

## ANEXO E – MEMÓRIA DE CÁLCULO PARA ESTIMATIVA DE TEMPO ESTIMADO DE EVACUAÇÃO

**NOME DO EMPREENDEDOR:** Vale S.A

**NOME DO EMPREENDIMENTO:** Mina Córrego do Feijão

**NOME DA ESTRUTURA(S):** Barragem Lagoa Azul

CONTROLE DE REVISÕES – ANEXO E – CAPÍTULO I (SEÇÃO II)			
Data da Revisão	Número do Documento Vale	Descrição da Revisão	Status
29/09/2025	C06-BLA-SII-PLC1E-V2	Adequação da nomenclatura do documento para atendimento GMG nº 83/24	Válido





## 1 Referencial

### 1.1 Anexo E, Resolução GMG N°83, de 16 de abril de 2024.

## 2 Objetivo

Este documento traz a memória de cálculo do tempo total de evacuação da ZAS da Barragem Lagoa Azul, com os padrões e definições da Resolução GMG n°83.

## 3 Cálculo do tempo máximo de deslocamento

As etapas a seguir definem as premissas e resultados obtidos para o cálculos dos tempos de deslocamentos pelas rotas de fuga, baseando-se nas distâncias até os pontos de encontro.

### 3.1 Definição da rota de fuga

As rotas de fuga foram traçadas das edificações ou locais mais distantes da área segura até os pontos de encontros.

- a. Os pontos de encontro estão minimamente a 10 (dez) metros após a envoltória da mancha de inundação, sendo os pontos de encontro posicionados no final das rotas de fuga.
- b. Foram confeccionadas mais de uma rota, para atender as diferentes áreas dentro de uma mesma região.
- c. Foram priorizadas as vias que possuem melhor qualidade para locomoção em linha reta.



### 3.2 Cálculo da população de cada rua a ser evacuada

Os dados de população dentro da ZAS da Barragem Lagoa Azul nas áreas externas a Vale foram extraídos de cadastramento social e os quantitativos de trabalhadores flutuantes dentro da ZAS foram informados pelas lideranças que atuam na mina de Córrego do Feijão.

Para o cálculo de população para fins deste anexo, foram contabilizadas quantas pessoas habitam cada via da área a ser evacuada, de acordo com os seguintes parâmetros:

- Em áreas residenciais (caracterizada pela presença de residências familiares, pequenos empreendimentos, estabelecimentos religiosos e postos de saúde de atenção básica): foram contabilizados o número de moradores.
- Em áreas comerciais (caracterizada pela presença de bancos, indústrias, supermercados, clubes ou centros sociais como shoppings, hospitais, escolas e universidades): Foi adicionado 30% ao número de moradores ou ocupantes.
- Em áreas internas Vale foram contabilizados os trabalhadores mobilizados com acesso à ZAS.

O cadastramento social qualifica as edificações com classes semelhantes ao definido na RESOLUÇÃO GMG N°83, sendo assim o fator de 30% para acréscimo de população foi aplicado da seguinte forma:

Tabela 1 – Diretrizes para aumento de 30% da População.

Uso da Edificação	Aumento 30%
Comercial	Sim
Saúde	Sim
Mista (residencial e comercial)	Sim
Educação	Sim
Templo religioso	Sim
Industrial	Sim
Institucional	Sim
Institucional - esporte, lazer e cultura	Visto que estes locais não possuem população fixa (geralmente é cadastrado um zelador ou representante), foi utilizada a informação de capacidade máxima para definir a população a ser evacuada.
Residencial	Não
Mapeada / não acessada	Não
Estruturas Vale	Não
Estrutura demolida	Não
Em construção	Não
Estrutura Abandonada	Não



Adicionalmente, para garantir toda a cobertura das rotas e pontos de encontro na ZAS de Barragem Lagoa Azul, foram consideradas rotas de fuga e pontos de encontro para localidades onde a mancha de inundação teve interseção com vias públicas e vias internas da mina de Córrego do Feijão.

Nesses casos foram considerados deslocamentos dos pontos mais distantes de cada rota de fuga até a área segura.

Na época da construção do PAEBM e dimensionamento das rotas de fuga o número de pessoas mobilizadas e com acesso à ZAS de Barragem Lagoa Azul foi de 06 pessoas conforme Tabela 2.

Tabela 2 - Número de funcionários que atuam na área da ZAS.

Córrego do Feijão	
Área	Trabalhadores Flutuantes
Geotecnia	2
Seg. Patrimonial	2
Integridade e Serviços Industriais	2
Total	6

Desta forma, para dimensionamento das rotas e pontos de encontro foi considerado o pico de trabalhadores na condição mais distante de cada ponto de encontro na área operacional.

A Tabela 3 apresenta a população total para cada setor de evacuação.

Tabela 3: População de cada setor.

Ponto de Encontro	População	População Acréscimo
BRUPEI038	6	0
BRUPE017	302 <sup>1</sup>	0

<sup>1</sup> Quantitativo de público flutuante (300 pessoas) indicado pela COMPDEC Brumadinho e 6 empregados internos.



### 3.3 Estimar a densidade da população local para cada trecho da rota de fuga

Para o cálculo da densidade, utilizou-se a seguinte fórmula:

$$D = \frac{P}{A}$$

Onde,

**D** = densidade (pessoas/m²);

**P** = População inserida dentro do setor de evacuação (pessoas);

**A** = área do passeio total da rota de fuga inserida no setor de evacuação (m²).

Sendo necessário:

**a) Estabelecer os setores de Evacuação dentro da área total a ser evacuada;**

Foi definida a área de abrangência de cada ponto de encontro como um setor de evacuação.

**b) Definir o número de habitantes presentes dentro de cada setor de evacuação;**

Devido ao item “a”, população total do setor é igual à população total do ponto de encontro.

**c) Estabelecer a rota de fuga principal dentro dos setores de evacuação;**

Foram consideradas todas as rotas dentro do setor, e a rota principal a rota mais longa.

**d) Calcular a soma das áreas dos passeios das ruas que constituem a rota de fuga inserida dentro do setor de evacuação;**

A soma das áreas dos passeios foi calculada levando em conta a extensão das rotas de fuga vezes a largura efetiva para evacuação, sendo a largura efetiva:

Vias sem tráfego de veículos: A largura total da via.

Vias de mão única: A largura total da via menos 2,9 m.

Vias de mão dupla: A largura total da via menos 5,8 m.

Desta forma foi possível estimar a densidade da população para cada setor de evacuação. Nas vias rurais, devida ao tráfego reduzido, foram consideradas a largura total da via, não havendo assim redução da largura efetiva.



Tabela 4 indica os resultados dos cálculos da população para cada rua evacuada.

Tabela 4: Densidade da população.

Rota de Fuga	População	Área das Rotas de Fuga	Densidade
	(P)	(A)	(P/A)
BRUPEI038	6	250	0,02
BRUPE017	302	420	0,72

### 3.3.1 Setores de Evacuação

Conforme RESOLUÇÃO GMG N°83, o setor de evacuação é a área delimitada previamente onde as pessoas deverão evacuar pelo trecho da rota de fuga inserida no mesmo.

A população contemplada dentro de um setor de evacuação deve ser orientada a se dirigir para o trecho da rota de fuga estabelecido, posteriormente deve seguir pela rota de fuga até chegar a Área Segura.

Foi definida a área de abrangência de cada ponto de encontro como um setor de evacuação.

### 3.4 Determinar a velocidade de deslocamento da população

A velocidade de deslocamento da população será determinada consultando a Tabela 5 baseada na densidade calculada no item 3.3 e sobre análise de declividade.

A declividade foi calculada sobre modelos digitais de elevação de alta precisão em grandezas percentuais sobre toda a área das rotas de fuga.

Foi analisado então a declividade média sobre todas as rotas de fugas de cada setor.

Se Declividade > 5%, Terreno Inclinado ou escadas

Caso Contrário, Terreno plano.



Tabela 5: Determinação das velocidades de evacuação.

Densidade (pessoas/m <sup>2</sup> )	Tipo de terreno	Velocidade* (m/s)
D ≤ 0,54	Plano	1,20
	Inclinado ou escadas	1,05
0,54 < D ≤ 1,0	Plano	1,03
	Inclinado ou escadas	0,90
1,0 < D ≤ 1,5	Plano	0,84
	Inclinado ou escadas	0,74
1,5 < D ≤ 2,0	Plano	0,66
	Inclinado ou escadas	0,58
D > 2	Plano	$V = 1,4 - 0,372 \times D$
	Inclinado ou escadas	$V = 1,23 - 0,327 \times D$

Tabela 6: Velocidade de deslocamento da população.

Setor	Tipo de Terreno	Densidade	Velocidade
BRUPEI038	Inclinado ou escadas	0,02	1,05
BRUPE017	Inclinado ou escadas	0,72	0,90



### 3.5 Determinar o tempo de evacuação do setor (TES)

O tempo de evacuação do setor é dado pela fórmula abaixo:

$$T_{ES} = \frac{d}{V}$$

Onde:

**TES** = Tempo de evacuação do setor (segundos);

**d** = Distância máxima a percorrer no trecho da rota de fuga inserida no setor de evacuação (distância do ponto mais longo até sair do setor ou chegar a área segura);

**V** = Velocidade de deslocamento do setor de evacuação, obtida na Tabela 1.

Tabela 7: Tempos de evacuação dos setores.

Setor	Distância máxima	Velocidade	TES (hh:mm:ss)
BRUPEI038	70	1,05	00:01:20
BRUPE017	120	0,90	00:02:15





### 3.6 Calcular o tempo de evacuação de cada rota de fuga (terf) e o tempo máximo de deslocamento (TMD)

#### 3.6.1 Tempo de evacuação da rota de fuga (TERF)

Para calcular o tempo de evacuação de cada rota de fuga definida, somou-se o tempo de evacuação de cada setor (**TES**) por onde cada rota de fuga passou. Porém, como existe um setor para cada ponto de encontro, **TERF** é igual ao **TES**.

Tabela 8: Tempo de evacuação das rotas de fuga.

Setor	TERF (hh:mm:ss)
BRUPEI038	00:01:20
BRUPE017	00:02:15

#### 3.6.2 Tempo máximo de deslocamento (TMD)

O tempo máximo de deslocamento (TMD) de toda área a ser evacuada será representado pela rota de fuga com maior tempo de evacuação (TERF). Desta forma, como  $TES = TERF$ , e como cada setor possui um TERF:

$$TES = TERF = TMD$$

Tabela 9: Síntese dos tempos de deslocamento sobre a rota.

Setor	TES (hh:mm:ss)	TERF (hh:mm:ss)	TMD (hh:mm:ss)
BRUPEI038	00:01:20	00:01:20	00:01:20
BRUPE017	00:02:15	00:02:15	00:02:15

### 4 Tempo de estrangulamento para chegar à área segura na rota de fuga

O tempo de estrangulamento deve considerar o pior cenário possível, onde todas as pessoas chegam ao mesmo tempo no acesso à área segura.

#### 4.1 Calcular o número total de pessoas que devem acessar a área segura através da rota de fuga



Conforme metodologia do Anexo F, para o cálculo da população, deverão ser contabilizadas quantas pessoas habitam todas as ruas da área a ser evacuada que utilizarão as rotas de fuga com o mesmo acesso para a área segura. Devem ser caracterizadas áreas comerciais e residenciais, e nas áreas caracterizadas como comerciais adiciona-se um total de 30% da população como definido no item 3.2.

#### 4.2 Cálculo do tempo de estrangulamento (TE)

O tempo necessário para que todas as pessoas, quando aglomeradas, passem pelo ponto de maior estrangulamento do acesso a área segura é dado pelas fórmulas abaixo:

- Terreno rampante ou escadas:

$$T_E = \frac{(1,20 \times N)}{(79 \times L)}$$

- Terreno plano:

$$T_E = \frac{(1,20 \times N)}{(100 \times L)}$$

Onde,

$T_E$  = tempo de estrangulamento (minutos)

$N$  = número total de pessoas da área de evacuação

$L$  = largura, em metros, do ponto de maior afunilamento do passeio que dá acesso à área segura

Tabela 10: Tempo de estrangulamento da região do PE.

Setor	N	L	TE (hh:mm:ss)
BRUPEI038	6	1	00:00:05
BRUPE017	302	1	00:04:35

\*Quando largura disponível para a rota de fuga for menor ou igual a zero, levando em conta:

- Vias de mão única: A largura total da via menos 2,9 m.
- Vias de mão dupla: A largura total da via menos 5,8 m.

Foi definida como largura disponível 0,1 metros, evitando assim divisão por zero e cumprindo o objetivo de indicar onde ocorrem os estrangulamentos.





## 5 Tempo necessário para evacuação de toda a área

### 5.1 Tempo total de evacuação (TTE)

O tempo necessário para evacuação a ser considerado, deverá ser o maior valor obtido entre o tempo máximo de deslocamento (TMD) e o tempo de estrangulamento (TE) para se chegar à área segura na Rota de fuga.

O tempo total de evacuação do ponto de encontro é dado pela fórmula abaixo:

$$T_{TE} = \text{Maior } (T_{MD}; T_E)$$

Onde:

$T_{TE}$  = Tempo total de evacuação;

$T_{MD}$  = Tempo máximo de deslocamento;

$T_E$  = Tempo de estrangulamento;

Tabela 11: Tempo total de evacuação.

Setor	TMD (hh:mm:ss)	TE (hh:mm:ss)	TTE (hh:mm:ss)	Resultante
BRUPEI038	00:01:20	00:00:05	00:01:20	Tempo Máximo Deslocamento
BRUPE017	00:02:15	00:04:35	00:04:35	Tempo de Estrangulamento