

TRACTEBEL ENGINEERING Ltda.

Rua Paraíba, 1.122 - 14º andar - Savassi
CEP: 30.130-918 - Belo Horizonte - Minas Gerais - BRASIL
tel.: +55 31 3249 7600

contato@tractebel.engie.com
tractebel-engie.com.br

ANEXO 19

RODOANEL METROPOLITANO BH

ANÁLISE DE RISCO

VARGEM DAS FLORES

BA ENVIRONMENT & SOCIAL

C.C.: W.000067.0001 - INCSPA - PROJETO AMBIENTAL RODOANEL RMBH

CLIENTE: BHR S.A.

PROJETO: Rodoanel RMBH

JANEIRO DE 2024

00	31.01.2024	A	A. Simplício, I. Silva, L. Baratta	A. Canhoto, G. Eger	L. Melo
----	------------	---	------------------------------------	---------------------	---------

REV.	DD.MM.AA	NATUREZA DAS REVISÕES	ELABORAÇÃO	VERIFICAÇÃO	APROVAÇÃO
------	----------	-----------------------	------------	-------------	-----------

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO E OBJETIVOS	3
2	CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO	5
3	ESTATÍSTICA DE ACIDENTES ENVOLVENDO PRODUTOS PERIGOSOS	8
4	CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO	10
4.1	Geologia e geomorfologia	10
4.2	Solos	11
4.3	Clima	12
4.4	Hidrografia	13
4.5	Hidrogeologia	14
5	ANÁLISE DE RISCO	16
5.1	Substâncias Químicas de Interesse	16
5.2	Pontos Notáveis	18
5.3	Causas	20
5.4	Consequências	21
5.5	Meio Físico	21
5.6	Vias de Contato	22
5.7	Receptores Potenciais	22
5.8	Identificação de perigos	23
5.9	Hipóteses Acidentais	26
6	RECOMENDAÇÕES	26
7	ANÁLISE DE INCERTEZAS	28
8	CONCLUSÃO	29
9	REFERÊNCIAS	30

1 INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

Consoante ao apresentado no **Anexo 13 - Diretrizes Ambientais** referente à documentação da Concorrência Internacional nº 001/2022 do Rodoanel de Belo Horizonte, este documento objetiva apresentar o Estudo da Análise de Risco (EAR) da bacia Vargem das Flores, que consiste em área prioritária dos estudos de licenciamento ambiental (EIA), por se tratar de uma região que compreende muitos mananciais, que inclusive são utilizados como fonte de abastecimento hídrico da região metropolitana de Belo Horizonte.

Esse documento contempla avaliação de riscos considerando diversos cenários hipotéticos, bem como recomendações para prevenção de acidentes ou derramamentos envolvendo cargas perigosas, que possam se tornar fontes de contaminação na região em estudo – sendo priorizados possíveis contaminantes decorrentes da operação da rodovia, tais como óleos e graxas, demais hidrocarbonetos, pesticidas, dentre outros.

Os procedimentos adotados nesse documento seguiram o termo de referência da NORMA TÉCNICA P4.261, elaborada pela CETESB (2011), que orienta na sua Parte III, a elaboração de EAR para EIA de empreendimentos (indústrias, bases, terminais, dutos, entre outros) que manipulam (produzam, armazenam, transportam) substâncias inflamáveis e/ou tóxicas, nos estados líquido ou gasoso. Além disso, também foi utilizado como referência o MANUAL DE PROCEDIMENTOS AMBIENTAIS EM EMPREENDIMENTOS RODOVIÁRIOS (DER/MG, 2008) de forma que fiquem contemplados, neste documento, todos os riscos que envolvem os bens a proteger, que são os trabalhadores, usuários da via, residentes e o meio ambiente, em ambas as fases de implantação e de operação. Considerou-se ainda a Decisão de Diretoria nº 038/2017/C, elaborada pela CETESB (2017), que dispõe de procedimentos e estabelece diretrizes para gerenciamento de áreas contaminadas, visando a proteção da qualidade do solo e das águas subterrâneas.

Visando subsidiar a elaboração desse estudo de análise de risco, foram elaborados o **ANEXO 15 - RODOANEL METROPOLITANO BH MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEITUAL VARGEM DAS FLORES** e o **ANEXO 18 - RODOANEL METROPOLITANO BH TRANSPORTE DE CONTAMINANTES VARGEM DAS FLORES**. O primeiro objetivou realizar a caracterização dos sistemas aquíferos, de acordo com o contexto hidrográfico, geológico local e geomorfológico que estão inseridos, bem como são apresentados os parâmetros hidráulicos, dados hidrogeológicos (fluviometria, pluviometria, piezometria), os fluxos de água subterrânea por meio da apresentação de um mapa potenciométrico e de um esquema representativo dos caminhos percorridos pela água em virtude da sua interação com os diferentes tipos de solos e de fraturas nos maciços rochosos.

O segundo objetivou apresentação de premissas e hipóteses de possível contaminação por derramamento/ou acidente na região de interesse e a realização de modelagem matemática de transporte de contaminantes no *software* Visual MODFLOW Flex. O transporte de contaminantes foi obtido a partir de equações de diferenças finitas e simulações transporte de partículas e de contaminação por Benzeno, que está presente em combustíveis como gasolina e diesel e por tratar-se de uma substância comprovadamente carcinogênica com padrão de potabilidade de 5 µg/l, determinado pela PORTARIA GM/MS Nº 888 de 2021 do Ministério da Saúde.

Em um contexto geral dos estudos anteriores desenvolvidos, concluiu-se que, estima-se que o lençol freático mais profundo poderá ser encontrados a 80,0 m de profundidade nos aquíferos fraturados e, mais rasos a 10,0 m de profundidade nos aquíferos granulares, aproximadamente. Em um caso hipotético de contaminação, as plumas poderão apresentar dispersão longitudinal,

avançando, em média, 50 metros a cada 5 anos na região do Canteiro de Obras. Na região do traçado, as plumas apresentaram dispersão longitudinal média de 222,00 metros em 1 ano (365 dias) com pequenas alterações para os próximos 5 anos e 10 anos modelados.

Pela evolução temporal das plumas em profundidade, concluiu-se haver elevada persistência da contaminação por Benzeno nos sistemas aquíferos granulares e fraturado, uma vez que, a concentração máxima aceitável do Benzeno de 0,005 mg/L, definida por lei, poderá alcançar até 90 metros de profundidade e, inclusive, se estender mais do que 10 anos, que foi o período proposto nesse estudo hipotético.

No transporte de partículas, observou-se que um fluxo hipotético superficial tende a chegar ao reservatório Vargem das Flores no prazo de poucas horas, a depender do local de lançamento da partícula, dada a elevada densidade de drenagem superficial existente na região. Em contrapartida, o fluxo de transporte subterrâneo apresentou uma distância, na ordem de 2,50 quilômetros, entre todas as plumas hipotéticas e o reservatório Vargem das Flores, no período de 10 anos (3650 dias), de distância. Dessa maneira, pelos resultados obtidos, não é esperado que no caso de acidentes na rodovia envolvendo produtos perigosos, o reservatório Vargem das Flores seja atingido por meio do fluxo subterrâneo de contaminantes.

Tendo o exposto, a proposição de medidas de intervenção será avaliada em cada caso, de maneira detalhada, estruturada e seguindo a lógica mostrada na **Figura 4.1-1**. Ressalta-se que a Parte III, refere-se especialmente à empreendimentos envolvendo a construção de dutos. Entretanto, devido ao Rodoanel Metropolitano BH se tratar se um empreendimento linear, assim como os dutos, e que ambos manipulam (produzam, armazenam, transportam) substâncias perigosas (inflamáveis e/ou tóxicas), considera-se que os riscos associados são similares e podem ser adaptados com eficácia, sem perder a complexidade dos riscos envolvidos.

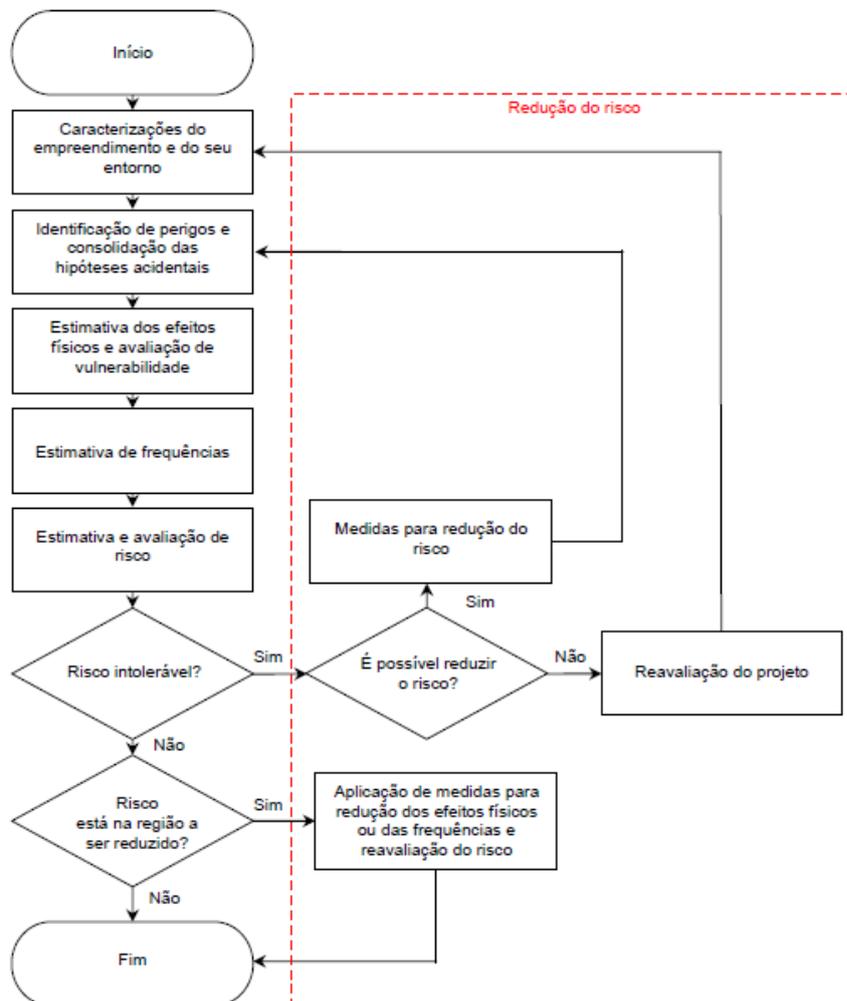


Figura 4.1-1 - Orientação para a elaboração de um Estudo de Análise de Risco, conforme NORMA TÉCNICA P4.261 CETESB.

Em particular, este documento abrange as seguintes etapas:

- Caracterização do empreendimento;
- Caracterização do meio físico;
- Identificação de perigos e consolidação das hipóteses acidentais;
- Recomendações para redução do risco; e
- Análise de Incertezas.

2 CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO

O Rodoanel Metropolitano BH, possui 70 km de extensão que está subdividido em duas alças: Norte e Oeste. Nesse contexto, tem-se, aproximadamente, 14 km do traçado da Alça Oeste cortando a bacia Vargem das Flores que é utilizada para abastecimento hídrico da região metropolitana de Belo Horizonte.

A área de estudo prioritária consiste na bacia Vargem das Flores, definida como uma Área de Proteção Especial (APE), estabelecido pelo Decreto Estadual nº 20.793/1998, possui uma área de

drenagem de aproximadamente 123 km², que está totalmente inserida nos sistemas aquíferos granular e fraturado granito-gnáissicos do Complexo Belo Horizonte. A localização da bacia Vargem das Flores e sua relação com o traçado do rodoanel, podem ser visualizadas na **Figura 4.1-1**. Observa-se nessa figura a estrutura de apoio temporária, denominada de Canteiro de Obras 03.

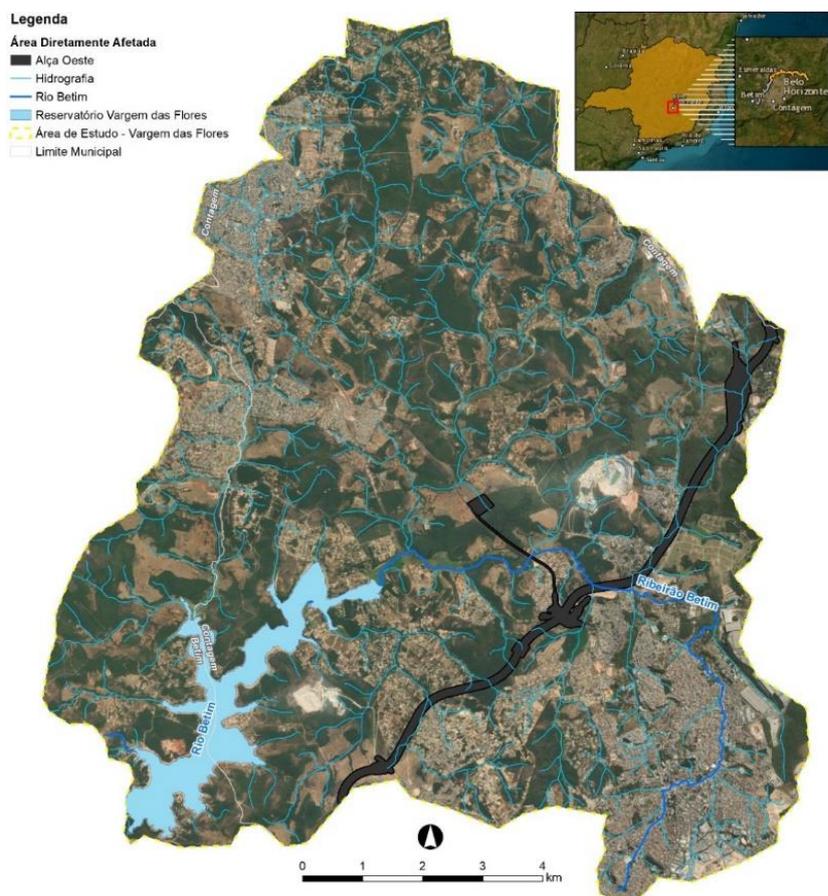


Figura 4.1-1 - Mapa da inserção do traçado da rodovia e estrutura de apoio temporária prevista, na Bacia de Contribuição Hídrica do Reservatório Vargem das Flores.

A unidade de conservação, criada em 2006 com o objetivo de preservar o reservatório, possui 86,50% do seu território no município de Contagem e 13,50% em Betim (IBGE, 2022). O **Quadro 4.1-1** informa os dados principais de ambos os municípios.

Quadro 4.1-1 - Dados dos Municípios envolvidos (IBGE, 2022).

MUNICÍPIOS	ÁREA	POPULAÇÃO	DENSIDADE DEMOGRÁFICA
Betim	344,062 km ²	411.846 pessoas	1.197,01 hab./km ²
Contagem	194.746 Km ²	621.863 pessoas	3.193,20 hab./km ²

A população total dos 34 municípios que compõe a Região Metropolitana de Belo Horizonte é de 5.127.694 habitantes (IBGE, 2022), no qual 16 desses fazem parte do Sistema Integrado de Abastecimento de Água, em que 60% da água é fornecida pela Bacia do Paraopeba. Os reservatórios que integram todo o Sistema Paraopeba são: Reservatório Rio Manso, Reservatório

Serra Azul e o Reservatório Vargem das Flores, sendo este último o foco desta Análise de Risco, pelo fato de estar sob área de influência no traçado do empreendimento,

As águas superficiais da bacia Vargem das Flores são enquadradas como classe 1, nas quais são permitidos usos como abastecimento (após tratamento simplificado), recreação de contato primário e irrigação, desde que os parâmetros físico-químicos e biológicos não ultrapassem os limites de referência definidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005.

Grande parte da bacia Vargem das Flores encontra-se em área urbanizada, com ocupações densas e regulares (**Figura 4.1-2** e **Figura 4.1-3**). Como efeito disso, haverá uma separação completa dos bairros, como Estâncias Imperiais, Nascentes Imperiais, uma vez que, alternativas mais a norte implicariam em uma proximidade maior com o reservatório Vargem das Flores e, mais a sul, aumentariam os efeitos da desapropriação.



Figura 4.1-2 – Reconhecimento de campo da bacia Vargem das Flores. Localização de uma mineradora de brita e areia no contexto da área de estudo. Ponto amostral EAF-21.



Figura 4.1-3 – Reconhecimento de campo da bacia Vargem das Flores, com vista da região predominantemente urbana. Ponto amostral EAF-21.

O reservatório se dispõe principalmente entre bairros de Contagem (19° 55' 08" S 44° 10' 10" O) que foram ocupados com pouco planejamento e de forma danosa ao meio ambiente. O fato reflete o contexto evolucionar urbano do município de Contagem, no qual a partir da década de 40 começou a sediar o maior complexo industrial do Estado de Minas Gerais. Com o constante crescimento econômico e populacional, na década de 60 se inicia a crise de abastecimento público de água no município, fazendo necessário o início do processo de criação do Reservatório Vargem das Flores, inaugurado em 1972 (SANTOS, 2012).

A região limítrofe foi escolhida como localidade da represa devido ao relevo que possibilitava sua implantação e por Betim também não possuir sistema de produção de água. Atualmente, cerca de 70% de toda extensão da APA é urbana e conforme supracitado, compreende uma região de muitas indústrias. Esse entendimento é importante, tendo em vista, que uma contaminação pré-existente por óleos, graxas, hidrocarbonetos ou pesticidas é altamente provável. Como exemplo, tem-se o ponto ACI 03 já cadastrado como área contaminada no contexto da bacia Vargem das Flores, conforme apresentado no **ANEXO 17 - RODOANEL METROPOLITANO BH QUADRO ÁREAS CONTAMINADAS**.

Adicionalmente, a bacia encontra-se ainda próxima a duas unidades de conservação, como a Floresta Estadual São Judas Tadeu e o Parque Natural Municipal Felisberto Neves, localizado na

área urbana de Betim, e que possui vegetação de Cerrado, Mata Tropical e Mata de Galeria, conforme descrito por Lopes et al. (2007).

O Rodoanel Metropolitano BH a ser implementado na região metropolitana de BH, tem como objetivo principal estabelecer uma rota alternativa para os usuários que atualmente utilizam o anel viário de Belo Horizonte e as vias urbanas da capital para deslocamentos de longa distância. Devido a rodovia estar localizada no Estado de Minas Gerais, que é geograficamente relevante por interligar diversas regiões, sabe-se que o fluxo de veículos que transportam produtos químicos será alto, uma vez que o Rodoanel Metropolitano de Belo Horizonte tem como uma de suas projeções a mobilidade de veículos de carga pesada.

Assim, o estudo de análise de risco fornecerá observações importantes para pontos de atenção necessários no desenvolvimento executivo do projeto geométrico.

3 ESTATÍSTICA DE ACIDENTES ENVOLVENDO PRODUTOS PERIGOSOS

No Brasil ainda existem poucos estudos em relação a acidentes envolvendo cargas perigosas. A Comissão de Estudos e Prevenção de Acidentes no Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos do Estado de São Paulo (ABTLP) disponibilizou o Relatório de Ocorrências no Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos no Estado de São Paulo – 2022 que trata sobre acidentes e incidentes rodoviários de produtos perigosos (ABLTP, 2023). Como o estado de Minas Gerais carece de dados acerca de acidentes envolvendo transporte rodoviário de produtos perigosos, os dados do estado de São Paulo são a estimativa mais próxima para fins de quantificação de possíveis acidentes que podem ocorrer no estado.

Os acidentes são descritos pela ABTLP (2022) como um evento definido ou uma sequência de eventos fortuitos e não planejados que dão origem a uma consequência específica e indesejada, em termos de danos humanos, materiais ou ambientais. Os exemplos incluem colisões abalroamentos, capotamentos, avarias em tanques, válvulas ou linha que provocaram (ou poderão provocar) vazamento do produto transportado, dentre outros. Incidentes, por sua vez, são definidos como um evento indesejável e inesperado que, no entanto, não resulta em danos às pessoas, ao meio ambiente ou ao patrimônio. Os exemplos incluem ocorrências do tipo pane seca, avaria mecânica, pneu furado, quebra de para-brisa, dentre outros.

Como resultado, o Relatório Anual 2022 aponta um total de 1.012 ocorrências (acidentes e incidentes), com média de 84 ocorrências por mês (**Figura 4.1-1**), sendo o mês de março e agosto aqueles com mais ocorrências, respectivamente 106 e 105. Dentre os meses do ano em análise 6 estão acima da média de acidentes, sendo janeiro, fevereiro, março, junho, agosto e outubro.

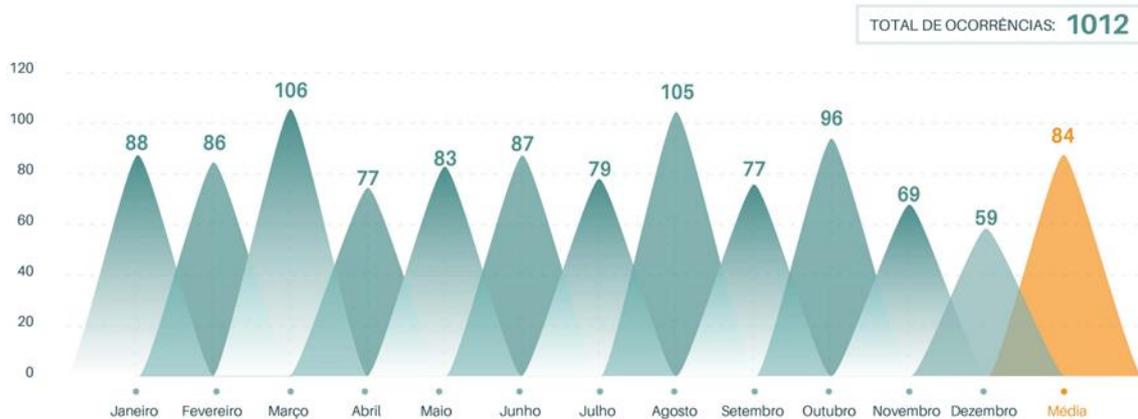
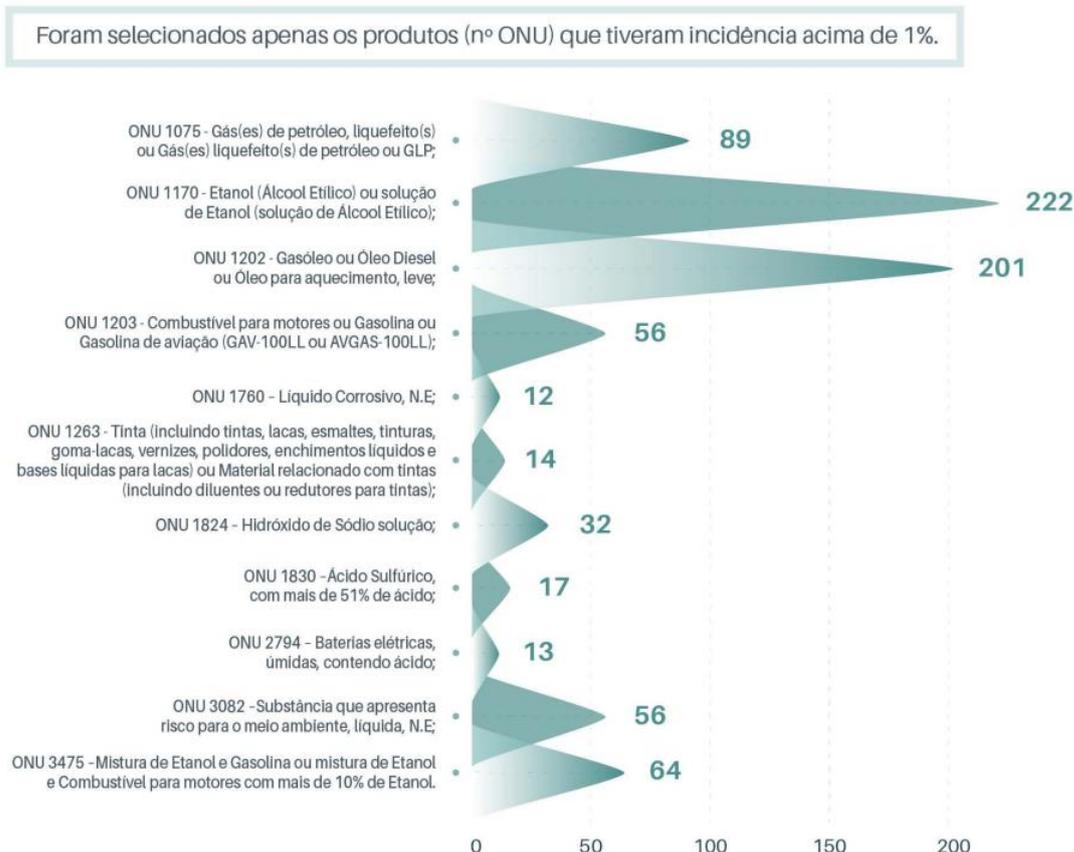


Figura 4.1-1 - Ocorrência de acidentes por mês envolvendo Produtos Perigosos no Estado de São Paulo (ABLTP, 2023).

Cada um dos aproximadamente 3.000 produtos catalogados como perigosos pela Organização das Nações Unidas (ONU) possui suas características únicas e têm um impacto distinto no meio ambiente. Dentre as ocorrências destacam-se aqueles em que transportavam produtos ONU 1170 – Etanol (Álcool Etílico) ou solução de Etanol (solução de Álcool Etílico) com 222 ocorrências e ONU 1202 – Gasóleo ou óleo diesel ou óleo para aquecimento leve com 201 ocorrências (Figura 4.1-2) representando 55% das ocorrências. Já a classe de risco com maior incidência é dominada por líquidos inflamáveis com 619 ocorrências, representando 64% do total.



Foram selecionadas apenas as classes e sub-classes de risco com incidência acima de 1%.



Figura 4.1-2 - Classe de risco conforme as ocorrências (ABLTP, 2023).

4 CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO

A descrição do Meio Físico possui caráter de síntese do **ANEXO 15 - RODOANEL METROPOLITANO BH MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEITUAL VARGEM DAS FLORES**, que explicita, com detalhamento, o comportamento hidrogeológico do entorno e a relação com a rodovia, que será implantada. O contexto geológico e hidrográfico, bem como a descrição dos principais tributários que convergem para a bacia também são citados no mesmo.

O modelo matemático do cenário hidrogeológico atual, os cenários de simulação de transporte de partículas e de contaminantes, bem como características físico-químicas constam no **ANEXO 18 - RODOANEL METROPOLITANO BH TRANSPORTE DE CONTAMINANTES VARGEM DAS FLORES**.

4.1 Geologia e geomorfologia

A bacia Vargem das Flores está localizada no aquífero Granito-gnássico do Complexo Belo Horizonte, com litotipo amplamente dominante sendo o gnaisse cinza-claro. De maneira geral, a região apresenta espesso manto de intemperismo silto-argilosos sobrepondo rochas granito-gnássicas, acontecendo em toda a bacia.

A região corresponde a uma área arrasada, o que pode dificultar a observação de lineamentos estruturais existentes. A presença de água na região se deve, essencialmente, pelo espesso manto

de intemperismo silto-argiloso que está presente na região. As rochas tendem a ser pouco fraturadas e, as fraturas existentes não apresentam conectividade.

Ademais, ocorrem duas faixas vulcano-sedimentares com dimensões da ordem de 2-5 km, orientadas segundo N-S e apresentando mergulhos elevados. Constituindo-se de anfíbolitos, formação ferrífera, quartzitos e quartzo-mica xistos (Doce, Teixeira e Machado, 1997).

Constatou-se que a bacia Vargem das Flores está em um compartimento de depressão periférica, que está inserido por completo na Unidade Geomorfológica Patamares de Belo Horizonte de dissecação fluvial (Barbosa e Rodrigues, 1965). O relevo apresenta diversos curso d'água, como os afluentes do Rio São Francisco: Rio das Velhas e Rio Paraopeba. Intemperismos podem ser intensificados principalmente no verão, com o aumento da precipitação pluviométrica, apesar de não ter a capacidade de formar grandes depressões.

As áreas elevadas, constituem-se de nascentes dos principais tributários. Já as áreas de menor altitude estão principalmente localizadas no reservatório e nas margens dos cursos d'água envolvidos.

Para compor **Quadro 4.1-1** utilizou-se o satélite ALOS-PALSAR (2022) para o levantamento de dados altimétricos sobre a região.

Quadro 4.1-1 - Dados gerados a partir de Satélite (ANEXO 15).

SATÉLITE	RESOLUÇÃO ESPACIAL	ÁREA ANALISADA	INTERVALO ALTIMÉTRICO	INTERVALO DE DECLIVIDADE
ALOS-PALSAR	12,5 m	Vargem das Flores	800 - 1050 m	0 - 45%

4.2 Solos

O levantamento de dados litológicos foi realizado a partir de poços tubulares cadastrados no banco de dados do SIAGAS/CPRM, que possibilitou, ainda que com incertezas, a descrição litológica do aquífero. A **Quadro 4.2-1** sintetiza as informações do banco de dados do SIAGAS/CPRM, cujo poços estão próximos a área de estudo, no Complexo Belo Horizonte.

Quadro 4.2-1 - Dados obtidos a partir dos 34 poços tubulares (ANEXO 15).

LITOLOGIA	PROFUND. ADOTADA (m)	PROFUND. MÍNIMA (m)	PROFUND. MÉDIA (m)	PROFUND. MEDIANA (m)	PROFUND. MÁXIMA (m)	DESV. PAD. (m)
Solo argilo-arenoso ou areno-argiloso	0,00 - 20,00	0,00	19,84	20,00	45,00	11,08
Saprólito granito-gnáissico	20,00 - 36,00	20,00*	37,02	36,00	54,00	11,80
Rocha granito-gnáissica ou indiferenciada	36,00 - 132,00	36,00*	109,75	113,00	132,00	15,96

4.3 Clima

A bacia está inserida na zona climática subsequente (temperatura entre 15 e 18 °C em pelo menos 1 mês, conforme descrito no **VOLUME II - MEIO FÍSICO**. O levantamento de dados históricos, realizados entre os anos 1992 e 2021, referente a Estação Pluviométrica Belo Horizonte (83587), mostrou que a região apresenta pluviosidade média de 15750,00 mm/ano. A **Quadro 4.3-1** apresenta as informações obtidas durante esse período.

Quadro 4.3-1 - Dados pluviométricos obtidos pela estação Belo Horizonte de 1992 a 2021 (ANEXO 15).

MÊS	JAN.	FEV.	MAR.	ABR.	MAIO	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OUT.	NOV.	DEZ.
Mínima	88,6	22,9	62,7	6,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	22,0	108,2	129,3
Média	319,6	184,0	194,5	79,7	27,7	12,1	5,4	10,9	47,8	114,0	237,8	342,2
Máxima	934,7	431,9	391,3	235,8	96,7	75,3	48,1	47,1	127,2	344,3	396,6	720,0

Outrossim, de acordo com a Classificação de Köppen-Geiger, o município de Contagem e Betim possuem Clima Cwa com inverno seco e verão quente (acima de 22° C). Apesar do fato da superfície da bacia possuir altitude média de 838,0 m acima nível do mar, que pode ser causadora de condições especiais, é imprescindível ressaltar que a região está sujeita a variações climáticas decorrentes da influência do Oceano Atlântico e massas de ar em geral. A **Figura 4.3-1** apresenta a variação da precipitação mensal conforme ano hidrológico, observa-se que o período chuvoso ocorre entre outubro e março, já o período seco ocorre entre os meses de abril e setembro.

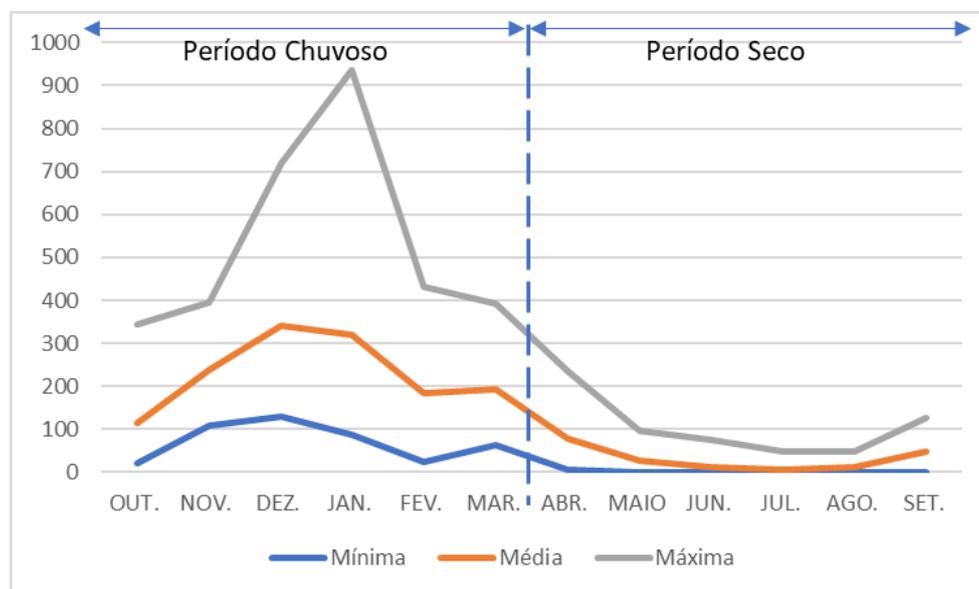


Figura 4.3-1 – Gráfico de variação da precipitação mensal no período chuvoso e período seco (Estação Pluviométrica Belo Horizonte (83587) - 1992-2021).

4.4 Hidrografia

A bacia Vargem das Flores desagua na margem direita do curso fluvial do Rio Paraopeba, afluente da Bacia Hidrográfica do São Francisco, reconhecida como uma das mais importantes e expressivas do território brasileiro.

Sua água superficial é classificada como classe 1 (Deliberação Normativa COPAM n° 14 de 1995), cuja área é dividida em cinco otto bacias, sendo elas os Córregos Água Suja, Bela Vista, Morro Redondo, Ribeirão Betim, Rio Betim como ilustra a **Figura 4.4-1**.

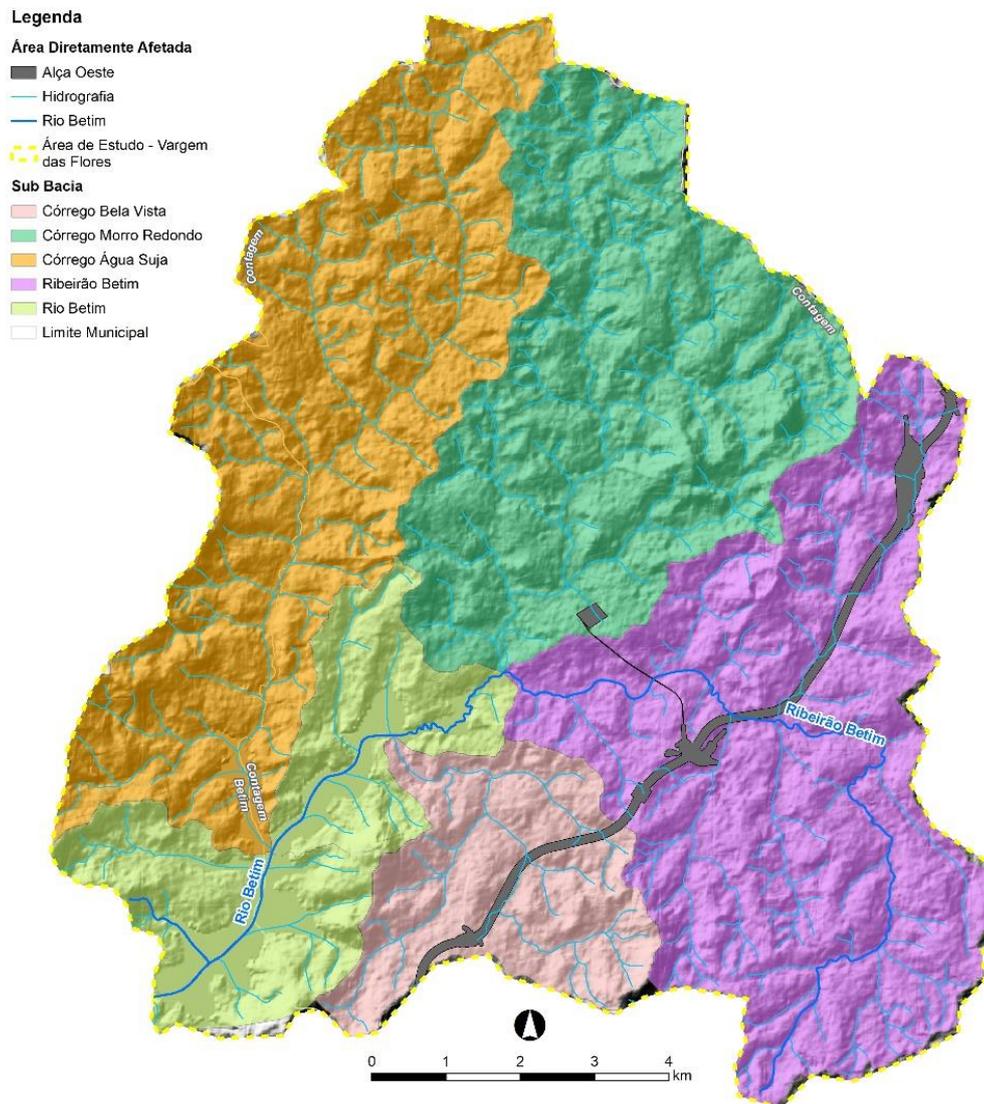


Figura 4.4-1 - Bacias hidrográficas Vargem das Flores

Na região estão presentes diversos cursos d'água principais (**Quadro 4.4-1**), sendo que o traçado da rodovia intercepta o Córrego da Lagoa, Córrego das Abóboras, Ribeirão Betim, e o canteiro de obras 03 intercepta o Córrego Morro Redondo. Todas as águas convergem os fluxos das águas para o Rio Betim, onde ocorre o represamento da bacia Vargem das Flores.

Quadro 4.4-1 - Principais tributários envolvidos (IDE-SISEMA, 2022).

CURSOS D'ÁGUA PRINCIPAIS PERTENCENTES A APE VARGEM DAS FLORES	
Córrego das Abóboras	Córrego Laje
Córrego Água Suja	Córrego Morro Redondo
Córrego Praia do Batatal	Córrego Retiro
Córrego Bela Vista	Ribeirão Betim
Córrego Campo Alegre	Córrego da Lagoa
Córrego Cedro	Rio Betim

4.5 Hidrogeologia

A bacia Vargem das Flores compreende sistemas aquíferos granulares e fraturado do complexo granito-gnássico Belo Horizonte. Os maciços rochosos apresentam poucas fraturas, com baixa condutividade hidráulica. O fluxo da água subterrânea ocorre das porções de cotas mais elevadas em direção às áreas de baixa altitude, descarregando nos cursos d'água. A capacidade específica é limitada e restrita às zonas de fraturamento. A recarga aos aquíferos ocorre principalmente para infiltração/percolação da água da chuva na superfície da bacia.

A parcela que se infiltra está presente na zona não saturada dos aquíferos granulares, entretanto devido a intensa urbanização, é pouco significativa. Para demonstrar essa diferença, o **ANEXO 18 - RODOANEL METROPOLITANO BH TRANSPORTE DE CONTAMINANTES VARGEM DAS FLORES** aplicou uma recarga igual a 148 mm em toda área de estudo da bacia.

O fluxo subterrâneo descarrega nas regiões correspondentes aos baixos topográficos, onde se encontram os cursos d'água perenes que drenam o sistema. A distribuição dos níveis de água no sistema aquífero granular e fraturado do complexo granito-gnássico de Vargem das Flores é mostrada na **Figura 4.5-1**.

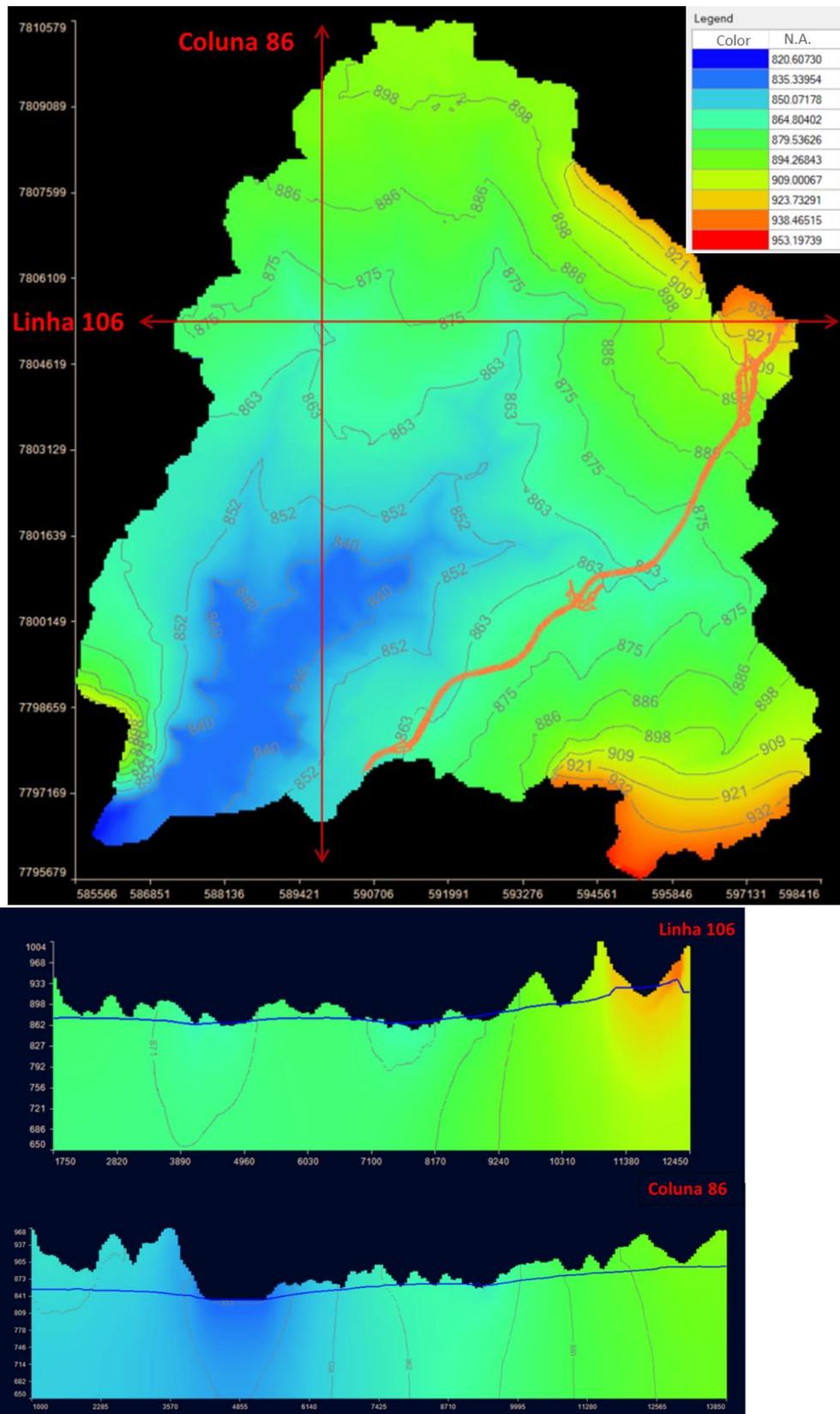


Figura 4.5-1 – Resultado do modelo hidrogeológico matemático do sistema aquífero granular e fraturado do complexo granito-gnáissico de Vargem das Flores.

A **Figura 4.5-1**, evidencia os níveis de água variando da Cota El. 953,0 m a El. 820,0 m, aproximadamente. Assim, estima-se encontrar lençol freático mais profundo (aquífero fraturado) a 80,0 m de profundidade e, mais rasos (aquífero granular) a 10,0 m de profundidade, aproximadamente. O gradiente hidráulico obtido é de 1,16. A direção de fluxo ocorre predominantemente de NE para SW, em direção ao exutório da bacia após a barragem.

A água que migra através das redes de fraturas dos maciços rochosos também pode alimentar a rede de cursos d'água superficial. Neste caso, devem formar nascentes classificadas como de fratura ou de falha. Ao contrário dos aquíferos freáticos responsáveis pela maior descarga para a rede superficial, os sistemas fraturados apenas contribuem com restritas vazões e mais comumente em locais com maiores amplitudes de relevos e onde os vales são mais encaixados.

Ao longo do ciclo hidrológico, a região poderá apresentar dois contrastes principais: cursos d'água secos ou com baixa vazão (período seco) e cursos d'água com fluxo alta vazão (período chuvoso). Os efeitos hidrológicos sazonais representam a resposta da interação dos aquíferos com os cursos d'água superficiais com a eficiência dos aquíferos freáticos na regularização das vazões superficiais (fluxo de base).

As regiões que compreendem solo e saprólito apresentam permeabilidade mais alta e possuem maior eficiência para infiltrar e transmitir água, quando comparado com a porção fissural. Conforme Castro et al. (2020); Fiume et al. (2022), o embasamento granito-gnáissico do Complexo Belo Horizonte pode ser caracterizado como anisotrópico, de produtividade muito baixa, porém, localmente baixa, com baixo grau de fraturamento e, portanto, sua capacidade de infiltração e transmissão de água subterrânea é baixa.

5 ANÁLISE DE RISCO

Esse item caracteriza os aspectos relacionados a análise de risco da bacia Vargem das Flores, que estão relacionados as fases de implantação e operação do Rodoanel Metropolitano BH. Os resultados da etapa de Avaliação de Risco servirão de embasamento para elaboração Programa de Gerenciamento de Risco (PGR) no contexto da área prioritária selecionada, além de orientar a execução de investigação geoambiental, que deverá ser incluído nas demais etapas do Gerenciamento de Áreas Contaminadas (GAC), no caso da ocorrência de acidente envolvendo derramamento de substâncias químicas perigosas.

5.1 Substâncias Químicas de Interesse

As substâncias químicas perigosas, líquidas ou sólidas, que podem estar associadas as fases de implantação e operação do Rodoanel Metropolitano BH são diversas. Podem ser encontradas no Canteiro de Obras 03, onde possivelmente será realizado o armazenamento de combustíveis e paradas de atividades para realização de manutenção de equipamentos, da qual é necessária a utilização de óleos e graxas, e, também, podem ser identificadas no tráfego de caminhões de transporte de substâncias perigosas na Alça Oeste, que ficará susceptível a derramamento acidental no caso de acidentes envolvendo estes veículos, que poderão estar carregados com possíveis contaminantes, tais como óleos e graxas, demais hidrocarbonetos, pesticidas, dentre outros.

A classificação de um produto ou artigo como perigoso para fins de transporte deve ser feita pelo seu fabricante ou expedidor, orientado pelo fabricante, ou ainda, pela autoridade competente, quando aplicável, tomando como base as características físico-químicas do produto, alocando em uma das classes ou subclasses apresentadas no **Quadro 5.1-1**, conforme disposto na Resolução Nº 5.232, de 14 de dezembro de 2016 da Agência Nacional de Transportes Terrestres - ANTT.

Quadro 5.1-1 – Classes de substâncias de interesse relativas as atividades desenvolvidas no Canteiro de Obras 03 e tráfego de substâncias químicas perigosas na Alça Oeste.

CLASSES	SUBCLASSES
Classe 1: Explosivos	<ul style="list-style-type: none"> - Substâncias e artigos com risco de explosão em massa; - Substâncias e artigos com risco de projeção, mas sem risco de explosão em massa; - Substâncias e artigos com risco de fogo e com pequeno risco de explosão ou de projeção, ou ambos, mas sem risco de explosão em massa; - Substâncias e artigos muito insensíveis, com risco de explosão em massa; - Substâncias e artigos extremamente insensíveis, sem risco de explosão em massa; - Substâncias e artigos com que não apresentam risco significativo.
Classe 2: Gases	<ul style="list-style-type: none"> - Gases inflamáveis; - Gases não-inflamáveis não-tóxicos; - Gases tóxicos.
Classe 3: Líquidos inflamáveis	-
Classe 4: Sólidos inflamáveis, substâncias sujeitas à combustão espontânea; e substâncias que, em contato com água, emitem gases inflamáveis	<ul style="list-style-type: none"> - Sólidos inflamáveis, substâncias autorreagentes e explosivos sólidos insensibilizados; - Substâncias sujeitas à combustão espontânea; - Substâncias que, em contato com água, emitem gases inflamáveis.
Classe 5: Substâncias oxidantes e peróxidos orgânicos	<ul style="list-style-type: none"> - Substâncias oxidantes; - Peróxidos orgânicos.
Classe 6: Substâncias tóxicas e substâncias infectantes	<ul style="list-style-type: none"> - Substâncias tóxicas; - Substâncias infectantes.
Classe 7: Material radioativo	
Classe 8: Substâncias corrosivas	
Classe 9: Substâncias e artigos perigosos diversos, incluindo substâncias que apresentem risco para o meio ambiente ordem numérica das classes e subclasses não corresponde ao grau de risco.	

Fonte: RESOLUÇÃO Nº 5.232, de 14 de dezembro de 2016.

Produtos refinados de petróleo como gasolina, diesel, óleos lubrificantes e querosene consistem em misturas complexas de hidrocarbonetos, obtidos a partir da destilação e craqueamento do petróleo. Em relação aos combustíveis, a gasolina é constituída por hidrocarbonetos mais leves, enquanto o óleo diesel é um pouco mais pesado por conter uma proporção maior de hidrocarbonetos. Dessa maneira, a gasolina apresenta maior solubilidade, maior volatilidade e menor viscosidade do que o óleo diesel, fatores esses que, somados, conferem à gasolina uma maior mobilidade no solo e, conseqüentemente, um maior potencial de impacto ambiental.

5.2 Pontos Notáveis

Conforme apresentado no **ANEXO 18 - RODOANEL METROPOLITANO BH TRANSPORTE DE CONTAMINANTES VARGEM DAS FLORES**, os modelos hipotéticos de transporte de contaminantes indicam que o fluxo subterrâneo seguirá na direção sudoeste, para o exultório da bacia. Nessa região é possível encontrar, residentes, sítios, condomínios, indústrias e duas mineradoras em operação.

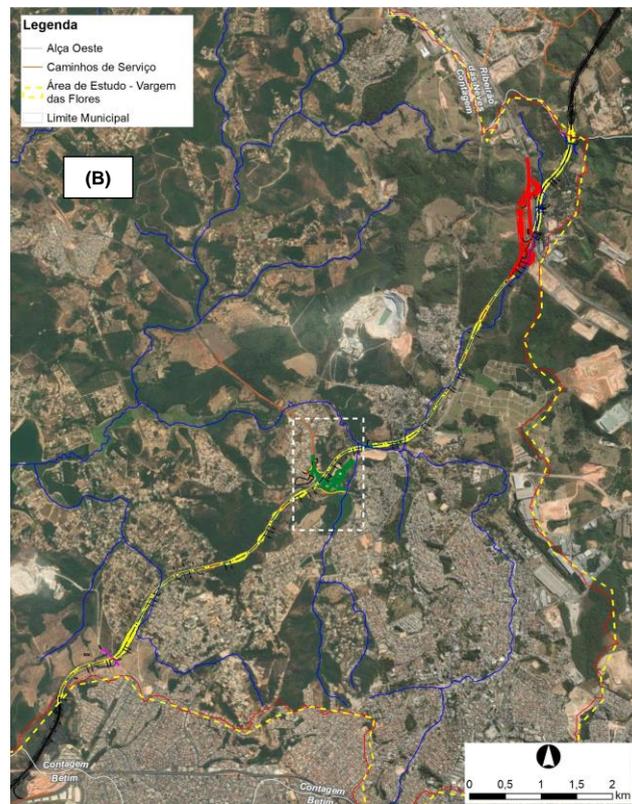
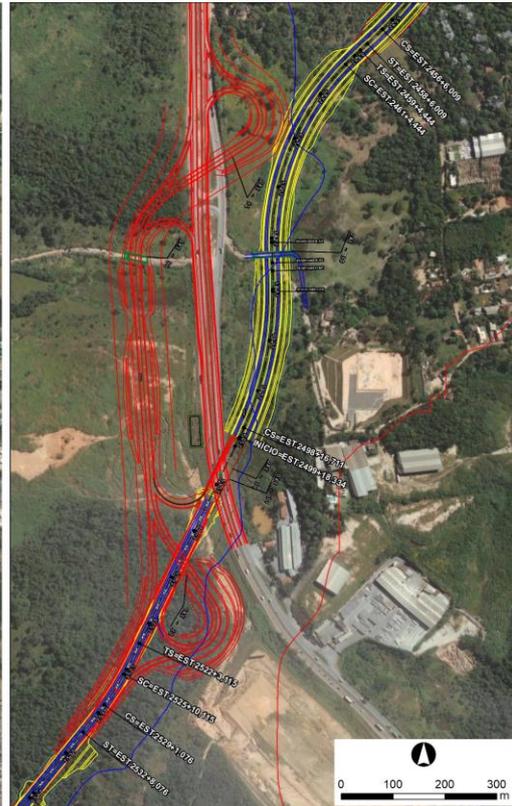
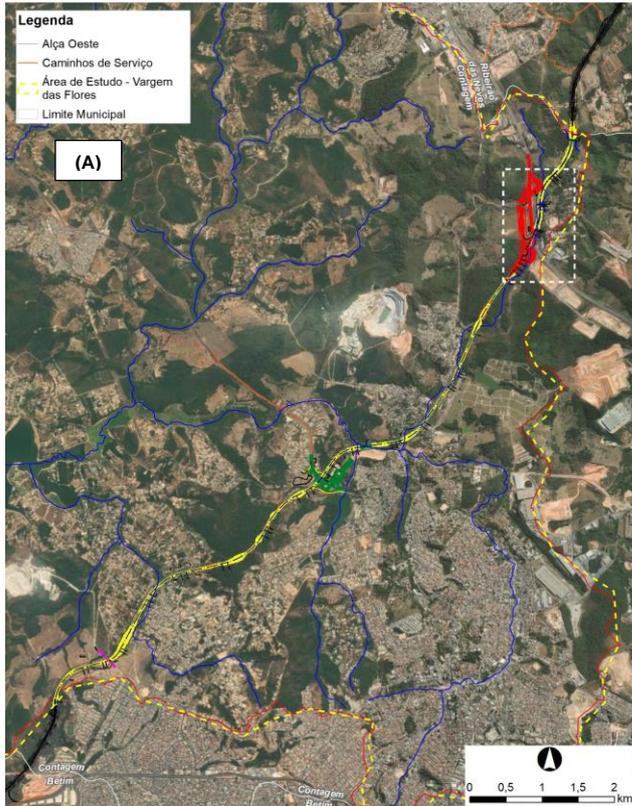
Tendo em vista a elevada densidade urbana no entorno da rodovia, os pontos notáveis estão relacionados aos locais onde o traçado da rodovia intercepta cursos d'água (**Quadro 5.2-1**), além de retornos na rodovia (**Quadro 5.2-2**), nos quais pode ocorrer acidentes, caso as manobras não sejam realizadas sem a devida cautela.

Quadro 5.2-1 - Principais tributários associados ao empreendimento do Rodoanel Metropolitano BH.

TRAÇADO RODOANEL METROPOLITANO BH	CANTEIRO DE OBRAS 03
Córrego da Lagoa	Córrego Morro Redondo
Córrego das Abóboras	-
Ribeirão Betim	-
Córrego Bela Vista	-

Quadro 5.2-2 - Retornos do Rodoanel Metropolitano BH.

TRAÇADO RODOANEL METROPOLITANO BH	ESTACA (m)	
	DE	ATÉ
Retorno BR-135	SC=EST.2461+4,444	SC=EST.2540+11,347
Retorno LMG-808	SC=EST.2710+12,473	PC=EST.2762+3,729
Retorno Estrada Sapucaia Solar da Madeira	SC=EST.2934+13,746	SC=EST.2963+16,249



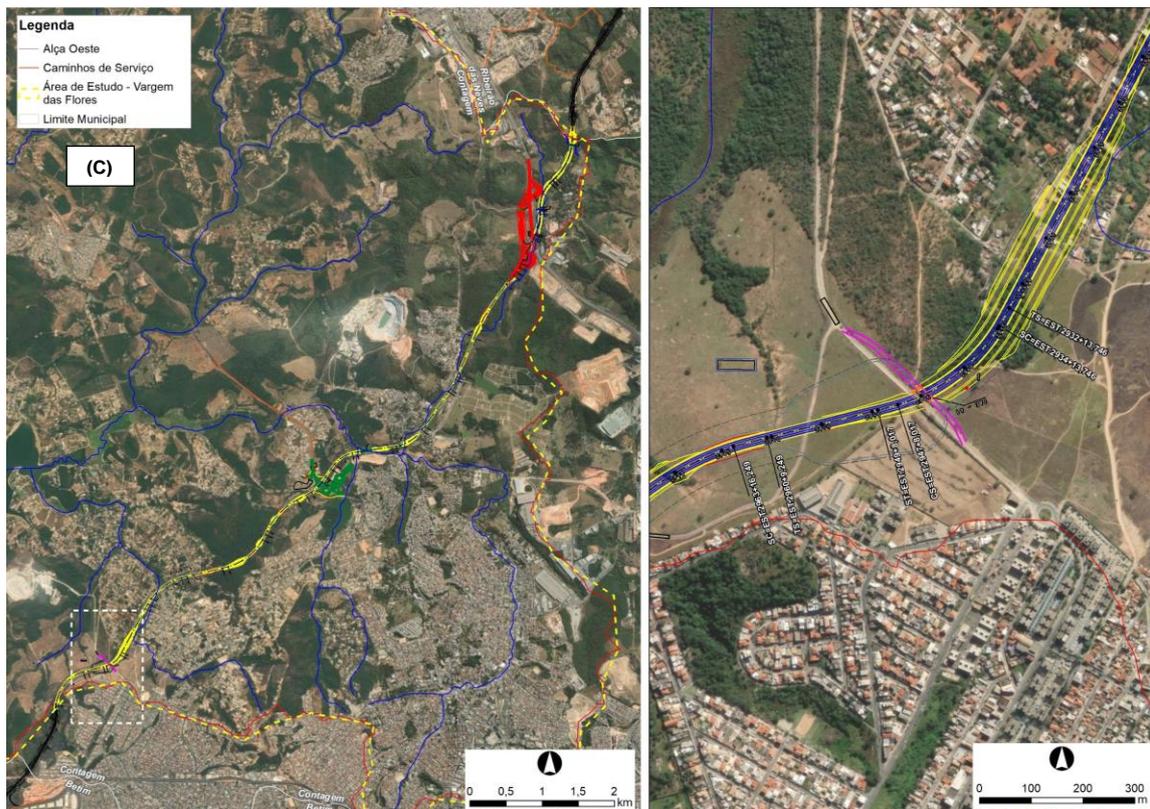


Figura 5.2-1 – Pontos notáveis localizados no (A) retorno BR-135, (B) retorno LMG-808 e (C) retorno estrada sapucaia Solar da Madeira, identificados na bacia Vargem das Flores.

Não há nenhum tipo de barreira física natural que possa influenciar no resultado do estudo, uma vez que, o traçado da rodovia encontra-se cortando a bacia no sentido NW-SE.

5.3 Causas

As possíveis causas de contaminação, envolvendo possíveis contaminantes decorrentes da operação da rodovia, tais como óleos e graxas, demais hidrocarbonetos, pesticidas, dentre outros são a falta de manutenção ou armazenamento inadequado, além de acidentes na rodovia e no Canteiro de Obras 03 nos seguintes contextos:

- Mangueiras, com vazamento;
- Máquinas para desengraxe de peças com solventes clorados, com vazamento;
- Tanques de armazenamento de combustíveis ou solventes, com vazamento;
- Transformadores, com vazamento;
- Tubulações para transporte de combustíveis avariadas;
- Acidentes rodoviários envolvendo combustíveis, solventes, efluentes e resíduos, fertilizantes, defensivos agrícolas e outros produtos perigosos.

Contaminação secundária, pode ocorrer caso os devidos cuidados e medidas de contenção/remediação não sejam tomadas em tempo hábil ou de maneira adequada. Uma fonte de contaminação secundária pode ser entendida como um compartimento já contaminado por

substância liberada de uma fonte de contaminação primária, cujo acúmulo da substância é tal que atuará como fonte de contaminação para outro compartimento do meio ambiente, tornando-o também contaminado (Lopes, et al. 2001, 2022). Exemplos de fontes de contaminação secundária, no contexto do empreendimento podem ser:

- Presença de fase retida de substância na zona não-saturada;
- Presença de fase livre de LNAPL (*“light non-aqueous phase liquid”*) na interface da zona não-saturada e saturada.

5.4 Consequências

Contaminações mais graves são atribuídas ao derramamento e/ou vazamento de hidrocarbonetos monoaromáticos, tais como os compostos BTEX (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos), que são considerados como constituintes mais solúveis e com maior mobilidade (SILVA et al, 2002).

Os compostos BTEX são altamente depressores do sistema nervoso central, apresentando toxicidade crônica, mesmo em pequenas concentrações (da ordem de $\mu\text{g.L}^{-1}$). Dentre eles, o benzeno é reconhecidamente o mais tóxico de todos os BTEX, por se tratar de uma substância comprovadamente carcinogênica (podendo causar leucemia, ou seja, câncer dos tecidos que formam os linfócitos do sangue), se ingerido, mesmo em baixas concentrações durante períodos não muito longos de tempo. Por isso, o Benzeno apresenta padrão de potabilidade de 5 $\mu\text{g/l}$, determinado pela PORTARIA GM/MS Nº 888 de 2021 do Ministério da Saúde.

Na ocorrência de um derramamento de substâncias perigosas, líquidas ou sólidas, a principal consequência poderá ser a contaminação dos solos, cursos d'água do entorno da fonte de contaminação, e do lençol freático da área em estudo, que são responsáveis pela manutenção de água do Reservatório Vargem das Flores, o qual é usado como fonte de abastecimento de hídrico para consumo humano da região metropolitana de BH.

Contaminantes do tipo NAPL (líquido de fase não aquosa), inicialmente estarão presentes no subsolo. Entretanto, caso entrarem em contato com a água, os compostos BTEX, por exemplo, se dissolverão parcialmente sendo os primeiros contaminantes a atingir o lençol freático. Os compostos BTEX, são extremamente prejudiciais à saúde humana e podem inviabilizar a exploração do Reservatório Vargem das Flores e de poços de produção de água/cacimbas/cisternas existentes na região de alcance da pluma de contaminação. Além disso, uma exposição aguda dos trabalhadores da obra (altas concentrações em curtos períodos) por inalação ou ingestão poderá causar até mesmo a morte.

Vazamentos que ocorrem em virtude de um acidente de rodovia, podem estar susceptíveis à explosão da substância química, que poderá resultar em consequências graves para pessoas e/ou construções próximas, bem como a poluição atmosférica (que pode ser temporária).

5.5 Meio Físico

Os compartimentos do meio físico são os solos, os sedimentos, as rochas, os materiais utilizados para aterrar os terrenos, as construções, as águas subterrâneas e superficiais, o ar e os organismos

vivos. Compartmentar o meio físico é importante para compreender qual será a forma de entrada das substâncias químicas de uma fonte de contaminação no meio ambiente.

Ao serem liberadas no solo, as substâncias químicas são particionadas através do sistema subsuperficial, destacando-se os seguintes mecanismos de transporte (Oliveira e Loureiro, 1998):

- Percolação/lixiviação pelo solo até atingir o lençol freático, formando uma camada de produto sobrenadante;
- Mobilização horizontal no solo (em fase livre), podendo vir a atingir fundações, garagens, galerias e outras estruturas subterrâneas;
- Retenção nos poros dos solos (fase residual), formando uma fonte perene de contaminação de longo prazo;
- Dissolução parcial de componentes solúveis dentro da fase aquosa do solo, contaminando aquíferos e comprometendo a qualidade de cursos d'água e de poços de produção de água de abastecimento;
- Volatilização dos componentes mais leves com acúmulo de vapores explosivos em algumas estruturas e provocando poluição atmosférica (que pode ser temporária);
- Biodegradação dos hidrocarbonetos resultante de processos físico-químico e biológicos.

5.6 Vias de Contato

As vias de contato destes receptores poderá ser por de inalação, ingestão e absorção cutânea. A inalação é a via mais rápida de entrada de substâncias para o interior do corpo humano e a mais comum. Já com relação a absorção cutânea, podemos dizer que existem duas formas das substâncias tóxicas agirem. A primeira é como tóxico localizado, onde o produto em contato com a pele, age na sua superfície provocando uma irritação primária e localizada. E a segunda forma, é como tóxico generalizado, quando a substância tóxica reage com as proteínas da pele ou mesmo penetra através dela, atinge o sangue e é distribuída para o nosso organismo, podendo atingir vários órgãos.

Ressalta-se que, apesar da pele e a gordura atuarem como uma barreira protetora do corpo, algumas substâncias como ácido cianídrico, mercúrio e alguns defensivos agrícolas, têm a capacidade de penetrar através da pele.

Quanto à ingestão, é considerada de grande ocorrência para um caso de acidente com cargas perigosas no contexto do empreendimento do Rodoanel, uma vez que, tanto os poços tubulares que são utilizados para captação de água na região poderão ser contaminados, como essa contaminação poderá alcançar o reservatório Vargem das Flores e contaminar a água que é utilizada para abastecimento hídrico.

5.7 Receptores Potenciais

No contexto do estudo de análise de risco da bacia Vargem das Flores, os bens a proteger serão os trabalhadores, usuários da via, residentes e o meio ambiente, em ambas as fases de implantação e de operação

No caso meio ambiente, este receptor está relacionado a Área de Proteção Especial (APE) de Vargem das Flores, mas principalmente seus cursos d'água, solos e água subterrânea pertencentes a sub-bacia que direcionam drenagem para o reservatório Vargem das Flores, uma vez que este reservatório é utilizado como fonte de abastecimento hídrico na região metropolitana de Belo Horizonte. a possibilidade de ocorrência de dano à sua qualidade é alta, dos quais é necessário observar os padrões de qualidade da Classe 1 pela Resolução CONAMA 357/2005.

No caso dos bens a proteger relacionados aos trabalhadores, usuários da via, e residentes, o foco é a proteção à saúde e a vida humana. Com relação a ocupação e industrialização da região, tem-se inúmeros comércios, indústrias, na região sudeste da bacia, além de fluxo intenso de pessoas, e de residências, creches, escolas, asilos, presídios, ambulatórios, casas de saúde, hospitais e afins.

Estima-se que no caso da ocorrência de um acidente envolvendo derramamento produtos perigosos, as consequências para os residentes e indústrias existentes nessa região, ficará restrita apenas aqueles que estiverem imediatamente no entorno da rodovia e na região sudoeste da bacia Vargem das Flores, uma vez que, o fluxo de transporte de contaminantes segue na direção sudoeste de acordo com o estudo apresentado no **ANEXO 18 - RODOANEL METROPOLITANO BH TRANSPORTE DE CONTAMINANTES VARGEM DAS FLORES**.

Os bens a proteger localizados na região sudeste da bacia não serão atingidos, dado que não estarão expostos à contaminação causada por acidentes e/ou derramamentos de produtos perigosos que possam ocorrer nas fases de implantação e operação do empreendimento.

5.8 Identificação de perigos

Para a identificação das possíveis sequências de eventos, associa-se os pontos notáveis do empreendimento, com a avaliação de possíveis cenários de acidentes envolvendo ocorrência de acidentes envolvendo cargas perigosas nas fases de implantação e operação da Alça Oeste ou acidentes/incidentes envolvendo substâncias perigosas no Canteiro de Obras 03, durante as fases de implantação, na região da APE Vargem das Flores.

O **Quadro 5.8-1** e **Quadro 5.8-2** apresentam os perigos mapeados, as causas prováveis, as respectivas fases do empreendimento e a relação destes com os pontos notáveis identificados de acordo com os riscos associados a construção temporária do Canteiro de Obras 03 e a construção definitiva da Alça Oeste, respectivamente. Também foram contemplados, os bens a proteger, que serão os trabalhadores, usuários da via, residentes e o meio ambiente, em ambas as fases de implantação e de operação.

Quadro 5.8-1 - Planilha de Análise de Risco da bacia Vargem das Flores associada a construção da estrutura temporária - Canteiro de Obras 03 – do Rodoanel Metropolitano BH.

Documento Ref.	Fases	Perigo	Ponto notável	Causa	Consequência	Meio Físico	Vias de Contato	Bens a proteger	Recomendações	Hipótese acidental
ANEXO 19 - RODOANEL METROPOLITANO BH ANÁLISE DE RISCO VARGEM DAS FLORES	Implantação	Derramamento de substâncias líquidas ou sólidas perigosas no Canteiro de Obras 03	- Córrego Morro Redondo	Acidente envolvendo tráfego de caminhão-tanque, contendo combustíveis, solventes, efluentes e resíduos, fertilizantes e defensivos agrícolas	- Explosão da substância química - Infiltração de contaminantes no subsolo - Inalação ou ingestão da substância química	- Ar - Água superficial - Sedimentos - Água subterrânea - Solos	- Inalação - Ingestão - Absorção Cutânea	- Trabalhadores da obra - Residentes - Meio Ambiente	<p>Medidas estruturantes e não estruturantes de caráter preventivo:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Implantação de dispositivos de drenagem associados a instalação de caixas coletoras de produtos perigosos em pontos estratégicos, para captar as substâncias químicas. - Controlar velocidade de veículos e máquinas envolvidos na construção, tanto dentro do perímetro das obras e canteiros, como nas vias vicinais às obras; - Verificar eficiência da sinalização de obra; - Dispor de equipamentos de combate à poluição em rios e garantir equipe capacitada para implantação desses dispositivos; - Implantação de cruzamentos em desnível, trevos, passarelas, barreiras para impedir ou reduzir as interfaces entre veículos, pedestres, ciclistas, rebanhos, etc. - Atendimento ao Programa Ambiental de Construção (PAC) e Programa de Gerenciamento de Risco (PGR). <p>Em caso de acidentes com substâncias perigosas:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Em caso de acidentes e/ou vazamentos, realizar a contenção imediata, remoção e acondicionamento do contaminante, incluindo solo e materiais contaminados; - Iniciar monitoramento da qualidade em mananciais que possam ter sido atingidos pelo vazamento; - Suspender captação de água de Poços tubulares cadastrados no CPRM na área de abrangência da pluma de contaminação; - Monitorar águas do Reservatório Vargem das Flores, caso o contato de substâncias perigosas em concentrações acima dos valores de referência (DN COPAM 166/2011 e CONAMA 357/2009) possam afetar a potabilidade da água do reservatório; - Atendimento ao Programa de Gerenciamento de Risco (PGR). 	H1
	Implantação	Derramamento de substância líquida perigosa no Canteiro de Obras 03	Áreas operacionais do Canteiro de Obras 03	- Mangueiras, com vazamento - Máquinas para desengraxe de peças com solventes clorados, com vazamento - Tanques de armazenamento de combustíveis ou solventes, com vazamento - Transformadores, com vazamento	- Infiltração de contaminantes no subsolo - Inalação ou ingestão da substância química	- Ar - Água superficial - Solos	- Inalação - Ingestão - Absorção Cutânea	- Trabalhadores da obra - Meio Ambiente	<p>Medidas estruturantes e não estruturantes de caráter preventivo:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Verificar as condições de manutenção dos tanques de combustíveis, mangueiras, transformadores, máquinas etc. <p>Em caso de acidentes com substâncias perigosas:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Em caso de acidentes e/ou vazamentos, realizar a contenção imediata, remoção e acondicionamento do contaminante, incluindo solo e materiais contaminados; - Iniciar monitoramento da qualidade em mananciais que possam ter sido atingidos pelo vazamento. 	H2

Quadro 5.8-2 - Planilha de Análise de Risco da bacia Vargem das Flores associada a construção da Alça Oeste do Rodoanel Metropolitano BH.

Documento Ref.	Fases	Perigo	Ponto notável	Causa	Consequência	Meio Físico	Vias de Contato	Bens a proteger	Recomendações	Hipótese acidental
ANEXO 19 - RODOANEL METROPOLITANO BH ANÁLISE DE RISCO VARGEM DAS FLORES	Implantação	Derramamento de substâncias líquidas ou sólidas perigosas na Alça Oeste	- Córrego da Lagoa - Córrego das Abóboras - Córrego Bela Vista - Ribeirão Betim	Acidente envolvendo tráfego de caminhão-tanque, contendo combustíveis, solventes, efluentes e resíduos, fertilizantes e defensivos agrícolas	- Explosão da substância química - Infiltração de contaminantes no subsolo - Inalação ou ingestão da substância química	- Ar - Água superficial - Sedimentos - Água subterrânea - Solos	- Inalação - Ingestão - Absorção Cutânea	- Trabalhadores da obra - Residentes - Meio Ambiente	<p>Medidas estruturantes e não estruturantes de caráter preventivo:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Construção de <i>wetlands</i> em pontos estratégicos para retenção de poluição difusa; - Implantação de dispositivos de drenagem associados a instalação de caixas coletoras de produtos perigosos em pontos estratégicos, para captar as substâncias químicas; - Dispor de equipamentos de combate à poluição em rios e garantir equipe capacitada para implantação desses dispositivos - Implantar sinalização e controle de velocidade em áreas de proteção de recursos hídricos de forma eficiente e abundante; - Atendimento ao Programa Ambiental de Construção (PAC) e Programa de Gerenciamento de Risco (PGR). <p>Em caso de acidentes com substâncias perigosas:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Em caso de acidentes e/ou vazamentos, realizar a contenção imediata, remoção e acondicionamento do contaminante, incluindo solo e materiais contaminados; - Iniciar monitoramento da qualidade em mananciais que possam ter sido atingidos pelo vazamento; - Suspender captação de água de Poços tubulares cadastrados no CPRM na área de abrangência da pluma de contaminação - Monitorar águas do Reservatório Vargem das Flores, caso o contato de substâncias perigosas em concentrações acima dos valores de referência (DN COPAM 166/2011 e CONAMA 357/2009) possam afetar a potabilidade da água do reservatório; - Atendimento ao Programa de Gerenciamento de Risco (PGR). 	H3
ANEXO 19 - RODOANEL METROPOLITANO BH ANÁLISE DE RISCO VARGEM DAS FLORES	Operação	Derramamento de substâncias líquidas ou sólidas perigosas na Alça Oeste	- Córrego da Lagoa - Córrego das Abóboras - Córrego Bela Vista - Ribeirão Betim	Acidente envolvendo tráfego de caminhão-tanque, contendo combustíveis, solventes, efluentes e resíduos, fertilizantes e defensivos agrícolas	- Explosão da substância química - Infiltração de contaminantes no subsolo - Inalação ou ingestão da substância química	- Ar - Água superficial - Sedimentos - Água subterrânea - Solos	- Inalação - Ingestão - Absorção Cutânea	- Usuários da via - Residentes - Meio Ambiente	<p>Medidas estruturantes e não estruturantes de caráter preventivo:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Controle de peso dos veículos de carga ao longo do traçado; - Manutenção de cruzamentos em desnível, trevos, passarelas, barreiras para impedir ou reduzir as interfaces entre veículos, pedestres, ciclistas, rebanhos, etc. - Dispor de equipamentos de combate à poluição em rios e garantir equipe capacitada para implantação desses dispositivos - Manter sinalização e controle de velocidade em áreas de proteção de recursos hídricos de forma eficiente e abundante; - Realizar manutenção periódica das drenagens, bueiros, <i>wetlands</i> e caixas de produtos perigosos, bem como a análise da sua eficiência; - Atendimento ao Programa de Gerenciamento de Risco (PGR). <p>Em caso de acidentes com substâncias perigosas:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Em caso de acidentes e/ou vazamentos, realizar a contenção imediata, remoção e acondicionamento do contaminante, incluindo solo e materiais contaminados; - Iniciar monitoramento da qualidade em mananciais que possam ter sido atingidos pelo vazamento; - Suspender captação de água de Poços tubulares cadastrados no CPRM na área de abrangência da pluma de contaminação; - Monitorar águas do Reservatório Vargem das Flores, caso o contato de substâncias perigosas em concentrações acima dos valores de referência (DN COPAM 166/2011 e CONAMA 357/2009) possam afetar a potabilidade da água do reservatório; - Atendimento ao Programa de Gerenciamento de Risco (PGR). 	H3
	Operação	Derramamento de substâncias líquidas ou sólidas perigosas na região do retorno BR-135	- Córrego das Abóboras - Retorno BR-135	Acidente envolvendo tráfego de caminhão-tanque, contendo combustíveis, solventes, efluentes e resíduos, fertilizantes e defensivos agrícolas	- Explosão da substância química - Infiltração de contaminantes no subsolo - Inalação ou ingestão da substância química	- Ar - Água superficial - Sedimentos - Água subterrânea - Solos	- Inalação - Ingestão - Absorção Cutânea	- Usuários da via - Residentes - Meio Ambiente	<p>Medidas estruturantes e não estruturantes de caráter preventivo:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Controle de peso dos veículos de carga ao longo do traçado; - Manutenção de cruzamentos em desnível, trevos, passarelas, barreiras para impedir ou reduzir as interfaces entre veículos, pedestres, ciclistas, rebanhos, etc. - Dispor de equipamentos de combate à poluição em rios e garantir equipe capacitada para implantação desses dispositivos - Manter sinalização e controle de velocidade em áreas de proteção de recursos hídricos de forma eficiente e abundante; - Realizar manutenção periódica das drenagens, bueiros, <i>wetlands</i> e caixas de produtos perigosos, bem como a análise da sua eficiência; - Atendimento ao Programa de Gerenciamento de Risco (PGR). <p>Em caso de acidentes com substâncias perigosas:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Em caso de acidentes e/ou vazamentos, realizar a contenção imediata, remoção e acondicionamento do contaminante, incluindo solo e materiais contaminados; - Iniciar monitoramento da qualidade em mananciais que possam ter sido atingidos pelo vazamento; - Suspender captação de água de Poços tubulares cadastrados no CPRM na área de abrangência da pluma de contaminação; - Monitorar águas do Reservatório Vargem das Flores, caso o contato de substâncias perigosas em concentrações acima dos valores de referência (DN COPAM 166/2011 e CONAMA 357/2009) possam afetar a potabilidade da água do reservatório; - Atendimento ao Programa de Gerenciamento de Risco (PGR). 	H4
	Operação	Derramamento de substâncias líquidas ou sólidas perigosas na região do retorno LMG-808	- Ribeirão Betim - Retorno LMG-808	Acidente envolvendo tráfego de caminhão-tanque, contendo combustíveis, solventes, efluentes e resíduos, fertilizantes e defensivos agrícolas	- Explosão da substância química - Infiltração de contaminantes no subsolo - Inalação ou ingestão da substância química	- Ar - Água superficial - Sedimentos - Água subterrânea - Solos	- Inalação - Ingestão - Absorção Cutânea	- Usuários da via - Residentes - Meio Ambiente	<p>Medidas estruturantes e não estruturantes de caráter preventivo:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Controle de peso dos veículos de carga ao longo do traçado; - Manutenção de cruzamentos em desnível, trevos, passarelas, barreiras para impedir ou reduzir as interfaces entre veículos, pedestres, ciclistas, rebanhos, etc. - Dispor de equipamentos de combate à poluição em rios e garantir equipe capacitada para implantação desses dispositivos - Manter sinalização e controle de velocidade em áreas de proteção de recursos hídricos de forma eficiente e abundante; - Realizar manutenção periódica das drenagens, bueiros, <i>wetlands</i> e caixas de produtos perigosos, bem como a análise da sua eficiência; - Atendimento ao Programa de Gerenciamento de Risco (PGR). <p>Em caso de acidentes com substâncias perigosas:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Em caso de acidentes e/ou vazamentos, realizar a contenção imediata, remoção e acondicionamento do contaminante, incluindo solo e materiais contaminados; - Iniciar monitoramento da qualidade em mananciais que possam ter sido atingidos pelo vazamento; - Suspender captação de água de Poços tubulares cadastrados no CPRM na área de abrangência da pluma de contaminação; - Monitorar águas do Reservatório Vargem das Flores, caso o contato de substâncias perigosas em concentrações acima dos valores de referência (DN COPAM 166/2011 e CONAMA 357/2009) possam afetar a potabilidade da água do reservatório; - Atendimento ao Programa de Gerenciamento de Risco (PGR). 	H5
	Operação	Derramamento de substâncias líquidas ou sólidas perigosas na região do retorno Estrada Sapucaia Solar da Madeira	- Córrego Bela Vista - Retorno Estrada Sapucaia Solar da Madeira	Acidente envolvendo tráfego de caminhão-tanque, contendo combustíveis, solventes, efluentes e resíduos, fertilizantes e defensivos agrícolas	- Explosão da substância química - Infiltração de contaminantes no subsolo - Inalação ou ingestão da substância química	- Ar - Água superficial - Sedimentos - Água subterrânea - Solos	- Inalação - Ingestão - Absorção Cutânea	- Usuários da via - Residentes - Meio Ambiente	<p>Medidas estruturantes e não estruturantes de caráter preventivo:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Controle de peso dos veículos de carga ao longo do traçado; - Manutenção de cruzamentos em desnível, trevos, passarelas, barreiras para impedir ou reduzir as interfaces entre veículos, pedestres, ciclistas, rebanhos, etc. - Dispor de equipamentos de combate à poluição em rios e garantir equipe capacitada para implantação desses dispositivos - Manter sinalização e controle de velocidade em áreas de proteção de recursos hídricos de forma eficiente e abundante; - Realizar manutenção periódica das drenagens, bueiros, <i>wetlands</i> e caixas de produtos perigosos, bem como a análise da sua eficiência; - Atendimento ao Programa de Gerenciamento de Risco (PGR). <p>Em caso de acidentes com substâncias perigosas:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Em caso de acidentes e/ou vazamentos, realizar a contenção imediata, remoção e acondicionamento do contaminante, incluindo solo e materiais contaminados; - Iniciar monitoramento da qualidade em mananciais que possam ter sido atingidos pelo vazamento; - Suspender captação de água de Poços tubulares cadastrados no CPRM na área de abrangência da pluma de contaminação; - Monitorar águas do Reservatório Vargem das Flores, caso o contato de substâncias perigosas em concentrações acima dos valores de referência (DN COPAM 166/2011 e CONAMA 357/2009) possam afetar a potabilidade da água do reservatório; - Atendimento ao Programa de Gerenciamento de Risco (PGR). 	H6

5.9 Hipóteses Acidentais

As hipóteses acidentais foram formuladas a partir de todos os perigos identificados, conforme mostrado no **Quadro 5.9-1**.

Quadro 5.9-1 – Hipóteses acidentes relacionados as fases de implantação e operação do Rodoanel Metropolitano BH.

ID	FASE	HIPOTEESES ACIDENTAIS
H1	Implantação	Derramamento de substâncias líquidas ou sólidas perigosas próximo ao Córrego Morro Redondo devido ao acidente envolvendo tráfego de caminhão-tanque, contendo combustíveis, solventes, efluentes e resíduos, fertilizantes e defensivos agrícolas
H2	Implantação	Derramamento de substância líquida perigosa no Canteiro de Obras 03 devido a falta de manutenção dos tanques de combustíveis, mangueiras, transformadores, máquinas, podendo resultar em infiltração de contaminantes no subsolo e/ou inalação ou ingestão da substância química, afetando os trabalhadores da obra
H3	Implantação/ operação	Derramamento de substâncias líquidas ou sólidas perigosas próximo aos Córregos da Lagoa, das Abóboras, Bela Vista e Ribeirão Betim devido ao acidente envolvendo tráfego de caminhão-tanque, contendo combustíveis, solventes, efluentes e resíduos, fertilizantes e defensivos agrícolas
H4	Operação	Derramamento de substâncias líquidas ou sólidas perigosas, devido ao acidente na região do retorno BR-135, envolvendo tráfego de caminhão-tanque, contendo combustíveis, solventes, efluentes e resíduos, fertilizantes e defensivos agrícolas
H5	Operação	Derramamento de substâncias líquidas ou sólidas perigosas, devido ao acidente na região do retorno LMG-808, envolvendo tráfego de caminhão-tanque, contendo combustíveis, solventes, efluentes e resíduos, fertilizantes e defensivos agrícolas
H6	Operação	Derramamento de substâncias líquidas ou sólidas perigosas, devido à acidente na região do retorno Estrada Sapucaia Solar da Madeira, envolvendo tráfego de caminhão-tanque, contendo combustíveis, solventes, efluentes e resíduos, fertilizantes e defensivos agrícolas

Ressalta-se que, as hipóteses acidentais listadas no **Quadro 5.9-1** contemplam os pontos notáveis mapeados ao longo da rodovia e no Canteiro de Obras 03. Dessa forma, a formulação de hipótese foi realizada com base nos cenários mais críticos de acidente/incidente decorrentes da operação da rodovia. Nos demais trechos do traçado também é possível a ocorrência de significativa contaminação do subsolo, entretanto, a pluma de contaminação tenderá a espalhar de maneira mais lenta, sendo possível estabelecer medidas mitigadoras em tempo mais hábil.

6 RECOMENDAÇÕES

Para os pontos notáveis, dos quais a resposta ao acidente/incidente precisa ser imediata, são listadas uma série de recomendações/sugestões de medidas preventivas para serem instaladas em pontos estratégicos. Tais medidas possuem o objetivo de retardar ou cessar por completo o alcance de uma possível pluma de contaminação aos pontos notáveis. Além destas, também são recomendadas medidas mitigadoras capazes de impedir e/ou diminuir o contato dos trabalhadores, residentes, indústrias e usuários da via com a fonte de contaminação. As recomendações estão relacionadas as fases de implantação e operação individualmente.

As recomendações para prevenção de acidentes ou derramamentos envolvendo cargas perigosas, que possam se tornar fontes de contaminação na região em estudo – sendo priorizados possíveis contaminantes decorrentes da operação da rodovia, tais como óleos e graxas, demais hidrocarbonetos, pesticidas, dentre outros, são apresentados no **Quadro 5.9-1** para o Canteiro de Obras 03 e para a região da Alça Oeste.

Quadro 5.9-1 – Recomendações relacionadas as fases de implantação e operação do Rodoanel Metropolitano BH.

FASES	RECOMENDAÇÕES
Implantação – Canteiro de Obras 03	<p>Medidas estruturantes e não estruturantes de caráter preventivo:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Implantação de dispositivos de drenagem associados a instalação de caixas coletoras de produtos perigosos em pontos estratégicos, para captar as substâncias químicas. - Controlar velocidade de veículos e máquinas envolvidos na construção, tanto dentro do perímetro das obras e canteiros, como nas vias vicinais às obras; - Verificar eficiência da sinalização de obra; - Dispor de equipamentos de combate à poluição em rios e garantir equipe capacitada para implantação desses dispositivos; - Implantação de cruzamentos em desnível, trevos, passarelas, barreiras para impedir ou reduzir as interfaces entre veículos, pedestres, ciclistas, rebanhos etc. - Verificar as condições de manutenção dos tanques de combustíveis, mangueiras, transformadores, máquinas etc. - Atendimento ao Programa Ambiental de Construção (PAC) e Programa de Gerenciamento de Risco (PGR). <p>Em caso de acidentes com substâncias perigosas:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Em caso de acidentes e/ou vazamentos, realizar a contenção imediata, remoção e acondicionamento do contaminante, incluindo solo e materiais contaminados; - Iniciar monitoramento da qualidade em mananciais que possam ter sido atingidos pelo vazamento; - Suspender captação de água de Poços tubulares cadastrados no CPRM na área de abrangência da pluma de contaminação; - Monitorar águas do Reservatório Vargem das Flores, caso o contato de substâncias perigosas em concentrações acima dos valores de referência (DN COPAM 166/2011 e CONAMA 357/2009) possam afetar a potabilidade da água do reservatório; - Atendimento ao Programa de Gerenciamento de Risco (PGR).
Implantação – Alça Oeste	<p>Medidas estruturantes e não estruturantes de caráter preventivo:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Construção de wetlands em pontos estratégicos para retenção de poluição difusa; - Implantação de dispositivos de drenagem associados a instalação de caixas coletoras de produtos perigosos em pontos estratégicos, para captar as substâncias químicas; - Dispor de equipamentos de combate à poluição em rios e garantir equipe capacitada para implantação desses dispositivos - Implantar sinalização e controle de velocidade em áreas de proteção de recursos hídricos de forma eficiente e abundante; - Atendimento ao Programa Ambiental de Construção (PAC) e Programa de Gerenciamento de Risco (PGR).

FASES	RECOMENDAÇÕES
Implantação – Alça Oeste	<p>Em caso de acidentes com substâncias perigosas:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Em caso de acidentes e/ou vazamentos, realizar a contenção imediata, remoção e acondicionamento do contaminante, incluindo solo e materiais contaminados; - Iniciar monitoramento da qualidade em mananciais que possam ter sido atingidos pelo vazamento; - Suspender captação de água de Poços tubulares cadastrados no CPRM na área de abrangência da pluma de contaminação - Monitorar águas do Reservatório Vargem das Flores, caso o contato de substâncias perigosas em concentrações acima dos valores de referência (DN COPAM 166/2011 e CONAMA 357/2009) possam afetar a potabilidade da água do reservatório; - Atendimento ao Programa de Gerenciamento de Risco (PGR).
Operação – Alça Oeste	<p>Medidas estruturantes e não estruturantes de caráter preventivo:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Controle de peso dos veículos de carga ao longo do traçado; - Manutenção de cruzamentos em desnível, trevos, passarelas, barreiras para impedir ou reduzir as interfaces entre veículos, pedestres, ciclistas, rebanhos etc. - Dispor de equipamentos de combate à poluição em rios e garantir equipe capacitada para implantação desses dispositivos - Manter sinalização e controle de velocidade em áreas de proteção de recursos hídricos de forma eficiente e abundante; - Realizar manutenção periódica das drenagens, bueiros, wetlands e caixas de produtos perigosos, bem como a análise da sua eficiência; - Atendimento ao Programa de Gerenciamento de Risco (PGR). <p>Em caso de acidentes com substâncias perigosas:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Em caso de acidentes e/ou vazamentos, realizar a contenção imediata, remoção e acondicionamento do contaminante, incluindo solo e materiais contaminados; - Iniciar monitoramento da qualidade em mananciais que possam ter sido atingidos pelo vazamento; - Suspender captação de água de Poços tubulares cadastrados no CPRM na área de abrangência da pluma de contaminação; - Monitorar águas do Reservatório Vargem das Flores, caso o contato de substâncias perigosas em concentrações acima dos valores de referência (DN COPAM 166/2011 e CONAMA 357/2009) possam afetar a potabilidade da água do reservatório; - Atendimento ao Programa de Gerenciamento de Risco (PGR).

7 ANÁLISE DE INCERTEZAS

As incertezas associadas a análise de risco da bacia Vargem das Flores, associada à construção do Rodoanel, estão especialmente relacionadas à incerteza da substância química de interesse que está envolvida nessa análise. Isso ocorre, pois como foi mencionado ao longo do texto, não há nenhuma contaminação comprovada na região, o que torna impossível estimar as características físico-químicas que necessitam de detalhamento. Portanto, entende-se que este estudo é de caráter preliminar e deverá ser atualizado com resultados de levantamento de dados primários, em caso de ocorrência de uma contaminação.

Por isso, também não é possível estimar a duração e quantidade do vazamento, local exato do acidente/incidente, quantidade de pessoas envolvidas e o alcance da pluma.

Na impossibilidade de caracterizar adequadamente as propriedades físicas, químicas e toxicológicas de uma possível fonte de contaminação, adotou-se o composto Benzeno como foco do estudo de transporte de contaminantes (**ANEXO 18 - RODOANEL METROPOLITANO BH TRANSPORTE DE CONTAMINANTES VARGEM DAS FLORES**), uma vez que, o Benzeno apresenta maior grau de periculosidade e consiste em uma substância comprovadamente carcinogênica. Dessa forma, as aproximações do **ANEXO 18**, resultaram em análise dos piores cenários de uma contaminação na região da APA Vargem das Flores, bem como a verificação das velocidades do fluxo subterrâneo do transporte de contaminantes, sendo, portanto, suficientes para essa etapa de Estudo de Licenciamento Ambiental do Rodoanel Metropolitano BH.

8 CONCLUSÃO

A análise de risco da bacia Vargem das Flores, no contexto do empreendimento do Rodoanel Metropolitano BH, visou a avaliação de riscos considerando várias hipóteses acidentais, bem como recomendações para prevenção de acidentes ou derramamentos envolvendo cargas perigosas, que possam se tornar fontes de contaminação na região em estudo, que compreendem mananciais de grande relevância hídrica e sistemas aquíferos granulares e fraturados, que contribuem para abastecimento hídrico da metropolitana de Belo Horizonte.

Os pontos notáveis foram correlacionados aos locais onde o traçado da rodovia intercepta cursos d'água, além de retornos na rodovia, nos quais pode ocorrer acidentes, caso as manobras não sejam realizadas sem a devida cautela.

Foram definidos como possíveis causas de contaminação por produtos perigosos (líquidos e/ou sólidos), a falta de manutenção ou armazenamento inadequado, além de acidentes rodoviários envolvendo combustíveis, solventes, efluentes e resíduos, fertilizantes, defensivos agrícolas e outros produtos perigosos, que poderão correr no traçado e/ou no Canteiro de Obras 03.

Considera-se o estudo desenvolvido nesse documento, como de caráter preliminar, dada a incerteza da substância química de interesse por não haver nenhuma contaminação comprovada na região de interesse. Na ocorrência de um derramamento acidental envolvendo óleos e graxas, demais hidrocarbonetos, pesticidas, dentre outros, seja na fase de implantação ou de operação, esse documento deverá ser atualizado com base em dados primários de qualidade da água subterrânea e qualidade de solos.

Na ocorrência de um derramamento de substâncias perigosas, líquidas ou sólidas, as consequências estarão associadas a possibilidade de explosão da substância química, infiltração de contaminantes no subsolo, captação dos contaminantes pelos cursos d'água superficiais e a inalação ou ingestão da substância química por trabalhadores/residentes/usuários da via. A captação de água subterrânea em poços de produção de água e o Reservatório Vargem das Flores, o qual é usado como fonte de abastecimento de hídrico para consumo humano da região metropolitana de BH, poderão ser afetados, a depender da magnitude do acidente e da possível fonte de contaminação.

Em função da vulnerabilidade da região, foram feitas recomendações com diferentes temáticas, a depender da fase do empreendimento (implantação ou operação) e a depender dos perigos associados. Tais recomendações estão associadas a: medidas estruturantes e não estruturantes de caráter preventivo e medidas em caso de acidentes com substâncias perigosas.

Dentre as recomendações, destaca-se a necessidade de construção de wetlands para retenção de poluição difusa, e a necessidade de implantação de dispositivos de drenagem associados a instalação de caixas coletoras de produtos perigosos, ambos devem ser realizados em pontos estratégicos, associados aos pontos notáveis identificados no contexto desse documento, para captar as substâncias químicas, que possam ser derramadas em virtude de um acidente na rodovia.

Em caso de acidentes e/ou vazamentos, recomenda-se realizar a contenção imediata, remoção e acondicionamento do contaminante, incluindo solo e materiais contaminados, além de iniciar monitoramento da qualidade em mananciais que possam ter sido atingidos pelo vazamento e verificar a necessidade de suspender captação de água de Poços tubulares cadastrados no CPRM na área de abrangência da pluma de contaminação. No caso deste último, será necessário consultar atualizações do **ANEXO 18 - RODOANEL METROPOLITANO BH TRANSPORTE DE CONTAMINANTES VARGEM DAS FLORES**, que serão realizadas no caso de acidente envolvendo produtos perigosos.

Nesse contexto, ressalta-se que está sendo previsto no **Volume 7 – Programas Ambientais**, a realização Subprograma de Monitoramento de Qualidade de Águas Subterrâneas e Solos, conforme preconizado na DD038/2017 CETESB em seu Anexo I, nos pontos notáveis (áreas de retorno, interceptação de cursos d'água superficiais e Canteiro de Obras 03), com a finalidade de propiciar a delimitação total tridimensional de todas possíveis plumas de contaminação de águas subterrâneas, relacionadas às possíveis contaminações já existentes.

Além disso, esse subprograma visa o monitoramento preventivo, bem como o conhecimento concentração máxima aceitável (CMA) de uma SQI em contato com o bem a proteger, no caso de acidentes com vazamentos e/ou derramamentos de produtos perigosos na região da bacia Vargem das Flores.

Nesse contexto, ressalta-se que no caso da concretização do fato, os órgãos ambientais indicam que as tomadas de decisão sigam as conclusões da análise de risco e que medidas mitigatórias sejam apresentadas no PGR (Programa de Gerenciamento de Risco), que será elaborado nas próximas etapas dos estudos de licenciamento ambiental desse EIA.

9 REFERÊNCIAS

BARBOSA G. V.; RODRIGUES D. M. S. **O Quadrilátero Ferrífero e seus problemas Geomorfológicos**. Belo Horizonte: Boletim Mineira de Geografia, 10/11: 3-35. 1965.

BRASIL. Ministério da Saúde. **PORTARIA GM/MS Nº 888 de 2021**. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. 2021.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. 2005.

BRASIL. Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil, Agência Nacional de Transportes Terrestres, Diretoria Colegiada. **Resolução Nº 5.232, de 14 de dezembro de 2016**. Aprova as Instruções Complementares ao Regulamento Terrestre do Transporte de Produtos Perigosos, e dá outras providências. 2016.

BRASIL. **Deliberação Normativa COPAM nº 166, de 29 de junho de 2011**. Altera o Anexo I da Deliberação Normativa Conjunta COPAM CERH nº 2 de 6 de setembro de 2010, estabelecendo os Valores de Referência de Qualidade dos Solos.

BRASIL. **Decreto nº 20.793, de 8 de setembro de 1980**. Define como de interesse especial, para proteção de mananciais, terrenos situados na bacia hidrográfica do reservatório de Vargem das Flores. 1980.

BRASIL. **Deliberação Normativa COPAM nº 14 de 1995**. Dispõe sobre o enquadramento das águas da Bacia do rio Paraopeba. 1995.

BRASIL. Associação Brasileira de Transporte e Logística de Produtos Perigosos - ABTLP. **Ocorrências no Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos no Estado de São Paulo - 2022**. 2023. Disponível em: <<https://www.abtlp.org.br/wp-content/uploads/2023/06/Relatorio-de-Ocurrencias-2023.pdf>>. Acessado em: 26/01/2024.

CASTRO, P. T. A.; ENDO, I.; GANDINI, A. L. **Quadrilátero Ferrífero: avanços do conhecimento nos últimos 50 anos**. Belo Horizonte: 3i editora, 2020. 480 p.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. **Decisão de Diretoria nº 038/2017/C, de 07 fevereiro de 2017**. Dispõe sobre a aprovação do “Procedimento para a Proteção da Qualidade do Solo e das Águas Subterrâneas”, da revisão do “Procedimento para o Gerenciamento de Áreas Contaminadas” e estabelece “Diretrizes para Gerenciamento de Áreas Contaminadas no Âmbito do Licenciamento Ambiental”, em função da publicação da Lei Estadual nº 13.577/2009 e seu Regulamento, aprovado por meio do Decreto nº 59.263/2013, e dá outras providências.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. **NORMA TÉCNICA P4.261. Risco de Acidente de Origem Tecnológica - Método para decisão e termos de referência**. 2 ed., p.140, dezembro 2011.

CORSEUIL, H. X.; MARINS, M. D. M. **Contaminação de águas subterrâneas por derramamentos de gasolina: o problema é grave?** Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, v.2, n.2, p.50-54, 1997. Disponível em: <http://13ambiental.com.br/wp-content/uploads/2017/01/Contaminacao-de-Aguas.pdf>. Acesso em: 07 nov. 2023

FIUME, Bruna; SENHORINHO, Eliel Martins; NASCIMENTO, Flávia Maria de Fátima; MIRANDA, Janaína Simone Neves; ABREU, Márcio Costa; PAULA, Thiago Luiz Feijó de. **Mapa hidrogeológico do estado de Minas Gerais: área Sudeste (SE)**. [S.l]: Serviço Geológico do Brasil - CPRM, 2022. 1 mapa, color. Escala 1:500.000.

SECRETÁRIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTOSUSTENTÁVEL. **Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – SISEMA. Infraestrutura de Dados Espaciais - IDE-SISEMA**. 2022.

Lopes et al. 2007. Percepção ambiental da comunidade imediata ao entorno do “Parque” municipal Felisberto Neves, Betim – MG. **Sinapse Ambiental**, v.4, n.2, p.15, 2007.

Lopes et. al. 2001. Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas. Projeto CETESB – GTZ. Governo do Estado de São Paulo Secretaria do Meio Ambiente CETESB - Cia. de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Cooperação Técnica Brasil – Alemanha. 2ed, p.595, 2001.

Lopes et. al. 2022. Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas. Projeto CETESB – GTZ. Governo do Estado de São Paulo Secretaria do Meio Ambiente CETESB - Cia. de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Cooperação Técnica Brasil – Alemanha. 2ed, p.595, 2022.

Governo do Estado de Minas Gerais. Secretaria de Estado de Transportes e Obras Públicas. Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de Minas Gerais - DER/MG. **Manual de procedimentos ambientais em empreendimentos rodoviários**. 2008.

Ministério de Minas e Energia (MME). **Sistema de Informações de Águas Subterrâneas – SIAGAS**. Serviço Geológico do Brasil – CPRM. Acesso em: < SGB - Serviço Geológico do Brasil - SIAGAS>. Atualizado em 28/01/2024.

NOCE, C. M.; TEIXEIRA, W.; MACHADO, N. **Geoquímica dos gnaisses TTGse granitoides nearqueanos do Complexo Belo Horizonte, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais**. Revista Brasileira de Geociências, vol. 27 (1), p. 25-32, 1997. Disponível em: <http://bjg.siteoficial.ws/1997/n.1/3.pdf>. Acesso em: 27 nov. 2023

Oliveira, L. I. de; Loureiro, C. de O. (1998). Contaminação de aquíferos por combustíveis orgânicos em Belo Horizonte: avaliação preliminar. **Revista Águas Subterrâneas**. Acesso em:<<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/22287>>.

SANTOS, S. P. dos. **Morfometria, compartimentação e hidrodinâmica de um reservatório periurbano tropical: prognósticos sobre o tempo de vida útil do reservatório de Vargem das Flores, Minas Gerais – Brasil**. 2012. Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Conservação e Manejo de Vida Silvestre, do Instituto de Ciências Biológicas, da Universidade Federal de Minas Gerais (Dissertação de Mestrado). p.136, 2012.

SILVA, R. L. B.; Barra C. M.; Monteiro, T. C. N.; Brilhante O. M. 2002. **Estudo da contaminação de poços rasos por combustíveis orgânicos e possíveis consequências para a saúde pública no Município de Itaguaí, Rio de Janeiro, Brasil**. Cad. Saúde Pública, Rio de Janeiro, 18(6):1599-1607, nov-dez, 2002.