfica de contribuição. O maciço da barragem é submetido a rápidos processos de enchimento e rebaixamento. Uma eventual obstrução total ou parcial do descarregador de fundo pode resultar em um tempo de armazenamento mais elevado.



O Plano de Segurança de Barragens da Barragem Bonsucesso (Enemax e FCO, 2021), em seu capítulo sobre a análise de estabilidade do maciço, contém esses dois cenários de enchimento e esvaziamento da bacia de detenção e seus impactos sobre a estabilidade da Barragem Bonsucesso, bem como um estudo de impactos sísmicos sobre o maciço.

Por meio de simulações hidrológicas igualmente realizadas por ENEMAX e FCO (2021) estima-se que, para o evento de cheia resultante da ocorrência da Precipitação Máxima Provável (PMP), a duração de armazenamento da cheia na bacia de detenção é de 4 horas. Considerando-se a hipótese de uma obstrução parcial do descarregador de fundo, o vertedor operacional da Barragem Bonsucesso, avaliou-se também o cenário de permanência do NA correspondente ao evento PMP por 48 horas.

Os resultados indicam que para o período de armazenamento por 4 horas (evento PMP) com controles hidráulicos livres, não há ocorrência de gradientes hidráulicos de saída no sentido de montante. O tempo de permanência da água na área de armazenamento não é suficiente para o estabelecimento da freática e para que se atinja percolação em regime permanente.

Por outro lado, há ocorrência de gradientes de saída que se desenvolvem nas fundações da barragem no caso de armazenamento por 48 horas seguido de esvaziamento rápido e que se mostram superiores ao gradiente crítico calculado (Enemax e FCO, 2021). Como enfatizado por ENEMAX e FCO (2021), trata-se de uma situação hipotética e atípica para a operação corrente da bacia de detenção, requerendo sobretudo um acompanhamento pós-eventos pluviais. O PSB da Barragem Bonsucesso recomenda avaliar a condição do talude de montante da barragem após o período chuvoso (Enemax e FCO, 2021).

Na análise de estabilidade, considerou-se igualmente a ocorrência de um abalo sísmico hipotético com cargas sísmicas de acelerações de 0,05g na direção horizontal e de 0,03g na direção vertical, em conformidade com o Manual do Empreendedor da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2016).

Segundo ENEMAX e FCO (2021) *“os resultados das análises de estabilidade indicam condição satisfatória de segurança da barragem da Bacia de Detenção Bonsucesso. Os fatores de segurança obtidos para todas as condições de carregamento analisadas são superiores aos mínimos preconizados pelos critérios de projeto atuais”*.

O PSB da Barragem Bonsucesso não menciona a erosão regressiva como um dos mecanismos de ruptura relevante. A instrumentação a ser instalada no maciço da barragem, conforme recomendação do PSB, será suficiente para acompanhar a percolação de água e, eventualmente, detectar problemas que podem resultar em erosão regressiva.

A atividade sísmica regional não é considerada um fator de risco significativo para a integridade e estabilidade estrutural da barragem.

A leitura da instrumentação instalada no corpo do maciço deverá ser realizada regularmente pelo Grupo de Inspeção e Avaliação de Risco (GIAR). Os valores obtidos devem ser comparados com a série histórica a cada nova leitura. Caso sejam detectadas anormalidades ou os valores estejam acima dos níveis de alerta e emergência, o GIAR deve:

- a) Informar o Coordenador do PAE a respeito da anomalia e fornecer uma avaliação preliminar do nível de emergência da situação;
- b) Solicitar ao Grupo de Manutenção (GM), a avaliação de conformidade de operação e leitura dos instrumentos;
- c) Verificar os níveis d'água no reservatório e à jusante;
- d) Verificar o funcionamento dos drenos e a eventual indicação de carreamento de sedimentos;
- e) Aumentar a frequência de leituras, acompanhamento do funcionamento dos drenos e inspeção visual do maciço;
- f) Conceber eventuais ações de manutenção e orientar o GM para que sejam empreendidas;
- g) Avaliar a eficiência das ações de manutenção e manter o Coordenador do PAE informado sobre a evolução da situação de emergência.

As erosões regressivas podem ser detectadas por inspeção visual do maciço e obreiras bem como do funcionamento dos drenos e via a leitura de instrumentos. As ações de controle incluem o uso de material argiloso, lona plástica e a instalação de filtros invertidos buscando estancar o fluxo e interromper o processo erosivo. Deve-se, igualmente, buscar abaixar o nível de água na bacia de detenção que, no caso da Barragem Bonsucesso, só ocorrerá por duração suficiente para eventuais processos erosivos internos se houver obstrução prolongada do descarregador de fundo durante a ocorrência de cheias. O abaixamento do NA permite reduzir o processo de piping e facilita identificar, no talude de montante da barragem, a área de concentração de fluxo que pode estar alimentando o processo.

Situações de emergência relacionadas a trincas, abatimentos de aterros, erosão em ombreiras, erosão na encosta de instalação do rápido e problemas estruturais nas estruturas de vertimento e galerias são identificadas por inspeções visuais regulares. O GIAR deve avaliar a situação de emergência e reportar essas ocorrências. O Coordenador do PAE deve ser informado, em caso de detecção de problemas dessa natureza. O GIAR deve conceber medidas reparadoras e solicitar a intervenção do GM para implantá-las. O GIAR avalia, igualmente, os resultados obtidos com as medidas reparadoras e mantém o Coordenador do PAE informado sobre a evolução da situação de emergência.

Quadro 6.1 contém a descrição das situações de emergência, ações para a avaliação e acompanhamento dos problemas e implantação de medidas corretivas segundo o nível de resposta.

## 6.1 Breve discussão sobre as situações de emergência

### 6.1.1 Evento pluvial extremo

Os critérios adotados para a avaliação de borda livre mínima encontram-se na Tabela 6.1.

**Tabela 6.1.** Critérios para a avaliação de borda livre mínima no reservatório de Bonsucesso (Enemax e FCO, 2021).

| Tempo de retorno (anos) | Borda livre mínima                                       |
|-------------------------|----------------------------------------------------------|
| 1.000                   | 1,0m                                                     |
| 10.000                  | Segundo Saville <i>et al.</i> (1962) com vento ordinário |
| PMP                     | Admite-se borda livre mínima nula                        |

Os resultados de simulação resultaram em durações críticas do evento pluvial entre 2h e 3h. Para a PMP como também para todos os eventos de TR superior a 500 anos a duração crítica é de 2h.

Os dados geométricos da Barragem Bonsucesso requeridos para as análises a seguir são, conforme ENEMAX e FCO (2021):

- Cota de coroamento da crista adotada para trânsito de cheias 967,64m
- Cota de coroamento da crista da barragem de terra 968,00m
- Cota da soleira do vertedouro de emergência 964,00m
- Cota da soleira do vertedouro operacional (descarga de fundo) 953,50m

Os resultados das simulações obtidos em estimativas de bordas livre e de vazões de pico afluentes e defluentes à bacia de retenção encontram-se sintetizados na Tabela 6.2.

A contém as vazões de pico afluentes e defluentes ao reservatório também estimadas por simulação hidrológica.

**Tabela 6.2.** Barragem Bonsucesso: bordas livres e vazões afluentes e defluentes por tempos de retorno e duração do evento pluvial de projeto (Enemax e FCO, 2021).

| Duração (horas) | TR 2 anos | TR 10 anos | TR 20 anos | TR 50 anos | TR 100 anos | TR 500 anos | TR 1.000 anos | TR 10.000 anos | PMP   |
|-----------------|-----------|------------|------------|------------|-------------|-------------|---------------|----------------|-------|
| 0,17 (10')      | 3,65      | 2,93       | 2,64       | 2,23       | 1,90        | 1,26        | 1,05          | 0,58           | 0,44  |
| 0,25 (15')      | 3,43      | 2,62       | 2,27       | 1,91       | 1,44        | 0,94        | 0,78          | 0,36           | 0,31  |
| 0,50 (30')      | 2,94      | 1,71       | 1,32       | 0,60       | 0,82        | 0,47        | 0,35          | 0,11           | 0,03  |
| 0,75 (45')      | 2,57      | 1,23       | 0,96       | 0,68       | 0,70        | galga       | galga         | galga          | galga |
| 1               | 2,33      | 1,06       | 0,83       | 0,59       | 0,43        |             |               |                |       |
| 2               | 1,70      | 0,79       | 0,61       | 0,41       | 0,27        |             |               |                |       |
| 3               | 2,06      | 0,79       | 0,64       | 0,45       | 0,34        |             |               |                |       |
| 4               | 1,55      | 0,85       | 0,72       | 0,55       | 0,44        |             |               |                |       |
| 8               | 2,03      | 1,06       | 0,94       | 0,84       | 0,77        | 0,61        | 0,55          | 0,37           | 0,31  |
| 14              | 2,84      | 1,32       | 1,21       | 1,09       | 1,03        | 0,89        | 0,85          | 0,71           | 0,66  |
| 24              | 3,35      | 1,91       | 1,40       | 1,30       | 1,23        | 1,10        | 1,04          | 0,91           | 0,88  |

As condições de operação descritas na Tabela 6.1 orientam a classificação de situações de emergência por ocorrência de evento pluvial extremo.

Eventos pluviais extremos podem conduzir a problemas operacionais e estruturais relacionados aos órgãos de controle hidráulico. No caso da Barragem Bonsucesso, nota-se que as condições operacionais de seus controles hidráulicos bem como o volume de armazenamento e as eficiências de amortecimento asseguram borda livre adequada para todos os eventos simulados, em conformidade com os critérios estabelecidos na

Tabela 6.1. Por outro lado, bordas livres inferiores a 1,0 m, como é o caso para os eventos PMP e TR de 10.000 anos, podem conduzir a situações de risco mais elevado por efeito de ventos, por exemplo.

A capacidade do vertedouro operacional (descarregador de fundo) da Barragem, à cota de NA 968,00m é de 40 m<sup>3</sup>/s. Nas mesmas condições, a capacidade do vertedor de emergência é de 180 m<sup>3</sup>/s. Portanto, uma eventual obstrução total ou parcial do descarregador de fundo pode conduzir a uma situação de borda livre muito reduzida ou galgamento mesmo para eventos mais frequentes, como os de TR 500 ou 1000 anos.

Nota-se que os tempos de subida (tempos de pico) dos hidrogramas de contribuição ao reservatório são muito curtos, inferiores a 1 hora, o que resulta em tempos para alerta muito curtos. Nesse contexto, a previsão meteorológica desempenha um papel essencial. É recomendável que, com o aprimoramento da previsão com a utilização de informação radar, a Prefeitura de Belo Horizonte incorpore a simulação em tempo real para fins de alerta no caso da Barragem Bonsucesso.

Por outro lado, tendo em conta a capacidade de drenagem dos canais localizados a jusante da barragem Bonsucesso, o Plano de Contingência de Inundações será provavelmente acionado para o NA do reservatório superior a 965,0 m, levando à mobilização da população potencialmente atingida por uma ruptura, para situações de risco de Nível de Resposta zero, sob a perspectiva do PAE. Segundo simulações realizadas no âmbito do PSB da Barragem Bonsucesso, essa cota de NA pode ser atingida para eventos pluviais com durações entre 45 minutos e 8 h e tempos de retorno iguais ou superiores a 100 anos.

#### 6.1.2 *Erosão regressiva (piping) e problemas estruturais nos maciços, em suas fundações e nas ombreiras*

A bacia de detenção Bonsucesso não possui função de reservação de água, ela permanece seca a maior parte do ano e armazena, temporariamente, excedentes de escoamentos pluviais provenientes da bacia hidrográfica de contribuição. O maciço da barragem é submetido a rápidos processos de enchimento e rebaixamento. Uma eventual obstrução total ou parcial do descarregador de fundo pode resultar em um tempo de armazenamento mais elevado.

O Plano de Segurança de Barragens da Barragem Bonsucesso (Enemax e FCO, 2021), em seu capítulo sobre a análise de estabilidade do maciço, contém esses dois cenários de enchimento e esvaziamento da bacia de detenção e seus impactos sobre a estabilidade da Barragem Bonsucesso, bem como um estudo de impactos sísmicos sobre o maciço.

Por meio de simulações hidrológicas igualmente realizadas por ENEMAX e FCO (2021) estima-se que, para o evento de cheia resultante da ocorrência da Precipitação Máxima Provável (PMP), a duração de armazenamento da cheia na bacia de detenção é de 4 horas. Considerando-se a hipótese de uma obstrução parcial do descarregador de fundo, o vertedor operacional da Barragem Bonsucesso, avaliou-se também o cenário de permanência do NA correspondente ao evento PMP por 48 horas.

Os resultados indicam que para o período de armazenamento por 4 horas (evento PMP) com controles hidráulicos livres, não há ocorrência de gradientes hidráulicos de saída no sentido de montante. O tempo de permanência da água na área de armazenamento não é suficiente para o estabelecimento da freática e para que se atinja percolação em regime permanente.

Por outro lado, há ocorrência de gradientes de saída que se desenvolvem nas fundações da barragem no caso de armazenamento por 48 horas seguido de esvaziamento rápido e que se mostram superiores ao gradiente crítico calculado (Enemax e FCO, 2021). Como enfatizado por ENEMAX e FCO (2021), trata-se de uma situação hipotética e atípica para a operação corrente da bacia de detenção, requerendo sobretudo um acompanhamento pós-eventos pluviais. O PSB da Barragem Bonsucesso recomenda avaliar a condição do talude de montante da barragem após o período chuvoso (Enemax e FCO, 2021).

Na análise de estabilidade, considerou-se igualmente a ocorrência de um abalo sísmico hipotético com cargas sísmicas de acelerações de 0,05g na direção horizontal e de 0,03g na direção vertical, em conformidade com o Manual do Empreendedor da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2016).

Segundo ENEMAX e FCO (2021) “os resultados das análises de estabilidade indicam condição satisfatória de segurança da barragem da Bacia de Detenção Bonsucesso. Os fatores de segurança obtidos para todas as condições de carregamento analisadas são superiores aos mínimos preconizados pelos critérios de projeto atuais”.

O PSB da Barragem Bonsucesso não menciona a erosão regressiva como um dos mecanismos de ruptura relevante. A instrumentação a ser instalada no maciço da barragem, conforme recomendação do PSB, será suficiente para acompanhar a percolação de água e, eventualmente, detectar problemas que podem resultar em erosão regressiva.

A atividade sísmica regional não é considerada um fator de risco significativo para a integridade e estabilidade estrutural da barragem.

A leitura da instrumentação instalada no corpo do maciço deverá ser realizada regularmente pelo Grupo de Inspeção e Avaliação de Risco (GIAR). Os valores obtidos devem ser comparados com a série histórica a cada nova leitura. Caso sejam detectadas anormalidades ou os valores estejam acima dos níveis de alerta e emergência, o GIAR deve:

- h) Informar o Coordenador do PAE a respeito da anomalia e fornecer uma avaliação preliminar do nível de emergência da situação;
- i) Solicitar ao Grupo de Manutenção (GM), a avaliação de conformidade de operação e leitura dos instrumentos;
- j) Verificar os níveis d'água no reservatório e à jusante;
- k) Verificar o funcionamento dos drenos e a eventual indicação de carreamento de sedimentos;
- l) Aumentar a frequência de leituras, acompanhamento do funcionamento dos drenos e inspeção visual do maciço;
- m) Conceber eventuais ações de manutenção e orientar o GM para que sejam empreendidas;
- n) Avaliar a eficiência das ações de manutenção e manter o Coordenador do PAE informado sobre a evolução da situação de emergência.

As erosões regressivas podem ser detectadas por inspeção visual do maciço e obreiras bem como do funcionamento dos drenos e via a leitura de instrumentos. As ações de controle incluem o uso de material argiloso, lona plástica e a instalação de filtros invertidos buscando estancar o fluxo e interromper o processo erosivo. Deve-se, igualmente, buscar abaixar o nível de água na bacia de detenção que, no caso da Barragem Bonsucesso, só ocorrerá por duração suficiente para eventuais processos erosivos internos se houver obstrução prolongada do descarregador de fundo durante a ocorrência de cheias. O abaixamento do NA permite reduzir o processo de piping e facilita identificar, no talude de montante da barragem, a área de concentração de fluxo que pode estar alimentando o processo.

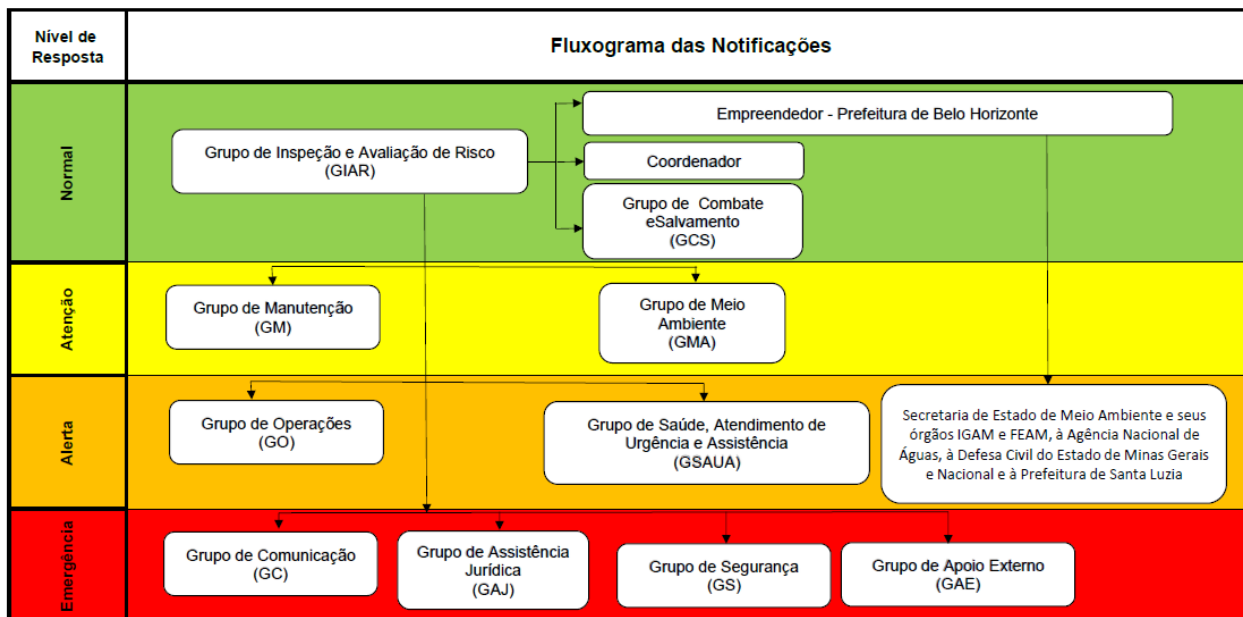
Situações de emergência relacionadas a trincas, abatimentos de aterros, erosão em ombreiras, erosão na encosta de instalação do rápido e problemas estruturais nas estruturas de vertimento e galerias são identificadas por inspeções visuais regulares. O GIAR deve avaliar a situação de emergência e reportar essas ocorrências. O Coordenador do PAE deve ser informado, em caso de detecção de problemas dessa natureza. O GIAR deve conceber medidas reparadoras e solicitar a intervenção do GM para implantá-las. O GIAR avalia, igualmente, os resultados obtidos com as medidas reparadoras e mantém o Coordenador do PAE informado sobre a evolução da situação de emergência.

**Quadro 6.1.** Classificação das Emergências por Causas.

| Causa                                                                       | Critério de Emergência                                                                                                                                                                                                                                    | Nível de Risco da Emergência                                                                                                                                                                              |
|-----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Evento Chuvoso Extremo                                                      | Cota do Nível de Água (NA) no Reservatório<br>Obstrução dos Vertedores                                                                                                                                                                                    | Nível 0 (Verde): $953,50 < NA < 966,50$                                                                                                                                                                   |
|                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                           | Nível 1 (Laranja): $966,50 < NA < 967,50$                                                                                                                                                                 |
|                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                           | Nível 2 (Vermelho): $NA > 967,5$                                                                                                                                                                          |
| Erosão Interna – “Piping”                                                   | <b>Leitura dos Instrumentos;<br/>Anomalias:</b><br>Aparecimento de surgências;<br>Carreamento de material sólido nos drenos;<br>Erosão regressiva no maciço;<br>Abatimento do aterro<br>Aparecimento de trincas no maciço e/ou nas estruturas hidráulicas | Nível 0 (Verde):<br>- Cotas dos Piezômetros;<br>- Cotas dos Marcos Superficiais;<br>-Vazão da Drenagem Interna;<br>- Anomalia de pequenas dimensões, sem aparente evolução;                               |
|                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                           | Nível 1 (Laranja):<br>- Cotas dos Piezômetros;<br>- Cotas dos Marcos Superficiais;<br>-Vazão da Drenagem Interna;<br>-Anomalia de média dimensão, sem aparente evolução;                                  |
|                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                           | Nível 2 (Vermelho):<br>- Cotas dos Piezômetros;<br>- Cotas dos Marcos Superficiais;<br>-Vazão da Drenagem Interna;<br>-Anomalia de média dimensão, com evidente evolução, ou anomalia de grande dimensão. |
| Abalos sísmicos de qualquer natureza                                        | <b>Leitura dos Instrumentos;<br/>Anomalias:</b><br>Abatimento do aterro<br>Aparecimento de trincas no maciço e/ou nas estruturas hidráulicas                                                                                                              | Nível 0 (Verde):<br>- Cotas dos Marcos Superficiais;<br>- Anomalia de pequenas dimensões, sem aparente evolução;                                                                                          |
| Recalques ou colapso da fundação da barragem                                |                                                                                                                                                                                                                                                           | Nível 1 (Laranja):<br>- Cotas dos Marcos Superficiais;<br>-Anomalia de média dimensão, sem aparente evolução;                                                                                             |
| Contração ou dilatação por ressecamento do solo do maciço ou das estruturas |                                                                                                                                                                                                                                                           | Nível 2 (Vermelho):<br>- Cotas dos Marcos Superficiais;<br>-Anomalia de média dimensão, com evidente evolução, ou anomalia de grande dimensão.                                                            |

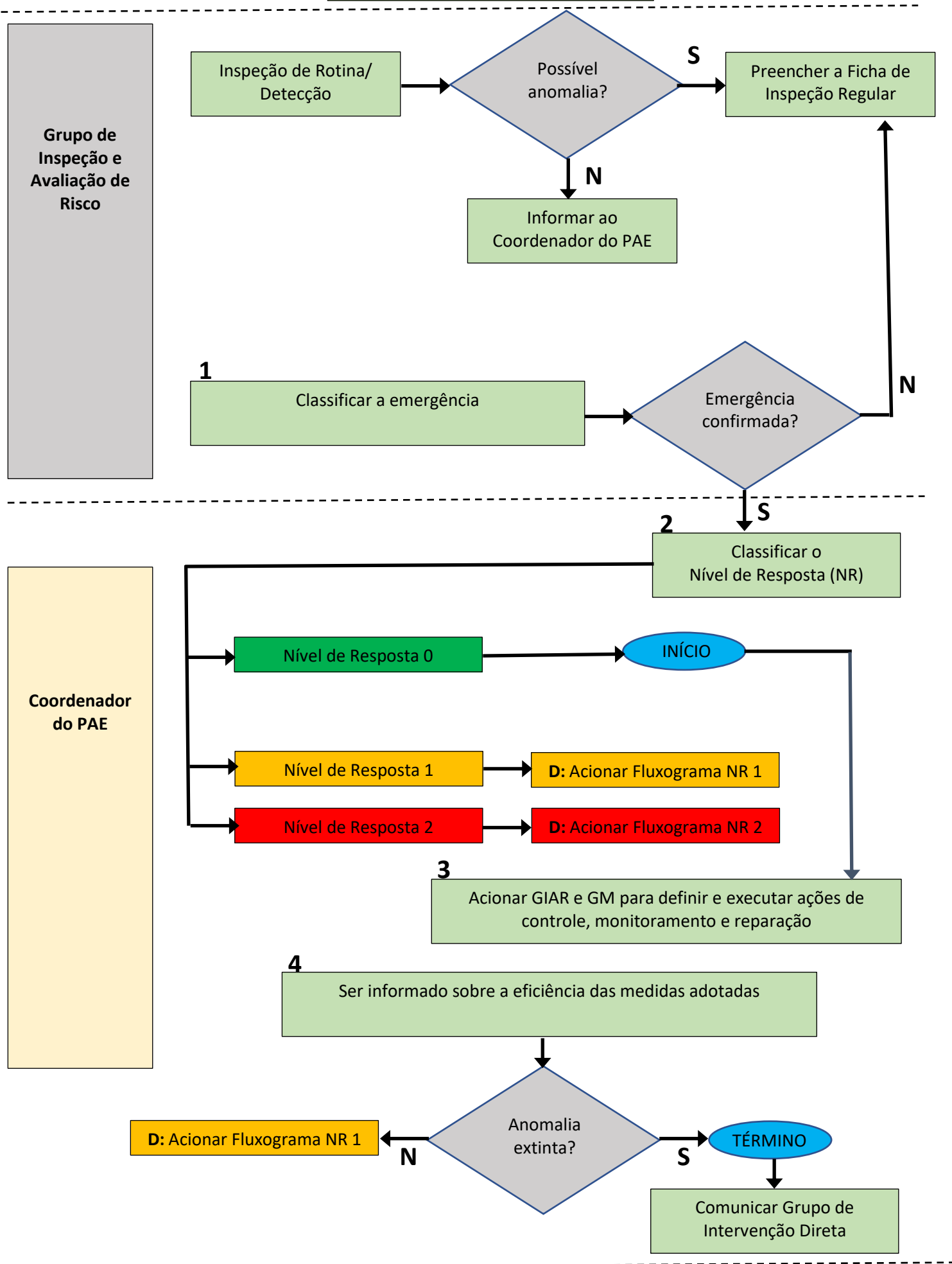
## 7 Fluxogramas das Notificações e por Nível de Resposta

Figura 7.1. Fluxograma de Notificações.



A seguir são apresentados fluxogramas para cada nível de resposta.

## Nível de Resposta 0: Verde





## Nível de Resposta 0 (página 2)

Empreendedor

1

Dar suporte o Coordenador do PAE conforme demanda

Grupo de  
Manutenção

1

Avaliar e propor ações de controle e monitoramento

3

Solicitar  
Recursos junto  
ao  
Empreendedor

Recursos  
necessários  
disponíveis?

N

S

2

Implantar ações e  
informar evolução para  
o Coordenador do PAE

Grupo de  
Combate e  
Salvamento

1

Dar suporte o Coordenador do PAE conforme demanda

Grupo de  
Operação

1

Dar suporte o Coordenador do PAE conforme demanda

Grupo de Meio  
Ambiente

1

Dar suporte o Coordenador do PAE conforme demanda

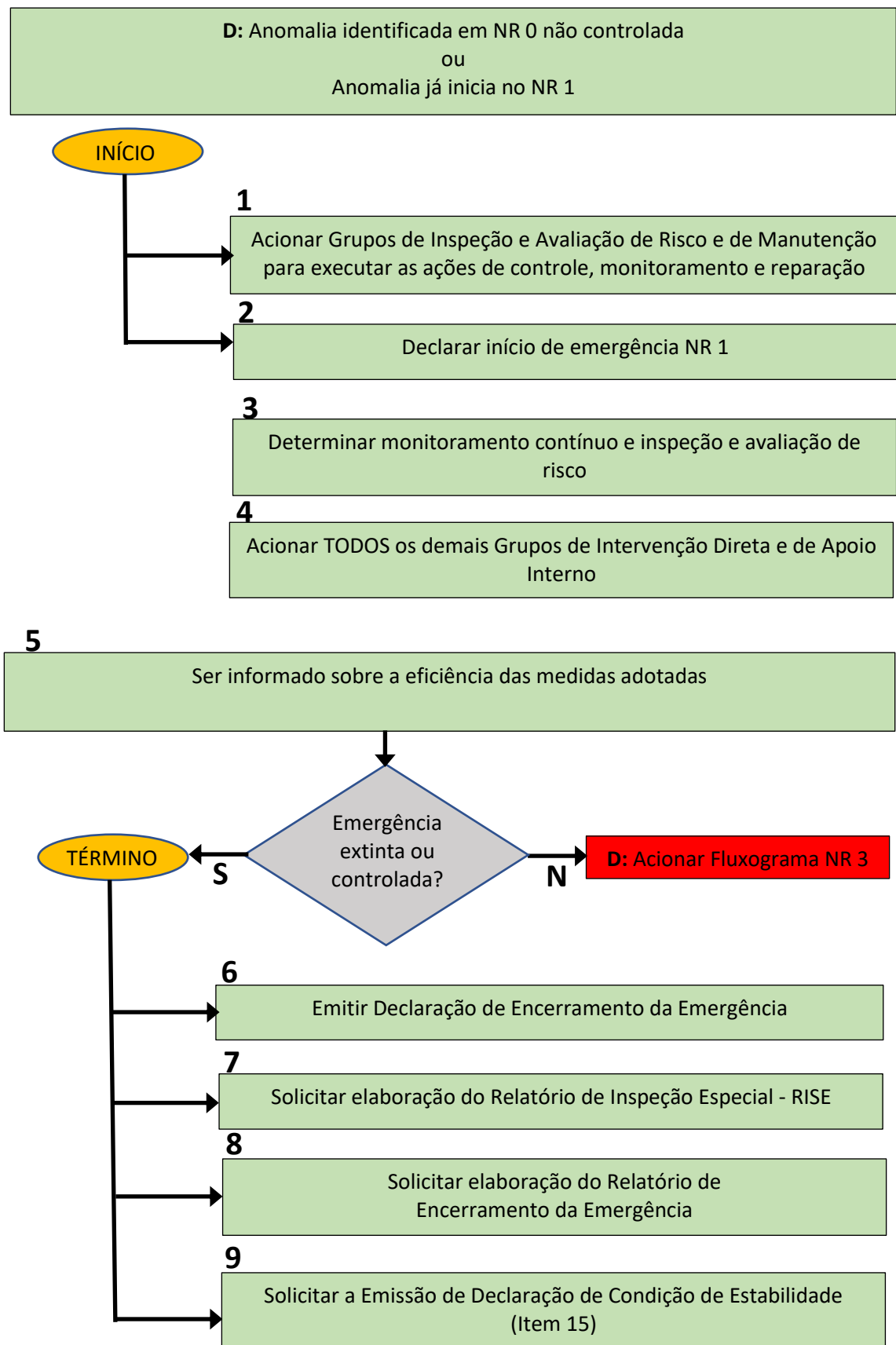
Grupos de  
Apoio Interno

1

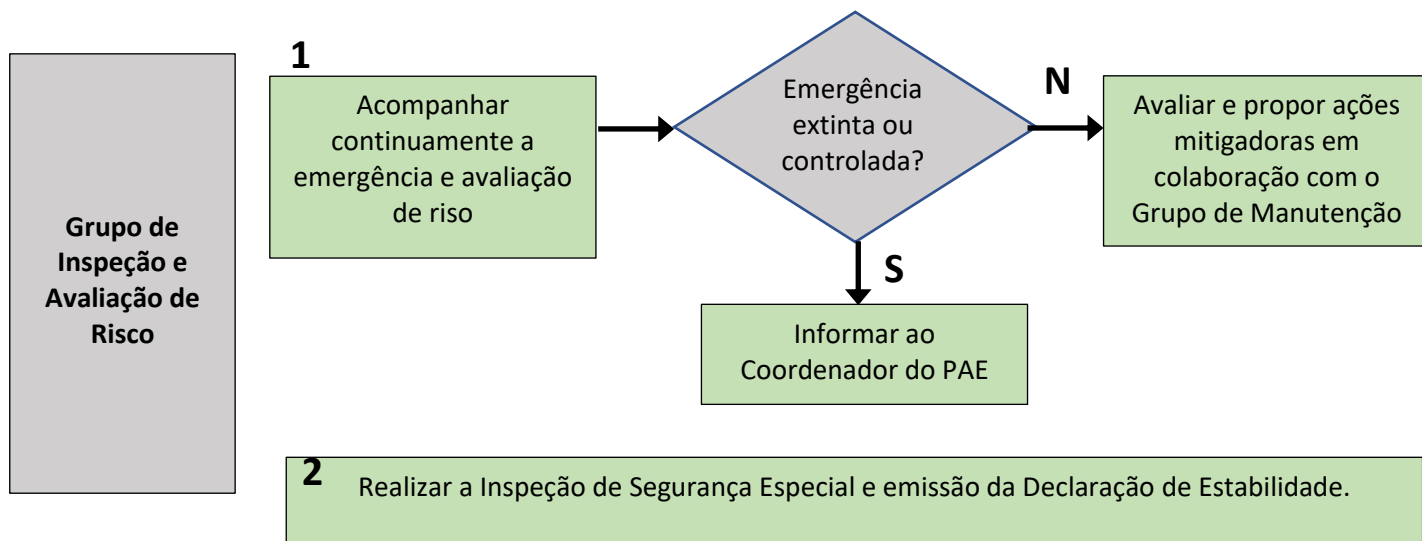
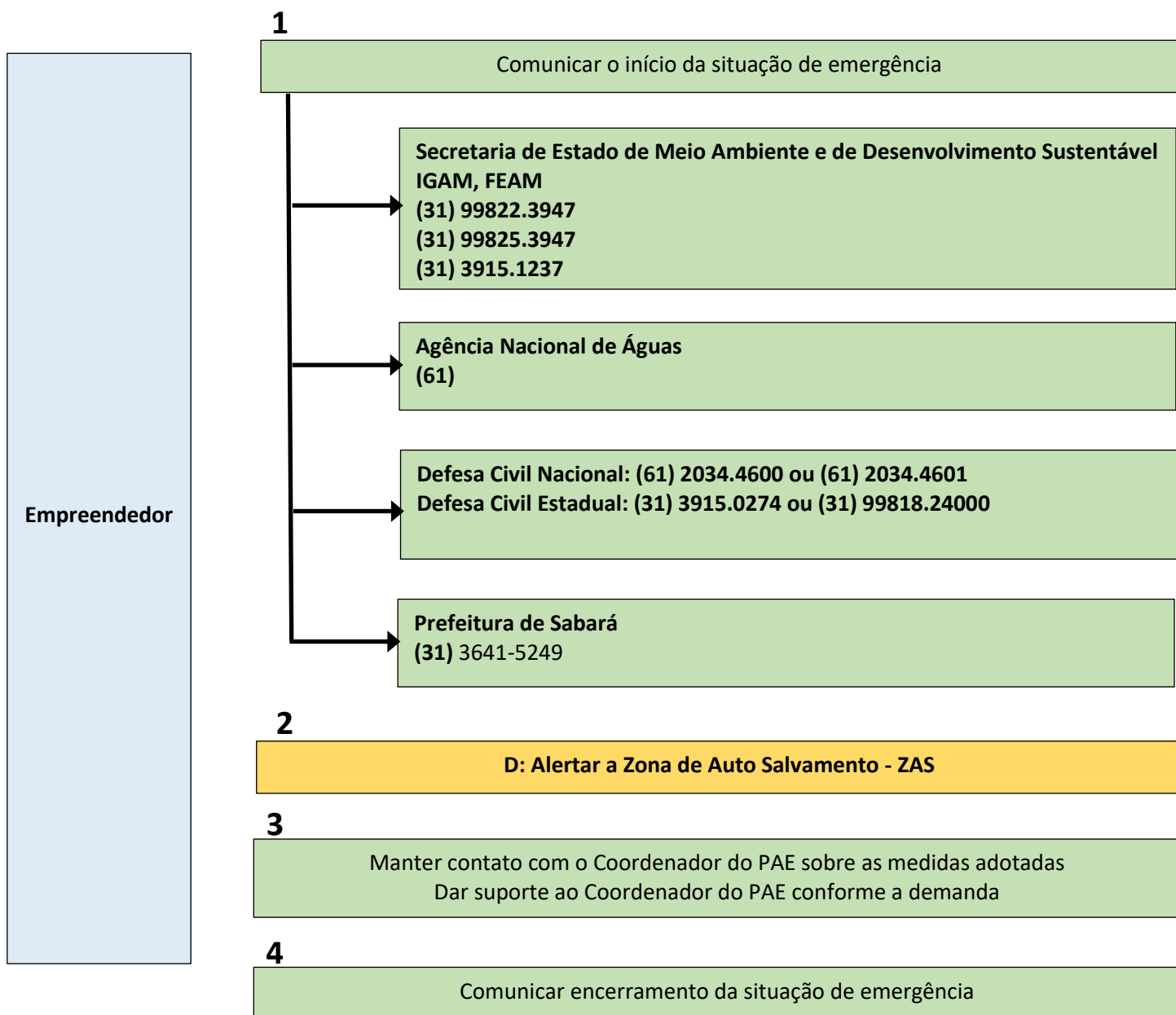
Dar suporte o Coordenador do PAE conforme demanda

## Nível de Resposta 1: Laranja

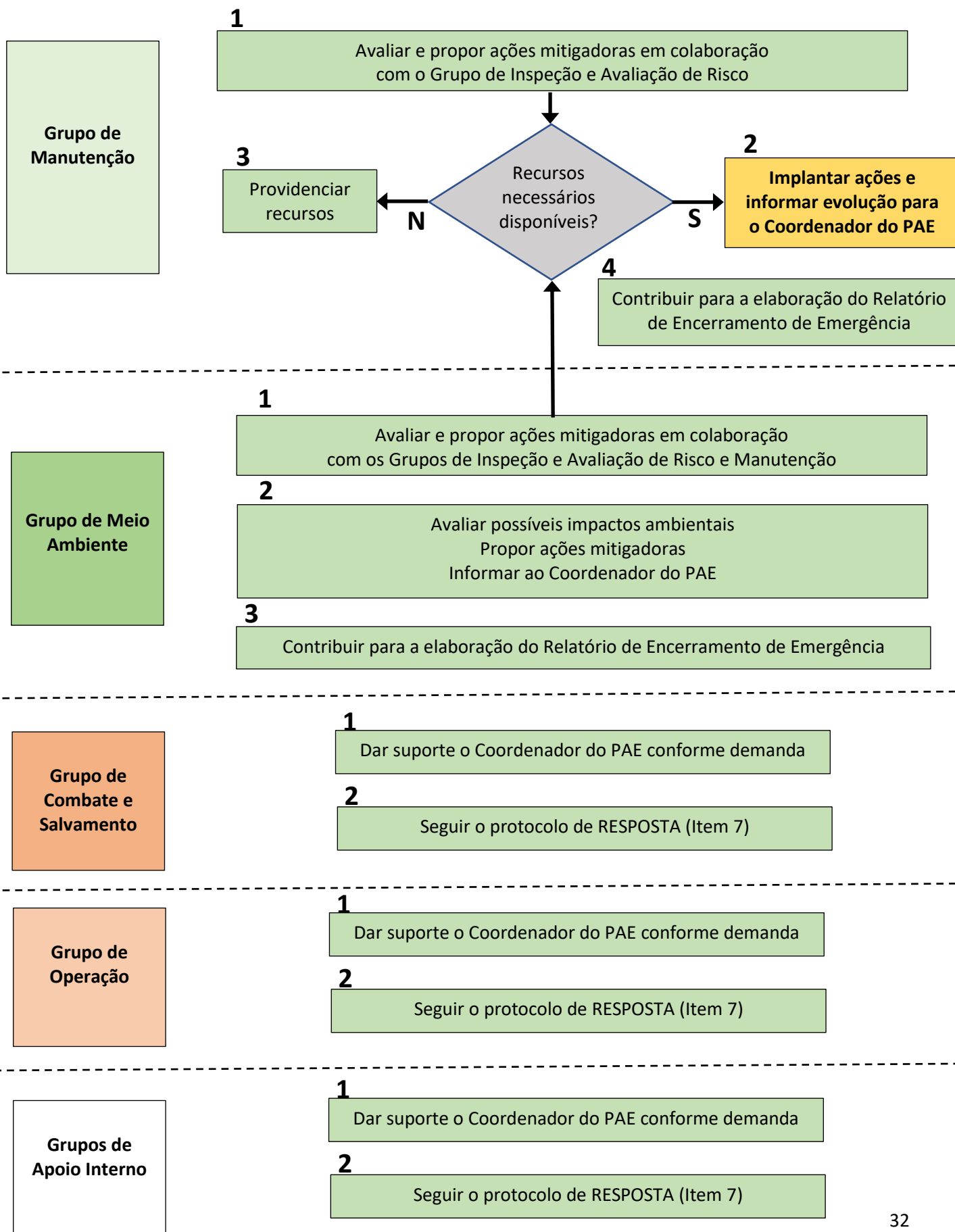
Coordenador  
do PAE



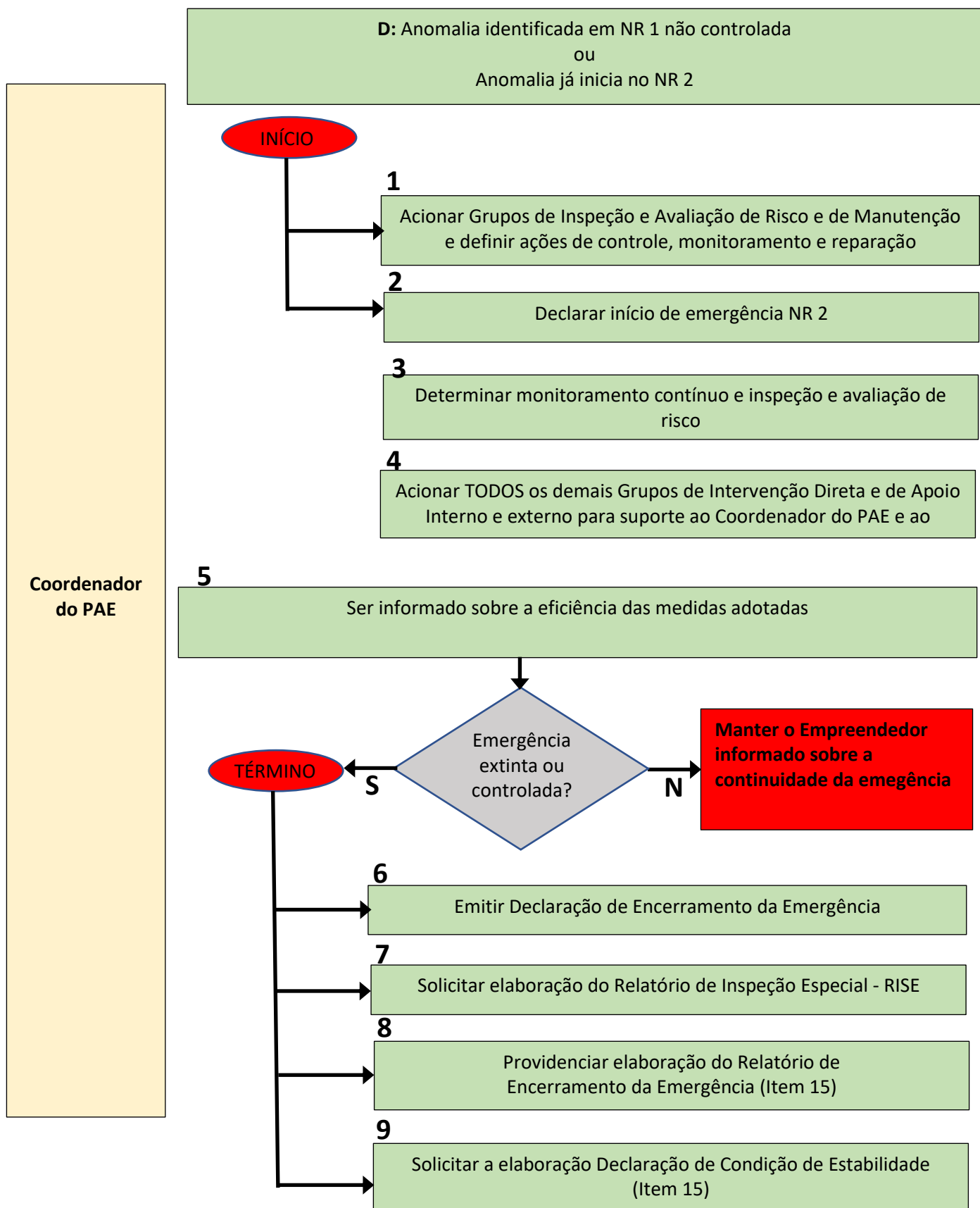
## Nível de Resposta 1 (página 2)



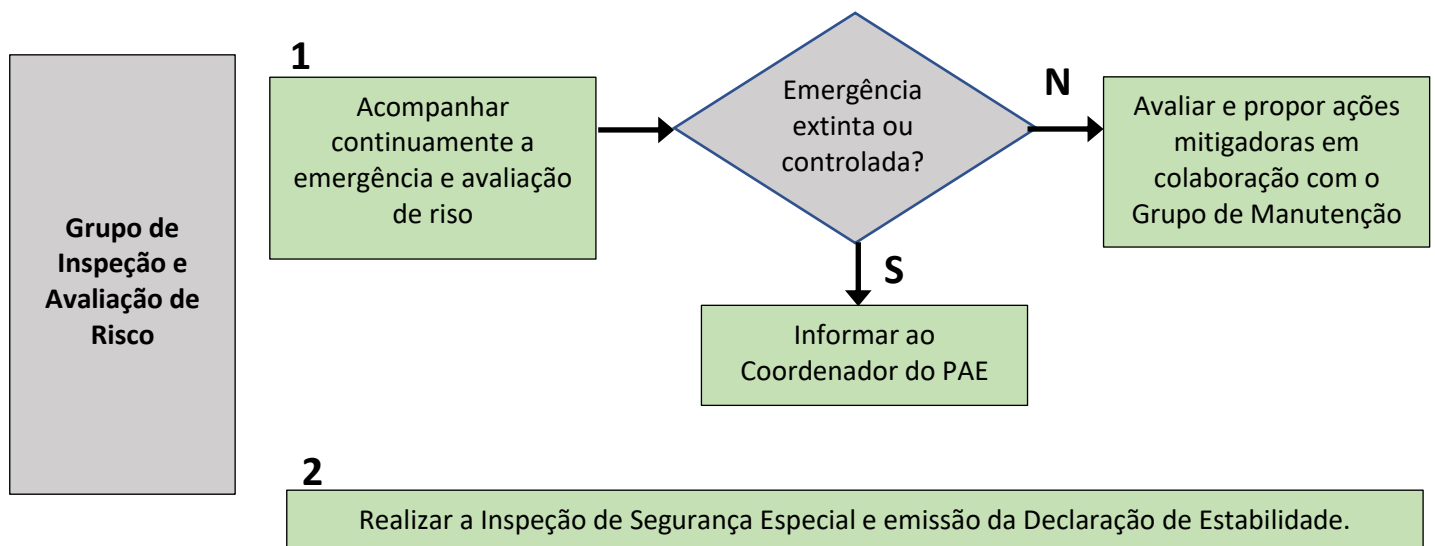
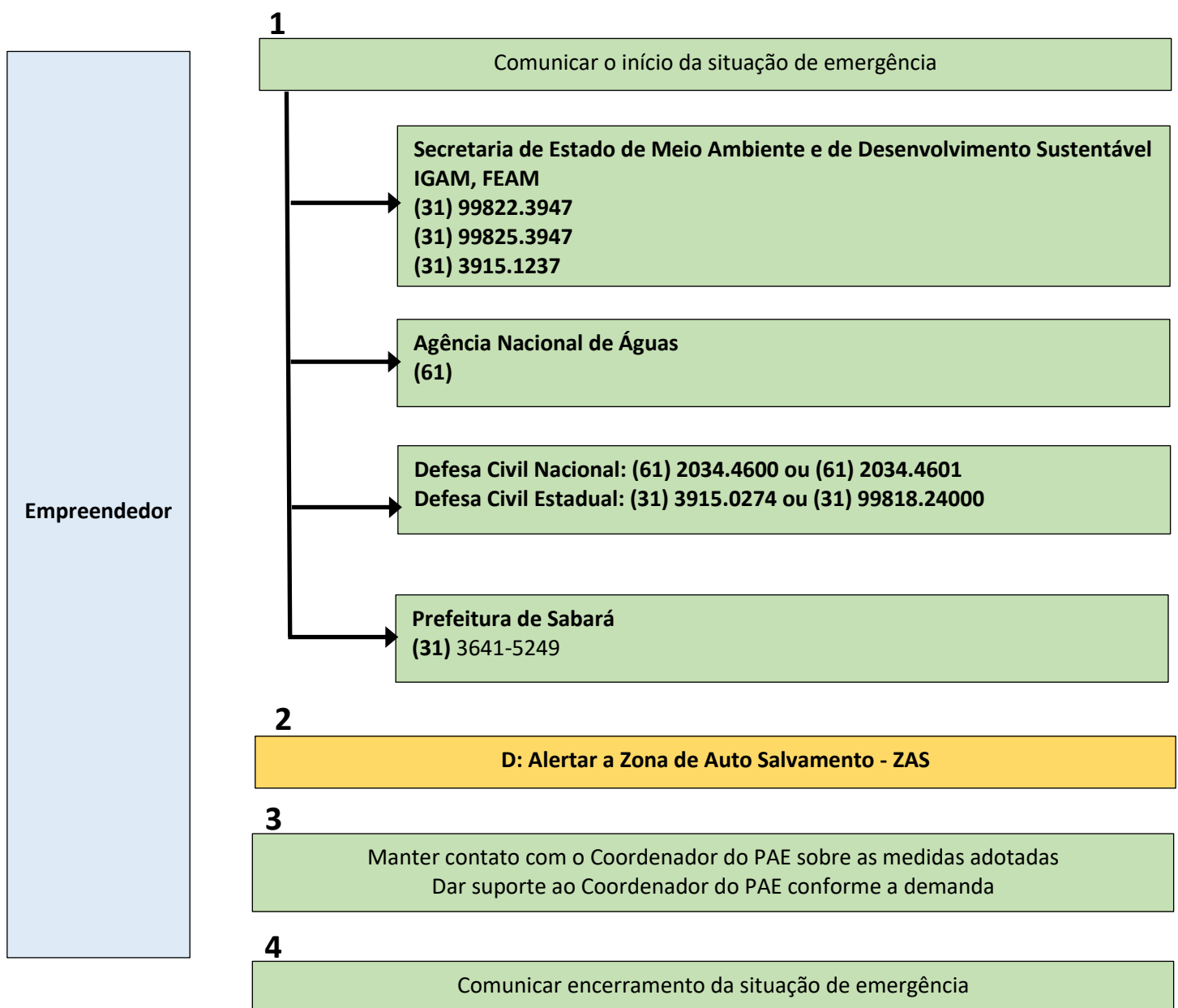
## Nível de Resposta 1 (página 3)



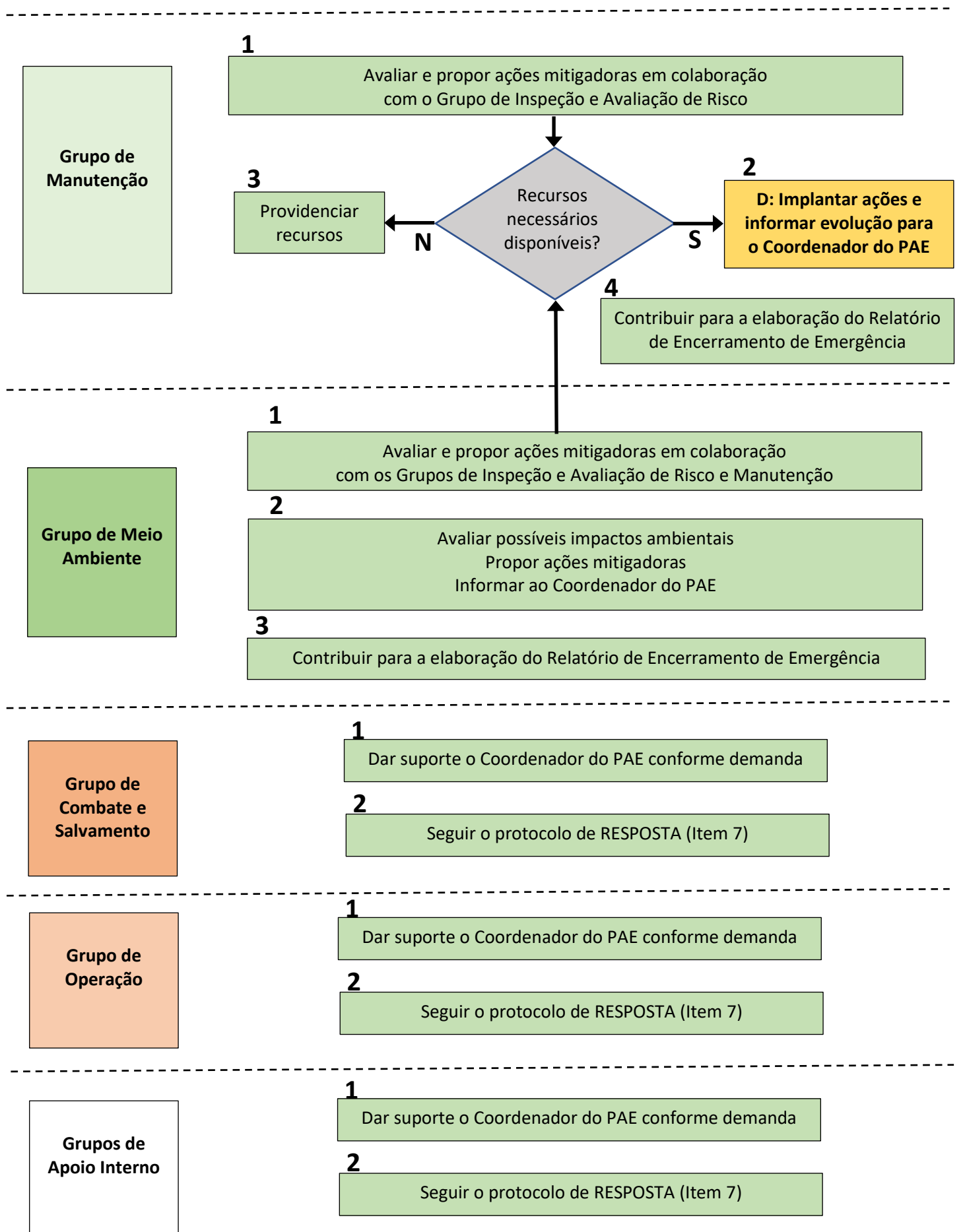
## Nível de Resposta 2: Vermelho



## Nível de Resposta 2 (página 2)



## Nível de Resposta 2 (página 3)



**D**

**ZAS:**

**EVACUAR IMEDIATAMENTE E DESLOCAR-SE PARA OS PONTOS DE ENCONTRO**



## 8 Responsabilidades no Plano de Ação de Emergência – PAE (empreendedor, Coordenador do Plano de Ação de Emergência – PAE, equipe técnica e Defesa Civil)

O presente estudo contém o mapeamento institucional de todas as instituições envolvidas no PAE da Barragem Bonsucesso (ver Figura 3.1, Figura 3.2 e Figura 3.3), incluindo as ações de prevenção, preparação, resposta, recuperação e avaliação. No presente item, dados os objetivos pertinentes ao PAE, são descritas as responsabilidades relacionadas à resposta a situações de emergência, conforme o nível de resposta (ver fluxograma de notificação, item 7 do presente documento).

### 8.1 Coordenador do PAE

As responsabilidades do Coordenador do PAE encontram-se listadas no Quadro 8.1.

**Quadro 8.1.** Responsabilidades do Coordenador do PAE – SMOBI.

| Nível de Resposta    | Ações a empreender                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>NR 0: Verde</b>   | <ul style="list-style-type: none"><li>a) Declarar o nível de resposta verde, a partir de nível de risco informado pelo GIAR;</li><li>b) Receber informações do GIAR e GM sobre o monitoramento e as ações de controle e reparação;</li><li>c) Receber retorno do GIAR e do GM, se as medidas implementadas na barragem foram efetivas;</li><li>d) Acionar o nível de resposta superior, caso a situação de emergência persista ou se agrave, segundo informações do GIAR;</li><li>e) Declarar o encerramento da emergência, se a situação de emergência for extinta, segundo informações do GIAR.</li></ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>NR 1: Laranja</b> | <ul style="list-style-type: none"><li>a) Declarar o início da emergência de nível de resposta laranja, a partir de nível de risco informado pelo GIAR;</li><li>b) Apoiar o empreendedor na comunicação do alerta à Secretaria de Estado de Meio Ambiente e seus órgãos IGAM e FEAM, à Agência Nacional de Águas e à Defesa Civil do Estado de Minas Gerais e Nacional;</li><li>c) Receber informações do GIAR e GM sobre a vigilância e monitoramento contínuos da barragem e estruturas associadas;</li><li>d) Solicitar retorno do GIAR e do GM, se as medidas implementadas na barragem foram efetivas;</li><li>e) Estabelecer o Comando Centralizado das operações de emergência no Centro de Operações de Belo Horizonte (COP-BH) e convocar representantes de todos os órgãos dos Grupos de Intervenção Direta (GID) e de Apoio Interno (GAI);</li><li>f) Acionar Empreendedor e os grupos do GID e do GAI para mobilizarem os recursos humanos, materiais e logísticos necessários para fazer face à situação de emergência;</li><li>g) Acionar os Grupos de Combate e Salvamento (GCS), Operação (GO), Meio Ambiente (GMA) e Saúde, Atendimento de Urgência e Assistência (GSAUA) para estado de prontidão para eventual evacuação imediata da ZAS;</li><li>h) Acionar o nível de resposta superior, a situação de emergência persista ou se agrave, segundo informações do GIAR;</li><li>i) Se a situação de emergência for extinta,<ul style="list-style-type: none"><li>1. Emitir Declaração de Encerramento da Emergência;</li><li>2. Solicitar ao GIAR que providencie a elaboração do Relatório de Inspeção Especial (RISE);</li><li>3. Solicitar ao GIAR e GM que providenciem a elaboração da Declaração de Condição de Estabilidade;</li></ul></li></ul> |

|                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                       | <ol style="list-style-type: none"> <li>4. Solicitar ao GAI que providenciem o Relatório de Encerramento de Emergência;</li> <li>5. Apoiar o Empreendedor para encaminhamento à Secretaria de Estado de Meio Ambiente e seus órgãos IGAM e FEAM, à Agência Nacional de Águas e à Defesa Civil do Estado de Minas Gerais e Nacional o Relatório de Encerramento da Emergência, em até 60 dias após declarado o início da emergência.</li> </ol>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>NR 2: Vermelho</b> | <ol style="list-style-type: none"> <li>a) Declarar o início da emergência de nível de resposta vermelho, a partir de nível de risco informado pelo GIAR;</li> <li>b) Solicitar ao empreendedor que comunique o alerta à Secretaria de Estado de Meio Ambiente e seus órgãos IGAM e FEAM, à Agência Nacional de Águas e à Defesa Civil do Estado de Minas Gerais e Nacional;</li> <li>c) Receber informações do GIAR e GM sobre a vigilância e monitoramento contínuos da barragem e estruturas associadas;</li> <li>d) Solicitar retorno do GIAR e do GM se as medidas implementadas na barragem foram efetivas;</li> <li>e) Estabelecer o Comando Centralizado das operações de emergência no Centro de Operações de Belo Horizonte (COP-BH) e Centros de Comando na ZAS, convocando representantes de todos os órgãos dos Grupos de Intervenção Direta (GID) e de Apoio Interno (GAI);</li> <li>f) Acionar o Empreendedor, GID e GAI para mobilizarem os recursos humanos, materiais e logísticos necessários para fazer face à situação de emergência;</li> <li>g) Acionar os Grupos de Combate e Salvamento (GCS), Operação (GO), Meio Ambiente (GMA) e Saúde, Atendimento de Urgência e Assistência para a evacuação imediata da ZAS;</li> <li>h) Se a situação de emergência for extinta, <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Emitir Declaração de Encerramento da Emergência;</li> <li>2. Solicitar ao GIAR que providencie a elaboração do Relatório de Inspeção Especial (RISE);</li> <li>3. Solicitar ao GIAR e GM que providenciem a elaboração da Declaração de Condição de Estabilidade;</li> <li>4. Emitir, a partir de informações do GID e GAI, o Relatório de Encerramento de Emergência;</li> <li>5. Solicitar e apoiar o Empreendedor no envio à Secretaria de Estado de Meio Ambiente e seus órgãos IGAM e FEAM, à Agência Nacional de Águas, à Defesa Civil do Estado de Minas Gerais e Nacional o Relatório de Encerramento da Emergência, em até 60 dias após declarado o início da emergência.</li> </ol> </li> </ol> |

## 8.2 Empreendedor

As responsabilidades do Empreendedor encontram-se listadas no Quadro 8.2

**Quadro 8.2.** Responsabilidades do Empreendedor.

| Nível de Resposta    | Ações a empreender                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>NR 0: Verde</b>   | <ul style="list-style-type: none"><li>a) Tomar conhecimento da situação de emergência, mantendo-se informado e apoiando o Coordenador do PAE;</li><li>b) Assegurar a disponibilidade dos recursos demandados pelo GIAR e GM para ações e de monitoramento, inspeção, avaliação e implantação de medidas de operação e controle da barragem, inclusive em situação de emergência;</li><li>c) Tomar conhecimento se as medidas de controle empreendidas foram efetivas;</li><li>d) Receber comunicação do encerramento da situação de emergência ou de acionamento do nível de resposta superior.</li></ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>NR 1: Laranja</b> | <ul style="list-style-type: none"><li>a) Tomar conhecimento da situação de emergência, mantendo-se informado e apoiando o Coordenador do PAE;</li><li>b) Assegurar a disponibilidade dos recursos demandados pelo GIAR e GM para ações e de monitoramento, inspeção, avaliação e implantação de medidas de operação e controle da barragem, inclusive em situação de emergência;</li><li>c) Comunicar o alerta de nível de resposta laranja à Secretaria de Estado de Meio Ambiente e seus órgãos IGAM e FEAM, à Agência Nacional de Águas e à Defesa Civil do Estado de Minas Gerais e Nacional;</li><li>d) Apoiar o estabelecimento de Comando Centralizado das Operações de emergência no Centro de Operações de Belo Horizonte (COP-BH) e para a convocação de todos os Grupos de Intervenção Direta (GID) e de Apoio Interno (GAI);</li><li>e) Apoiar a mobilização dos recursos humanos, materiais e logísticos necessários para fazer face à situação de emergência;</li><li>f) Apoiar os Grupos de Combate e Salvamento (GCS), Operação (GO), Meio Ambiente (GMA) e Saúde, Atendimento de Urgência e Assistência no estabelecimento do estado de prontidão para eventual evacuação imediata da ZAS;</li><li>g) Tomar conhecimento se, as medidas de controle empreendidas na barragem foram efetivas;</li><li>h) Receber comunicação do encerramento da situação de emergência ou de acionamento do nível de resposta vermelho;</li><li>i) Se a situação de emergência for extinta:<ul style="list-style-type: none"><li>1. Subsidiar o GIAR para que este providencie a elaboração do Relatório de Inspeção Especial (RISE);</li><li>2. Assegurar a disponibilidade dos recursos demandados pelo GIAR e GM para que estes providenciem a elaboração da Declaração de Condição de Estabilidade;</li><li>3. Receber o Relatório de Encerramento de Emergência elaborado pelo Coordenador;</li><li>4. Encaminhar à Secretaria de Estado de Meio Ambiente e seus órgãos IGAM e FEAM, à Agência Nacional de Águas e à Defesa Civil do Estado de Minas Gerais e Nacional o Relatório de Encerramento da Emergência, em até 60 dias após declarado o início da emergência.</li></ul></li></ul> |

| Nível de Resposta     | Ações a empreender                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>NR 2: Vermelho</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>a) Tomar conhecimento da situação de emergência e apoiar Coordenador do PAE;</li> <li>b) Subsidiar as ações do GIAR e do GM de monitoramento, inspeção, avaliação e implantação de medidas de controle da situação de emergência;</li> <li>c) Comunicar o alerta de nível de resposta vermelho à Secretaria de Estado de Meio Ambiente e seus órgãos IGAM e FEAM, à Agência Nacional de Águas e à Defesa Civil do Estado de Minas Gerais e Nacional;</li> <li>d) Apoiar o Coordenador do PAE para o estabelecimento de Comando Centralizado das Operações de Emergência no Centro de Operações de Belo Horizonte (COP-BH) e Centros de Comando na ZAS, com representantes de todos os órgãos dos Grupos de Intervenção Direta (GID) e de Apoio Interno (GAI);</li> <li>e) Garantir ao Coordenador do PAE os recursos humanos, materiais e logísticos necessários para fazer face à situação de emergência;</li> <li>f) Dar subsídios os Grupos de Combate e Salvamento (GCS), Operação (GO), Meio Ambiente (GMA) e Saúde, Atendimento de Urgência e Assistência na evacuação imediata da ZAS;</li> <li>g) Tomar conhecimento, se as medidas de controle empreendidas foram efetivas e se não, quais novas medidas serão adotadas;</li> <li>h) Receber comunicação do encerramento da situação de emergência ou de permanência do nível de resposta vermelho;</li> <li>i) Se a situação de emergência for extinta: <ul style="list-style-type: none"> <li>1. Assegurar a disponibilidade dos recursos demandados pelo GIAR para que este providencie a elaboração do Relatório de Inspeção Especial (RISE);</li> <li>2. Assegurar a disponibilidade dos recursos demandados pelo GIAR e GM que estes providenciem a elaboração da Declaração de Condição de Estabilidade;</li> <li>3. Receber o Relatório de Encerramento de Emergência elaborado pelo Coordenador;</li> <li>4. Encaminhar à Secretaria de Estado de Meio Ambiente e seus órgãos IGAM e FEAM, à Agência Nacional de Águas e à Defesa Civil do Estado de Minas Gerais e Nacional o Relatório de Encerramento da Emergência, em até 60 dias após declarado o início da emergência.</li> </ul> </li> </ul> |

### 8.3 Equipes Técnicas

As Equipes Técnicas do PAE da barragem de Bonsucesso estão reunidas nos Grupos de Inspeção e Avaliação de Risco (GIAR: SUDECAP), de Manutenção (GM: SUDECAP), de Operação (GO: SMOBI, SUDECAP, SUPDEC, URBEL e BHTrans) e de Meio Ambiente (GMA: SMMA e SLU).

As responsabilidades desses grupos e instituições estão listadas nos Quadro 8.3 ao Quadro 8.5.

**Quadro 8.3.** Responsabilidades dos Grupos de Inspeção e Avaliação de Risco (GIAR) e de Manutenção (GM).

| Nível de Resposta      | Ações a empreender                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>TODOS OS NÍVEIS</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>a) Executar as ações correntes de inspeção e monitoramento da barragem e do reservatório;</li> <li>b) Detectar anomalias e situações de emergência;</li> <li>c) Classificar das situações de emergência e comunicar ao coordenador e ao empreendedor;</li> <li>d) Acompanhar continuamente a emergência e a avaliação de risco, e mantendo o Coordenador do PAE e o Empreendedor informados sobre sua evolução;</li> <li>e) Avaliar, propor e executar ações corretivas das anomalias, conforme previsto no Plano de Segurança da Barragem Bonsucesso</li> <li>f) Disponibilizar recursos humanos, materiais e logísticos para a implantação das ações de emergência;</li> <li>g) Avaliar a efetividade das ações de controle e se, a emergência está controlada;</li> <li>h) Manter o Coordenador do PAE e o Empreendedor informados sobre a evolução da situação de emergência tendo em conta as ações de reparação e controle empreendidas;</li> <li>i) Providenciar a elaboração do Relatório de Inspeção Especial (RISE);</li> <li>j) Providenciar a elaboração da Declaração de Condição de Estabilidade;</li> <li>k) Subsidiar o Coordenador para que este emita o Relatório de Encerramento de Emergência.</li> </ul> |

**Quadro 8.4.** Responsabilidades do Grupo de Operação.

| Nível de Resposta                       | Ações a empreender                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|-----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>NR 1 e 2:<br/>Laranja e Vermelho</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>a) Executar as ações de resposta previstas no PAE para os níveis de resposta Laranja e Vermelho.</li> <li>b) Efetuar o bloqueio de vias e o desvio do trânsito para as rotas de fuga;</li> <li>c) Liberar as rotas de fuga para assegurar a eficiência da evacuação;</li> <li>d) Realizar a alocação de pessoas removidas em abrigos, com o fornecimento de alimentos, de medicamentos e assistência psicológica, segundo o nível de alerta.</li> <li>e) Realizar a remoção de pessoas e, caso a antecedência o permita, a remoção de veículos e equipamentos das áreas sujeitas à inundação prevista para os níveis de resposta laranja e vermelho.</li> <li>f) Realizar a remoção de ocupantes de escolas, asilos e, se necessários, hospitais, o que requer ações e meios específicos, segundo os níveis de resposta laranja e vermelho.</li> </ul> |

**Quadro 8.5.** Responsabilidades do Grupo de Meio Ambiente.

| Nível de Resposta     | Ações a empreender                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>NR 1: Laranja</b>  | a) Avaliar possíveis impactos ambientais para o nível de resposta laranja e propor ações mitigadoras;<br>b) Contribuir para a elaboração do Relatório de Encerramento de Emergência;                                                                                                                                                           |
| <b>NR 2: Vermelho</b> | a) Avaliar possíveis impactos ambientais para o nível de resposta vermelho e propor ações mitigadoras;<br>b) Contribuir para a elaboração do Relatório de Encerramento de Emergência;<br>c) Apoiar as ações emergenciais de limpeza, desobstrução e descontaminação da área diretamente atingida pelo trânsito da onda de ruptura da barragem. |

#### 8.4 Grupo de Combate e Salvamento (Defesa Civil)

As ações do Grupo de Combate e Salvamento são coordenadas e empreendidas pela SUPDEC. As ações da SUPDEC são apoiadas por todos os Grupos de Intervenção Direta (GID) e de Apoio Interno (GAI), notadamente os Grupos de Saúde, Atendimento de Urgência e Assistência (GAUA), de Operação (GO), de Comunicação e de Segurança. O Quadro 8.6 define as responsabilidades de defesa civil no âmbito do PAE da Barragem Bonsucesso.

**Quadro 8.6.** Classificação das Emergências por Causas.

| Nível de Resposta    | Ações a empreender                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>NR 0: Verde</b>   | a) Apoiar o Coordenador do PAE, conforme a demanda;<br>b) Gerenciar e garantir o funcionamento do Sistema de Alerta Sonoro e Visual.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>NR 2: Laranja</b> | a) Apoiar o Coordenador do PAE, conforme a demanda;<br>b) Emitir os alertas sonoros e visuais, por orientação do Coordenador do PAE.<br>c) Mobilizar os Núcleos de Defesa Civil - NUDEC, Núcleos de Alerta de Chuva - NAC, voluntários, organizar e liderar suas ações durante a crise;<br>d) Preparar-se para a remoção de pessoas e, caso a antecedência o permita, a remoção de veículos e equipamentos das áreas sujeitas à inundação prevista, segundo o nível de alerta;<br>e) Preparar-se para a remoção de ocupantes de escolas, asilos e, se necessários, hospitais, o que requer ações e meios específicos, segundo o nível de alerta.<br>f) Havendo tempo de antecedência do alerta, organizar o deslocamento de objetos mais susceptíveis a danos em propriedades privadas, o fechamento de registros de água potável, do gás, o desligamento da chave geral de eletricidade e, quando disponível, o fechamento do registro do ramal predial interno de esgotos, evitando seu retorno ao interior da construção.<br>g) Apoiar a alocação de pessoas removidas em abrigos, o fornecimento de alimentos, medicamentos e assistência psicológica, com o apoio da SMASAC.<br>h) Contribuir para a elaboração do Relatório de Encerramento de Emergência. |

| Nível de Resposta     | Ações a empreender                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>NR 3: Vermelho</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>a) Apoiar o Coordenador do PAE, conforme a demanda;</li> <li>b) Emitir os alertas sonoros e visuais, por orientação do Coordenador do PAE.</li> <li>c) Mobilizar os Núcleos de Defesa Civil - NUDEC, Núcleos de Alerta de Chuva - NAC, voluntários, organizar e liderar suas ações durante a crise.</li> <li>d) Promover a remoção de pessoas e, caso a antecedência o permita, a remoção de veículos e equipamentos das áreas sujeitas à inundação prevista, segundo o nível de alerta.</li> <li>e) Promover a remoção de ocupantes de escolas, asilos e, se necessários, hospitais, o que requer ações e meios específicos, segundo o nível de alerta.</li> <li>f) Havendo tempo de antecedência do alerta, coordenar e organizar, o deslocamento de objetos mais susceptíveis a danos em propriedades privadas, o fechamento de registros de água potável, do gás, o desligamento da chave geral de eletricidade e, quando disponível, o fechamento do registro do ramal predial interno de esgotos, evitando seu retorno ao interior da construção.</li> <li>g) Apoiar a alocação de pessoas removidas em abrigos, o fornecimento de alimentos, medicamentos e assistência psicológica, com o apoio da SMASAC.</li> <li>h) Apoiar o atendimento médico de urgência em zonas sinistradas, com o apoio da SMSA e da SMASAC.</li> <li>i) Apoiar o deslocamento de feridos para centros de saúde e hospitais, com o apoio da SMSA.</li> <li>j) Apoiar os serviços de busca e resgate de pessoas em situação de risco de morte e a busca por desaparecidos, com o apoio da GMBH e do CBMMG.</li> <li>k) Apoiar o controle do tráfego em vias com risco iminente de inundação, e o seu desvio para rotas de fuga empreendido pela BHTrans e Grupo de Operação.</li> <li>l) Apoiar a implantação de ações de contingenciamento, quando possível, como a implantação de diques de emergência, a instalação de estações de bombeamento, entre outras, empreendidas pelo GIAR e GM.</li> <li>m) Apoiar ações de segurança à propriedade, evitando roubos e saques empreendido, empreendidas pelo GS.</li> <li>n) Apoiar a remoção e o manejo de cadáveres.</li> <li>o) Estabelecer um serviço de comunicação permanente com a mídia e com parentes de vítimas e desaparecidos com o apoio do GC;</li> <li>p) Contribuir para a elaboração do Relatório de Encerramento de Emergência.</li> </ul> |

## 9 Síntese do estudo de inundação com os respectivos mapas, indicação da Zona de Autossalvamento - ZAS e pontos vulneráveis potencialmente afetados

No âmbito deste projeto de elaboração do PAE da Barragem de Bonsucesso, foram estimados diversos hidrogramas de ruptura a partir das características do maciço, das condições de ruptura (Tabela 9.1), da aplicação de fórmulas empíricas variadas para cálculo dos parâmetros de brecha (Tabela 9.2) e execução da modelagem hidrológica no modelo HEC-HMS (Figura 9.1).

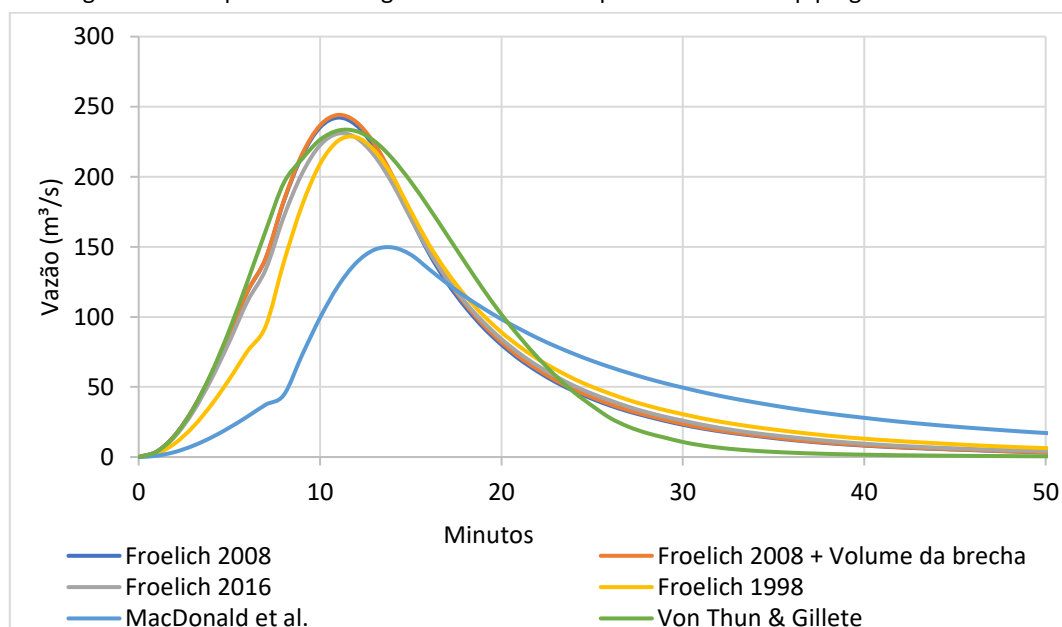
**Tabela 9.1.** Características do maciço e condições de ruptura da Barragem de Bonsucesso.

| Parâmetro                               | Valor  | Unidade               |
|-----------------------------------------|--------|-----------------------|
| Elevação Crista                         | 968    | m                     |
| Elevação Fundo (contato com TN/Sólidos) | 958    | m                     |
| Volume que passa pela brecha            | 202,8  | (1000) m <sup>3</sup> |
| Elevação no momento da ruptura          | 966,48 | m                     |
| Largura Crista                          | 10     | m                     |
| Declividade Talude Montante             | 2      | (H:1V)                |
| Declividade Talude Jusante              | 1,85   | (H:1V)                |
| Modo de falha                           | Piping |                       |
| Elevação inicial do piping              | 963    | m                     |

**Tabela 9.2.** Parâmetros da brecha de ruptura da Barragem de Bonsucesso.

| Método                    | Largura Inferior da brecha (m) | Declividade lateral da brecha (H:V) | Tempo de formação da brecha (hrs) <sup>1</sup> |
|---------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------------------|
| MacDonald et al. (1984)   | 2                              | 0,5                                 | 0,26                                           |
| Froehlich (1995)          | 5                              | 0,9                                 | 0,21                                           |
| Froehlich (2008)          | 8                              | 0,7                                 | 0,25                                           |
| Froehlich (2016)          | 6                              | 0,6                                 | 0,2                                            |
| Von Thun & Gillete (1990) | 22                             | 0,5                                 | 0,42                                           |
| Xu & Zhang (2009)         | 6                              | 0,61                                | 0,63                                           |

**Figura 9.1.** Hidrogramas de ruptura da Barragem de Bonsucesso para o cenário de piping.





O hidrograma de ruptura obtido por meio da relação de Froelich (2008) com a adição do volume de brecha, por ser o mais conservador, foi escolhido para análise da propagação da onda de inundação.

#### **Base de dados RAS e considerações**

Para o mapeamento das áreas potencialmente inundáveis pelo trânsito da onda de ruptura na planície de inundação a jusante da barragem de Bonsucesso, adotaram-se as informações e critérios listados nos próximos parágrafos.

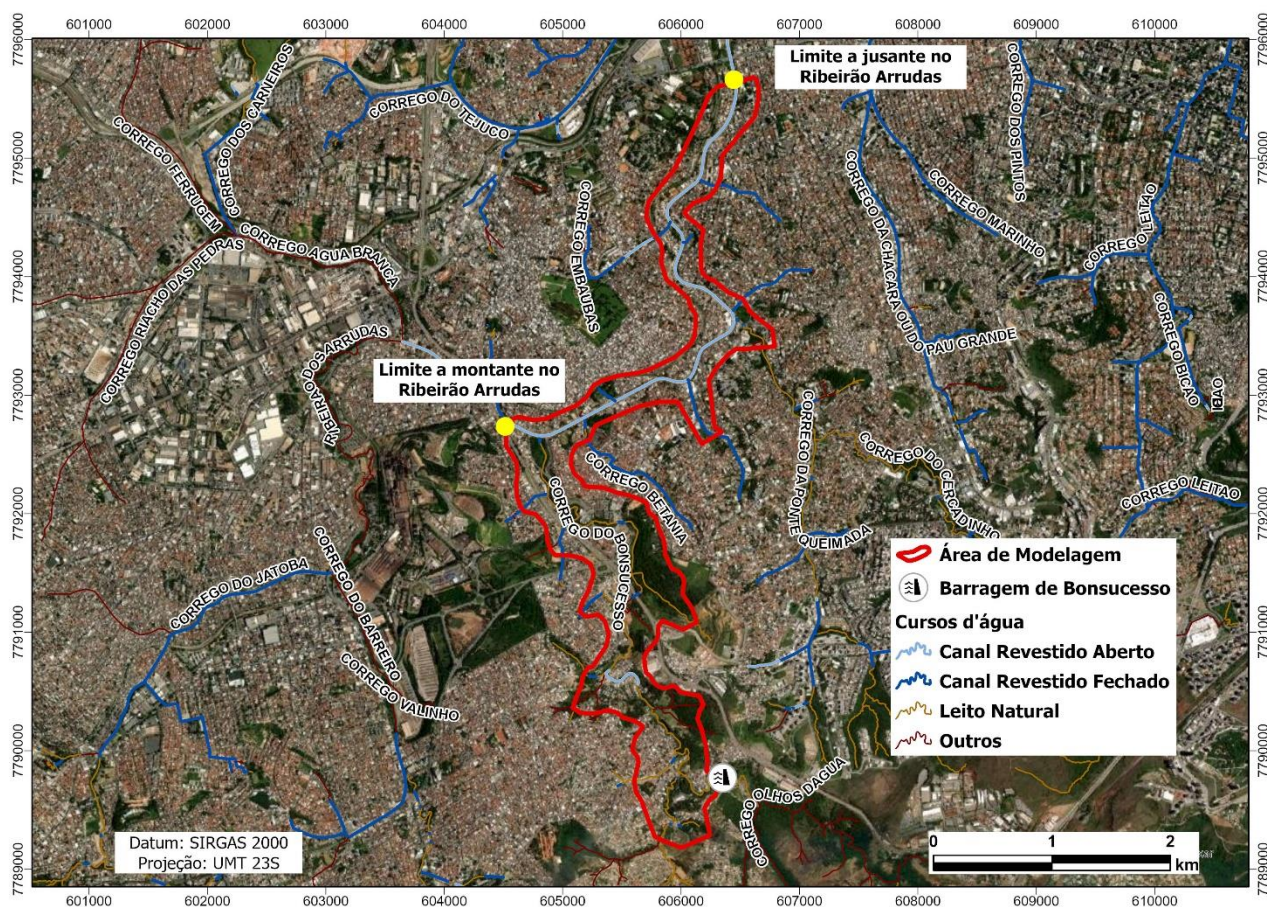
Para a **representação numérica computacional do vale a jusante da barragem de Bonsucesso**, foram utilizadas as bases de dados descritas na Tabela 9.3.

**Tabela 9.3.** Bases de dados utilizadas para construção do modelo hidrodinâmico de propagação de onda de cheia proveniente de ruptura hipotética da barragem de Bonsucesso.

| <b>Base de dados</b>                                            | <b>Descrição/Características</b>                                    | <b>Finalidade</b>                                                                                                  |
|-----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Modelo Digital de Terreno da Prodabel                           | Dados altimétricos levantados por tecnologia LIDAR.                 | Constituição de base topográfica para construção do modelo hidrodinâmico de propagação de onda de ruptura.         |
| Base de fotografias aéreas da Prodabel e Fundação João Pinheiro | Fotografias aéreas levantadas por tecnologia LIDAR.                 | Análise de uso e ocupação do solo e produção de mapas.                                                             |
| Base de dados de arquivos vetoriais da Prodabel                 | Dados de uso e ocupação do lote, vias e cursos d'água.              | Análise de uso e ocupação do solo e orientação das células da malha de cálculo para propagação da onda de ruptura. |
| Atlas de macrodrenagem de Belo Horizonte                        | Dados de geometria e declividade da macrodrenagem de Belo Horizonte | Inserção da geometria dos canais no Modelo Digital de Terreno da Prodabel.                                         |

A **modelagem hidrodinâmica** desenvolvida nesse estudo se estende do dique da barragem de Bonsucesso a montante, pelo córrego Olhos d'Água, a jusante da barragem, até confluência desse com o córrego Bonsucesso e por toda a extensão do córrego até a confluência com o Ribeirão Arrudas. A modelagem segue no Ribeirão Arrudas até o cruzamento entre a Avenida Teresa Cristina e Avenida Amazonas (Figura 9.2). As condições de contorno de jusante são estabelecidas com base na simulação do trecho aberto ribeirão Arrudas a jusante do córrego Bonsucesso. Adotou-se para a modelam hidrodinâmica bidimensional da propagação da onda de ruptura o software gratuito HEC-RAS v.6.2 com descrição altimétrica da planície de inundação embasada nos dados descritos na Tabela 9.3.

**Figura 9.2.** Limites a montante e a jusante para simulação da onda proveniente de ruptura hipotética da Barragem de Bonsucesso – do dique da barragem até a jusante da região urbanizada de Belo Horizonte no Ribeirão Arrudas.

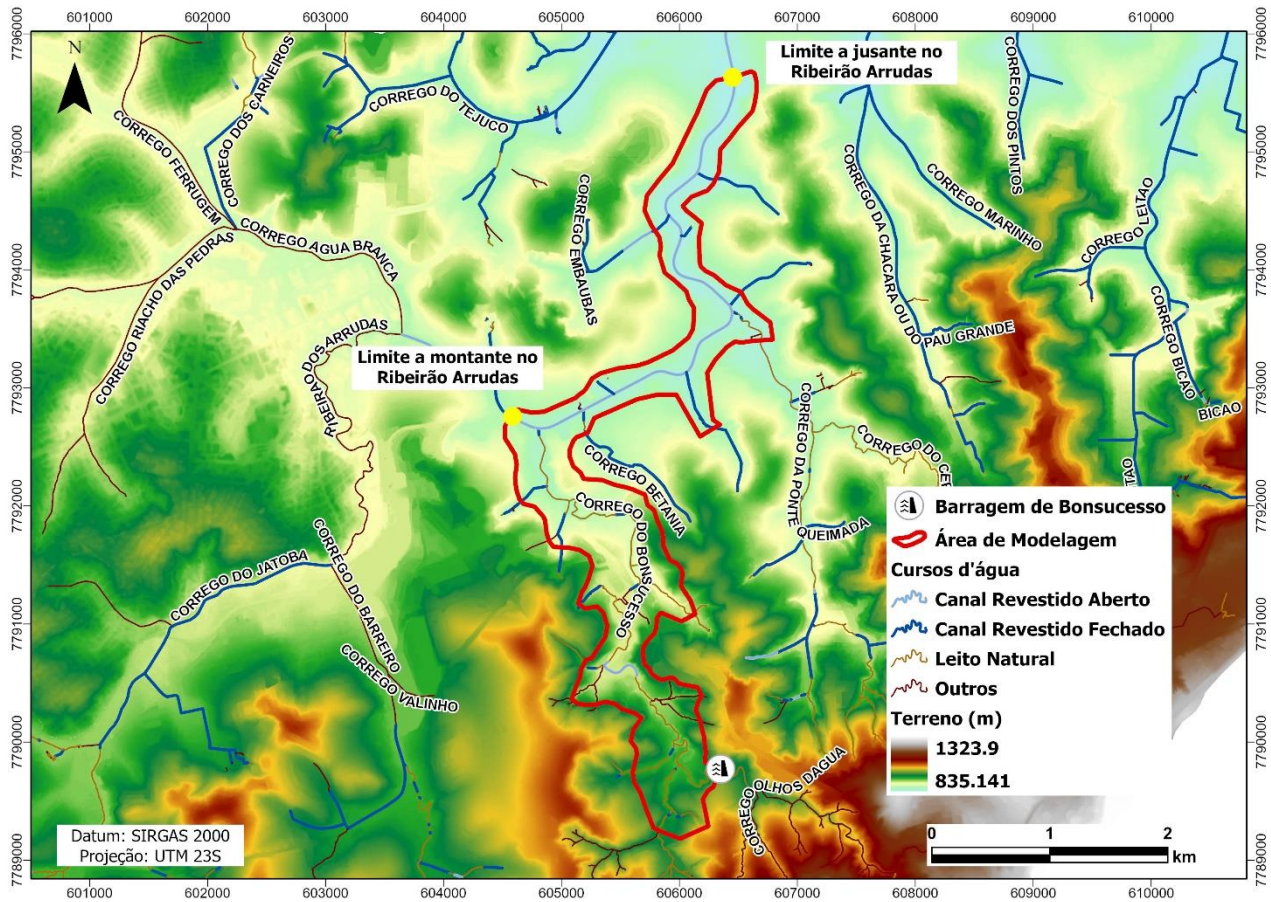


Utilizou-se o **Modelo Digital de Terreno da Prodabel** para constituir a base topo-batimétrica utilizada no estudo (Figura 9.3). As calhas dos rios abertos foram representadas no modelo de acordo com a base de dados utilizada. Definiu-se uma malha homogênea, com células de área média equivalentes a 100 m<sup>2</sup> cada (resolução aproximada de 10 m x 10 m), para toda a área de estudo. O arquivo vetorial com as informações das vias foi utilizado para orientar a direção das células (Figura 9.4), com intuito de otimizar a solução numérica visto a ortogonalidade entre a direção do escoamento e face das células.

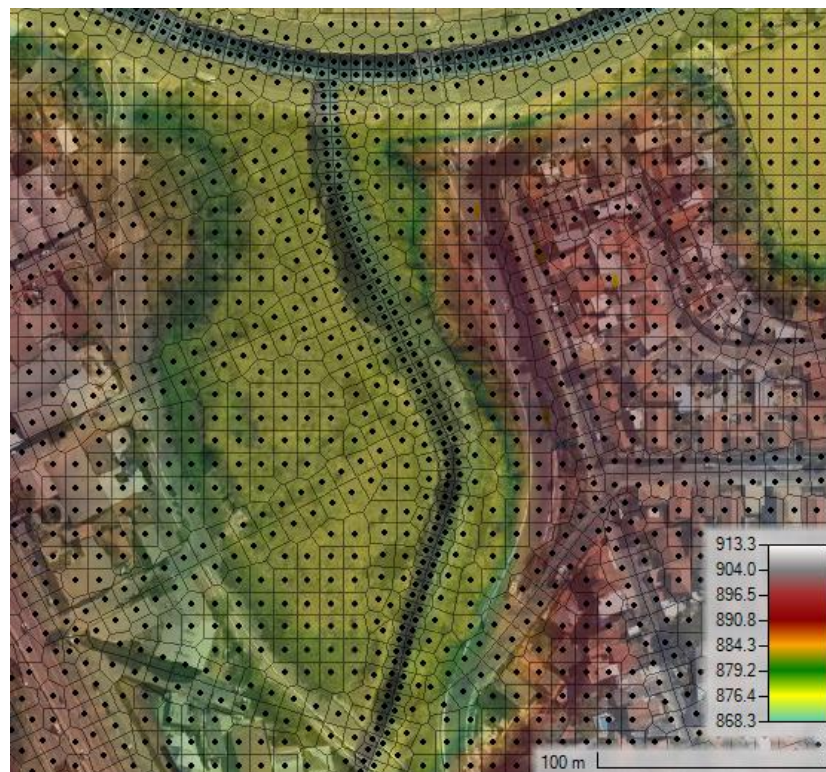
Adotou-se o valor do **coeficiente de rugosidade de Manning** com base no uso e ocupação do solo Figura 9.5, elaborado no relatório Modelagem hidrológica e hidráulica das inundações na bacia do Ribeirão Arrudas (FCO e UFMG, 2022-a) no âmbito do projeto no Plano de Contingência de Inundações do Boulevard Arrudas. Os valores dos coeficientes de Manning foram definidos por meio das recomendações de Arcement e Schneider (1989).



**Figura 9.3.** Modelo Digital de Terreno e área de simulação da propagação da onda de ruptura hipotética da barragem de Bonsucesso considerando o cenário de piping.

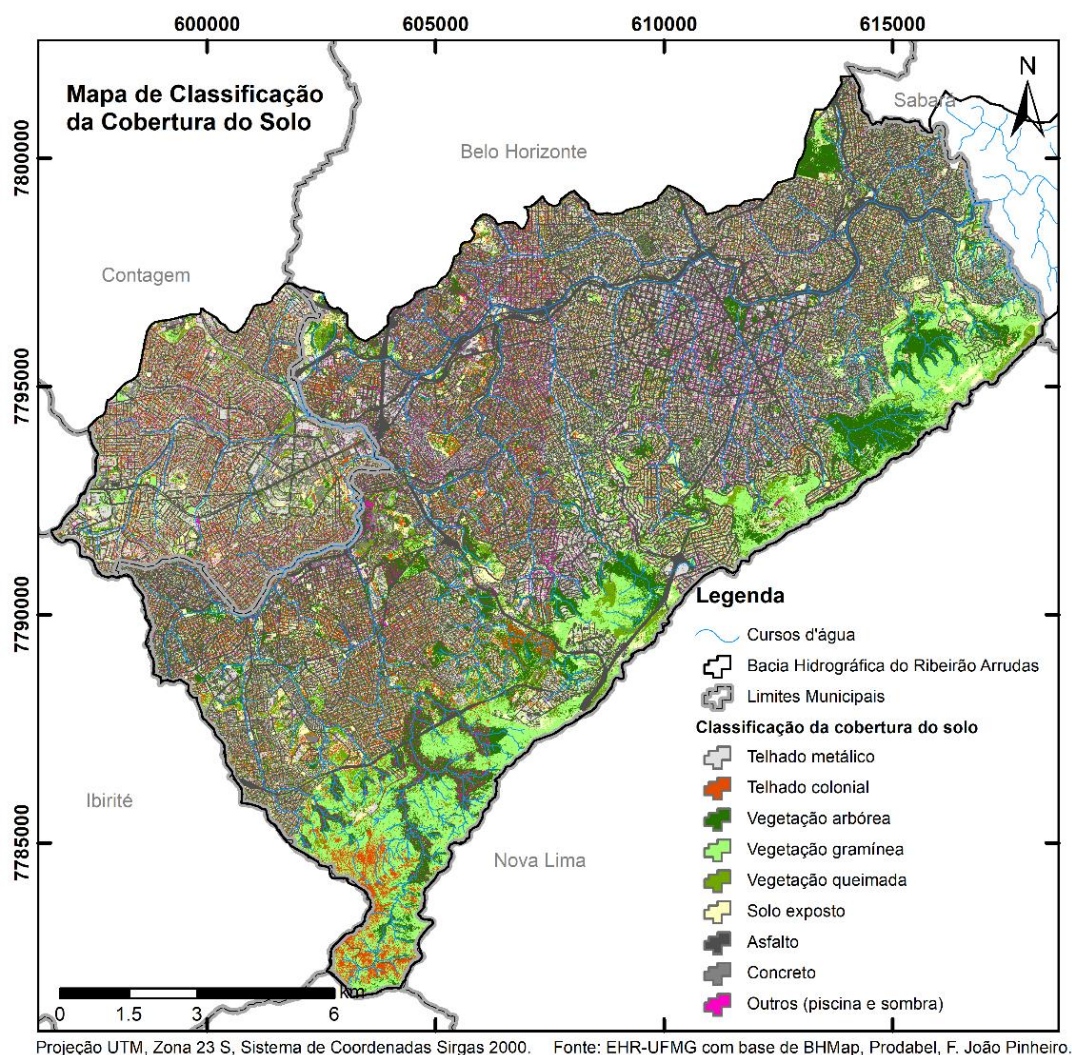


**Figura 9.4.** Recorte da região na confluência entre o Córrego Bonsucesso e Ribeirão Arrudas com a identificação da orientação das células de modo perpendicular às vias.





**Figura 9.5.** Mapa com o uso e ocupação da Bacia do Ribeirão Arrudas com base em fotografia aérea elaborado a partir das ortofotos aéreas disponibilizadas pela Prodabel (Belo Horizonte) – Fonte: FCO, 2021.



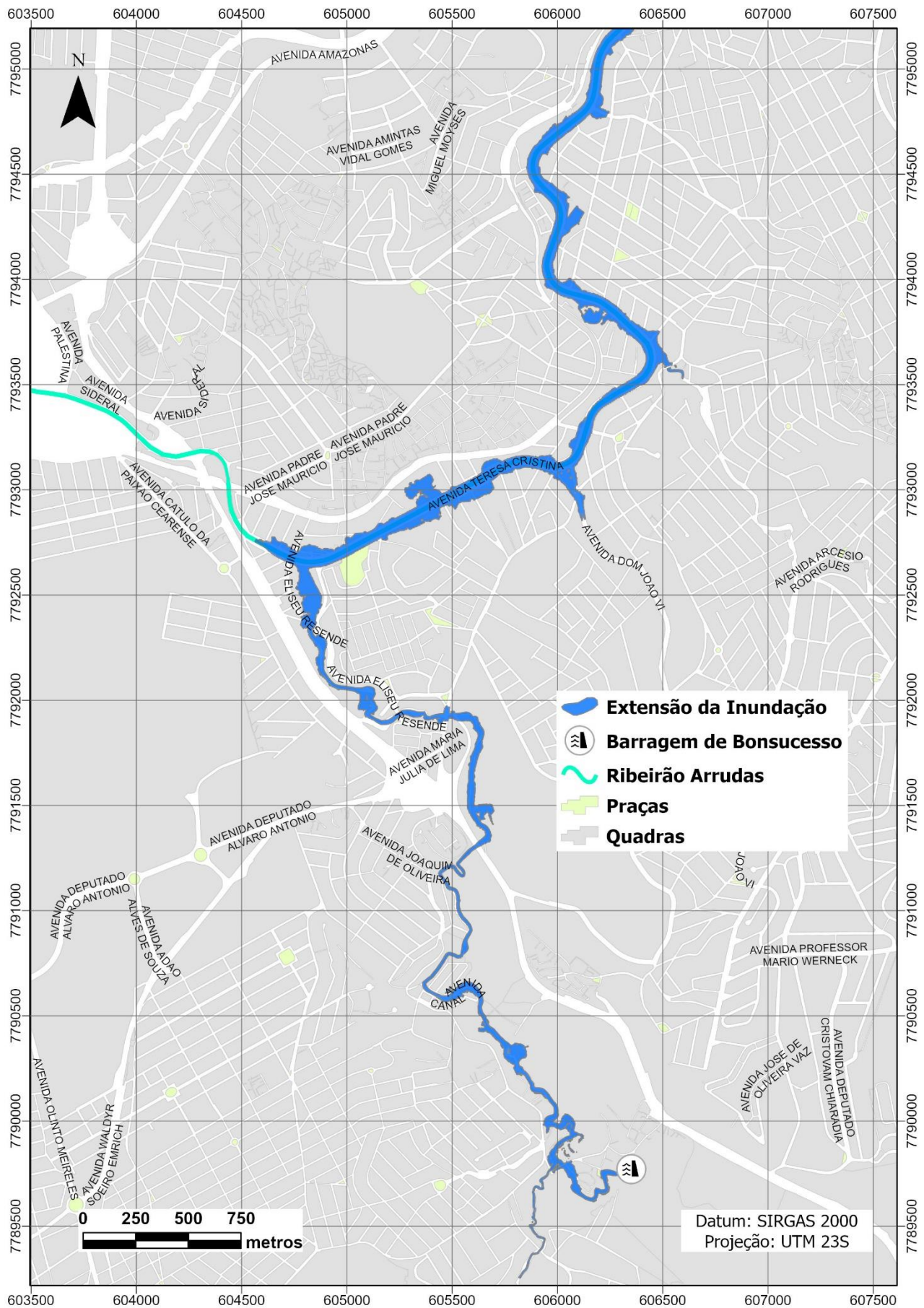
Como **condição de contorno de montante** adotou-se o hidrograma de ruptura estimado por meio de Von Thun & Gilete com a adição do volume de brecha (Figura 9.1). O hidrograma tem vazão de pico de 244 m<sup>3</sup>/s que ocorre 11 minutos após início do rompimento. A **condição contorno de jusante** foi definida como “profundidade normal de escoamento” com declividade de 0,0025 m/m na seção a jusante do Ribeirão Arrudas no cruzamento entre a Avenida Teresa Cristina e Avenida Amazonas.

Para o Ribeirão Arrudas foi adotada, a partir da seção indicada na Figura 9.2, e para todo Córrego Bonsucesso e Olhos d’Água, foi adotada a vazão equivalente ao evento de tempo de retorno de 2 anos. As galerias revestidas fechadas foram consideradas obstruídas, logo, representando um cenário em que não há interação entre escoamento na superfície e nos canais.

O cenário de cheia natural para o evento de tempo de retorno de 2 anos, sem rompimento, também foi simulado a fim de auxiliar na determinação do impacto específico da ruptura na determinação da Zona de Autossalvamento e na Zona de Segurança Secundária.

Os **mapas produzidos no âmbito do presente estudo** são os listados na Tabela 9.4. O mapa geral com extensão da inundação para a área de estudos encontra-se na Figura 9.6 e os mapas das variáveis descritas na Tabela 9.4 são apresentados nas Figuras 9.7 a 10.1.

**Figura 9.6.** Mapa global da região afetada pela propagação da onda de ruptura hipotética da barragem de Bonsucesso considerando o cenário de piping.

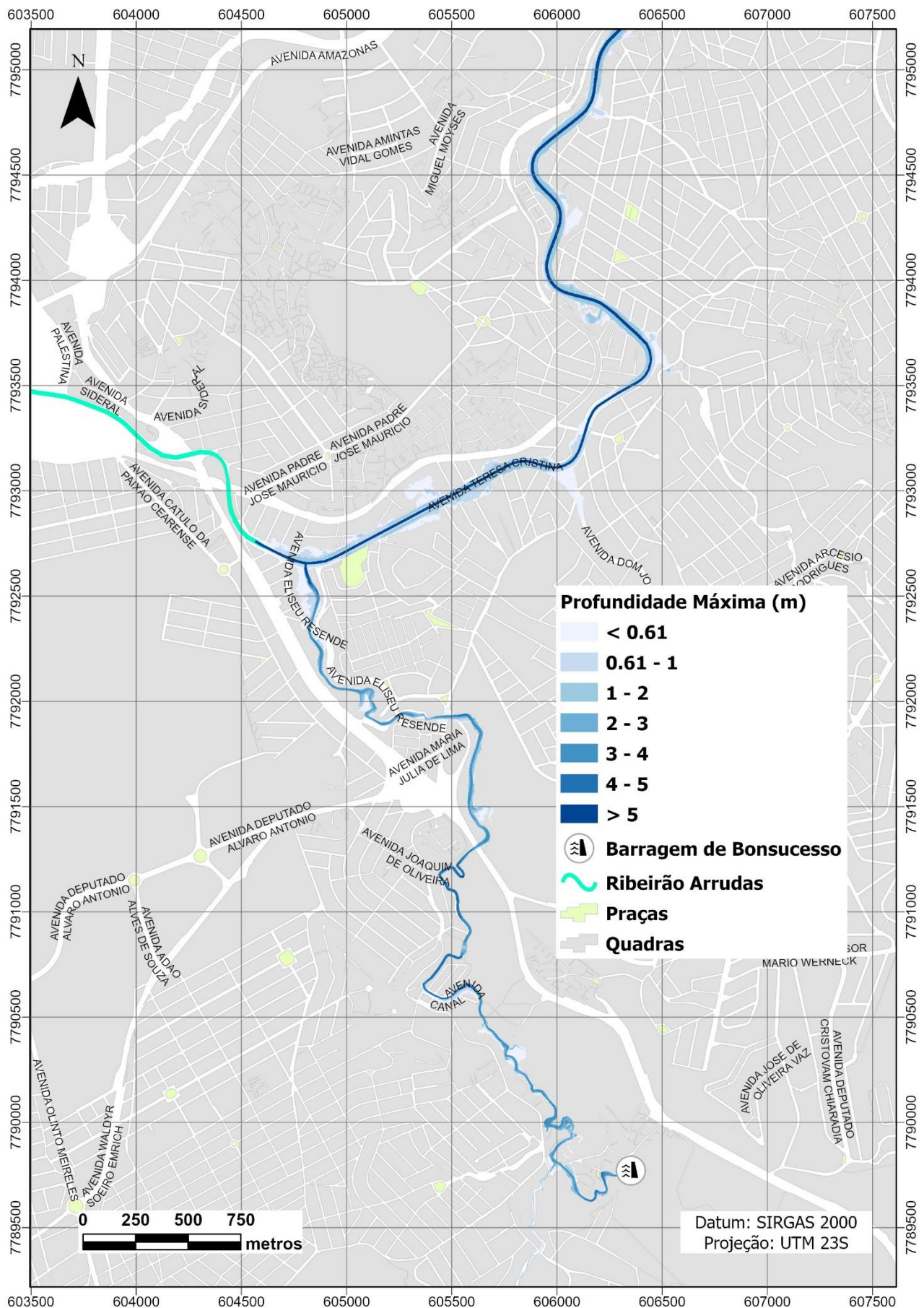




**Tabela 9.4.** Descrição das metodologias empregadas para desenvolvimento dos diferentes mapas produzidos a partir dos resultados das simulações hidrodinâmicas de propagação de onda de cheia proveniente de ruptura hipotética da barragem de Bonsucesso.

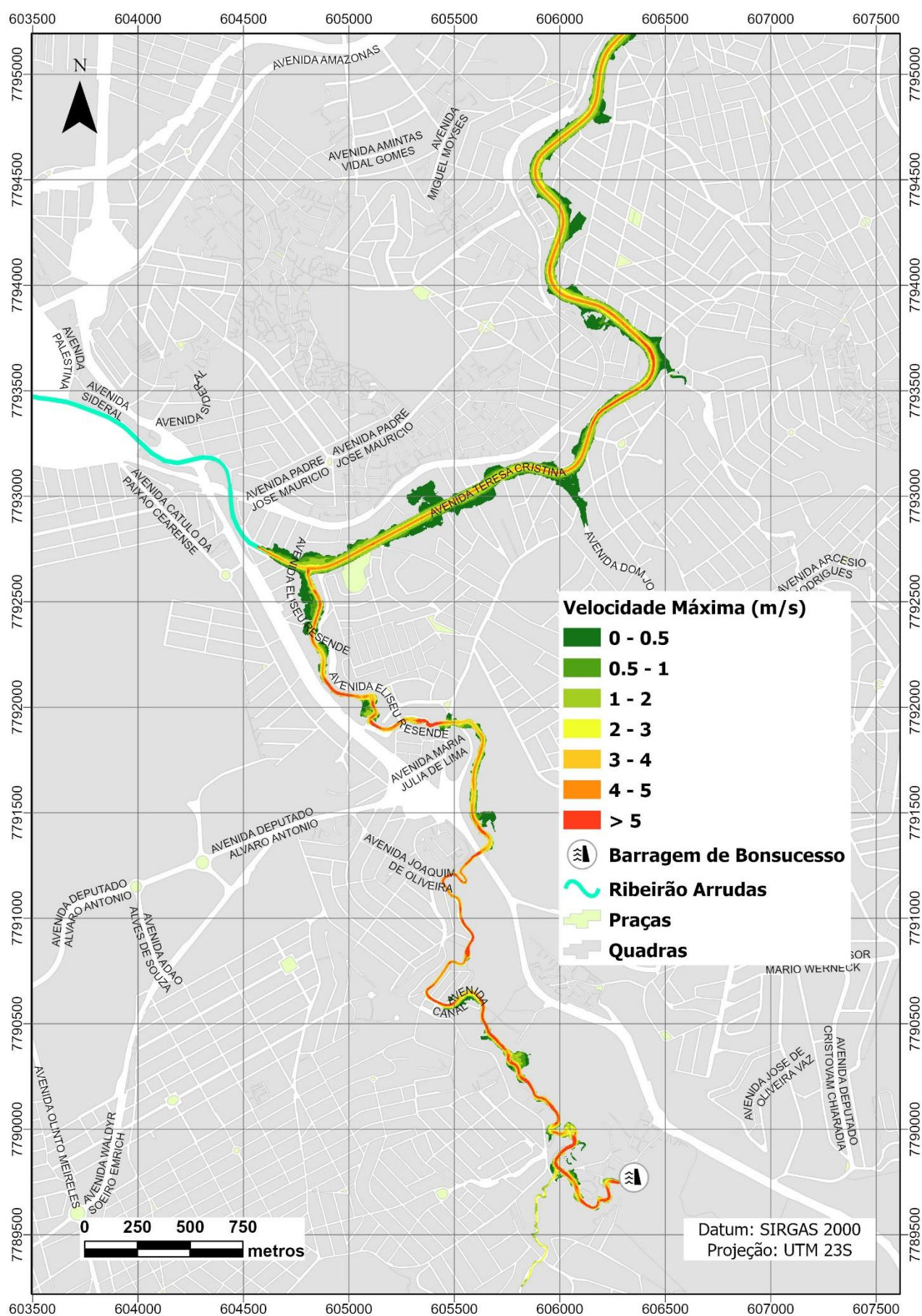
| <b>Tipo de mapa</b>                                                           | <b>Descrição</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | <b>Metodologia de desenvolvimento</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Mapa de profundidades máximas                                                 | Representa de forma espacialmente distribuída as profundidades máximas obtidas por meio de simulação hidrodinâmica para toda a área de estudo.                                                                                                                                                                                                                                        | Mapa com cálculo das profundidades máximas pontuais atingidas durante todo o período de simulação.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Mapa de velocidades máximas                                                   | Representa de forma espacialmente distribuída as velocidades máximas obtidas por meio de simulação hidrodinâmica para toda a área de estudo.                                                                                                                                                                                                                                          | Mapa com cálculo das velocidades máximas pontuais atingidas durante todo o período de simulação.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Mapa de perigo (profundidades máximas vs velocidade máximas)                  | Representa de forma espacialmente distribuída a periculosidade, obtida por meio do produto das profundidades e velocidades pontuais simuladas para toda a área de estudo.                                                                                                                                                                                                             | Mapa com cálculo do produto entre profundidades e velocidades (no mesmo instante de tempo) máximas.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Mapas com tempos mínimos de chegada                                           | Representa o tempo de chegada da onda até atingir determinado parâmetro hidráulico, seja uma profundidade, ou o tempo de chegada do pico.                                                                                                                                                                                                                                             | Mapa com seções explicitando os tempos de chegada da onda de ruptura.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Mapas com tempos de chegada para profundidades máximas                        | Representa o tempo de chegada da onda até atingir determinado parâmetro hidráulico, seja uma profundidade, ou o tempo de chegada do pico.                                                                                                                                                                                                                                             | Mapa com seções explicitando os tempos de chegada da profundidade máxima da onda de ruptura.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Mapa de zona de autossalvamento (ZAS) e de zona de segurança secundária (ZSS) | Representa, para ZAS, a região do vale a jusante da barragem em que se considera que os avisos de alerta à população são de responsabilidade do empreendedor, por não haver tempo suficiente para uma intervenção das autoridades competentes em emergências.<br><br>Para ZSS, representa as demais regiões atingidas, dentro do critério de parada, superficialmente pela inundação. | ZAS delimitada considerando a distância que corresponda a um tempo de chegada da onda de inundação na superfície igual a trinta minutos. Foi calculada pelo tempo de chegada de ruptura, isto é, a diferença entre a tempo de chegada total alcançada durante a simulação e o tempo de chegada relacionado à cheia natural.<br><br>ZSS delimitada considerando toda região além da ZAS em que a profundidade da cheia de ruptura na superfície foi maior ou igual a 0,61 metros (critério de parada). A profundidade da cheia de ruptura foi determinada pela diferença entre a profundidade total alcançada durante a simulação e a profundidade relacionada à cheia natural |

**Figura 9.7.** Mapa global de profundidades máximas de inundação resultantes da propagação da onda de ruptura hipotética da barragem Bonsucesso considerando o cenário de piping.



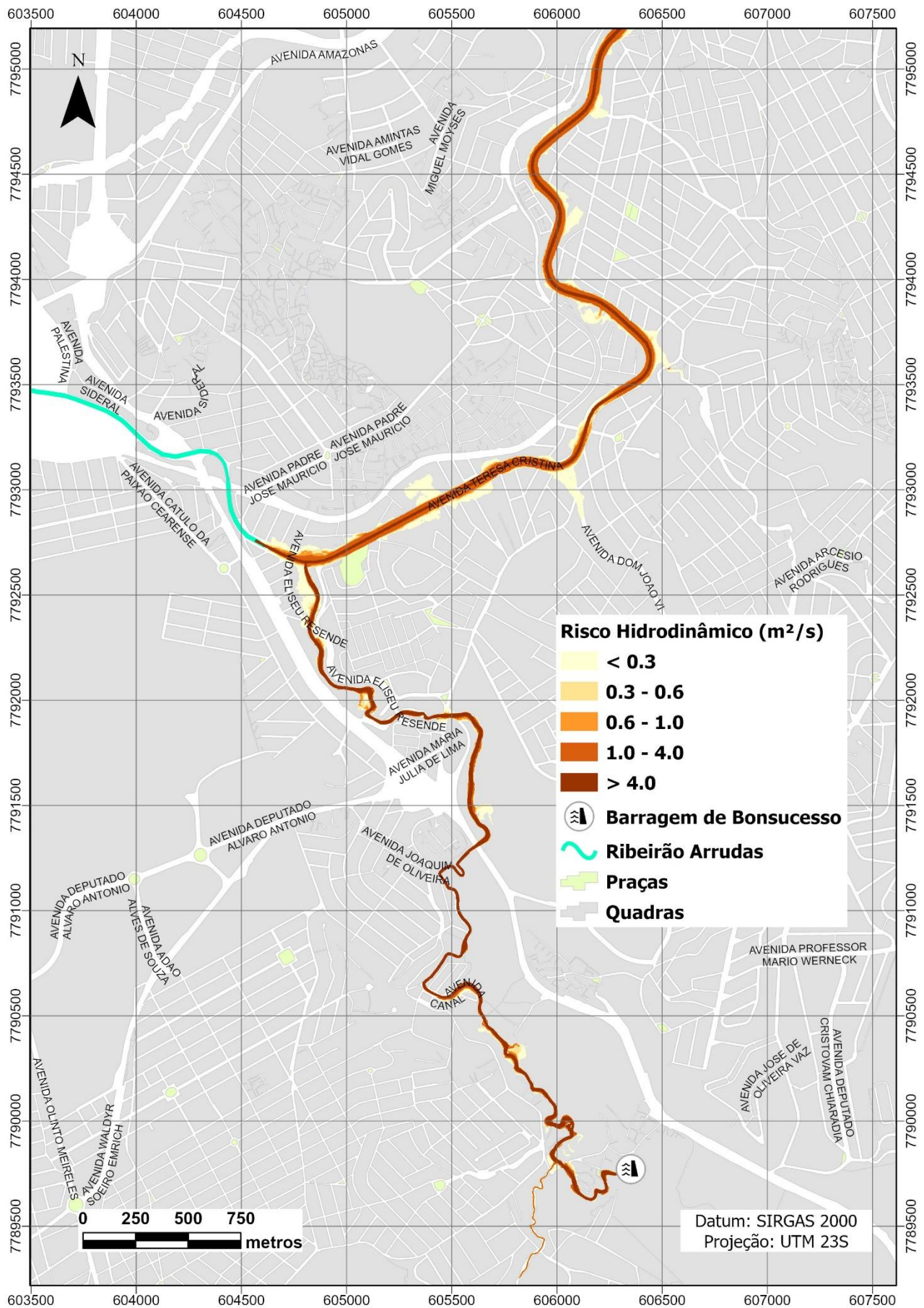


**Figura 9.8.** Mapa global de velocidades máximas de inundação resultantes da propagação da onda de ruptura hipotética da barragem de Bonsucesso considerando o cenário de piping.

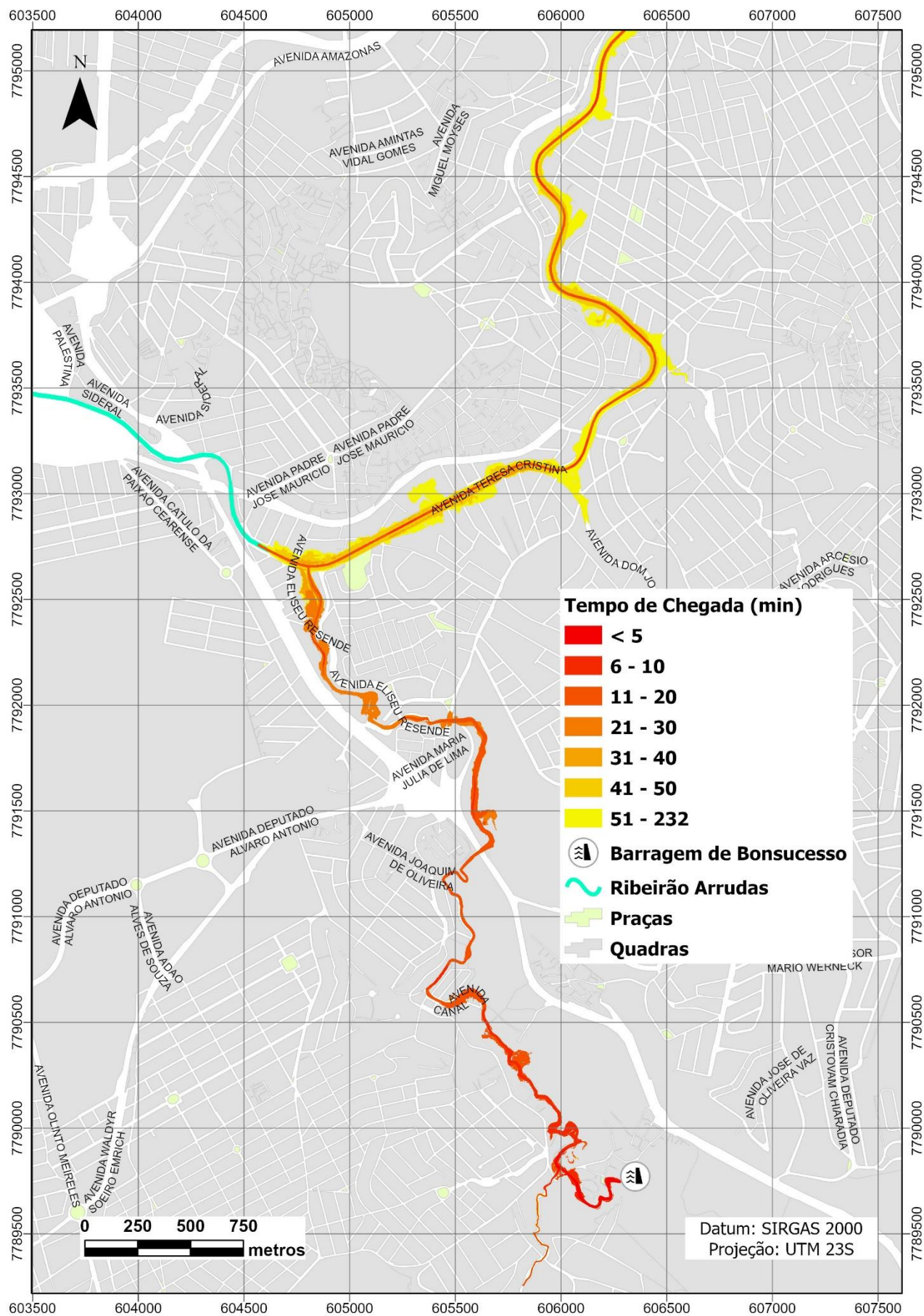




**Figura 9.9.** Mapa global do risco hidrodinâmico da inundação resultante da propagação da onda de ruptura hipotética da barragem de Bonsucesso considerando o cenário de piping.

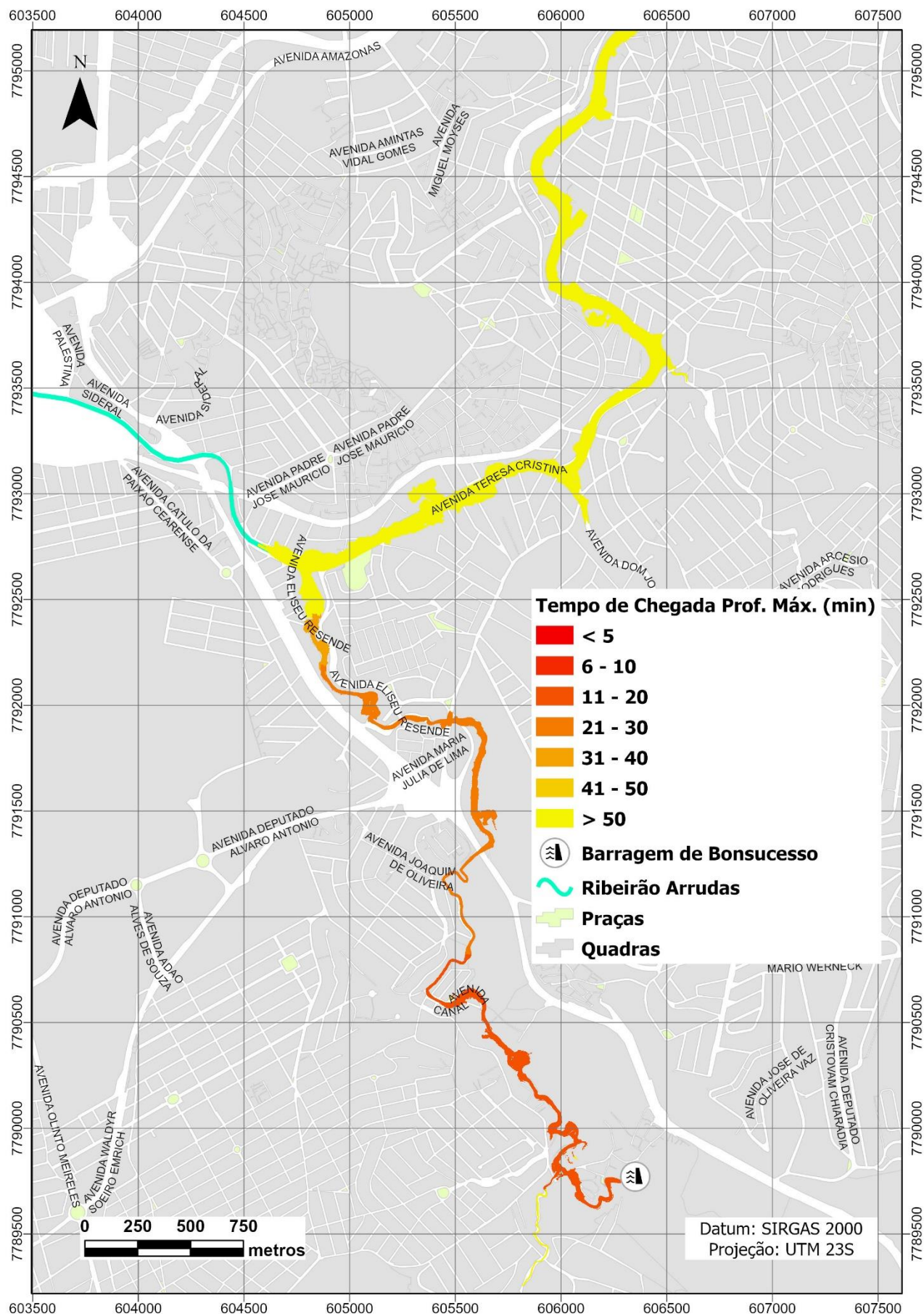


**Figura 9.10.** Mapa global de tempo de chegada mínimo da inundação resultante da propagação da onda de ruptura hipotética da barragem de Bonsucesso considerando o cenário de piping.





**Figura 9.11.** Mapa global de tempo de chegada para profundidade máxima da inundação resultante da propagação da onda de ruptura hipotética da barragem de Bonsucesso considerando o cenário de piping.



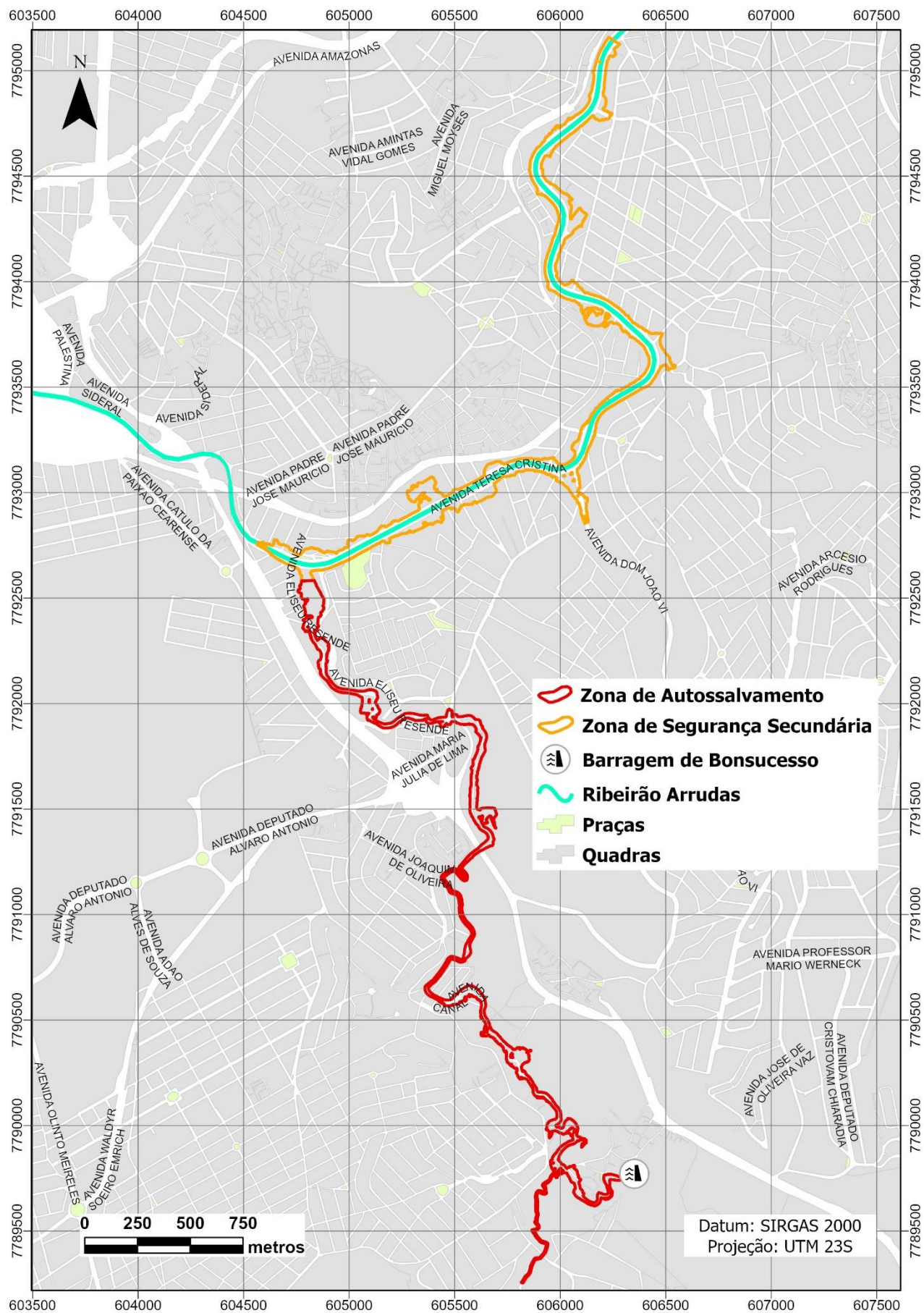
## **10 Zona de Autossalvamento - ZAS e pontos vulneráveis potencialmente afetados**

A Portaria IGAM N° 02, de 26 de fevereiro de 2019, define a ZAS como “região do vale a 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 situações de emergência, devendo-se adotar a maior das seguintes distâncias para a sua delimitação: a distância que corresponda a um tempo de chegada da onda de inundação igual a trinta minutos ou 10 km”.

A onda de cheia resultante da ruptura hipotética da barragem de Bonsucesso provoca inundações ao longo do vale desse curso d’água, resultando também em inundação do vale do ribeirão Arrudas, ao longo da Av. Tereza Cristina, por cerca de 4 km. Com isso, adotou-se como ZAS a extensão do vale do córrego Bonsucesso atingida pela onda de ruptura nos primeiros 30 minutos após a ruptura, até a confluência com o ribeirão Arrudas. Esse critério é o mesmo adotado para todas as barragens localizadas no município de Belo Horizonte, a exceção da barragem da Pampulha. A Zona de Segurança Secundária prolonga-se pelo vale do ribeirão Arrudas, conforme ilustrado na figura 10.1.



**Figura 10.1.** Mapa global da Zona de Autossalvamento e Zona de Segurança Secundária resultante da propagação da onda de ruptura hipotética da barragem de Bonsucesso considerando o cenário de piping.



## 11 Uso do solo, população exposta e análise de vulnerabilidade das áreas potencialmente afetadas

Apresenta-se aqui o resultado dos estudos de análise de vulnerabilidade da área inundável pela onda de cheia causada por uma ruptura hipotética da barragem de Bonsucesso, acompanhada da identificação das tipologias de ocupação do vale a jusante, em particular, grandes equipamentos que concentram um número elevado de pessoas, como escolas, unidades de saúde, terminais do transporte público e outros.

A caracterização da população e da infraestrutura e o mapeamento da vulnerabilidade no vale de jusante da barragem de Bonsucesso foram feitos exclusivamente com base em dados secundários. Foram realizadas análises das bases de dados do Censo Demográfico de 2010, elaborado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), e das bases de dados disponibilizadas pela empresa de Informática e Informação do Município de Belo Horizonte (Prodabel).

A área de interesse compreende a área a jusante da barragem de Bonsucesso potencialmente impactada por inundações, formada pela ZAS e ZSS, segundo os mapas de inundação apresentados nos itens anteriores.

### 11.1 Indicadores de ameaça, exposição, vulnerabilidade e risco de inundação: referencial conceitual, material e métodos

Neste item são apresentados, sinteticamente, os critérios utilizados para criação de índices que reflitam a ameaça (variáveis hidráulicas: profundidade, velocidade e risco hidrodinâmico) e exposição de domicílios e moradores residentes na ZAS e ZSS, em uma ruptura hipotética da barragem de Bonsucesso, considerando o cenário de *piping*.

Adotou-se, para a construção dos índices e indicadores de risco, a mesma metodologia desenvolvida para a elaboração do Plano de Contingência de Inundações do Boulevard Arrudas, com as adequações necessárias tendo em vista os objetivos do PAE (ver FCO e UFMG, 2022-b).

A abordagem utilizada é micro e macroespacial, incorporando informações de edificações (arquivo vetorial das edificações de Belo Horizonte disponível no BH Map) e de escalas espaciais mais amplas: grades estatísticas, setores censitários e áreas de ponderação (microdados) – IBGE (2010).

Os índices são representados em Grades Estatísticas, representação espacial produzida pelo IBGE que divide o território brasileiro em células de 200 x 200 m nas áreas urbanas e de 1 x 1 km nas áreas rurais.

A partir da análise dos critérios e variáveis que interferem nos danos da inundação (Cançado, 2009), foram criados os índices de Risco Material (IRM), Risco Humano (IRH) e de Risco Crítico ou Criticidade (IRC). Os indicadores, após a padronização, variaram de zero a um, sendo que valores mais altos indicam maior impacto da inundação (sobre os critérios de padronização, ver FCO e UFMG, 2022-b). Para a ponderação do índice de risco final, considerou-se o mesmo peso para os atributos físicos (características hidráulicas da inundação) e para os aspectos socioeconômicos (exposição e vulnerabilidade), como mostrado a seguir

- **Índice de Risco Material (IRM):** indica a ordem da magnitude do valor dos danos diretos à construção e ao conteúdo dos domicílios em diferentes regiões. É composto por dois índices: risco de danos à construção ( $IRM_1$ ) e de danos ao conteúdo dos domicílios ( $IRM_2$ )<sup>1</sup>. Cada um dos índices de risco material é definido pelo produtório ponderado do Índice de Ameaça Material ( $IAM_{1,2}$ ) e do Índice de Exposição Material ( $IEM_{1,2}$ ) do domicílio na grade estatística J:

$$IRM_{1,2,j} = IAM_{1,2,j}^{0,5} \times IEM_{1,2,j}^{0,5} \quad (\text{Eq. 1})$$

<sup>1</sup> Os elementos da construção correspondem à estrutura, alvenaria, rejunte, revestimento, pinturas e paredes exteriores, marcos e janelas, pisos. Já os danos ao conteúdo dos domicílios correspondem aos danos a móveis, eletrodomésticos, cortinas etc., segundo os projetos habitacionais tipo. Para detalhamento metodológico, ver FCO e UFMG, 2022-b e Cançado, 2009.

- **Índice de Risco Humano (IRH):** o nível de risco é mensurado segundo a magnitude das variáveis consideradas críticas para a ocorrência de danos diretos sobre as pessoas, ou seja, danos pelo contato com as águas, cujos principais são ferimentos e mortes. É composto pelo *Índice de Ameaça Humana*, relacionado principalmente à força hidrodinâmica do escoamento, que implica em perda de estabilidade, e pela *exposição* potencial das pessoas às águas da inundação (*IEH*) (mensurada por meio de estimativa de moradores na mancha de inundação, conforme Quadro 11.1). O índice de risco humano é definido pelo produto ponderado do *Índice de Ameaça Humana* (IAH) e do *Índice de Exposição Humana* (IEH) na grade estatística *J*:

$$IRH_{,j} = IAH_{,j}^{0,5} \times IEH_{,j}^{0,5} \quad (\text{Eq. 2})$$

Neste índice não foi considerado o componente de vulnerabilidade. Aqui é necessário um esclarecimento. A vulnerabilidade de um indivíduo a ferimentos ou morte, em um evento de inundação, se deve a vários fatores, não apenas às características físicas dos indivíduos, como a idade e dificuldades de locomoção, mas, em grande parte, a fatores diversos e aleatórios, como o comportamento do agente ou o local em que ele se encontrava no momento da cheia (Ashley & Ashley, 2008; Jonkman & Kelman, 2005).

As características possíveis de serem representadas por meio de variáveis encontradas em fontes secundárias confiáveis, como IBGE (idade, deficiência física...), não apresentaram grande variação, em termos de estrutura, entre as unidades de análise utilizadas no estudo, além disso, são dinâmicas, o que torna seu uso menos atraente, tendo em vista o período de coleta (Censo demográfico de 2010), para representar o momento atual. Essas são as principais razões pelas quais o índice de vulnerabilidade humana não compôs a análise. Mas, além disso, considera-se que todas as pessoas, uma vez expostas à inundação, já possuem algum nível de vulnerabilidade, e os aspectos acima citados seriam sobretudo fatores que o intensificariam.

- **Índice de Risco Crítico ou Índice de Criticidade (IRC):** unifica, em uma única fonte de informação, as regiões (grades estatísticas) mais críticas, em relação ao risco potencial de danos materiais (IRM) ou humanos (IRH), considerando como índice crítico na grade (IRC) sempre o maior índice entre os dois. O índice varia de 1 a 5, sendo que quanto maior o nível de criticidade, maior o valor do indicador.

O Quadro 11.1 contém uma síntese dos indicadores, variáveis e índices adotados neste trabalho, bem como das hipóteses que embasaram a criação dos índices, ou seja, os principais critérios considerados intervenientes na sua magnitude.



**Quadro 11.1.** Indicadores, hipótese, variáveis e índices.

|                | Indicador de risco                               | Hipóteses                                                   | Variáveis brutas                                                                                                                                        | Índices          |
|----------------|--------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| Risco material | Valor monetário dos danos à construção           | - Força hidrostática e hidrodinâmica                        | - Profundidade e velocidade                                                                                                                             | IA <sub>M1</sub> |
|                |                                                  | - Exposição da construção (edificação residencial ou mista) | - Número estimado de edificações, segundo tipologia / Número estimado de domicílios na mancha de inundação (PBH, 2015; IBGE, 2010)                      | IE <sub>M1</sub> |
|                | Valor monetário dos danos ao conteúdo            | - Força hidrostática e hidrodinâmica                        | - Profundidade e velocidade                                                                                                                             | IA <sub>M2</sub> |
|                |                                                  | - Exposição dos bens                                        | - Número estimado de edificações, segundo tipologia / Número estimado de domicílios na mancha de inundação (PBH, 2015; IBGE, 2010)                      | IE <sub>M2</sub> |
| Risco humano   | Danos diretos aos moradores (ferimentos, mortes) | - Força hidrodinâmica e hidrostática                        | - Fator velocidade (RESCDAM... 2000, Reiter, 2000)                                                                                                      | IA <sub>H1</sub> |
|                |                                                  | - Exposição dos moradores                                   | - Número estimado de moradores na mancha de inundação a partir de IBGE (2010)<br>- Número de edificações residências na mancha de inundação (PBH, 2015) | IE <sub>H1</sub> |

Fonte: FCO e UFMG, 2022-b, com adequações.

### 11.2 Estimativas de edificações e moradores atingidos

Segundo estimativas realizadas, tendo em vista a extensão da marcha de inundação, a área atingida pela ruptura hipotética da barragem atinge, na ZAS, aproximadamente 58 edificações (uso residencial, misto ou não residencial), 267 domicílios e 916 moradores residentes. Na ZSS, esses valores são, respectivamente: 415, 701 e 2.360. A Tabela 11.1 mostra esses indicadores.

**Tabela 11.1.** Estimativa do número de edificações, domicílios e moradores situados na ZAS e ZSS - Ruptura hipotética da barragem de Bonsucesso considerando o cenário de piping.

| Variável    | ZAS | ZSS   | Total |
|-------------|-----|-------|-------|
| Edificações | 58  | 415   | 473   |
| Domicílios  | 267 | 701   | 969   |
| Moradores   | 916 | 2.360 | 3.275 |

Já na Tabela 11.2 é apresentado o número de edificações afetadas, por zona a jusante da barragem, segundo tipologia de uso do lote, tanto em números absolutos, quanto percentuais.

**Tabela 11.2.** Número de edificações situadas na ZAS e ZSS, segundo tipologia de uso do lote - Ruptura hipotética da barragem de Bonsucesso considerando o cenário de piping.

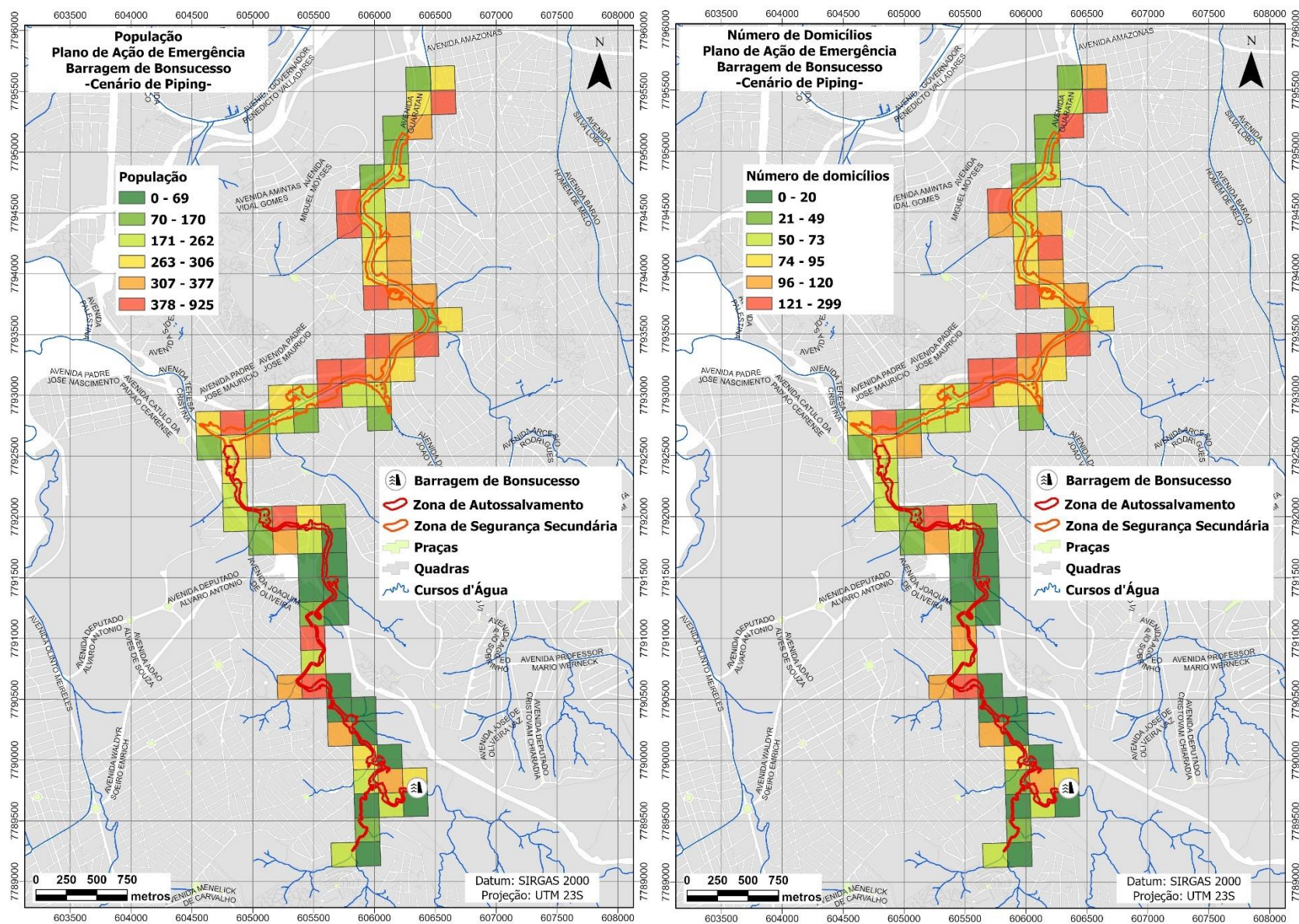
| Tipologia de Lote          | ZAS |      | ZSS |      | Total |      |
|----------------------------|-----|------|-----|------|-------|------|
|                            | N   | %    | N   | %    | N     | %    |
| Lote Vago                  | -   | -    | 18  | 4%   | 18    | 4%   |
| Misto                      | -   | -    | 47  | 11%  | 47    | 10%  |
| Não Residencial            | 28  | 48%  | 77  | 19%  | 105   | 22%  |
| Exclusivamente Residencial | 1   | 2%   | 167 | 40%  | 168   | 36%  |
| Sem Informação             | 29  | 50%  | 106 | 26%  | 135   | 29%  |
| Total                      | 58  | 100% | 415 | 100% | 473   | 100% |

O uso não residencial representa 48% das edificações expostas ao risco na ZAS, o que mostra a dimensão do impacto com respeito à atividade econômica, em particular de comércio e serviços (ressaltando que 50% dos

lotes não apresentavam tipologia definida, segundo fonte de dados consultada). Na ZSS, esse percentual é de 19% e a maior interferência ocorre em lotes residenciais (40%), ocupados basicamente por residências unifamiliares (casas). Na ZAS deve-se destacar a presença de galpões de uso comercial e industrial, em especial na avenida Tereza Cristina. Neste cenário, as vias mais impactadas, em ordem decrescente, são Teresa Cristina (via arterial), avenida Efigênia Miranda Schettino (via local), avenida Joaquim de Oliveira (local), avenida Dom João VI (coletora), rua B Um (local, paralela à avenida Tereza Cristina) e avenida Canal (local).

A Figura 11.1 apresenta espacialmente a distribuição do número de residentes e de domicílios, segundo grades estatísticas localizadas na ZAS e ZSS.

Figura 11.1. População residente e número de domicílios na ZAS e ZSS, por grade estatística.



### **11.3 Índice de Risco Material (IRM), Índice de Risco Humano (IRH) e Índice de Criticidade (IRC)**

O Índice de Risco Material (IRM) e o Índice de Risco Humano (IRH) são apresentados espacialmente na Figura 11.2. Os mapas apresentados representam as grades estatísticas que se sobrepõem à mancha de inundação. Para fins de planejamento emergencial, esses mapas constituem o cenário mais crítico, com a utilização da profundidade, velocidade e risco hidrodinâmico (velocidade x profundidade) máximos encontrados nas grades.

O IRM integra o risco de danos à construção ( $IRM_1$ ) e de danos ao conteúdo ( $IRM_2$ ) aos domicílios (não compreende infraestrutura social e econômica), sendo que cada um deles é formado por três subindicadores, considerando as especificidades que levam aos danos à construção ou ao conteúdo: Índice de Ameaça Material (ao conteúdo e à construção), Índice de Exposição Material (ao conteúdo e à construção) e Índice de Vulnerabilidade Material (ao conteúdo e à construção). No APÊNDICE 1 são apresentados os mapas com os Índices de Ameaça Material e de Exposição, os quais compuseram o índice de risco final aqui mostrado.

Já os componentes do IRH, Índices de Ameaça e Exposição Humana, são mostrados, espacialmente, no APÊNDICE 2.

O mosaico de cores na Figura 11.2 representa o nível de risco, o qual está relacionado às características da inundação e ao perfil de uso e ocupação do solo em cada grade. Nota-se que há predominância do risco entre 0,58 e 0,89, classes já consideradas elevadas do índice. O risco humano também é elevado, embora não seja registrado o nível de risco máximo (1,00), como no caso dos danos materiais.

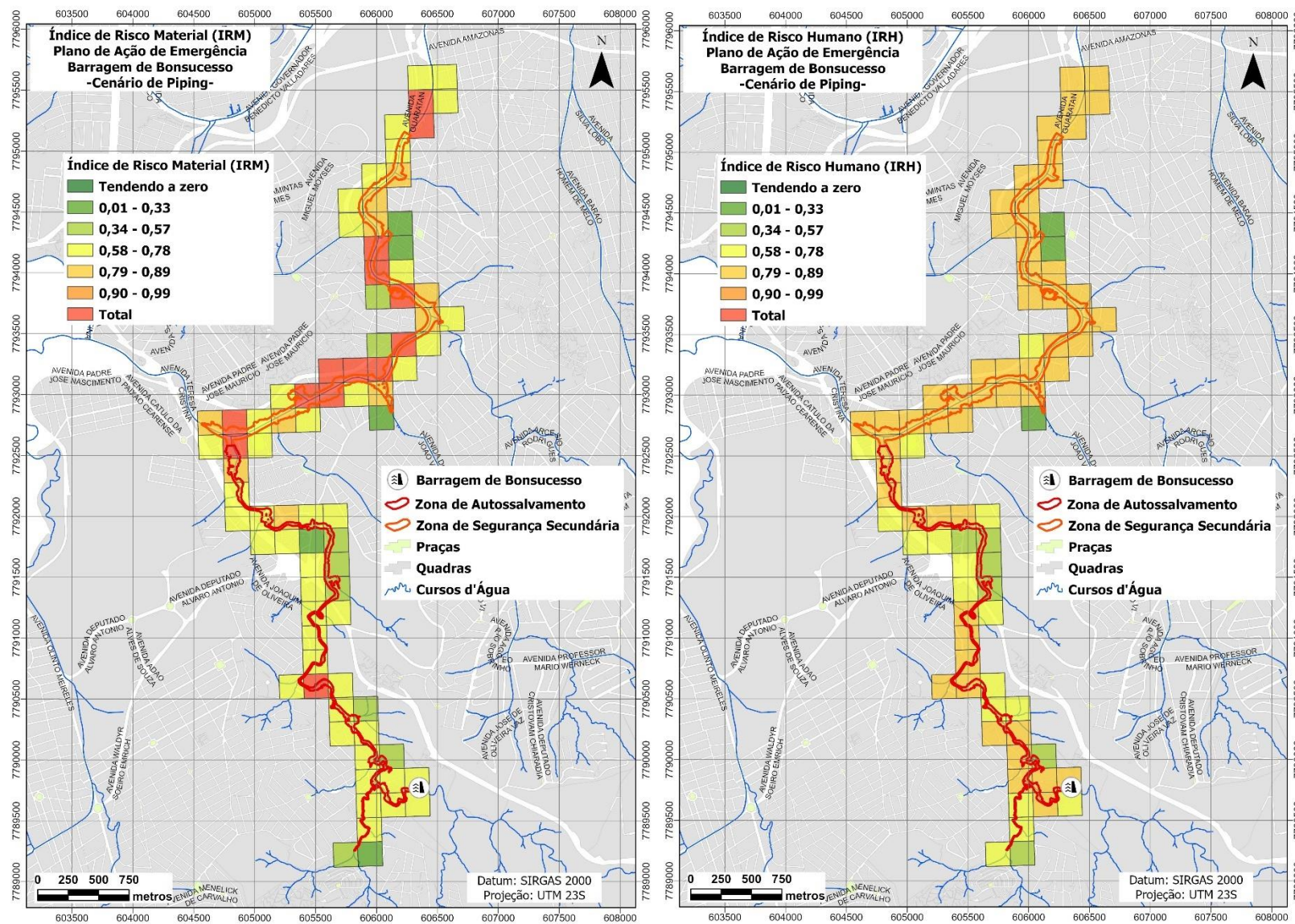
Em relação à exposição humana componente do índice de Risco Humano, definida a partir de uma estimativa da população residente, deve ser feita a ressalva de que não foi considerada no estudo a presença de pessoas não residentes acessando a região. Embora essa seja uma informação relevante, é de difícil quantificação, requerendo a adoção de várias hipóteses comportamentais, não verificáveis, e/ou a realização de levantamentos de campo. Uma solução seria correlacionar a magnitude da população flutuante, que circula na região, com o número de estabelecimentos comerciais, seu porte e potencial de agregação de pessoas, o que pode ser previsto para estudos futuros. A despeito dessa ausência, índices de risco humano elevados são encontrados na região.

Tendo em vista os índices de risco material e humano, foi ainda elaborado ainda o Índice de Criticidade (IRC), de forma a unificar, em uma única fonte de informação, as regiões (grades estatísticas) mais críticas, em relação ao risco potencial de danos materiais (IRM) ou humanos (IRH), considerando como índice crítico na grade sempre o maior índice entre os dois. O índice varia de 1 a 5, sendo que quanto maior o nível de criticidade, maior o valor do indicador.

A Figura 11.3 mostra os índices críticos na ZAS e ZSS. Eles refletem fatores múltiplos relacionados às características da inundação (áreas com maior profundidade ou risco hidrodinâmico) e ao nível de exposição de pessoas e domicílios (densidade demográfica e de edificações, padrões de uso e ocupação do solo). A análise mostra que 66% das grades possuem IRC superior a 0,79, indicando, como esperado, a criticidade do evento em termos de danos materiais e humanos, em função tanto de suas características hidráulicas, como pelo padrão de uso e ocupação à jusante.

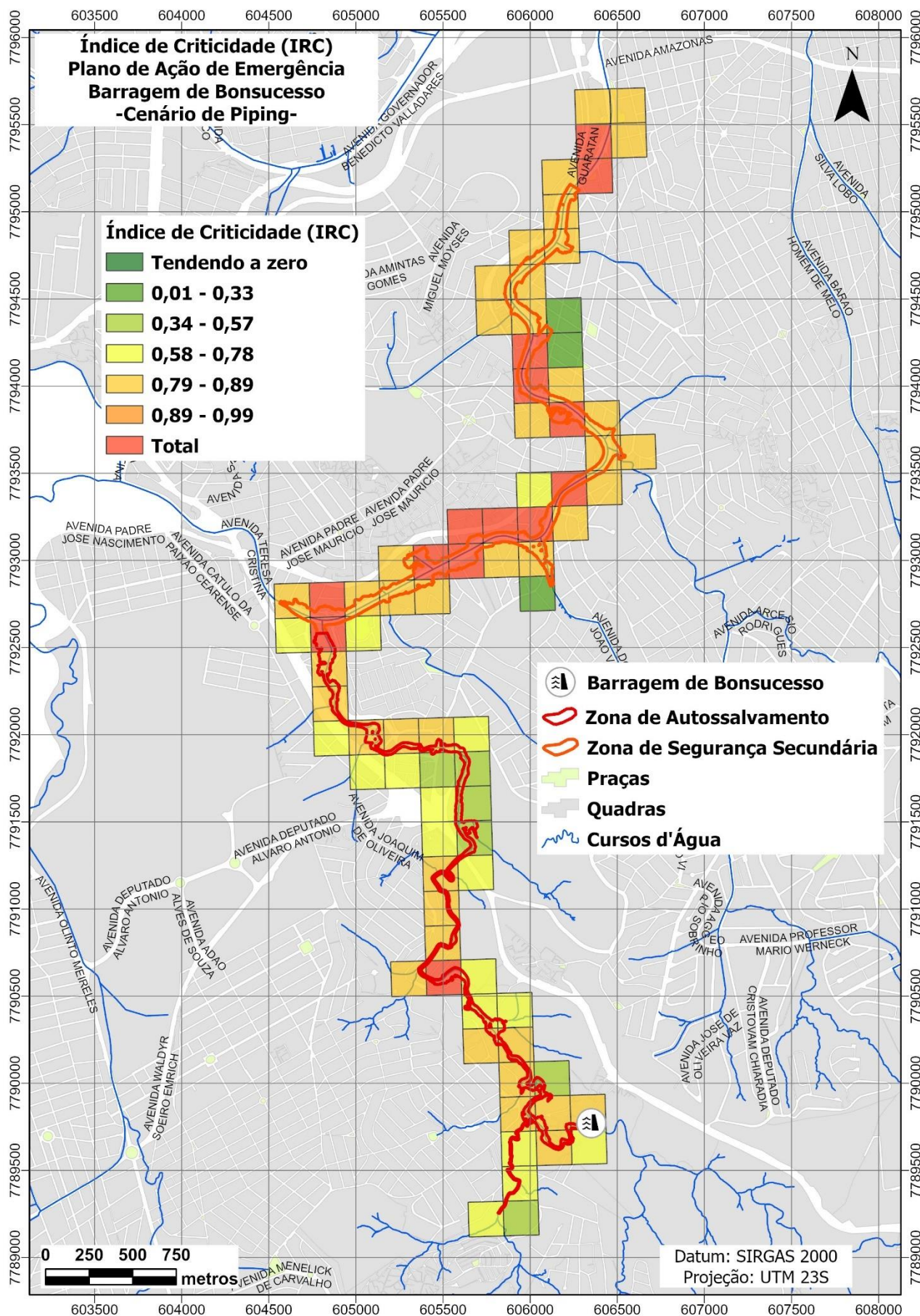


**Figura 11.2.** Índice de Risco Material e Índice de Risco Humano na mancha de inundação localizada na ZAS e ZSS.





**Figura 11.3.** Mapa de áreas inundáveis segundo o Índice de Criticidade na ZAS e ZSS.





Na Tabela 11.3 é apresentada a distribuição das classes de índice de risco entre as 77 grades estatísticas situadas (inteiramente ou em parte) na ZAS e ZSS. Uma parcela relevante das grades apresenta índice superior a 0,79, indicando tratar-se de zonas de risco elevado, tanto do ponto de vista de danos materiais, quanto humanos.

**Tabela 11.3.** Distribuição dos índices de risco, segundo classes, nas grades estatísticas situadas na ZAS e ZSS.

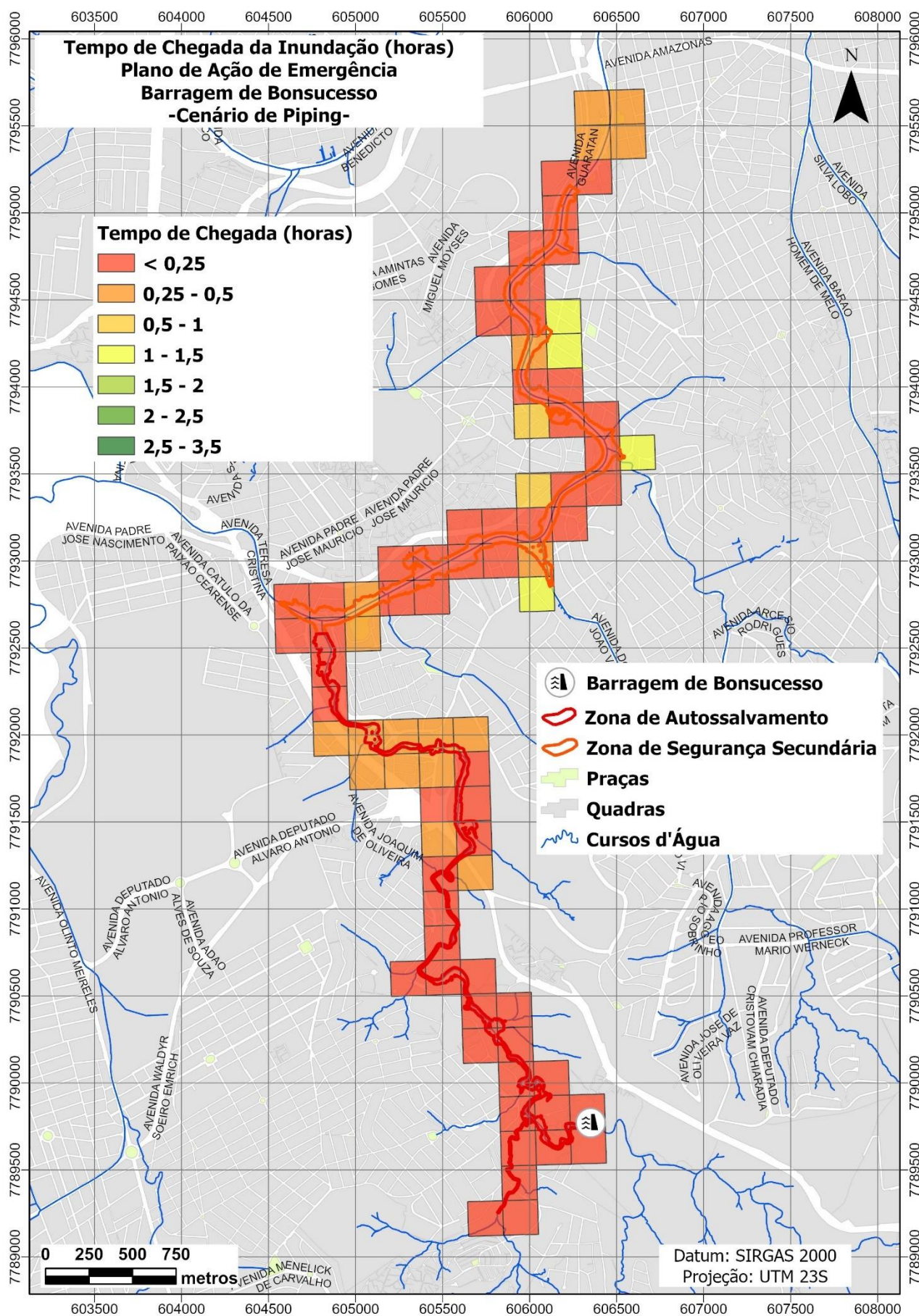
| Classe do índice    | IRM | IRH | IRC |
|---------------------|-----|-----|-----|
| Tendendo a zero     | 0   | 0   | 0   |
| 0,01 - 0,33         | 5   | 3   | 3   |
| 0,34 - 0,57         | 8   | 6   | 6   |
| 0,58 - 0,78         | 41  | 17  | 17  |
| 0,79-0,89           | 10  | 51  | 38  |
| 0,89-0,99           | 0   | 0   | 0   |
| 1,00 (Risco máximo) | 13  | 0   | 13  |

#### 11.4 *Tempos de Chegada das Inundações*

Pela sua importância no planejamento emergencial, foram mapeados os Tempos de Chegada da onda de cheia, tendo como referência espacial as grades estatísticas situadas na área inundável (Figura 11.4). A onda de cheia se propaga rapidamente, com tempos de chegada que se situam principalmente entre 15 e 60 minutos. Como esperado, tempos de chegada menores ocorrem na ZAS. Observe que na ZSS há regiões com tempos de chegada inferiores a 15 minutos. Como nessa região o Arrudas fechado é um canal aberto, o modelo identifica o tempo de chegada da cheia a partir do início de aumento das profundidades de escoamento, mesmo não ocorrendo inundação.

Para a determinação da ZAS, foi considerada apenas a região de exclusiva contribuição do volume propagado na ruptura da barragem. Para isso, a ZAS foi calculada pelo tempo de chegada de ruptura, isto é, a diferença entre a tempo de chegada total alcançada durante a simulação e o tempo de chegada relacionado à cheia natural.

**Figura 11.4.** Tempos de Chegada da Inundação, considerando as grades estatísticas localizadas na ZAS e ZSS.



### 11.5 *Infraestrutura Socioeconômica*

Por meio de consulta às bases disponibilizadas pela Prefeitura de Belo Horizonte (IDE BHGeo), foi ainda realizado o levantamento dos equipamentos urbanos, como unidades de saúde e estabelecimentos de ensino, e unidades econômicas (empresas de médio e grande porte) situadas nas zonas de autossalvamento e de segurança secundária.

Na sobreposição das zonas de autossalvamento e de segurança secundária com as bases de dados de da Prefeitura, não foi identificada a presença de quaisquer equipamentos urbanos de saúde ou ensino nessas áreas. Na Tabela 11.4 são apresentados os quantitativos de atividades econômicas situadas na região atingida de interesse. Na Tabela 11.5, a informação é mostrada em termos percentuais.

**Tabela 11.4.** Número de atividades econômicas situadas na mancha de inundação, por zona – cenário de piping da barragem de Bonsucesso.

| Zona         | Atividades econômicas <sup>1</sup> |               |          |
|--------------|------------------------------------|---------------|----------|
|              | Microempresa                       | Pequeno Porte | Demais   |
| ZAS          | 3                                  | 0             | 0        |
| ZSS          | 102                                | 6             | 8        |
| <b>Total</b> | <b>105</b>                         | <b>6</b>      | <b>8</b> |

Nota 1. O banco de dados acessado (IDE BH, da PBH) agrega o porte das atividades econômicas em microempresa, empresas de pequeno porte e demais.

**Tabela 11.5.** Porcentagem de atividades econômicas situadas na mancha de inundação, por zona – cenário de piping da barragem de Bonsucesso.

| Zona         | Atividades econômicas <sup>1</sup> |               |               |
|--------------|------------------------------------|---------------|---------------|
|              | Microempresa                       | Pequeno Porte | Demais        |
| ZAS          | 2,9%                               | 0%            | 0%            |
| ZSS          | 97,1%                              | 100,0%        | 100,0%        |
| <b>Total</b> | <b>100,0%</b>                      | <b>100,0%</b> | <b>100,0%</b> |

Nota 1. O banco de dados acessado (IDE BH, da PBH) agrega a os portes das atividades econômicas em microempresa, empresas de pequeno porte e demais.

A Figura 11.5 apresenta as atividades econômicas, desagregadas por porte e a Figura 11.6 indica as atividades econômicas com potencial concentração de um número elevado de pessoas relacionadas, são atividades relacionadas a supermercado e a centro religioso. Na Tabela 11.6, os endereços e nomes das atividades de potencial concentração número elevado de pessoas são listados.



**Atividade Econômica**  
Plano de Ação de Emergência  
Barragem de Bonsucesso  
-Cenário de Piping-

**Atividade Econômica**

- Médio ou grande porte
- Pequeno porte
- Microempresa

**Legend:**

- ⚡ Barragem de Bonsucesso
- 🔴 Zona de Autossalvamento
- 🟠 Zona de Segurança Secundária
- 🟡 Praças
- 🏠 Quadras
- 🌊 Cursos d'Água

**Scale:** 0 250 500 750 metros

**Datum:** SIRGAS 2000  
**Projeção:** UTM 23S



**Atividades de Supermercado e de Organização Religiosa**  
**Plano de Ação de Emergência**  
**Barragem de Bonsucesso**  
**-Cenário de Piping-**

- **Organização religiosa**
- **Supermercado**

**Barragem de Bonsucesso**

**Zona de Autossalvamento**

**Zona de Segurança Secundária**

**Praças**

**Quadras**

**Cursos d'Água**

Datum: SIRGAS 2000  
Projeção: UTM 23S

0 250 500 750 metros



**Tabela 11.6.** Nome e endereço das atividades de potencial concentração de um número elevado de pessoas situadas na mancha de inundação, por zona – cenário de piping da barragem de Bonsucesso.

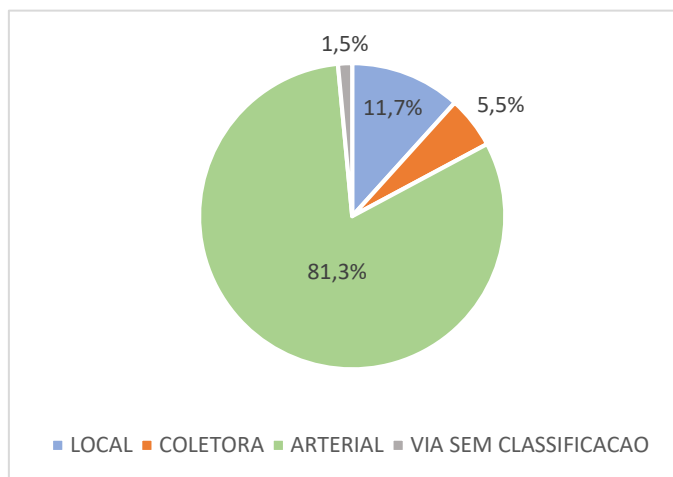
| ID | Zona | Equipamento  | Nome        | Endereço                  |
|----|------|--------------|-------------|---------------------------|
| 1  | ZSS  | SUPERMERCADO | SUPER NOSSO | AVE TERESA CRISTINA, 6175 |

## 11.6 Rede Viária

Considerando a mancha de inundação, um percentual muito expressivo da extensão total das vias afetadas refere-se a trechos de vias arteriais (47,7%,) e locais (46,3%). Na essa informação é representada considerando sua distribuição entre vias arteriais (largura da via  $\geq 15\text{m}$ ), coletoras ( $10\text{m} \leq \text{largura da via} < 15\text{m}$ ), locais (largura da via  $< 10\text{m}$ ) e de ligação regional. A via de ligação regional atingida refere-se ao Anel Rodoviário Celso Mello Azevedo.

**Figura 11.7** essa informação é representada considerando sua distribuição entre vias arteriais (largura da via  $\geq 15\text{m}$ ), coletoras ( $10\text{m} \leq \text{largura da via} < 15\text{m}$ ), locais (largura da via  $< 10\text{m}$ ) e de ligação regional. A via de ligação regional atingida refere-se ao Anel Rodoviário Celso Mello Azevedo.

**Figura 11.7.** Distribuição do comprimento dos trechos viários afetados, por tipo de via.



As vias atingidas pela inundação estão ordenadas, de forma decrescente, segundo comprimento exposto ao impacto, no Quadro 11.2.

**Quadro 11.2.** Principais vias afetadas pela mancha de inundação, ordenadas segundo extensão exposta ao risco.

| Ordem | Logradouro                        | Tipo                  |
|-------|-----------------------------------|-----------------------|
| 1     | TERESA CRISTINA                   | ARTERIAL              |
| 2     | EFIGENIA MIRANDA SCHETTINO        | LOCAL                 |
| 3     | JOAQUIM DE OLIVEIRA               | LOCAL                 |
| 4     | DOM JOAO VI                       | COLETORA              |
| 5     | TRES MIL OITOCENTOS E TREZE       | LOCAL                 |
| 6     | TRES MIL CENTO E OITENTA E CINCO  | LOCAL                 |
| 7     | B UM                              | LOCAL                 |
| 8     | CANAL                             | LOCAL                 |
| 9     | TRES MIL CENTO E OITENTA E CINCO  | ARTERIAL              |
| 10    | PADRE LATTANKAMP                  | LOCAL                 |
| 11    | ELISEU RESENDE                    | LOCAL                 |
| 12    | LAGOA DA PRATA                    | ARTERIAL              |
| 13    | A UM                              | LOCAL                 |
| 14    | URSULA PAULINO                    | ARTERIAL              |
| 15    | GONER                             | LOCAL                 |
| 16    | TEREZINHA FRANCA                  | LOCAL                 |
| 17    | QUATRO MIL CENTO E SETENTA E DOIS | ARTERIAL              |
| 18    | CANAL                             | LOCAL                 |
| 19    | PETUNIA DOURADA                   | LOCAL                 |
| 20    | GONER                             | LOCAL                 |
| 21    | MAGI SALOMON                      | COLETORA              |
| 22    | E                                 | LOCAL                 |
| 23    | ARLINDO DOS SANTOS REIS           | LOCAL                 |
| 24    | SANTO ANTONIO DO AMPARO           | LOCAL                 |
| 25    | MINASGAS                          | LOCAL                 |
| 26    | OSWALDO ZUCCHERATE                | VIA SEM CLASSIFICACAO |

| Ordem | Logradouro                             | Tipo             |
|-------|----------------------------------------|------------------|
| 27    | RECREIO                                | LOCAL            |
| 28    | BENJAMIN FLORES                        | COLETORA         |
| 29    | DOIS MIL SEISCENTOS E QUARENTA E CINCO | LOCAL            |
| 30    | DOIS MIL SEISCENTOS E CINQUENTA E OITO | LOCAL            |
| 31    | DE ACESSO                              | LOCAL            |
| 32    | CARMELITA PRATES DA SILVA              | LOCAL            |
| 33    | ANTONIO BERNARDO                       | LOCAL            |
| 34    | CARMO DA CACHOEIRA                     | LOCAL            |
| 35    | ARARUANA                               | LOCAL            |
| 36    | SANTA RITA                             | LOCAL            |
| 37    | DOZE                                   | LOCAL            |
| 38    | CAMIG                                  | LOCAL            |
| 39    | SETE                                   | LOCAL            |
| 40    | MACHADO                                | LOCAL            |
| 41    | TERESA CRISTINA                        | LOCAL            |
| 42    | AMANDA                                 | COLETORA         |
| 43    | B TRES                                 | LOCAL            |
| 44    | JOSE FURLETTI                          | COLETORA         |
| 45    | ALEGRE DOIS                            | LOCAL            |
| 46    | CAPETINGA                              | LOCAL            |
| 47    | ALEXANDRITA                            | LOCAL            |
| 48    | EMIDIO BERUTO                          | LOCAL            |
| 49    | SANTA MONICA                           | LOCAL            |
| 50    | B QUATRO                               | LOCAL            |
| 51    | METALIG                                | LOCAL            |
| 52    | JOAO CAETANO                           | LOCAL            |
| 53    | DAS CANOAS                             | LOCAL            |
| 54    | CARLOS QUADROS                         | LOCAL            |
| 55    | AMANDA                                 | COLETORA         |
| 56    | ALEGRE UM                              | LOCAL            |
| 57    | RUFINA GARCIA SOARES                   | LOCAL            |
| 58    | NOSSA SENHORA APARECIDA                | LOCAL            |
| 59    | DIVISA NOVA                            | LOCAL            |
| 60    | MARIA DELFINA                          | COLETORA         |
| 61    | DOZE                                   | LOCAL            |
| 62    | GERALDO DO CARMO                       | LOCAL            |
| 63    | B DOIS                                 | LOCAL            |
| 64    | BONANCA                                | LOCAL            |
| 65    | DAS CAMELIAS                           | LOCAL            |
| 66    | DOMINGOS ROCHA                         | LOCAL            |
| 67    | UM MIL TREZENTOS E VINTE E QUATRO      | LOCAL            |
| 68    | SEIS                                   | LOCAL            |
| 69    | LEOPOLDINO DE FARIA                    | LOCAL            |
| 70    | CINCO                                  | LOCAL            |
| 71    | ITANAJE                                | LOCAL            |
| 72    | QUATRO MIL E NOVENTA E CINCO           | LOCAL            |
| 73    | TAPIRAPECO                             | LOCAL            |
| 74    | BATISTA CARNEIRO                       | LOCAL            |
| 75    | B CINCO                                | LOCAL            |
| 76    | CAMPO FORMOSO                          | LOCAL            |
| 77    | CLARAVAL                               | LOCAL            |
| 78    | LEOPOLDINO DE FARIA                    | LOCAL            |
| 79    | AMARANTINA                             | LOCAL            |
| 80    | EMILIA BROCHADO                        | LOCAL            |
| 81    | BOQUEIRAO                              | LOCAL            |
| 82    | QUATRO MIL E NOVENTA E SEIS            | LOCAL            |
| 83    | LAGOA DA PRATA                         | LOCAL            |
| 84    | BATES DO BRASIL                        | LOCAL            |
| 85    | MONTE BRANCO                           | LOCAL            |
| 86    | JOSE ARAUJO                            | LOCAL            |
| 87    | ANEL RODOVIARIO CELSO MELLO AZEVEDO    | LIGACAO REGIONAL |

| Ordem | Logradouro                      | Tipo     |
|-------|---------------------------------|----------|
| 88    | BATISTA CARNEIRO                | LOCAL    |
| 89    | VIA ILHA                        | LOCAL    |
| 90    | PASTOR JOSE RUFINO              | LOCAL    |
| 91    | SACOLAO ABC BETANIA             | LOCAL    |
| 92    | DO SANATORIO EDUARDO DE MENEZES | LOCAL    |
| 93    | DOUTOR URIAS                    | COLETORA |
| 94    | GILBERTO FREIRE                 | LOCAL    |
| 95    | VITALINA ALVES                  | LOCAL    |
| 96    | ANDRE LUIZ                      | LOCAL    |

## **12 Sistema de alerta, setorização do alerta, rotas de fuga e pontos de encontro**

Para o alerta de evacuação da ZAS serão utilizados os meios de comunicação já previstos no Plano de Contingência do Município de Belo Horizonte ao que serão associadas sirenes instaladas em locais estratégicos conforme aqui definidos.

Os meios de comunicação previstos no Plano de Contingência do Município de Belo Horizonte são:

- Telefonia, para a comunicação com os residentes nos setores de evacuação de emergência previstos nos NAC;
- SMS, para a comunicação com os residentes nos setores de evacuação de emergência previstos nos NAC e com toda a população voluntariamente cadastrada no sistema;
- Mídias sociais: Instagram e Telegram, para comunicação com toda a população cadastrada.

As sirenes serão instaladas nos seguintes equipamentos urbanos:

- Estações e terminais de transporte público;
- Escolas e creches;
- Shopping centers não identificados nas áreas de ZAS e ZSS;
- Hotéis;
- Supermercados;
- PMMG, não há unidades nas áreas de ZAS e ZSS;
- Unidades de saúde: não há nas áreas de ZAS e ZSS;
- Templos e centros comunitários a fins religiosos.

A setorização do alerta, rotas de fuga e pontos de encontro foram estabelecidos pela SUPDEC e incorporados aos mapas produzidos no âmbito do presente estudo. A Figura 12.1 ilustra essa setorização geral da área a jusante da barragem Bonsucesso, com a localização dos pontos de encontro e a Figura 12.2 fornece um exemplo de mapa de detalhe de um setor específico. No Adendo 1, encontram-se todos os setores e pontos de encontro definidos para a área de interesse do PAE da barragem Bonsucesso. Além disso, orientações para evacuação são mais bem detalhadas.



**Figura 12.1.** Setores de alerta e evacuação e pontos de encontro.

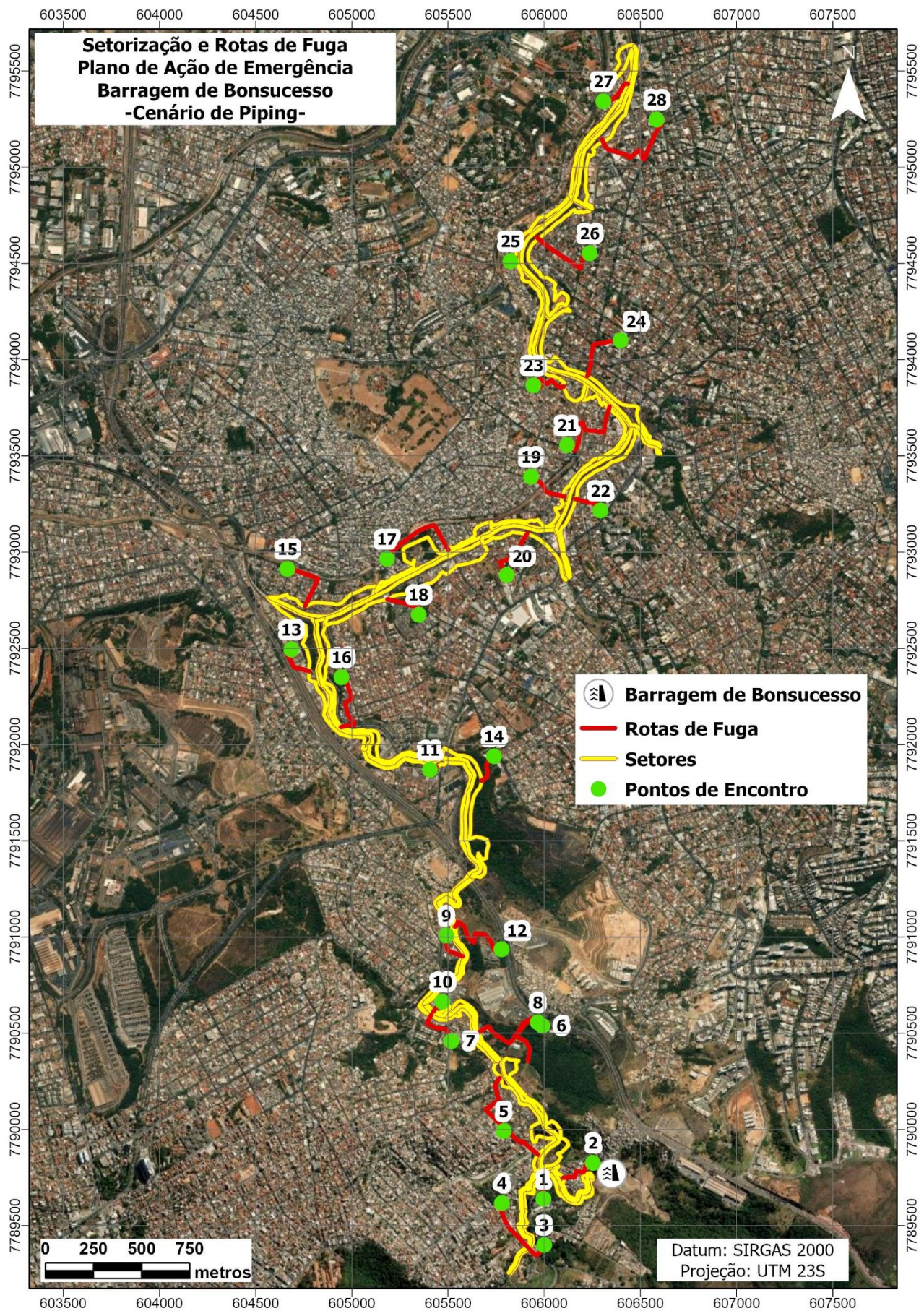
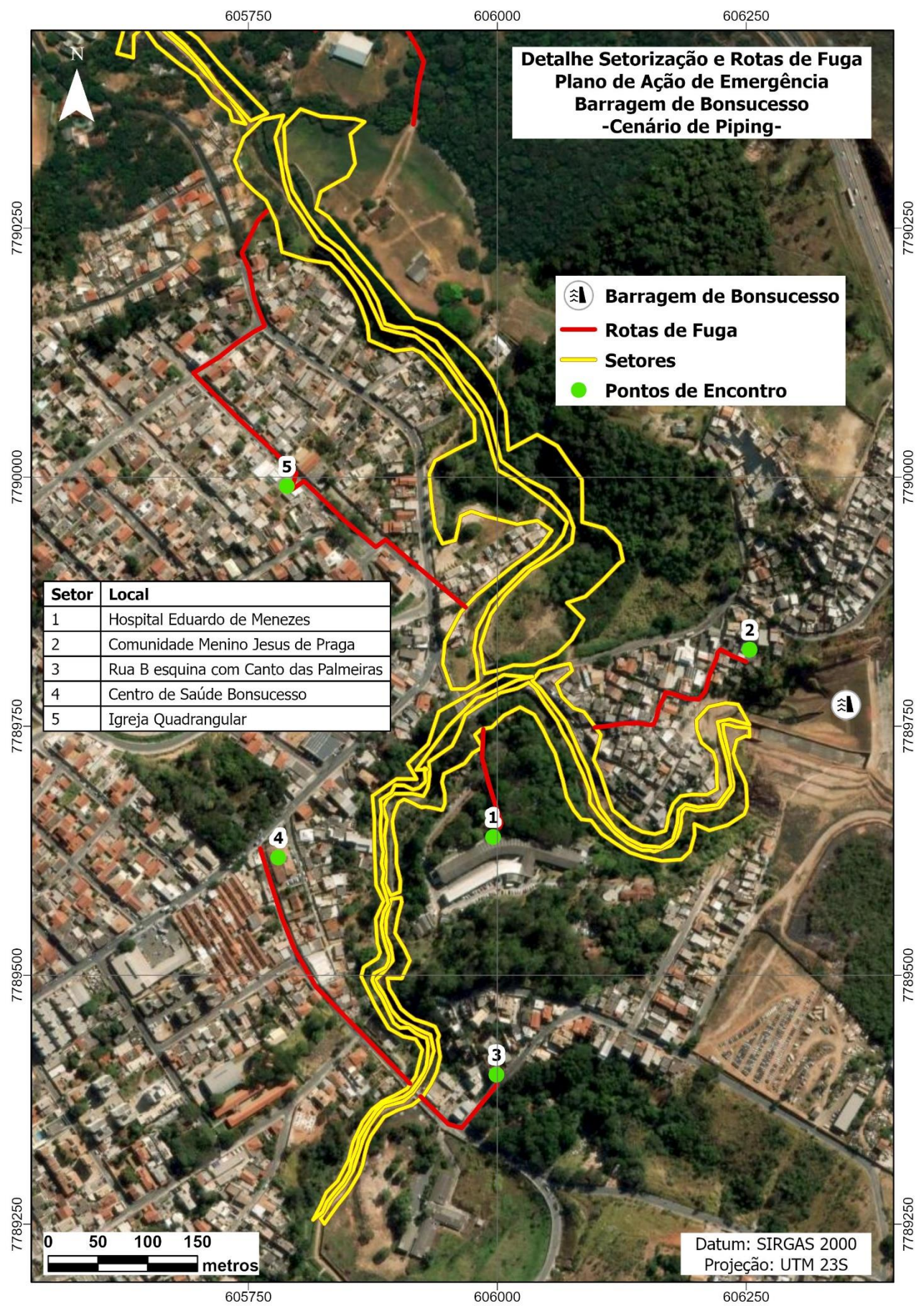




Figura 12.2. Exemplos de setores de alerta e evacuação e pontos de encontro



### 13 Plano de Treinamento do Plano de Ação de Emergência

O Plano de Treinamento do PAE da Barragem Bonsucesso concerne sete grupos:

- A. Os Grupos de Intervenção Direta (GID) e de Apoio Interno (GAI);
- B. Núcleos de Alerta de Chuvas (NAC), no âmbito do Plano de Contingência do Município de Belo Horizonte;
- C. Instituições educacionais localizadas na ZAS e na ZSS, incluindo-se um buffer de 100 m de largura contíguo à mancha de inundação;
- D. Unidades de saúde e de assistência social localizadas na ZAS e na ZSS, incluindo-se um buffer de 100 m de largura contíguo à mancha de inundação;
- E. Templos religiosos localizados na ZAS e na e na ZSS, incluindo-se um buffer de 100 m de largura contíguo à mancha de inundação;
- F. Centros comerciais localizados na ZAS e na ZSS, incluindo-se um buffer de 100 m de largura contíguo à mancha de inundação;
- G. Funcionários regulares de estações e terminais de grande fluxo de pessoas localizados na ZAS e na ZSS, incluindo-se um buffer de 100 m de largura contíguo à mancha de inundação.

O treinamento busca atingir objetivos gerais distintos, ainda que complementares, podendo variar entre os grupos, como segue:

- I. **Treinamento I:** Informar sobre os riscos de inundação a jusante da barragem Bonsucesso, tendo origem em eventos pluviais, e sobre as ações de previsão e alerta previstas no âmbito do Plano de Contingência do Município de Belo Horizonte.
- II. **Treinamento II:** Informar sobre a barragem Bonsucesso, seu sistema de monitoramento, os riscos de ruptura, as áreas potencialmente atingidas, os meios de alerta e os principais componentes do PAE.
- III. **Treinamento III:** Simular a ocorrência de situações de emergência de Níveis de Resposta 1 e 2 (Laranja e Vermelho) e as implantação dos fluxogramas de resposta destinada apenas aos GID e GAI, não envolvendo treinamento de evacuação ou envolvimento de residentes nas áreas de risco.
- IV. **Treinamento IV:** Simular a evacuação da ZAS para os Níveis de Resposta 1 e 2 (Laranja e Vermelho) endereçado a grupos escolhidos entre os A a G listados.

O I é, de fato, parte do treinamento específico ao Plano de Contingência do Município de Belo Horizonte. Como partes das áreas que potencialmente poderiam ser atingidas pela onda de ruptura da barragem Bonsucesso são também áreas de risco de inundação, há uma integração importante entre o Plano de Contingência e o PAE da barragem Bonsucesso. Com isso, é possível beneficiar-se de toda a estrutura e dos procedimentos de previsão e alerta de inundações da Prefeitura de Belo Horizonte bem como da organização dos NACs, comunicação, rotas de fuga, pontos de encontro, abrigos e outros meios de resposta.

O Treinamento II tem como principal meta informar sobre a barragem Bonsucesso, as ações de segurança segundo o PSB Bonsucesso, os riscos associados à barragem e a sua operação, o conceito de PAE e as ações de resposta. Esse treinamento visa, por um lado, assegurar que o risco oferecido pela barragem é baixo e que ela se encontra em condições de segurança adequadas, que há um monitoramento contínuo das situações de emergência potenciais, e que, em eventuais situações de emergência, há um plano que estabelece as responsabilidades e as respostas de controle e de retorno às condições de normalidade.

O III constitui-se em um treinamento interno à Prefeitura de Belo Horizonte, dos Grupos de Intervenção Direta e de Apoio Interno, podendo-se, igualmente, informar e mobilizar o Grupo de Apoio Externo. Esse treinamento visa:

- Informar, com o requerido nível de detalhes, às instituições que compõem o GID e o GAI sobre suas responsabilidades, ações e respostas esperadas segundo o nível de resposta às situações de emergência descritas no PAE da barragem Bonsucesso.
- Simular os processos de tomada de decisão e implantação de respostas com vistas a avaliar:

- A capacidade do GID e do GAI em utilizar as informações oriundas do monitoramento da barragem Bonsucesso e de tomar as decisões adequadas em conformidade com as situações de emergência;
- A capacidade de comunicação e de coordenação de ações entre as instituições do GID e do GAI, bom como com instituições do GAE;
- A capacidade e a eficiência em mobilização de equipes e de equipamentos para implantar as ações de resposta em conformidade com o estabelecido no PAE;
- O tempo efetivamente gasto em cada etapa de tomada de decisão e de implementação de ações de resposta;
- A capacidade do GID de avaliar a evolução das situações de emergência, por meio de monitoramento da barragem Bonsucesso, e de tomar as decisões adequadas em conformidade com o PSB e o PAE;
- A qualidade do monitoramento e a capacidade do GID em detalhar falhas e erros de monitoramento e de adotar as ações corretivas em conformidade com o PSB e o PAE.

Embora o Treinamento III seja interno, poderá, a critério do Coordenador do PAE, do Empreendedor e dos demais membros do GID, envolver os representantes dos NACs na área potencialmente atingida pela mancha de inundação decorrente da ruptura da barragem Bonsucesso, porém, sem envolver os demais residentes, empresas e organizações que compõem essa área.

O Treinamento IV tem por principais focos:

- Simular a capacidade e a eficiência do alerta de evacuação da ZAS sob os seguintes aspectos:
  - Tempo requerido, entre a ordem de evacuação da ZAS dada pelo Coordenador do PAE e a emissão do alerta;
  - Tempo requerido, entre a emissão do alerta e sua recepção pelos representantes dos NACS e instituições escolhidas (escolas, hospitais e outras unidades de saúde, terminais de transporte, grandes equipamentos urbanos de comércio e serviços, templos);
  - Tempo de resposta dos representantes dos NACs e instituições escolhidas entre a recepção do alerta e o início da evacuação;
  - Tempo requerido entre o início da evacuação e o efetivo abandono das áreas de risco;
  - Tempo requerido entre a emissão do alerta de evacuação e o bloqueio de vias;
  - Qualidade e eficiência de comunicação entre o GID, o GAI, os NACs e as instituições escolhidas para receber o alerta;
  - Qualidade e eficiência da informação visual indicando as rotas de fuga e os pontos de encontro;
  - Desobstrução e eficiência de funcionamento das rotas de fuga.

Considerando-se a densa ocupação da ZAS e da ZSS, a presença de vários eixos viários importantes da Região Centro-Sul de Belo Horizonte e as atividades comerciais e de serviços nessa área, não é viável realizar um simulado de evacuação envolvendo, simultaneamente, todos os setores concernidos. O Treinamento IV deve ser implantado, portanto, escolhendo-se um ou dois setores de alerta e evacuação, e instituições tais como escolas e grandes equipamentos urbanos situados nesses setores para treinamento.

O Quadro 13.1 elenca as modalidades e os meios de treinamento por tipo de treinamento.



**Quadro 13.1.** Plano de Treinamento do PAE da Barragem Bonsucesso: objetivos, modalidades e meios.

| <b>Objetivos do Treinamentos</b> | <b>Grupos</b>                                                     | <b>Modalidades de Treinamento</b>                                           | <b>Material básico</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|----------------------------------|-------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| I                                | Todos                                                             | Seminários, podendo também incluir visitas técnicas para os Grupos A, B e C | Apresentações do tipo power point, mapas, brochuras                                                                                                                                                                                                                                                                |
| II                               | Todos                                                             | Seminários, podendo também incluir visitas técnicas para os Grupos A, B e C | Apresentações do tipo power point, mapas, brochuras                                                                                                                                                                                                                                                                |
| III                              | A                                                                 | Simulação interna de situações de emergência                                | PAE da barragem Bonsucesso, desenhos da barragem (vertedores, galerias, comportas, bacias de dissipação, instrumentação da barragem, saídas de drenos, ...), mapas da mancha de inundação, ZAS e ZSS, rotas de fuga, pontos de encontro, contatos do NAC. Cronômetros, planilhas, câmeras fotográficas e de vídeo. |
| IV                               | Todos, porém com mobilização de um ou dois grupos por treinamento | Simulação externa de evacuação da ZAS                                       | PAE da barragem Bonsucesso, desenhos da barragem (vertedores, galerias, comportas, bacias de dissipação, instrumentação da barragem, saídas de drenos, ...), mapas da mancha de inundação, ZAS, rotas de fuga, pontos de encontro, contatos do NAC. Cronômetros, planilhas, câmeras fotográficas e de vídeo        |



#### 14 Meios e recursos disponíveis para serem utilizados em situações de emergência em potencial

Os serviços de manutenção e conservação executados na Barragem Bonsucesso, bem como no entorno, são de responsabilidade da SUDECAP. De forma simplificada, esses serviços são executados por empresas contratadas pela PBH que dispõe minimamente dos seguintes meios e recursos (Quadro 14.1).

**Quadro 14.1.** Lista de equipamentos mínimos, administração local prevista para o contrato de manutenção de bacias.

| DESCRIÇÃO                        | QUANTIDADE |
|----------------------------------|------------|
| Betoneira 320litros              | 1          |
| Caminhão basculante              | 20         |
| Caminhão pipa                    | 5          |
| Conjunto vibrador de concreto    | 2          |
| Escavadeira                      | 10         |
| Máquina de cortar e dobrar ferro | 1          |
| Motoniveladora                   | 1          |
| Placa vibratória                 | 5          |
| Patrol                           | 1          |
| Retroescavadeira                 | 5          |
| Roçadeiras                       | 10         |
| Rolo liso tandem                 | 2          |
| Rolo vibratório liso             | 2          |
| Rolo vibratório pé de carneiro   | 2          |
| Serra circular de bancada        | 1          |
| ENGENHEIRO                       | 1,0        |
| TÉCNICO DE SEGURANÇA DE TRABALHO | 1,0        |
| MESTRE DE OBRAS                  | 1,0        |
| ENCARREGADO                      | 3,0        |
| APONTADOR                        | 1,0        |
| SERVENTE                         | 1,0        |
| AUTOMÓVEL INCLUSIVE COMBUSTÍVEL  | 1,0        |

Esses serviços são fiscalizados pela Gerência de Manutenção de Bacias de Controle de Cheias e Barragens - GMABC-OBI - Rua dos Guajajaras, 1107 | 9º Andar | Lourdes | BH/MG (31) 3277-8142 | [www.pbh.gov.br](http://www.pbh.gov.br).

Além disso, outros recursos para sinalização e desvio de trânsito são disponíveis na Gerência de Ação Regional da BHTrans.

#### 15 Formulários de declaração de início da emergência, de declaração de encerramento da emergência e de mensagem de notificação

No presente item ilustram-se os modelos de formulários para:

- Declaração de Início de Situação de Emergência
- Formulário de Registro de Situações de Emergência
- Declaração de Encerramento de Emergência

## DECLARAÇÃO DE INÍCIO DE UMA SITUAÇÃO DE EMERGÊNCIA

### PREFEITURA DE BELO HORIZONTE

#### BARRAGEM BONSUCESO DECLARAÇÃO DE EMERGÊNCIA

##### SITUAÇÃO NÍVEL \_\_\_\_

Eu, \_\_\_\_\_ (nome e cargo) \_\_\_\_\_, na condição de **Coordenador do PAE da Barragem Bonsucesso** e no uso das atribuições e responsabilidades que me foram delegadas, efetuo o registro da Declaração de Emergência para a Barragem Bonsucesso, cuja situação é de Nível \_\_\_\_, a partir das \_\_ horas do dia \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_, em função da ocorrência de \_\_\_\_\_

Pessoa de Contato: \_\_\_\_\_

Telefone: \_\_\_\_\_.

Belo Horizonte, \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_.

\_\_\_\_\_  
(nome / assinatura)

COORDENADOR DO PAE

RG n.: \_\_\_\_\_

**FORMULÁRIO DE REGISTRO DE SITUAÇÕES DE EMERGÊNCIA**

**BARRAGEM BONSUCESSO**

**BELO HORIZONTE, MG**

Data da ocorrência: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Horário da ocorrência: \_\_\_\_ : \_\_\_\_

Condições climáticas locais: \_\_\_\_\_

Descrição geral da situação de emergência:

---

---

---

Área(s) da barragem afetada(s):

---

---

Extensão dos danos na barragem:

---

---

Possível(is) causa(s): \_\_\_\_\_

Efeito(s) na operação da barragem: \_\_\_\_\_

Elevação inicial do reservatório: \_\_\_\_\_ Hora: \_\_\_\_ : \_\_\_\_

Elevação máxima do reservatório: \_\_\_\_\_ Hora: \_\_\_\_ : \_\_\_\_

Elevação final do reservatório: \_\_\_\_\_ Hora: \_\_\_\_ : \_\_\_\_

Descrição da área inundada a jusante (danos / lesões / perdas de vida):

---

---

Outros dados e comentários:

---

Nome e número de telefone de quem preencheu este formulário:

Relatório elaborado por: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

**DECLARAÇÃO DE ENCERRAMENTO DE EMERGÊNCIA**

Empreendedor: PREFEITURA DE BELO HORIZONTE

Nome da Barragem: BARRAGEM DE BONSUCESSO

Dano Potencial Associado:

Categoria de Risco:

Classificação da barragem:

Município/UF: BELO HORIZONTE

Data da última inspeção que atestou o encerramento da emergência:

Declaro para fins de acompanhamento e comprovação junto ao IGAM, que a situação de emergência iniciada em \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_ foi encerrada em \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_, em consonância com a Lei n.º 12.334, de 20 de setembro de 2010 e com a Portaria IGAM N° 02, de 26 de fevereiro de 2019.

Belo Horizonte, \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_

.....

Nome completo do representante legal do empreendedor

CPF

## 16 Relação das entidades públicas e privadas que receberam cópia do Plano de Ação de Emergência – PAE com os respectivos protocolos de recebimento

As instituições que receberam cópia deste PAE da barragem de Bonsucesso, com respectivo número de protocolo de recebimento, encontram-se listados no Quadro 16.1.

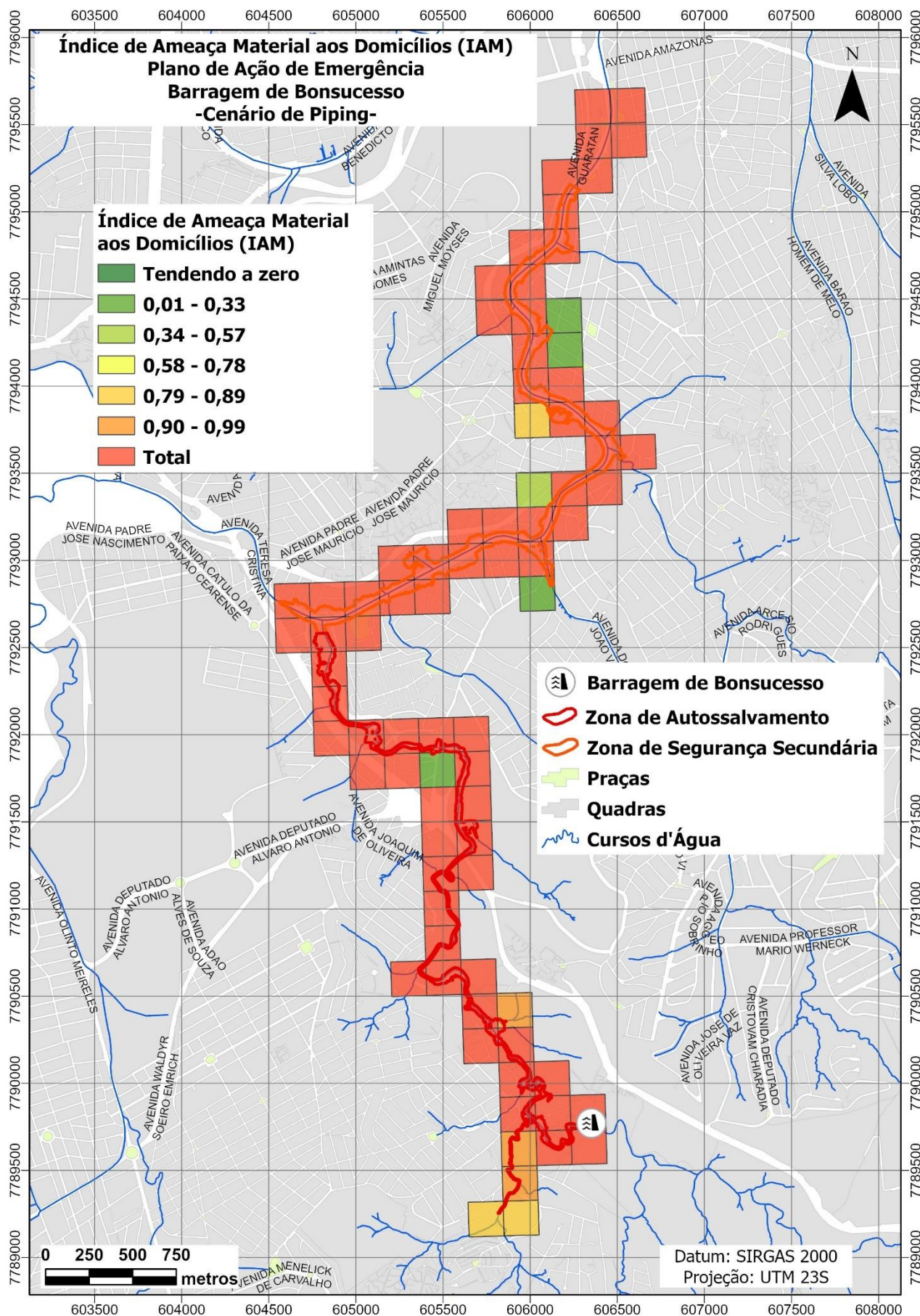
**Quadro 16.1.** Instituições que receberam cópia do PAE da Barragem Bonsucesso.

| i | Instituição                                                               | N. de Protocolo | Data |
|---|---------------------------------------------------------------------------|-----------------|------|
|   | PBH: Gabinete do Prefeito                                                 |                 |      |
|   | SUPDEC: Subsecretaria de Proteção e Defesa Civil                          |                 |      |
|   | SUDECAP: Superintendência de Desenvolvimento da Capital                   |                 |      |
|   | URBEL: Companhia Urbanizadora de Belo Horizonte                           |                 |      |
|   | BHTRANS                                                                   |                 |      |
|   | SMMA: Secretaria de Meio Ambiente                                         |                 |      |
|   | SLU: Superintendência de Limpeza Urbana                                   |                 |      |
|   | SMAIC: Secretaria de Assuntos Institucionais e Comunicação Social         |                 |      |
|   | ASCOM: Assessoria de Comunicação Social                                   |                 |      |
|   | COP-BH: Centro de Operações                                               |                 |      |
|   | PGM: Procuradoria Geral do Município                                      |                 |      |
|   | SMSA: Secretaria Municipal de Saúde                                       |                 |      |
|   | SMASAC: Secretaria de Assistência Social, Segurança Alimentar e Cidadania |                 |      |
|   | SMSP: Secretaria de Segurança Urbana e Patrimonial                        |                 |      |
|   | NAC: Núcleos de Alerta de Chuva - Regionais Centro Sul e Leste            |                 |      |
|   | GMBH: Guarda Municipal de Belo Horizonte                                  |                 |      |
|   | CEDEC: Defesa Civil do Estado de Minas Gerais                             |                 |      |
|   | Corpo de Bombeiros Militar de Minas gerais                                |                 |      |
|   | Secretaria de Saúde do Estado                                             |                 |      |
|   | SAMU                                                                      |                 |      |
|   | Polícia Militar de Minas Gerais                                           |                 |      |
|   | Política Rodoviária Estadual de Minas Gerais                              |                 |      |
|   | Polícia Rodoviária Federal                                                |                 |      |
|   | COPASA                                                                    |                 |      |
|   | CEMIG                                                                     |                 |      |

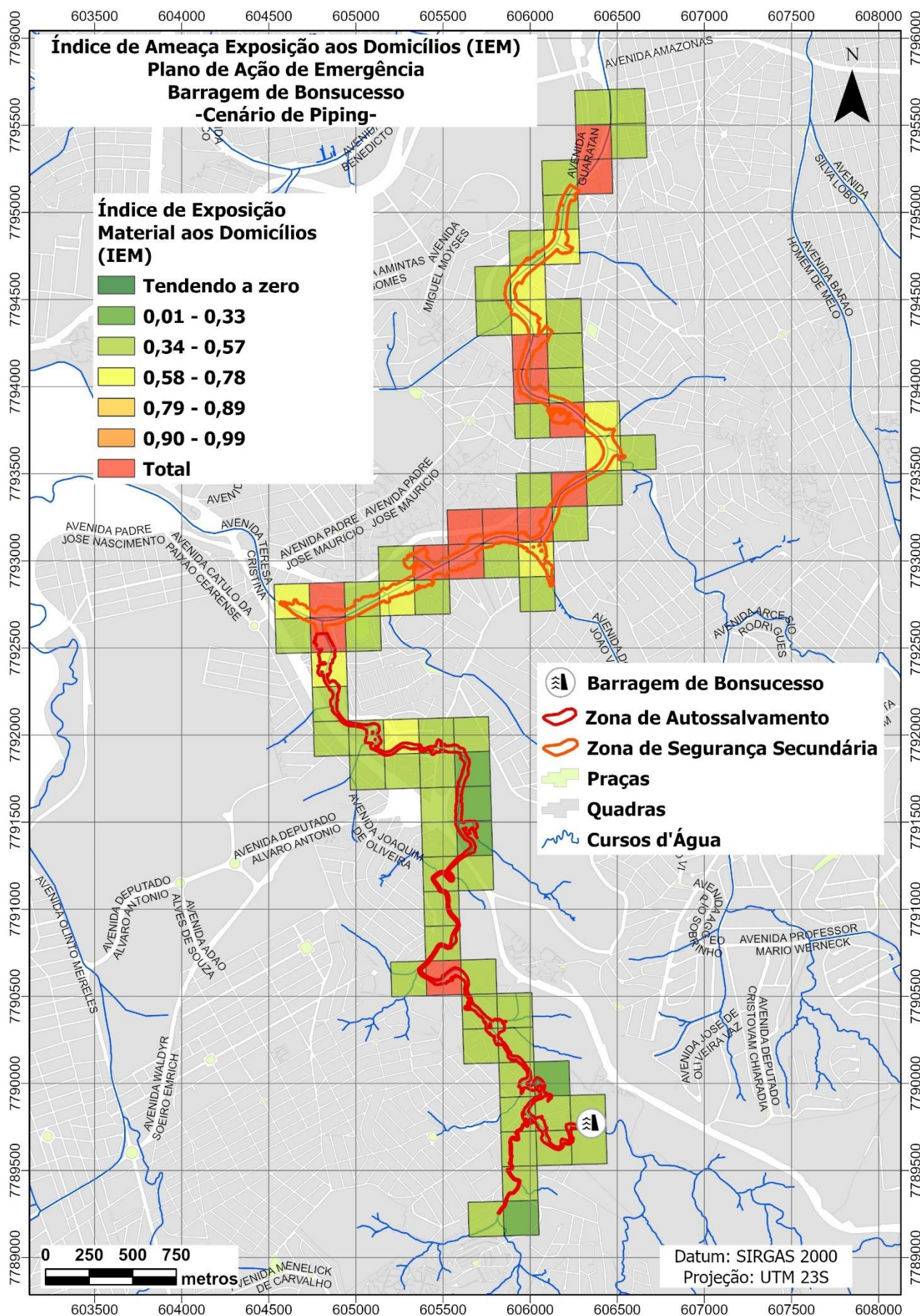


|  |        |  |  |
|--|--------|--|--|
|  | GASMIG |  |  |
|  |        |  |  |
|  |        |  |  |
|  |        |  |  |
|  |        |  |  |
|  |        |  |  |
|  |        |  |  |
|  |        |  |  |
|  |        |  |  |
|  |        |  |  |
|  |        |  |  |
|  |        |  |  |
|  |        |  |  |
|  |        |  |  |
|  |        |  |  |
|  |        |  |  |
|  |        |  |  |
|  |        |  |  |

## APÊNDICE 1. Mapas dos Índices de Ameaça e de Exposição Material.

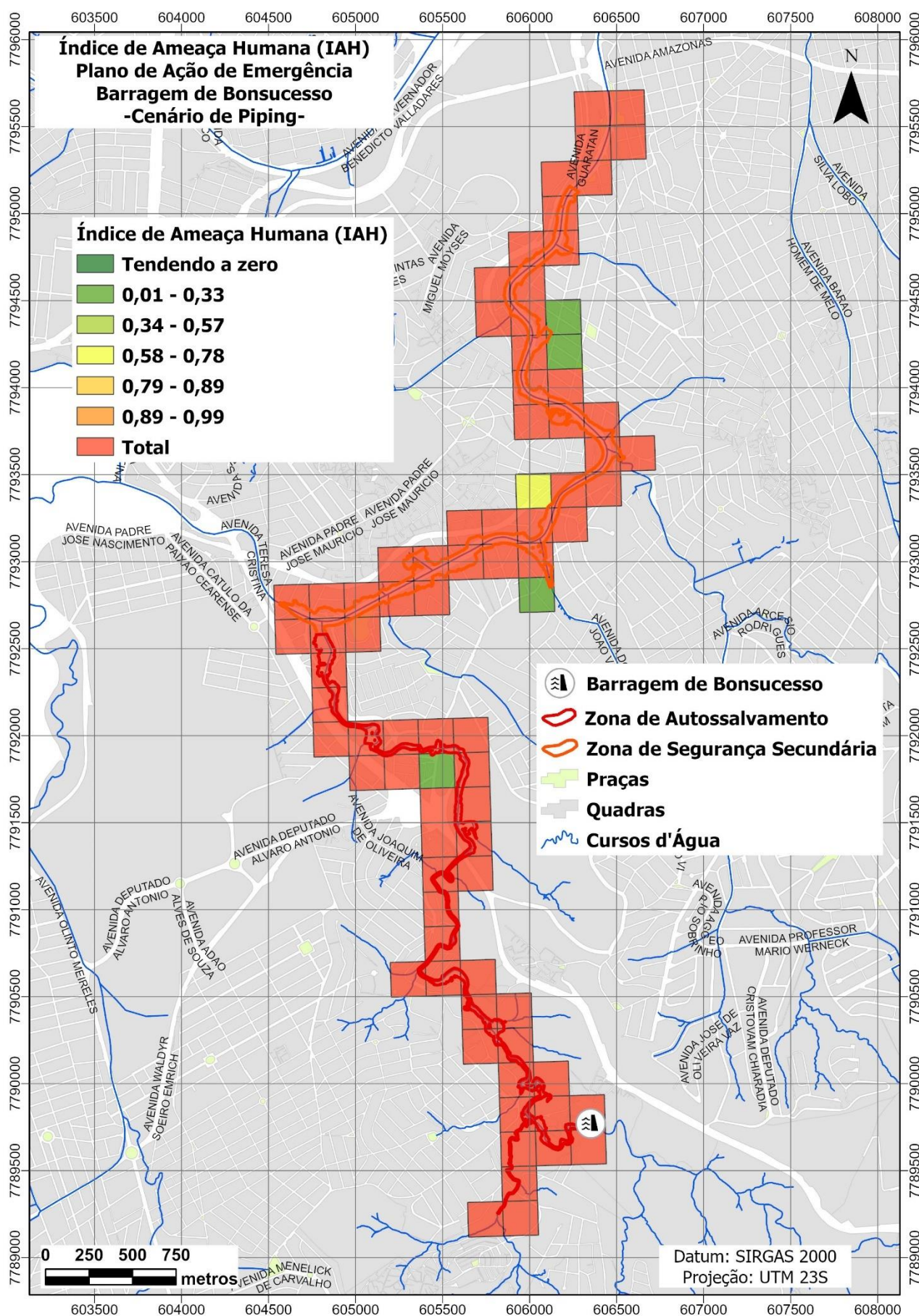








## APENDICE 2. Mapas dos Índices de Ameaça e de Exposição Humana.

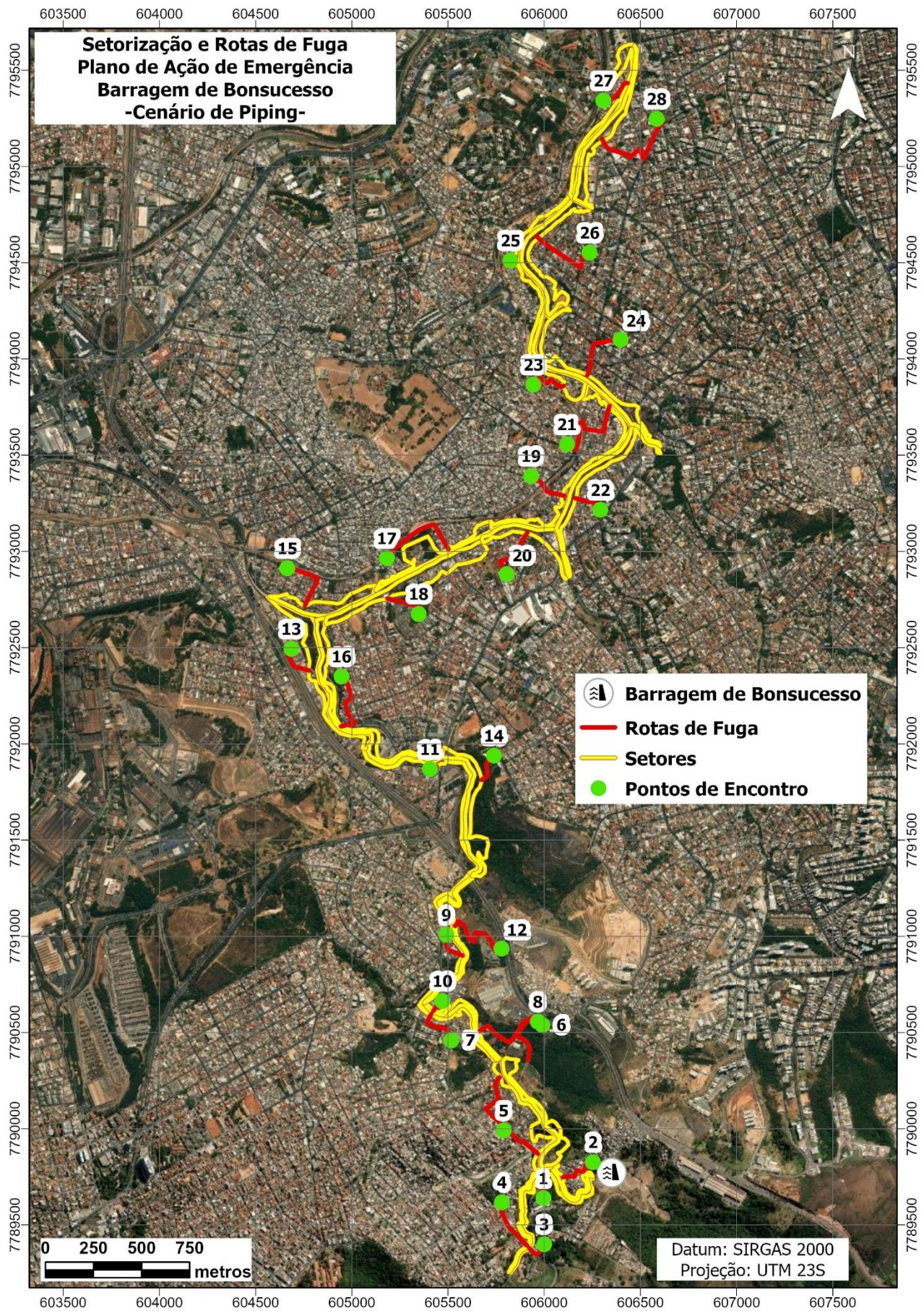








### APÊNDICE 3 – Setores de Alerta e Evacuação e Pontos de Encontro





| ID | Ponto de encontro                                | Endereço                                                                              |
|----|--------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | Hospital Eduardo de Menezes                      | Rua Dr. Cristiano Rezende, 2213 - Bonsucesso, 30622-020                               |
| 2  | Comunidade Menino Jesus de Praga                 | Rua Águia Dourada, 2 – Bernadete, 30622-044                                           |
| 3  | Rua B esquina com Canto das Palmeiras            | Rua B, 2 – Bonsucesso, 30622-562<br>Rua Canto da Palmeiras, 16 -Bonsucesso, 30622-560 |
| 4  | Centro de Saúde Bonsucesso                       | Rua Dr. Cristiano Rezende, 1875 - Bonsucesso, 30622-735                               |
| 5  | Igreja Quadrangular                              | Rua Cel. Siebra de Brito, 166 - Bonsucesso, 30622-110                                 |
| 6  | Posto de Combustíveis                            | Anel Rodoviário Celso Mello Azevedo, 3605 - Bonsucesso, 30622-056                     |
| 7  | Comunidade São Vicente de Paulo                  | Rua da Igreja, 110 - Bonsucesso, 30620-620                                            |
| 8  | Posto de Combustíveis                            | Anel Rodoviário Celso Mello Azevedo, 3605 - Bonsucesso, 30622-056                     |
| 9  | Igreja do Evangelho Quadrangular                 | Rua Terezinha França, 48 - Novo das Indústrias, 30610-760                             |
| 10 | Missão Evangélica Família Peniel                 | Rua Pastor José Rufino, 61 – Bonsucesso, 30622-200                                    |
| 11 | Praça ao lado do Restaurante Paulista            | Rua Úrsula Paulino, 2160 – Betânia, 30580-002                                         |
| 12 | Entrada da Rima Indústria                        | Anel Rodoviário Celso Mello Azevedo, 3993 – Betânia, 30622-213                        |
| 13 | Em frente à Industrial Peças Usadas              | Rua Petrina Brochado, 10 – Betânia, 30590-530                                         |
| 14 | Parque Municipal Jaccques Cousteau.              | Rua Augusto José dos Santos, 366 - Estrela do Oriente, 30580-100                      |
| 15 | Igreja do Evangelho Quadrangular                 | Rua Demiza, 210 - Indústrias I (Barreiro), 30514-020                                  |
| 16 | Escola Municipal Tenente Manoel Magalhães Penido | Rua Amur, 48 – Betânia, 30590-360                                                     |
| 17 | Igreja Petecostal Deus Renova Esta Nação         | Rua Demiza, 260 - Indústrias I (Barreiro), 30514-020                                  |
| 18 | Escola Municipal Maria Sales Ferreira            | Rua das Canoas, 150 – Betânia, 30590-232                                              |
| 19 | Igreja Prebisteriana Mamorial                    | Rua Jorge Carone, 16 - Nova Cintra, 30516-030                                         |
| 20 | Comunidade Cristã da Rua do Boqueirão            | Rua Boqueirão, 84 – Betânia, 30580-460                                                |
| 21 | Igreja Evangélica do Povo Livre                  | Rua Santarém, 787 - Nova Cintra, 30516-070                                            |
| 22 | Capela Nossa Senhora Mãe dos Pobre               | Praça Cinquentenário, 15 – Cinquentenário, 30570-042                                  |
| 23 | Comunidade Evangélica da Unidade em Cristo       | Rua Jorn. João Bosco, 29a - Vista Alegre, 30516-170                                   |
| 24 | Igreja Metodista Salgado Filho                   | Rua Barra Longa, 114 - Salgado Filho, 30550-430                                       |
| 25 | Igreja Evangélica Assembléia de Deus de Missões  | Rua Seis - Vista Alegre, 30590-202                                                    |
| 26 | Igreja Batista Salgado Filho                     | Rua Maria da Fé, 330 - Salgado Filho, 30550-250                                       |
| 27 | Esquina das ruas Goneri com Guaratã              | Rua Goneri, 462 - Gameleira, 30510-040<br>Av. Guaratã, 2576 - Gameleira, 30510-050    |
| 28 | Escola Estadual Josefina Keesen                  | Rua Herculano Pena, 598 - Nova Suíça, 30550-012                                       |

| ID | Orientação de evacuação                                                                                                                                                                                                                                 |
|----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | As pessoas que estiverem no hospital Eduardo de Menezes deverão permanecer neste local em caso de alerta.                                                                                                                                               |
| 2  | As pessoas localizadas no setor 02 deverão se direcionar sentido à rua 14, para acesso à rua Águia Dourada, 02 - Ponto de encontro Comunidade Menino Jesus de Praga.                                                                                    |
| 3  | As pessoas distribuídas no setor 3 deverão se direcionar para a Rua Gilberto Freire, e depois subir a rua B, em sentido ao ponto de encontro.                                                                                                           |
| 4  | As pessoas que estiverem na mancha de inundação do setor 4 deverão seguir sentido à Rua Dr. Cristiano Rezende, até o Centro de Saúde Bonsucesso.                                                                                                        |
| 5  | As pessoas pertencentes ao setor 5 deverão se direcionar para a rua Dr. Cristiano Resende, e posteriormente seguir pelas ruas Bueno de Rivera e rua D, sentido ao Ponto de encontro na rua Cel. Siebra de Brito.                                        |
| 6  | As pessoas pertencentes ao setor 06 deverão se direcionar para a rua do Alho até o Anel Rodoviário, e seguir para o Posto de Combustíveis Petrobrás na marginal. Obs.: Este setor é composto por 01 sítio.                                              |
| 7  | As pessoas pertencentes ao setor 07 deverão se direcionar para a rua Dr. Cristiano Rezende, e seguir até o ponto de encontro Comunidade São Vicente de Paula.                                                                                           |
| 8  | As pessoas pertencentes ao setor 08 deverão se direcionar para a rua do Alho até o Anel Rodoviário, e seguir para o Posto de Combustíveis Petrobrás na marginal.                                                                                        |
| 9  | As pessoas pertencentes ao setor 9 deverão se direcionar para a rua Terezinha França, e seguir até o ponto de encontro no nº 48, Igreja do Evangelho Quadrangular.                                                                                      |
| 10 | As pessoas pertencentes ao setor 10 deverão se direcionar para a rua Pastor José Rufino, 61, onde está localizado o ponto de encontro - Missão Evangélica Família Peniel.                                                                               |
| 11 | As pessoas pertencentes ao setor 11 deverão se direcionar para o ponto de encontro na Praça ao lado do Restaurante Paulista Endereço: R. Úrsula Paulino, 2160.                                                                                          |
| 12 | O setor 12 não possui moradias, e a maior parte do terreno, aparentemente, é de propriedade da empresa Rima Industrial. Sendo assim, o ponto de encontro é na portaria da empresa, para onde as pessoas deverão se direcionar.                          |
| 13 | As pessoas pertencentes ao setor 13 deverão se direcionar para a marginal do Anel Rodoviário, e seguir até o ponto de encontro a ser na rua Petrina Brochado, 10.                                                                                       |
| 14 | O setor 14 pertence ao Parque Municipal Jacques Cousteau, desta forma, caso necessário, o ponto de encontro será na administração do parque.                                                                                                            |
| 15 | As pessoas pertencentes ao setor 15 deverão seguir sentido à rua Demiza, nº 210, onde está previsto o ponto de encontro na Igreja do Evangelho Quadrangular.                                                                                            |
| 16 | As pessoas pertencentes ao setor 16 deverão seguir sentido à rua Amur, 48, onde está localizada a E M Tenente Manoel Magalhães Penido, sendo este o ponto de encontro.                                                                                  |
| 17 | As pessoas pertencentes ao setor 17 deverão seguir sentido à rua Demiza, nº 260, onde está previsto o ponto de encontro na Petecostal Deus Renova Esta Nação.                                                                                           |
| 18 | As pessoas pertencentes ao setor 18 deverão seguir sentido à rua Das Canoas, 150, onde está localizada a E M Maria Sales Ferreira, sendo este o ponto de encontro.                                                                                      |
| 19 | As pessoas pertencentes ao setor 19 deverão seguir sentido à rua Felicíssimo e, posteriormente, se direcionar à rua Jorge Carone, nº 16 (deve-se atravessar a linha do metrô), onde está previsto o ponto de encontro na Igreja Prebisteriana Mamorial. |
| 20 | As pessoas pertencentes ao setor 20 deverão seguir sentido à rua Comunidade Cristã da Rua do Boqueirão, localizada na rua Boqueirão, 84, sendo este o ponto de encontro.                                                                                |
| 21 | As pessoas pertencentes ao setor 21 deverão seguir sentido à rua Felicíssimo, atravessar a linha do metrô na altura do nº. 119, e seguir à esquerda na rua Jornalista João Bosco. Posteriormente, se                                                    |

|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | direcionar à rua Santarem, nº. 786, onde está previsto o ponto de encontro na Igreja Evangélica do Povo Livre.                                                                                                                                                                                           |
| 22 | As pessoas pertencentes ao setor 22 deverão seguir sentido à Praça Cinquentenário, 15, onde está localizada a Capela Nossa Senhora Mãe dos Pobres, sendo este o ponto de encontro.                                                                                                                       |
| 23 | As pessoas pertencentes ao setor 23 deverão seguir sentido à rua da Central, atravessar a linha do metrô e seguir à esquerda na rua Jornalista João Bosco. Posteriormente, se direcionar à rua , nº. 29a, onde está previsto o ponto de encontro na Comunidade Evangélica da Unidade em Cristo Endereço. |
| 24 | As pessoas pertencentes ao setor 24 deverão seguir sentido à rua Barra Longa, 114 - Igreja Metodista Salgado Filho, sendo este o ponto de encontro.                                                                                                                                                      |
| 25 | As pessoas pertencentes ao setor 25 deverão seguir sentido à rua da Seis, esquina com Estrada do Felicissimo, onde está previsto o ponto de encontro na Igreja Evangélica Assembléia de Deus de Missões.                                                                                                 |
| 26 | As pessoas pertencentes ao setor 26 deverão seguir sentido à rua Maria da fé, 330 - Igreja Batista Salgado Filho, sendo este o ponto de encontro.                                                                                                                                                        |
| 27 | As pessoas pertencentes ao setor 27 deverão seguir sentido à rua Goneri, sendo o ponto de encontro na esquina com rua Guaratã.                                                                                                                                                                           |
| 28 | As pessoas pertencentes ao setor 28 deverão seguir sentido à rua Lagoa da Prata, e em seguida se direcionar para a rua Herculano Pena, 598 - E E Josefina Keesen, sendo este o ponto de encontro.                                                                                                        |

#### **Dados de endereço**

1) Endereço: Rua Dr. Cristiano Rezende, 2213

Bairro: Bonsucesso

Cidade: Belo Horizonte

Estado: Minas Gerais

CEP: 30622-020

2) Endereço: Rua Águia Dourada, 2

Bairro: Bernadete

Cidade: Belo Horizonte

Estado: Minas Gerais

CEP: 30622-044

3) Endereço: Rua B, 2 e Rua Canto da Palmeiras, 16

Bairro: Bonsucesso

Cidade: Belo Horizonte

Estado: Minas Gerais

CEP: 30622-562e 30622-560

4) Endereço: Rua Dr. Cristiano Rezende, 1875

Bairro: Bonsucesso

Cidade: Belo Horizonte

Estado: Minas Gerais

CEP: 30622-735

5) Endereço: Rua Cel. Siebra de Brito, 166

Bairro: Bonsucesso

Cidade: Belo Horizonte

Estado: Minas Gerais

CEP: 30622-735



6) Endereço: Anel Rodoviário Celso Mello Azevedo, 3605  
Bairro: Bonsucesso  
Cidade: Belo Horizonte  
Estado: Minas Gerais  
CEP: 30622-056

7) Endereço: Rua da Igreja, 110  
Bairro: Bonsucesso  
Cidade: Belo Horizonte  
Estado: Minas Gerais  
CEP: 30620-620

8) Endereço: Anel Rodoviário Celso Mello Azevedo, 3605  
Bairro: Bonsucesso  
Cidade: Belo Horizonte  
Estado: Minas Gerais  
CEP: 30622-056

9) Endereço: Rua Terezinha França, 48  
Bairro: Novo das Indústrias  
Cidade: Belo Horizonte  
Estado: Minas Gerais  
CEP: 30610-760

10) Endereço: Rua Pastor José Rufino, 61  
Bairro: Bonsucesso  
Cidade: Belo Horizonte  
Estado: Minas Gerais  
CEP: 30622-200

11) Endereço: Rua Úrsula Paulino, 2160  
Bairro: Betânia  
Cidade: Belo Horizonte  
Estado: Minas Gerais  
CEP: 30580-002

12) Endereço: Anel Rodoviário Celso Mello Azevedo, 3993  
Bairro: Betânia  
Cidade: Belo Horizonte  
Estado: Minas Gerais  
CEP: 30622-213

13) Endereço: Rua Petrina Brochado, 10  
Bairro: Betânia  
Cidade: Belo Horizonte  
Estado: Minas Gerais  
CEP: 30590-530

14) Endereço: Rua Augusto José dos Santos, 366  
Bairro: Estrela do Oriente  
Cidade: Belo Horizonte  
Estado: Minas Gerais  
CEP: 30580-100

15) Endereço: Rua Demiza, 210  
Bairro: Indústrias I  
Cidade: Belo Horizonte  
Estado: Minas Gerais  
CEP: 30514-020

16) Endereço: Rua Amur, 48  
Bairro: Betânia  
Cidade: Belo Horizonte  
Estado: Minas Gerais  
CEP: 30590-360

17) Endereço: Rua Demiza, 260  
Bairro: Indústrias I  
Cidade: Belo Horizonte  
Estado: Minas Gerais  
CEP: 30514-020

18) Endereço: Rua das Canoas, 150  
Bairro: Betânia  
Cidade: Belo Horizonte  
Estado: Minas Gerais  
CEP: 30590-232

19) Endereço: Rua Jorge Carone, 16  
Bairro: Nova Cintra  
Cidade: Belo Horizonte  
Estado: Minas Gerais  
CEP: 30516-030

20) Endereço: Rua Boqueirão, 84  
Bairro: Betânia  
Cidade: Belo Horizonte  
Estado: Minas Gerais  
CEP: 30580-460

21) Endereço: Rua Santarém, 787  
Bairro: Nova Cintra  
Cidade: Belo Horizonte  
Estado: Minas Gerais  
CEP: 30516-070

22) Endereço: Praça Cinquentenário, 15  
Bairro: Cinquentenário  
Cidade: Belo Horizonte  
Estado: Minas Gerais  
CEP: 30570-042

23) Rua Jorn. João Bosco, 29a  
Bairro: Vista Alegre  
Cidade: Belo Horizonte  
Estado: Minas Gerais  
CEP: 30516-170

24) Endereço: Rua Barra Longa, 114  
Bairro: Salgado Filho  
Cidade: Belo Horizonte  
Estado: Minas Gerais  
CEP: 30550-430

25) Endereço: Rua Seis  
Bairro: Vista Alegre  
Cidade: Belo Horizonte  
Estado: Minas Gerais  
CEP: 30590-202

26) Endereço: Rua Maria da Fé, 330  
Bairro: Salgado Filho  
Cidade: Belo Horizonte  
Estado: Minas Gerais  
CEP: 30550-250

27) Endereço: Rua Goneri, 462 e Av. Guaratã, 2576  
Bairro: Gameleira  
Cidade: Belo Horizonte  
Estado: Minas Gerais  
CEP: 30510-040 e 30510-050

28) Endereço: Rua Herculano Pena, 598  
Bairro: Nova Suíça  
Cidade: Belo Horizonte  
Estado: Minas Gerais  
CEP: 30550-012