



Fórum Permanente São Francisco

**Considerações sobre os documentos de estudos do Rodoanel  
Metropolitano de Belo Horizonte realizados pelo Governo de  
Minas Gerais**

Belo Horizonte, 3 de março de 2021



## Sumário

<b>1</b>	<b>Introdução</b> .....	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Análise da proposta apresentada pelo Governo de MG</b> .....	<b>3</b>
2.1	Sobre a verba destinada à construção do Rodoanel.....	3
2.2	Sobre os documentos do Rodoanel disponibilizados pelo Governo para consulta Pública	4
2.2.1	Sobre o traçado da Alça Sul.....	4
2.2.2	Rodoanel, por quê e para quê?.....	7
2.3	Sobre a compensação ao município de Brumadinho pelo desastre do Córrego do Feijão	8
2.4	Sobre os conceitos de projeto dos túneis .....	12
2.5	Sobre os estudos para mitigação dos impactos ambientais devido à construção do Rodoanel .....	13
2.6	Sobre os estudos geológicos/geotécnicos que fundamentam a escolha pelo traçado 1C da Alça Sul do Rodoanel .....	16
2.6.1	Cenário Geral.....	16
2.6.2	Do ponto de vista Geológico/Geotécnico .....	17
2.6.3	Do ponto de vista da hidrogeologia .....	19
2.6.4	Do ponto de vista da hidrografia.....	46
2.6.5	Sobre aspectos espeleológicos.....	56
2.7	Sobre o projeto de túneis rodoviários .....	57
2.8	Sobre a segurança nos túneis.....	61
2.9	Análise de riscos .....	66
2.10	Sobre a declividade de trechos do Rodoanel e a segurança de motoristas e passageiros	68
2.11	Sobre a existência de sítios arqueológicos e/ou históricos que serão prejudicados com a instalação da Alça Sul do Rodoanel.....	71



2.12	Sobre a possibilidade de minimizar os impactos sociais negativos, e maximizar os positivos, relativos à instalação do Rodoanel .....	78
2.13	Sobre a proximidade de túneis com minerações ativas .....	81
2.14	Sobre os impactos econômicos da construção e funcionamento do Rodoanel .....	81
2.14.1	Geral .....	81
2.14.2	Análise preliminar do CAPEX – Alternativa 1B da Alça Sul.....	82
2.14.3	Análise preliminar do CAPEX – Alternativa 1C da Alça Sul.....	84



## 1 Introdução

Esse documento tem como objetivo procurar contribuir de forma positiva para com o processo de consolidação do projeto do Rodoanel da Região Metropolitana de Belo Horizonte. Cientes dos grandes desafios de toda ordem que devem ser enfrentados e da necessidade de análise e aprofundamento de alternativas, nós, do Fórum Permanente São Francisco – FPSF, esperamos que as considerações do presente relatório possam ser úteis para a seleção daquela que apresente a melhor relação benefício x custo, relação essa que considere todos os aspectos de um projeto dessa envergadura: condições sociais, ambientais, técnicas, econômicas, legais etc.

Nesse sentido, esse Relatório apresenta uma análise de parte dos documentos concernentes aos estudos do Rodoanel, disponibilizados para consulta pública pelo Governo de MG por meio do seguinte link a **partir do dia 5/2/2021**:

<https://www2.bdmg.mg.gov.br/Paginas/data-room.aspx>

Cabe informar que a análise constante desse Relatório foi feita preponderantemente sobre a Alça Sul, devido às dificuldades de projeto inerentes às características da região e à diversidade de impactos potenciais que resultariam do traçado proposto pelo Governo para essa Alça. Adicionalmente, a maioria dos participantes do Comitê Técnico do Fórum São Francisco que trabalharam na análise conhece bem melhor a região e os problemas relacionados a possíveis trajetos da Alça Sul. Uma análise completa, abrangendo todas as Alças do Rodoanel, demandaria estudos e tempo que ultrapassam a disponibilidade atual dos participantes do citado Comitê. Não obstante, são feitas algumas considerações sobre as demais alças.

O documento foi elaborado por uma equipe técnica multidisciplinar de membros do Fórum Permanente São Francisco (FPSF), incluindo engenheiros, geólogos de formação geral e especialistas (hidrogeólogos), advogados, professores, escritores, jornalistas. Para alguns aspectos foram consultados técnicos de competências específicas que não fazem parte do Fórum Permanente São Francisco.

Pretendendo ter caráter propositivo, como assinalado, um próximo documento, ainda em fase de preparação, apresentará um traçado alternativo para a Alça Sul do Rodoanel, com justificativas técnicas.

A análise da proposta apresentada pelo Governo não dispensa, de forma alguma, a realização de um trabalho semelhante a esse relativo às Alças Norte, Leste e Oeste. Pelo contrário, considera-se a ação de extrema necessidade e os técnicos que elaboraram o presente documento se colocam à disposição para contribuir com grupos que se proponham a realizar tal trabalho.

## 2 Análise da proposta apresentada pelo Governo de MG

### 2.1 Sobre a verba destinada à construção do Rodoanel

Em consonância com a opinião de um grande número de pessoas e de entidades, pensamos ser questionável o fato de a construção do Rodoanel ser custeada com parte de uma verba de Reparação, obtida por meio de acordo do Estado de MG com a Vale S.A, responsável pelo



rompimento da Barragem do Córrego do Feijão, em 25 de janeiro de 2019, que causou a morte de 272 pessoas e um desastre ambiental de dimensões gigantescas.

Ainda que os danos causados por esse acidente tenham se estendido para além de Brumadinho, os de maior impacto imediato foram relacionados a esse município. Entretanto, nem os atingidos nem a municipalidade de Brumadinho e das demais cidades participaram das negociações que levaram ao acordo com a Vale, nem foram consultados sobre a destinação da verba do acordo. Julgamos ser indispensável que o governo justifique essa conduta perante os municípios e seus atingidos.

A construção do Rodoanel vai gerar impactos físicos (geológico, hidrológico e edáficos), bióticos (flora e fauna, incluindo áreas protegidas por lei e unidades de conservação) e antrópico (social e econômico, incluindo sítios histórico-arqueológicos-culturais), que afetam de formas diferenciadas o ambiente e as populações que vivem nas regiões onde ele deve instalar-se.

Considerando que é inevitável o impacto ambiental causado pelo Rodoanel, cabe uma pergunta de argumento lógico: é coerente se usar uma verba de Reparação por desastre ambiental em empreendimento que causará danos ambientais?

A resposta a essa pergunta não pretende ir contra a construção do Rodoanel, mas sim questionar a destinação da verba que será usada para construí-lo, do ponto de vista racional e também ético.

Considerando que a origem da verba a ser usada para a construção do Rodoanel e a proposta de traçado do mesmo, bem como seus impactos, são questões de natureza distinta, procederemos, nos tópicos seguintes, à análise da proposta do Governo de MG, deixando o questionamento levantado para uma outra ação.

## 2.2 Sobre os documentos do Rodoanel disponibilizados pelo Governo para consulta Pública

### 2.2.1 Sobre o traçado da Alça Sul

O traçado considerado final pelo Governo de MG que consta dos documentos disponibilizados no link em epígrafe, está reproduzido na Figura 1 a seguir e compreende os seguintes trechos e respectivas extensões aproximadas, que somam 100,5 km: NORTE (44 km), OESTE (26 km), SU-DOESTE (13 km) e SUL (17,5 km).

A alternativa final (denominada 1C) de traçado da Alça Sul do Rodoanel da RMBH, selecionada pelo Governo de MG e disponibilizada no link em epígrafe, é constituída por túnel sob a Serra do Rola Moça até às proximidades do bairro Casa Branca, de Brumadinho, e daí segue por pistas e viadutos na superfície, ao pé da Serra do Ouro Fino, a nordeste de Casa Branca, até túnel duplo em contraforte da Serra da Moeda (no trecho denominado Serra da Calçada). Esse túnel duplo (duas pistas em cada sentido) desemboca na BR 040 em frente à área do Condomínio Miguelão.



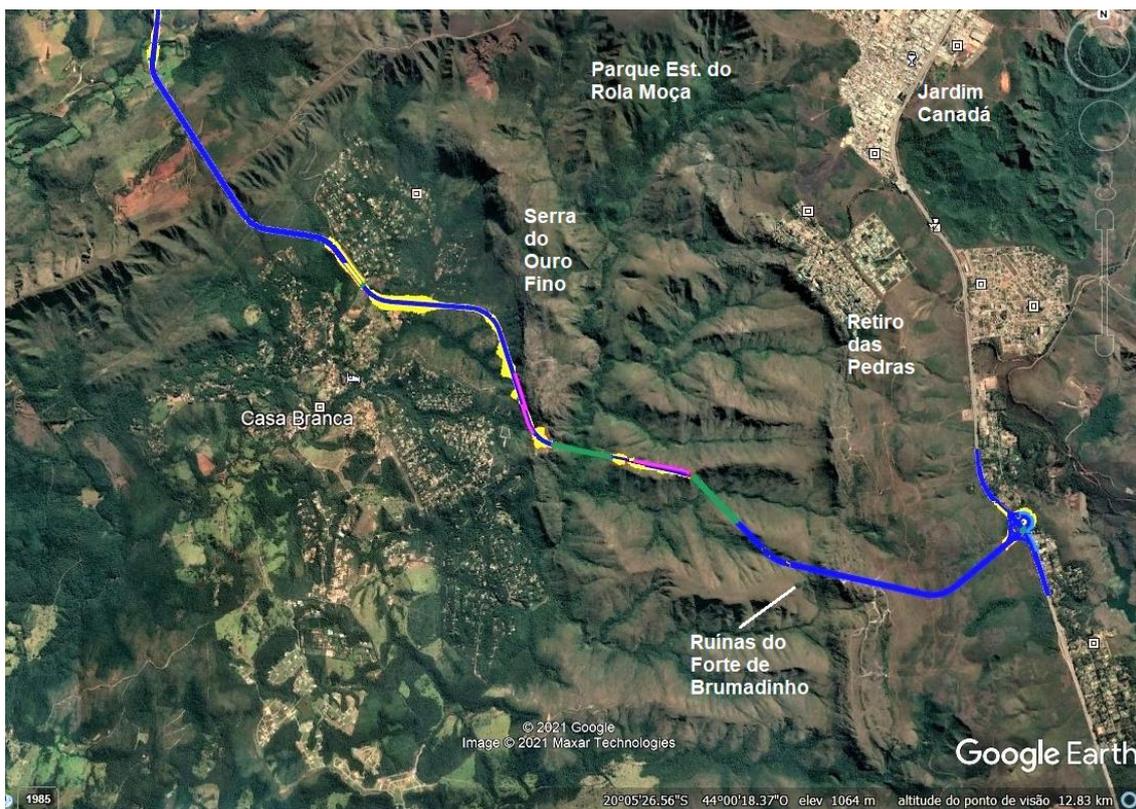
Fig. 1 – Traçado geral do Rodoanel de BH

Não nos foi possível encontrar entre os documentos disponibilizados para consulta pública um que descreva quais foram os outros traçados alternativos estudados e que apresente a avaliação e a comparação técnica e econômica das diversas alternativas, justificando os motivos pelos quais a alternativa final foi selecionada e as demais descartadas.

A Alternativa 1C da Alça Sul, mostrada na Fig. 1, foi incluída entre os documentos do link na forma de um arquivo “.kmz” (Google Earth) e, por sua denominação pode-se concluir que foram estudadas pelo menos as alternativas de denominação 1A e 1B, o que reforça a necessidade de que sejam disponibilizados para consulta pública os estudos relativos a essas alternativas e os motivos pelos quais foram descartadas.

Em reunião realizada com membros do Governo MG e da AMDA (Associação Mineira de Defesa do Ambiente) em 9/2/2021, com presença de um representante do FPSF, a Subsecretária de Infraestrutura - MG, Mônica Lana, informou que foram estudadas alternativas e que a Secretaria de Infraestrutura (SEINFRA) decidiu por não incluir os documentos a elas referentes entre os disponibilizados por meio do Link, sob a alegação de que isso dificultaria a compreensão da proposta apresentada. Assim, embora o Governo afirme que fez estudos de várias alternativas de traçado, não os disponibilizou no link, o que impede da população não apenas conhecer tais alternativas como saber por quais motivos técnicos, sociais, ambientais e econômicos elas foram descartadas.

É preciso destacar que a documentação disponibilizada pela SEINFRA-MG inclui dois conjuntos de desenhos (planta e perfil) relativos a projetos geométricos. Num deles, o traçado dos túneis sob as serras do Rola Moça e Moeda / Calçada é aquele da Alternativa 1C do Trecho Sul (Fig. 1). Trata-se dos desenhos RS-GM-05A-13-06, 07 e 08 (Rola Moça) e RS-GM-05A-13-11, 12 e 13 (Moeda / Calçada). Essa alternativa é mostrada ainda no arquivo denominado “Rodoanel BH unificado R2.kmz”. Os desenhos são datados de Nov./2020 e foram elaborados pela empresa Accenture Consulting, contratada pelo Governo de MG. Nessa alternativa, é previsto um túnel sob a serra do Rola Moça e outro sob da Moeda/Calçada. A figura abaixo mostra o traçado da alternativa:



**Fig. 2 – Traçado da alternativa 1C da Alça Sul (Final)**

No outro conjunto de plantas e perfis, o traçado dos túneis sob as serras do Rola Moça / Calçada (ver Fig. 2 abaixo) é aquele do “eixo descartado”, conforme os desenhos GM-7 e 8 (Rola Moça) e GM-19, 20 e 21 (Calçada). Por esse traçado, o Rodoanel passaria a sudoeste de Casa Branca faria uma curva na região do Riacho Fundo e subiria em contraforte rumo à Serra da Calçada, passando por dois túneis duplos, separados por um viaduto (ver Fig. 3 a seguir).

Como exemplo, pode-se citar o documento “Estudos Geológicos Preliminares – Alça Sul” que menciona e descreve os túneis admitindo-os neste “outro” eixo (que denominamos aqui alternativa 1B) – e não no da Alternativa 1C. Nesse documento também estão apresentados os perfis (“boletins de sondagem”) das 73 sondagens a percussão realizadas, várias delas realizadas sobre o “eixo descartado”.



**Fig. 3 – Traçado da alternativa 1B da Alça Sul (Descartado) – Trajeto no Município de Brumadinho**

Não encontramos na documentação disponibilizada qualquer relatório geológico sobre os túneis considerados no traçado da Alternativa 1C, que, ao que parece, é a do futuro Edital (repete-se: a reproduzida na Figura 1).

Portanto, não fica claro na documentação disponibilizada, qual das alternativas de Alça Sul será efetivamente considerada para efeito de licitação, pois há projetos geométricos apontando ora um, ora outro, sem a correspondência com relatórios geológicos.

Assim, os documentos disponibilizados para consulta pública não nos parecem consistentes nem suficientes para conhecimento do projeto e, menos ainda, para a efetivação de uma concessão à iniciativa privada sem riscos de prejuízos para o Estado.

Em suma, o traçado proposto para a Alça Sul do Rodoanel que consta do Edital:

- Não dispõe de qualquer investigação de campo.
- Está bastante indefinido, condição preocupante diante da perspectiva de iminente licitação.

Os aspectos da geologia e hidrogeologia serão retomados com maiores detalhes em tópico específico do presente Relatório.

### 2.2.2 Rodoanel, por quê e para quê?

Dentre os documentos disponibilizados, não nos foi possível encontrar um relatório contendo a justificativa técnica para a construção do Rodoanel.

Engarrafamentos e um número elevado de acidentes no Anel Rodoviário Celso Melo Azevedo, na região Metropolitana de Belo Horizonte, têm sido usados como argumentos para a construção do Rodoanel. Acredita-se – e é bem provável que essa crença esteja correta – que o Rodoanel resolverá ou, pelo menos, minimizará esses dois problemas.

Mas um empreendimento, principalmente do porte do Rodoanel, não pode basear-se apenas em crenças, em ações de tentativa e erro. Por isso, acreditamos que algum outro órgão do Governo estadual ou, provavelmente o DNIT, tenha realizado um estudo capaz de responder, quantitativamente, às seguintes perguntas:

- O Rodoanel projetado irá realmente reduzir a gravidade e o número de acidentes que ocorrem atualmente no Anel Rodoviário de BH? Que estudo comparativo foi feito nesse sentido, que premissas foram utilizadas, que resultados foram obtidos?
- Foi estudada a possibilidade de se melhorar, inclusive com alargamentos, o Anel Rodoviário existente ao invés de se fazer o Rodoanel? Quais seriam as obras necessárias e o seu custo? Essa alternativa foi comparada com a do Rodoanel?
- Que parcela (quantitativa e qualitativa) do trânsito do atual Anel Rodoviário será deslocada para o Rodoanel e quais serão as consequências positivas e negativas disso? Haverá algum tipo de controle sobre os tipos e cargas dos veículos que trafegarão nas duas vias?
- Qual a dimensão dos impactos positivos e negativos do Rodoanel no tráfego a curto, médio e longo prazos?
- De que forma o Rodoanel poderá influenciar o trânsito em rodovias já existentes?
- Numa análise com foco no futuro, por exemplo considerando a previsão de utilização de veículos automatizados e elétricos em larga escala, quais estruturas devem ser consideradas indispensáveis para o funcionamento do Rodoanel? Os documentos disponibilizados já incluem estudos nesse sentido? Se não incluem, por qual motivo?
- De que modo o projeto do Rodoanel pode ajudar a evitar e monitorar o povoamento irregular e desordenado às suas margens? O projeto inclui a previsão de possíveis alterações que tenham que ser feitas nos Planos Diretores dos municípios que afetará?

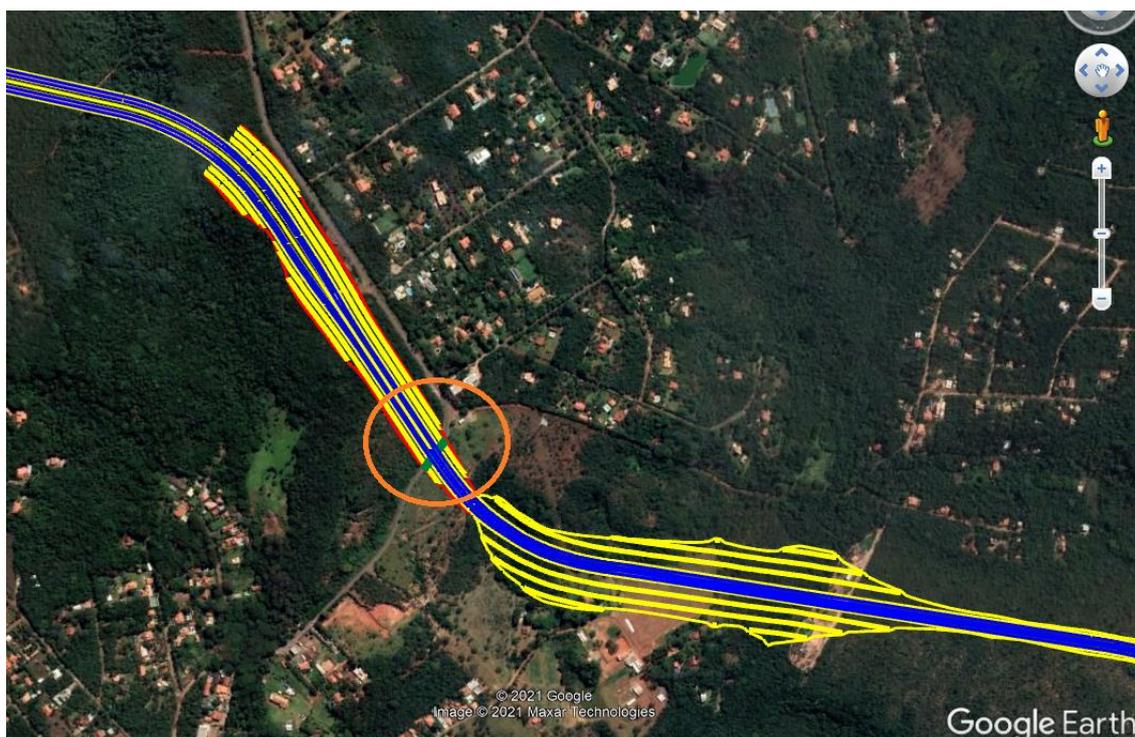
A existência de um estudo que responda a essas perguntas é fundamental para se garantir e efetivar a probidade administrativa, princípio básico norteador das condutas públicas. Por isso, acreditamos que tenha sido realizado pelo Estado – devido à sua importância crucial para o projeto – um estudo que demonstre tecnicamente, por meio de documentação completa e coerente, “porque precisamos do Rodoanel” e “qual Rodoanel precisamos”, para além de seu traçado geométrico, dos levantamentos geológicos e das planilhas de custo. Solicitamos, portanto, ao Governo do Estado de MG que, exercitando a transparência de suas ações, disponibilize esses estudos para consulta pública.

### 2.3 Sobre a compensação ao município de Brumadinho pelo desastre do Córrego do Feijão

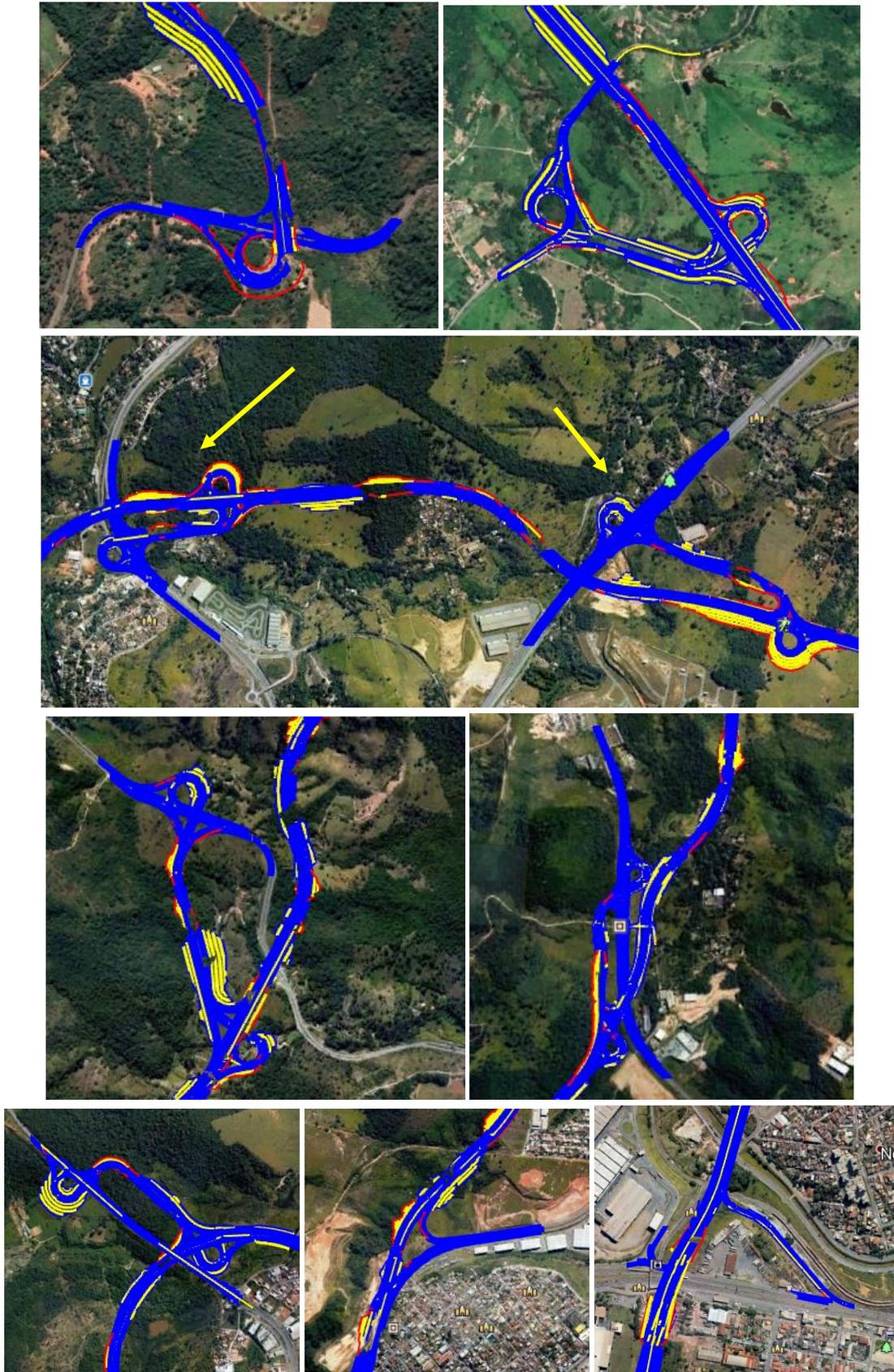
A justificativa mais frequente que o Governo de MG tem dado para a passagem do Rodoanel pelo município de Brumadinho é a de que isso iria compensar o município pelo desastre provocado pela Vale no Córrego do Feijão, que resultou em 272 vítimas e impactos ambientais extraordinários. Essa justificativa tem sido apresentada a pessoas do alto escalão dos 3 Poderes, a funcionários e ao público em geral. Entretanto, entre os documentos disponibilizados pelo Governo, não encontramos nenhum que explique como e porque a passagem do Rodoanel por Brumadinho atuaria como compensação. Não há um projeto, plano, relatório, ou planilha de custos que explique quais seriam as formas sociais, econômicas e ambientais de tal compensação.

**E, o que consideramos de extrema gravidade, o projeto prevê e detalha 14 acessos ao Rodoanel ao longo de todo o seu trajeto, MAS NENHUM ACESSO dentro do município de Brumadinho.** Assim, Brumadinho seria um mero corredor de passagem e, mais uma vez, receberia os impactos ambientais de uma obra de grande porte sem receber nenhum tipo de benefício. Os 14 acessos e o trecho no interior do município de Brumadinho são mostrados no conjunto de imagens apresentado nas páginas seguintes.

Um único ponto que nos parece viável para a construção de um acesso seria o da passagem da Alça Sul sobre a estrada estreita que, passando por dentro do Parque do Rola Moça, liga o distrito de Casa Branca ao bairro Jardim Canadá (ver Fig. 1 abaixo), nas imediações do Condomínio Quintas de Casa Branca, logo abaixo da saída do túnel da Serra do Rola Moça. Ainda que um acesso (trevo) tivesse sido previsto ali pelo projeto do Governo, ele dificilmente poderia servir de compensação para Brumadinho. A distância desse ponto até a sede do município é de 30 km, por estrada estreita, sinuosa, com trechos íngremes, passando por vários núcleos povoados (inclusive o de Córrego do Feijão) e que só agora está recebendo um asfalto básico, sem alargamentos. É necessário perguntar se a interligação da sede, por estrada adequada, ao hipotético acesso em Casa Branca ficaria por conta da prefeitura e se esse acesso não resultaria em impactos negativos de cunho social e ambiental aos vários condomínios e povoações nas suas proximidades.



**Fig. 1 – Possível local para construção de acesso dentro do município de Brumadinho**



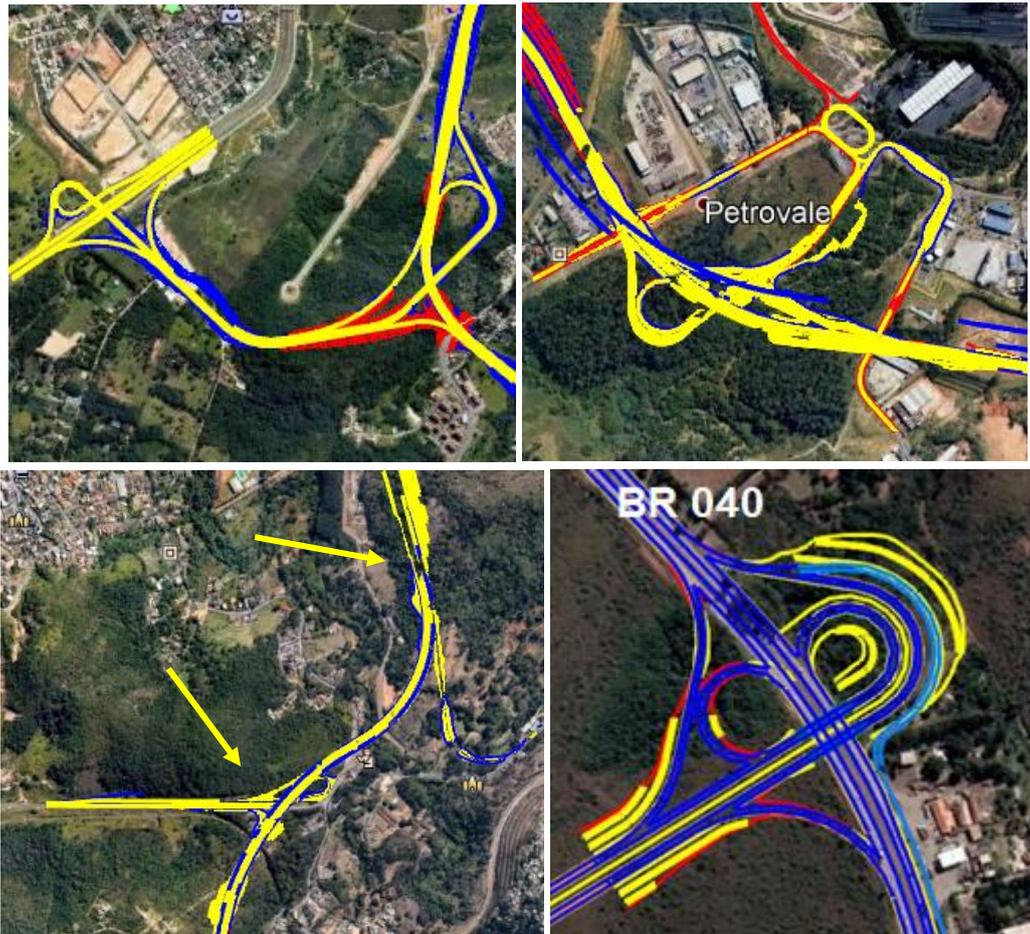


Fig. 2 a 12 - Os 14 acessos previstos no projeto final do Rodoanel



Fig. 13 - Trajeto do Rodoanel (Alça Sul): nenhum acesso previsto para o município de Brumadinho

## 2.4 Sobre os conceitos de projeto dos túneis

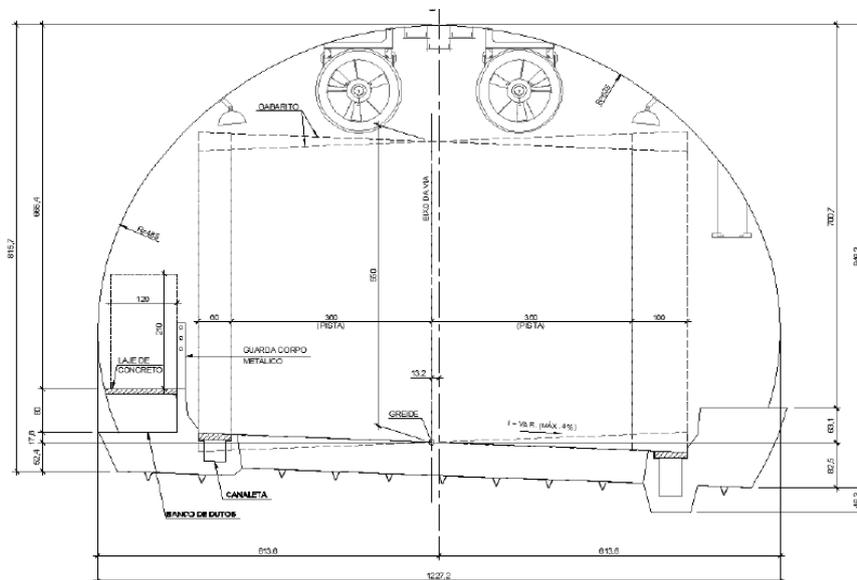
Também tem sido anunciado pela SEINFRA que o projeto do Rodoanel prevê um canteiro central largo o suficiente para alojar a construção futura de pistas adicionais, caso isso se mostre necessário devido ao aumento do tráfego.

Não encontramos documentos, entre os disponibilizados pelo Governo, que mostrem que o projeto de Alça Sul (1C) também teria essa previsão, principalmente no trecho de 8,2 km de subida bastante íngreme desde Casa Branca até a BR 040, mormente sabendo que em subidas íngremes é necessária uma pista adicional para caminhões, para minimizar a morosidade do tráfego. Não sabemos se os dois viadutos previstos nesse trecho (700 e 750 m de comprimento) já teriam previsões para pistas adicionais.

Os únicos documentos encontrados relativos a seções dos túneis (ver a seguir) mostram apenas duas pistas no seu interior. Estaria prevista a construção de túneis adicionais no futuro ou a Alça Sul, em seu longo trecho de alta declividade (como mostramos mais à frente) constituiria um gargalo para o tráfego? Em algumas situações – e não apenas em caso de acidentes – poderia haver engarrafamento do trânsito na pista de subida, fora e dentro dos túneis. Que estudos foram feitos sobre esses temas que permitam responder a essas perguntas?

O documento “Estudo das Estruturas dos Túneis”, de 10 páginas, elaborado pela *Accenture Consulting* e datado de 30/10/2020 diz respeito aos 3 túneis da alternativa 1B (descartada) e afirma que:

O leiaute dos túneis principais foi concebido de modo a englobar o gabarito dinâmico, com 2 pistas de 3,60 m de largura, acostamento de 1,00 m, componentes para o sistema de ventilação longitudinal, passeio com 1,20 m de largura (mínima) e sistema de drenagem. Sua geometria externa foi concebida com base em projetos similares e experiências prévias da projetista. A figura abaixo ilustra o gabarito atendido.



LEIAUTE - ELEMENTOS INTERNOS E GEOMETRIA

ESC: 1:50

FIGURA 4 – LEIAUTE INTERNO – TÚNEIS PRINCIPAIS

Além dessa figura, o documento mencionado inclui as seguintes:

Figura 1 – Túnel 1 – 2000 m.....	2
Figura 2 – Túnel 2 – 1230 e 1265 m.....	2
Figura 3 – Túnel 3 – 2064,282 e 1940 m.....	2
Figura 4 – Leiaute interno – Túneis principais.....	3
Figura 5 – Leiaute interno – Túnel de ligação de pedestres.....	4
Figura 6 – Leiaute interno – Túnel de ligação de veículos.....	4
Figura 7 – Emboque – Rodovia Carvalho Pinto.....	7

Não encontramos documento similar relativo aos dois túneis da alternativa final (1C) e supomos que o conceito de projeto do documento acima referido se aplicaria igualmente à alternativa 1C.

Devido aos possíveis problemas relacionados aos túneis, descritos no presente Relatório, solicitamos ao Governo que apresente projetos de túneis de características similares (comprimento, largura, tráfego, declividade, número de pistas, sistemas de ventilação e de segurança, saídas de emergência etc.) que tenham sido projetados pela *Accenture Consulting*, que tenham sido construídos e estejam em operação há tempo suficiente para permitir uma boa avaliação dos resultados práticos dos conceitos previstos por essa empresa. Isso irá conferir transparência e segurança ao projeto.

O documento “Estudo das Estruturas dos Túneis” informa ainda que:

Foram previstos túneis de interligação de pedestres a cada 250 m, e túneis de interligação de veículos a cada 1000 m.

Os túneis de ligação têm comprimento de aproximadamente 20 m, sendo a distância entre os túneis principais. O revestimento secundário para os túneis de ligação tem 15 cm de espessura.

Baseado no estudo geológico, se observou que a maior parte dos túneis atravessará a porção em rocha do maciço, no entanto encontrará regiões de falhas regionais que poderão ser significativas em termos de comprimento.

Para a compartimentação foi inferida uma distribuição de 20% do comprimento para a seção em solo (seção TS) e 80% do comprimento em rocha (seção TR).

Conforme será visto com maiores detalhes à frente, não encontramos, entre os documentos disponibilizados, nenhum estudo geológico da região dos túneis. Não há nenhum registro de sondagens, nenhuma informação sobre possíveis estudos geofísicos.

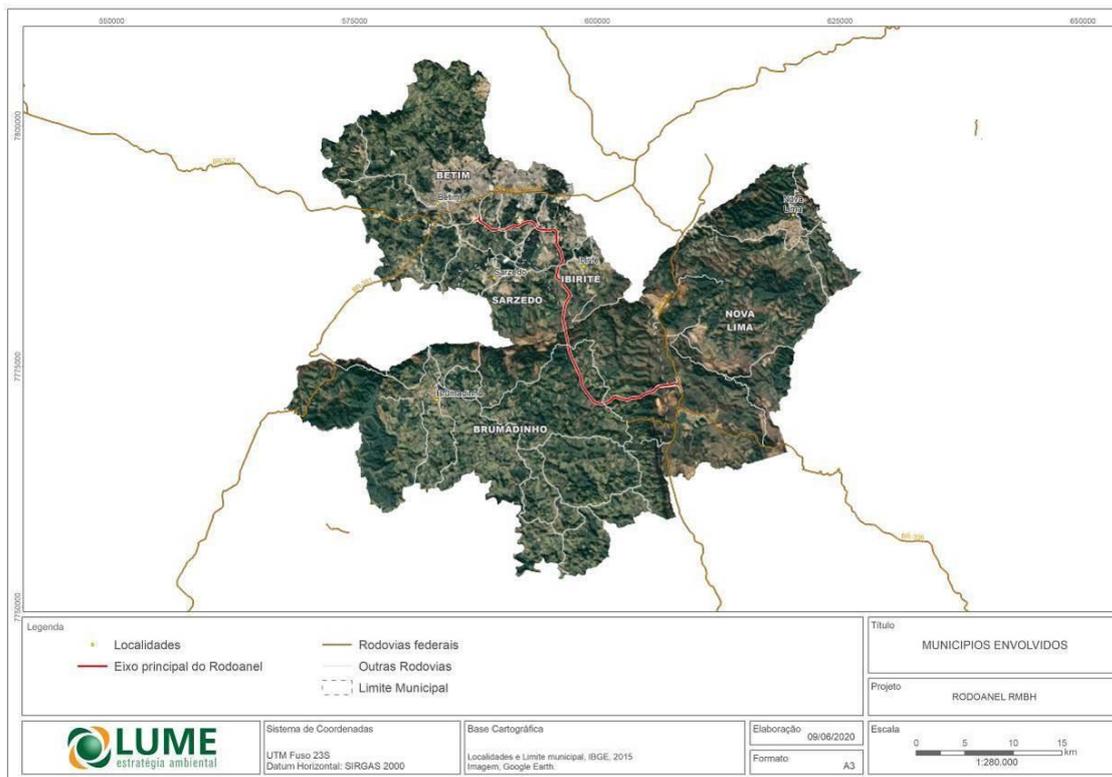
## 2.5 Sobre os estudos para mitigação dos impactos ambientais devido à construção do Rodoanel

O impacto ambiental do Rodoanel é grande e negativo, especialmente se considerarmos o ambiente apenas como natureza intocada. Um estudo que pretende decidir sobre o seu melhor traçado deve dimensionar esse impacto e analisá-lo a procura de justificativas para a decisão tomada, que podem, por exemplo, considerar um traçado mais indicado que outro por ele não interromper um corredor ecológico. Decisões como a do exemplo podem ser contrárias àquelas de ordem econômicas e, por isso, há que se associar valores a perdas ambientais: quanto vale a perda de um corredor ecológico? Vale a pena desviar o trajeto de uma rodovia, aumentando o seu custo, para evitar essa perda? As respostas a essas perguntas vão depender de questões sociais, econômicas e políticas e variam muito de acordo com a cultura, com interesses individuais e coletivos.

Os grandes problemas ambientais que ameaçam hoje a própria sobrevivência humana têm levado pessoas, empreendimentos e governos a valorizarem ações de menor impacto ambiental. Por isso, a quantificação dos impactos ambiental, social e econômico esperados da instalação do Rodoanel, positivos e negativos, deve ser estimada, documentada e exposta de

forma explícita. Essa documentação deve ser capaz de justificar as escolhas que foram feitas. A ausência de justificativas quantitativas deve ser razão suficiente que não se considere completa e competente uma análise de alternativas.

Foi disponibilizado pelo Governo um documento denominado “ASPECTOS AMBIENTAIS – ALÇA SUL” –, relativo ao estudo socioambiental da área em que se pretende construir a Alça Sul do Rodoanel. Nesse documento, o traçado transpõe os municípios de Betim, Ibirité, Sarzedo, Brumadinho e Nova Lima, conforme apresentado no seguinte mapa:



**Fig. 4 – Traçado da alternativa 1B da Alça Sul (Descartado) – Trajeto total**

Analisando-se o mapa constata-se que ele não se refere ao traçado apresentado pelo Governo como sendo o escolhido para a licitação. Se isso ocorreu por equívoco, solicitamos que a documentação correta seja disponibilizada para consulta pública, ampliando-se o período previsto para que ela ocorra. Caso contrário, ou seja, se não existe um documento sobre os Aspectos Ambientais e outro sobre os Aspectos Sociais – Alça Sul relativo ao trajeto escolhido pelo Governo, é oportuno denunciar-se a gravidade do fato, que se constitui desrespeito à sociedade e aponta para ilicitude na licitação, e suspender-se a consulta pública até que a documentação completa e coerente seja disponibilizada.

O estudo detalhado do traçado disponibilizado no link e que não corresponde ao escolhido, foi realizado por seguimentos e considerou os seguintes critérios:

- Características de uso e ocupação de solo parecidas;
- Coesão de bairros residenciais ou zonas comerciais e industriais atravessados;
- Proximidade de unidades de conservação;
- Proximidade de bacias com curso d’água enquadrado em classe especial;
- Obras de arte especiais como túneis ou viadutos;
- Outras interferências socioambientais.

O documento faz descrições do meio físico (litologia, relevo e pedologia, hidrografia), de outorgas e recursos hídricos, das áreas de drenagem a montante de curso d’água enquadrados

em classe especial, do potencial espeleológico, da mineração. Também apresenta caracterização do meio biótico (bioma e fitofisionomias, reservas da biosfera, áreas prioritárias para preservação da biodiversidade, áreas de preservação permanente, unidades de conservação e áreas protegidas (introdução, área de proteção especial (APE) bacia hidrográfica do Córrego do Itaboão, Parque Estadual Serra Rola-Moça, APA Sul RMBH, Monumento Municipal Natural Serra da Calçada, áreas destinadas a reserva legal de propriedades rurais), caracterização do meio antrópico (estradas e bairros no entorno, empreendimentos no entorno, patrimônio arqueológico, histórico e cultural).

Não foram feitas, no presente documento, análises desses tópicos porque o documento disponibilizado pelo Governo de MG no link se refere a outro traçado, que não o escolhido para licitação pelo Governo. Entretanto, foi possível observar que o estudo do Governo apresenta levantamentos, mas não procede a análises, apresentando uma ou outra recomendação. Sendo assim, não existe no documento do Governo de MG nenhuma sugestão de mitigação de impacto ambiental que afete a concepção da rodovia, como, por exemplo a construção de cercas em parques que a ladeiam, para evitar invasões.

Uma rodovia do porte e extensão do Rodoanel de Belo Horizonte, principalmente com túneis em áreas de aquíferos como ocorre na proposta apresentada pelo Governo, causa enormes impactos. A título de exemplo, podemos elencar alguns impactos que não foram sequer mencionados:

- Caso não exista um balanço totalmente equilibrado de cortes, aterros e perfurações parte do material retirado da escavação dos túneis e encostas precisará ser disposto em “bota-foras”, do tipo de pilhas de rejeitos, o que criará novos problemas ambientais. O mesmo diz respeito a escavações em locais fora do trajeto previsto caso seja necessário o aporte de materiais faltantes, não supridos pelas escavações do próprio Rodoanel.
- Os túneis passando por aquíferos levarão a rebaixamentos de lençóis freáticos, conforme veremos a frente.
- A área por onde passará o trecho de travessia da Serra da Calçada, na alternativa apresentada pelo Governo, é sensível a incêndios florestais na época de seca. O trânsito pesado nesse trecho poderá aumentar a frequência e a proporção dos incêndios. É uma área onde o combate ao fogo é muito difícil e os incêndios podem atingir áreas do Parque do Rola Moça e outras. A fumaça poderá prejudicar o tráfego.

Sabemos que o projeto terá que ser aprovado pela SEMAD, que tem como missão a proteção ambiental, mas infelizmente o poder econômico domina os conselhos que deliberarão sobre o empreendimento. Estudos dos diversos impactos, identificando as possíveis mitigações dos impactos negativos e maximização dos positivos, teria que fazer parte dos documentos que fundamentaram a escolha do traçado. Entretanto, não há nenhum estudo neste sentido na relação de documentos disponibilizados pelo Estado.

Por fim, cabe considerar que, para licenciar um empreendimento deste porte um complexo EIA-RIMA (Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental) terá que ser providenciado. Estes estudos não podem ser apresentados à sociedade apenas no momento das audiências públicas. A sociedade, pela lei da transparência, tem o direito de ter acesso aos estudos antes que o empreendimento seja encaminhado à SEMAD para aprovação.

Como o potencial de causar dano sobre os recursos naturais, depende do tipo da obra, mister se faz um estudo de alternativas locais com o objetivo de diminuir os impactos no meio ambiente. No caso de empreendimentos lineares, como é o caso de rodovias, a discussão de alternativas locais é indispensável para a seleção do melhor traçado. Ademais, a resolução do CONAMA 01/86 é clara ao apontar a necessidade de se descrever o projeto com suas alternativas tecnológicas e locais, no bojo do licenciamento ambiental.

## 2.6 Sobre os estudos geológicos/geotécnicos que fundamentam a escolha pelo traçado 1C da Alça Sul do Rodoanel

### 2.6.1 Cenário Geral

As Serras Rola Moça e Calçada são tão somente as designações locais ou regionais de feições geológicas e geomorfológicas muito maiores, compostas pelo conhecido Sinclinal Moeda (mais de 70 km de extensão) e pela Serra do Curral – ela também um sinclinal (mais de 100 km). Trata-se, em termos simples, de duas estruturas que formam um “T”, com a junção situada nas proximidades do bairro Jardim Canadá e com o setor esquerdo apontando para sudoeste. Essas estruturas correspondem aos limites ocidentais do Quadrilátero Ferrífero. É ao longo dessas formidáveis estruturas geológicas que se distribuem as inúmeras minerações ativas, desde o século XVII (ouro) e intensificadas a partir dos anos 1920 (ferro).

A enorme maioria do traçado do Rodoanel recai sobre solos originados de gnaiss, sendo exceções a região de Vespasiano, ocupada por rochas calcárias, e as serras do Rola Moça e Calçada, onde predominam quartzitos, filitos e itabiritos típicos do Quadrilátero Ferrífero.

Não localizamos entre os documentos disponibilizados uma planta sobrepondo as investigações geológicas realizadas ao longo do traçado rodoviário previsto, obrigando-nos a lançá-las, uma a uma, nas imagens dinâmicas do Google Earth, resultando na Figura 3 (círculos brancos com um ponto no seu interior).



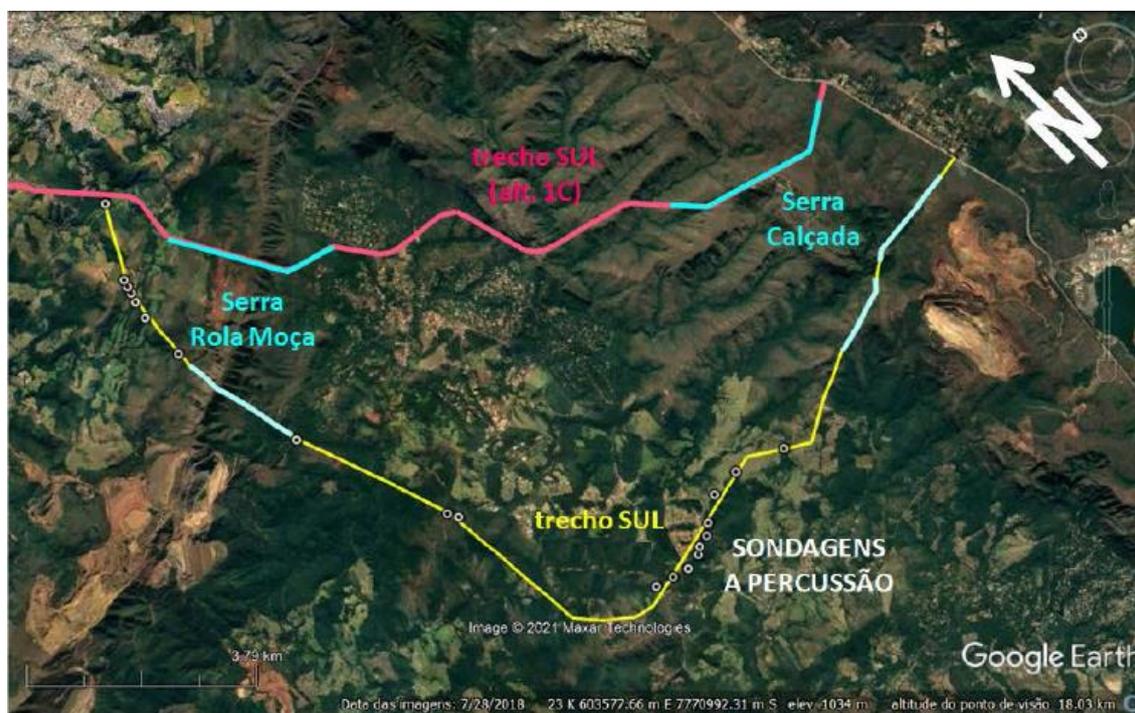
**Fig. 1 – Localização dos pontos das sondagens realizadas.**

Pode-se ver que os Trechos Norte, Oeste, Sudoeste e cerca de 4 km do Trecho Sul estão contemplados por investigações de campo, tanto indiretas (geofísica por sísmica de refração em três trechos previstos em túnel na alternativa 1B descartada) como diretas (sondagens a percussão e mistas). Estas últimas estão num espaçamento médio global próximo de 1 km, razoável perante a previsão de muitos e longos trechos retilíneos em corte e aterro, com ocasionais pontes e viadutos – em suma, obras a céu aberto.

A parte de uma possível Alça Sul a partir da Serra do Rola Moça também está bem contemplada com sondagens a percussão, mas elas se agrupam num traçado muito afastado do eixo da Alternativa 1C selecionada, como mostra o polígono azul claro da Figura 3. Isso faz supor que elas visavam à alternativa de traçado 1B, anterior à 1C (Figura 4), depois descartada por razões não apontadas na documentação posta a público.

Não foi encontrada, entre os documentos disponibilizados pelo Governo para a consulta pública, nenhuma informação sobre possíveis sondagens e/ou estudos geofísicos que tenham sido feitos no trecho da Alça Sul da alternativa 1C.

Deve-se enfatizar que os desenhos de traçado dos túneis da alternativa 1C (RS-GM-05A13.R01-06 até RS-GM-05A13.R01-14), disponibilizados no link, são datados de novembro de 2020, o que fortalece a impressão de que a decisão pela adoção dessa alternativa foi tomada depois que os trabalhos de pesquisa e sondagens já estavam terminados e de que não houve tempo (e, talvez, verba) para a realização de novas sondagens e estudos geofísicos ao longo do trajeto da alternativa 1C, nem mesmo ao longo dos eixos dos túneis, locais nos quais as investigações são consideradas imprescindíveis para análise da viabilidade técnica da construção da rodovia.



**Fig. 2 – Traçados das alternativas 1B e 1C e localização dos pontos das sondagens realizadas.**

### 2.6.2 Do ponto de vista Geológico/Geotécnico

As condições esperadas para perfuração dos túneis são complexas, pois eles enfrentarão a sucessão – e, às vezes, a alternância – de variados tipos rochosos já inerentemente bastante desfavoráveis (exemplo máximo são os filitos) e importantes falhas geológicas ali presentes, sem mencionar possíveis problemas como altas pressões e vazões de água. Isso está anunciado pelo relatório denominado “Estudos Geológicos Preliminares- Alça Sul”, datado de Ago./2020, que se baseou em mapas disponíveis na internet (Folhas Igarapé, 1:100.000, e Itabirito, 1:50.000). Entretanto, tais mapas, embora de excelente qualidade – elaborados em boa parte a partir dos mapas criados pelo USGS (Serviço Geológico norte-americano) na década de 1960 – prestam-se

à identificação de recursos minerais, sendo insuficientes para sustentar projetos de túneis de grandes dimensões como os previstos para o Rodoanel.

A atual boa técnica de engenharia de túneis preconiza, antes de tudo, um detalhado mapeamento geológico de campo, seguido da aplicação de métodos geofísicos (imageamento elétrico, sísmica de refração e outros) que abrangam desde o terreno natural até o nível de implantação das escavações. Depois, as anomalias reveladas por esses métodos indiretos devem ser alvo de sondagens rotativas, segundo um programa muito bem estruturado. Sem isso, as considerações feitas nos documentos do projeto, mesmo válidas porque usam mapas geológicos bastante detalhados, são insuficientes para orçar, planejar e executar tais obras com risco aceitável – tanto construtivo como operacional.

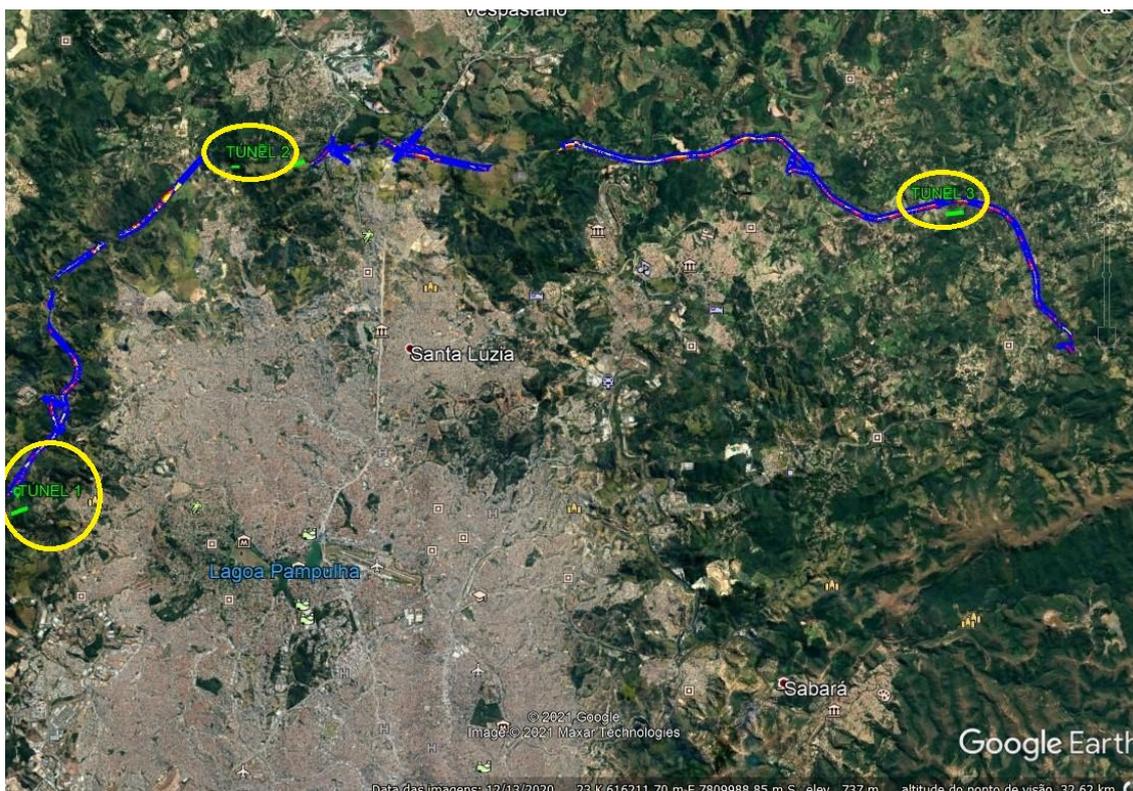
Cabe destacar um detalhe: o trecho inicial do túnel previsto pela Alternativa 1C (a do Edital) na serra da Moeda / Calçada foi posicionado diretamente abaixo de um vale, conforme mostra a Figura 5. Considerando que a região é sabidamente afetada por estruturas geológicas como falhas, zonas cisalhadas, contatos e afins, isso configura um equívoco básico sugestivo de que o projeto geométrico foi desenvolvido sem levar em conta as condições geológicas locais. O traçado poderia muito bem ser “abrigado” num dos dois morros que ladeiam o vale.



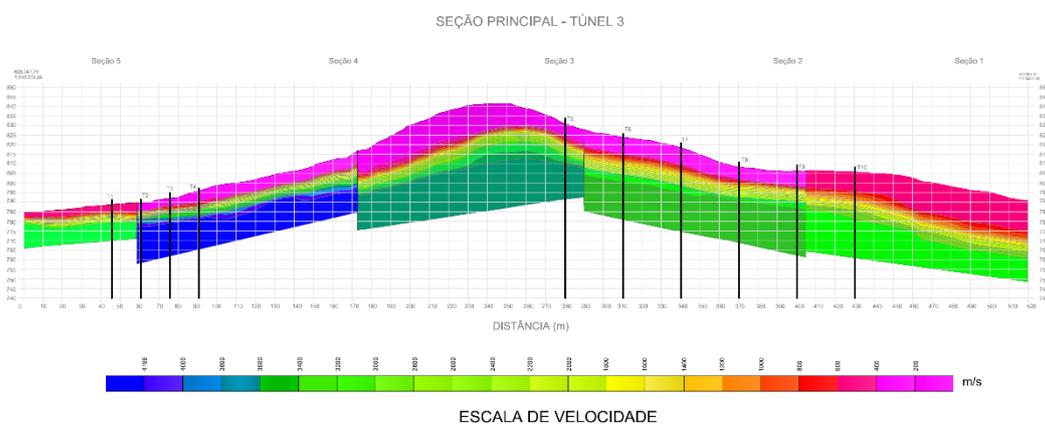
**Fig. 3 – Detalhe do traçado do túnel conceitualmente equivocado**

Como possível indicação da incoerência interna dos documentos disponibilizados pelo Governo para consulta pública podemos citar, ainda, os nomeados como SR-01 até SR-11, elaborados pela empresa Odebrecht e não datados, os quais apresentam os resultados dos estudos geofísicos, por sísmica de refração, ao longo dos eixos de 3 túneis localizados na Alça Norte que não estão alinhados a seu traçado atual, dando a entender que foram descartados – acreditamos que em 2014, quando foram feitas também as sondagens daquele trecho (as dos trechos Sudoeste e Sul são de meados de 2020).

Como esses 3 túneis não constam do projeto unificado, proposto como projeto final pelo governo, pensamos que poderão confundir os licitantes. Estudos similares a esses da Odebrecht deveriam ter sido feito para os túneis propostos para a Alça Sul, tanto na alternativa 1B quando na 1C.



**Fig. 4 – Localização de possíveis túneis na Alça Norte para os quais foram feitos estudos geofísicos pela Odebrecht**



**Fig. 5 – Exemplo de perfil traçado como resultado dos estudos geofísicos dos túneis (descartados) da Alça Norte**

Conforme apontado anteriormente, não foram encontrados entre os documentos disponibilizados para consulta pública o mapeamento geológico de campo, seguido da aplicação de métodos geofísicos necessários para planejamento de escavação de túneis previstos na proposta 1C. Sem isso, é impossível avaliar o custo da obra, o que inviabiliza a licitação.

### 2.6.3 Do ponto de vista da hidrogeologia

A proposta apresentada pelo governo segue o traçado que cortaria a Serra do Rola Moça e, depois, na continuação mais para sul, a Serra da Moeda, as quais se localizam no flanco oeste do Quadrilátero Ferrífero. Nesse cenário, os dois cortes seriam em forma de túnel, acarretando para ambas as obras perfurações de cerca de 3,2 km de extensão.

As considerações neste documento abordarão aspectos hidrogeológicos dos trechos para cada túnel.

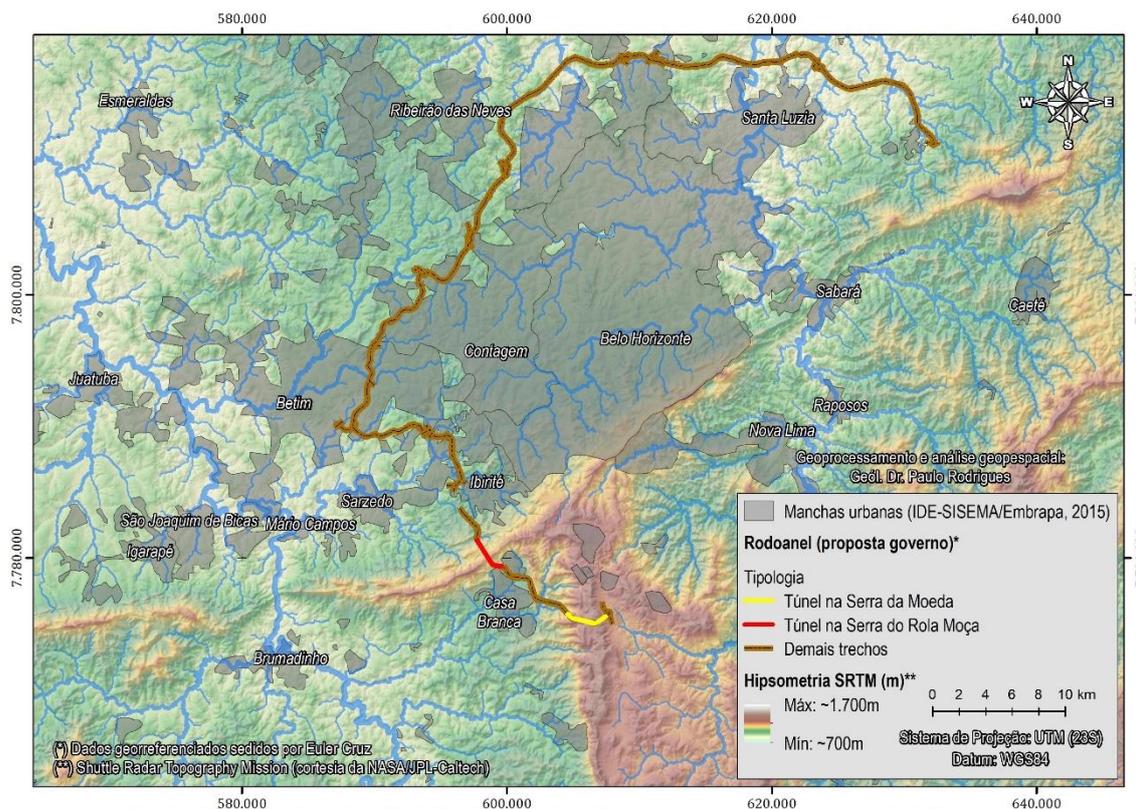


Figura 1 – Contexto altimétrico e urbano na região do Rodoanel.

### O cenário geológico

Para avaliação dessa proposta é preciso se identificarem tanto as rochas (litologias) e estruturas geológicas das regiões a serem afetadas como, principalmente, o seu cenário hidrogeológico. Para tal, é imprescindível o entendimento de alguns contextos básicos do Quadrilátero Ferrífero.

Os itens a seguir ilustrarão um resumo desse contexto.

#### 2.6.3.1 O Quadrilátero Ferrífero de Minas Gerais

O Quadrilátero Ferrífero (QF) de Minas Gerais se localiza no centro-sul do estado, englobando 35 municípios, 16 deles pertencentes à Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) e seis ao seu Colar Metropolitano (Figura 2). A designação “Quadrilátero” tem origem nos seus contornos geográficos aproximadamente quadrangulares e a qualificação “Ferrífero” advém da sua riqueza em recursos minerais, principalmente, em minério de ferro.

Geologicamente, o QF se encontra no extremo sul-sudeste do Cráton de São Francisco e se compõe, segundo Baltazar et al. (2005), regional e estratigraficamente - das camadas mais antigas para as mais jovens de: (1) terrenos granito-gnáissicos arqueanos, formando o Embasamento Cristalino; (2) sequências metavulcano-sedimentares arqueanas, formando o Supergrupo Rio das Velhas; (3) sequências de coberturas sedimentares e metavulcanossedimentares proterozóicas, formando o Supergrupo Minas e; (4) coberturas sedimentares recentes.

Essa sequência metamórfica é cortada, por vezes, por corpos granitoides e diques básicos, mais novos, conforme ilustrado na Figura 3, que também traz essa sequência estratigráfica do QF e a Coluna do Tempo Geológico. A sequência estratigráfica indica a sobreposição das camadas

geológicas (sempre com as mais antigas por baixo); as unidades de tempo são indicadas em Giga-anos, ou seja, em bilhões de anos.

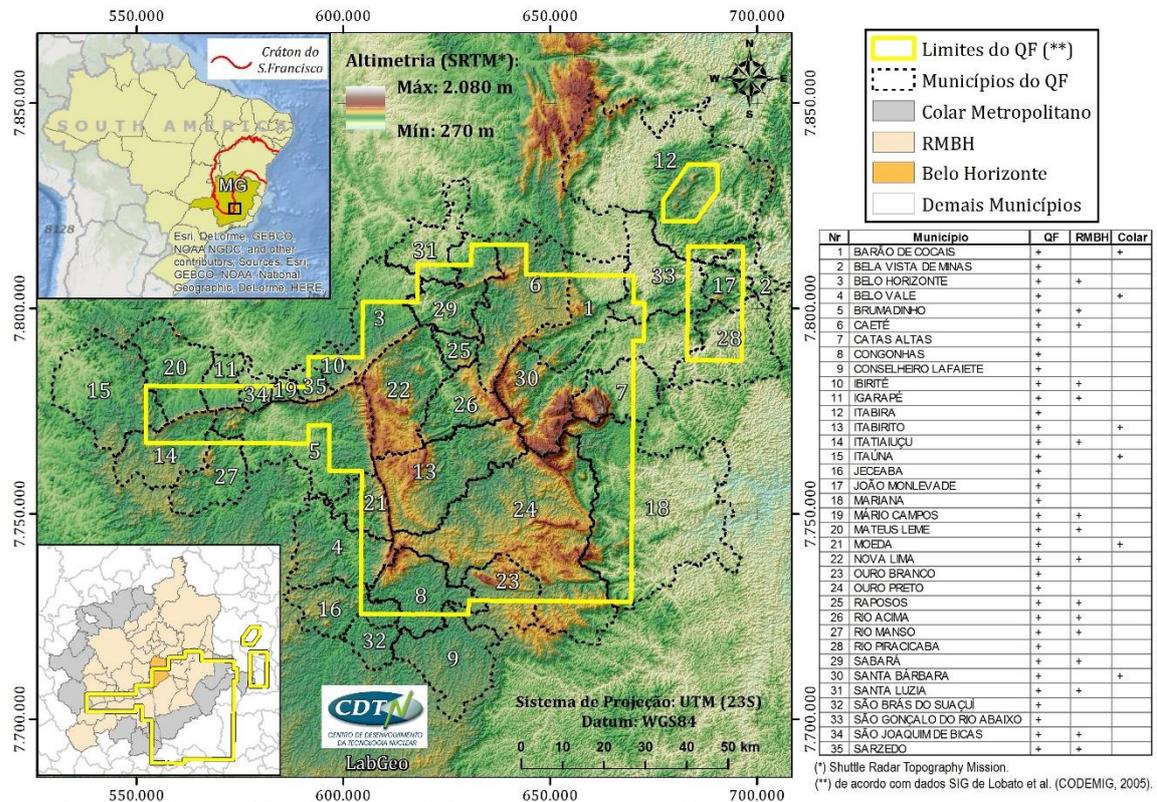
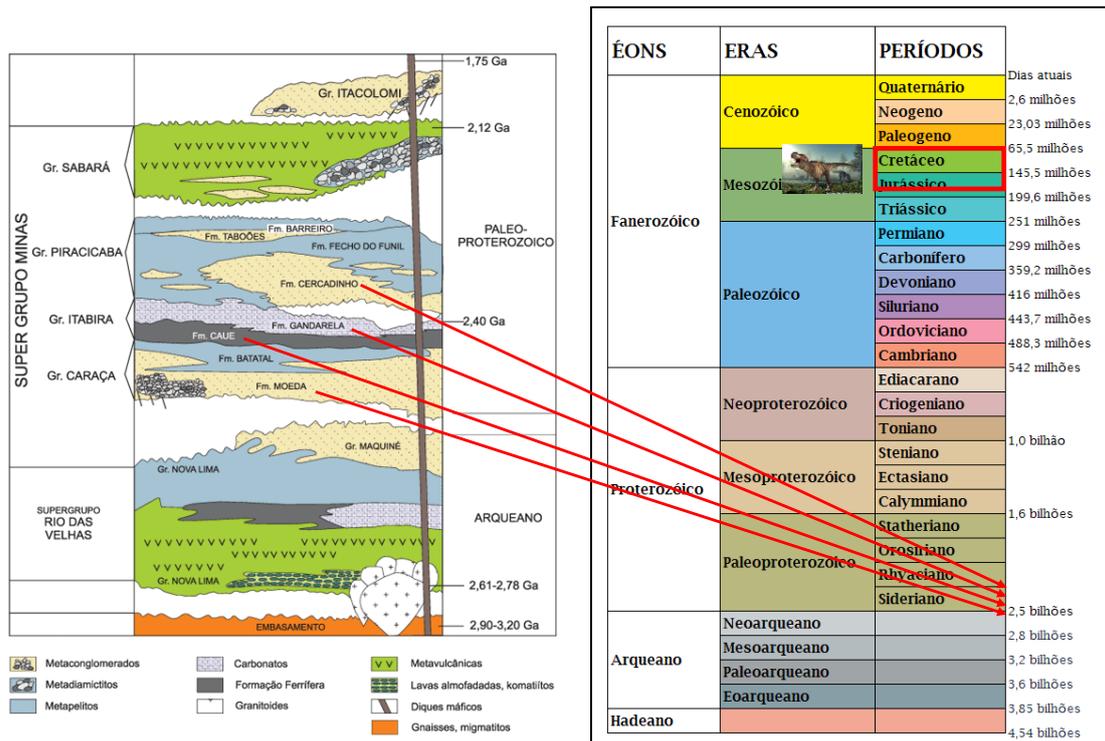


Figura 2 - Localização do QF, sua hipsometria<sup>1</sup>, sua relação com os municípios da RMBH e seu Colar, assim como a relação com o Cráton do São Francisco.

<sup>1</sup> Hipsometria – representação cartográfica das altitudes de uma região de acordo com uma escala de cor.



Fonte: Alkmim & Marshak (1998), apud Ruchkys (2009).

Fonte: Site CPRM: Breve Histórico da Terra.

**Figura 3 – Sequência estratigráfica do QF e Coluna do Tempo Geológico, com destaque para o posicionamento das formações hidrogeológicas mais importantes no contexto da cronologia da Terra.**

Em sua macroestrutura, o Quadrilátero Ferrífero apresenta evidências de dois grandes eventos de deformações geológicas: do ciclo orogênico<sup>2</sup> Transamazônico (idade Paleoproterozoica: de 2,1 a 2,0 bilhões de anos) e do ciclo Brasileiro (idade Neoproterozoica: de 0,8 a 0,6 bilhões de anos).

Esses dois maiores eventos geotectônicos são marcados por megadobras formadas sob condições de metamorfismo regional<sup>3</sup>. A primeira fase de deformação gerou a nucleação dos grandes sinclinais (Figura 4) e o soergimento dos corpos granito-gnaissicos em forma de domos, do embasamento arqueano. Já a segunda fase deformacional deu origem a um cinturão de cavalgamentos, provocando inversão, amplificação, translação e rotação dos sinclinais em torno das estruturas dômicas, sendo mais intensa no flanco oriental do Quadrilátero (Rosière et al., 2000; Baltazar et al., 2005, por exemplo), conforme ilustrado na Figura 5.

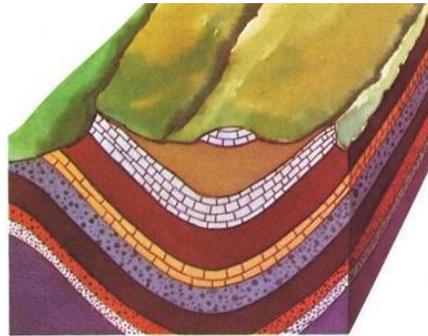
A geometria dessas megadobras compõe um conjunto de sinclinais e anticlinais<sup>4</sup>, truncado por cinturões de falhas de empurrão, de direções norte-sul, na sua parte oriental. As primeiras estruturas estabelecem os limites norte, sul, oeste e leste do Quadrilátero, representados, respectivamente, pelo homoclinal da serra do Curral e sinclinais Dom Bosco, Moeda e Santa Rita. A leste, além do Sinclinal Santa Rita, os sinclinais Gandarela, Ouro Fino e Conta História dispõem-se segundo amplo arco de direção norte-sul, segmentados pelos cinturões de falhas de empurrão atribuídos ao Brasileiro.

<sup>2</sup> Ciclos orogênicos - ciclos geológicos com formação de grandes cadeias de montanhas.

<sup>3</sup> Metamorfismo regional - ocorre em grandes extensões e profundidades na crosta; as transformações metamórficas são geradas pelas ações simultâneas de aumento de temperatura, pressão litostática e pressão dirigida, atuantes durante milhões de anos.

<sup>4</sup> Grandes dobras geológicas em formato côncavo para cima (sinclinal) ou convexo para cima (anticlinal).

Uma característica singular das formações que compõem o Supergrupo Minas é a acentuada inclinação das suas camadas, chegando em algumas regiões a ocorrerem de forma subvertical a vertical, conforme dados SIG<sup>5</sup> de Lobato et al. (2005).



Fonte: [www.encyclopedia.cat](http://www.encyclopedia.cat)

Figura 4 - Desenho esquemático de um Sinclinal.



Mapa das principais feições estruturais do Quadrilátero Ferrífero (modificado de Baltazar e Zucchetti 2004). Dobras: 1 - Sinclinal Piedade, 2 - Homoclinal Serra do Curral, 3 - Anticlinal da Serra do Curral, 4 - Sinclinal Moeda, 5 - Sinclinal Dom Bosco, 6 - Anticlinal de Mariana, 7 - Sinclinal Santa Rita, 8 - Anticlinal Conceição, 9 - Sinclinal Gandarela, 10 - Sinclinal Vargem do Lima, 11 - Sinclinal Ouro Fino. Complexos granito-gnáissicos: 12 - Belo Horizonte, 13 - Bonfim, 14 - Bação, 15 - Santa Bárbara, 16 - Caeté, 17 - Santo Antônio do Pirapetinga, 18 - Mantiqueira. Falhas: 19 - Bem-Te-Vi, 20 - São Vicente, 21 - Sistema de Empurrões Córrego do Garimpo, 22 - Falha das Cambotas, 23 - Fundão, 24 - Água Quente, 25 - Sistema de empurrões do sinclinal Dom Bosco, 26 - Sistema de empurrões da serra do Caraça, 27 - Zona de cisalhamento extensional Moeda-Bonfim, 28 - Falha transcorrente do Engenho. Cidades: BH - Belo Horizonte, CC - Cachoeira do Campo, IT - Itabirito, NL - Nova Lima, CA - Caeté, CG - Congonhas, OP - Ouro Preto.

Fonte: Baltazar et al. (2005), pág. 61.

Figura 5 - Resumo das principais feições geoestruturais do Quadrilátero Ferrífero.

<sup>5</sup> Dados de Sistema de Informações Geográficas – dados georreferenciados.

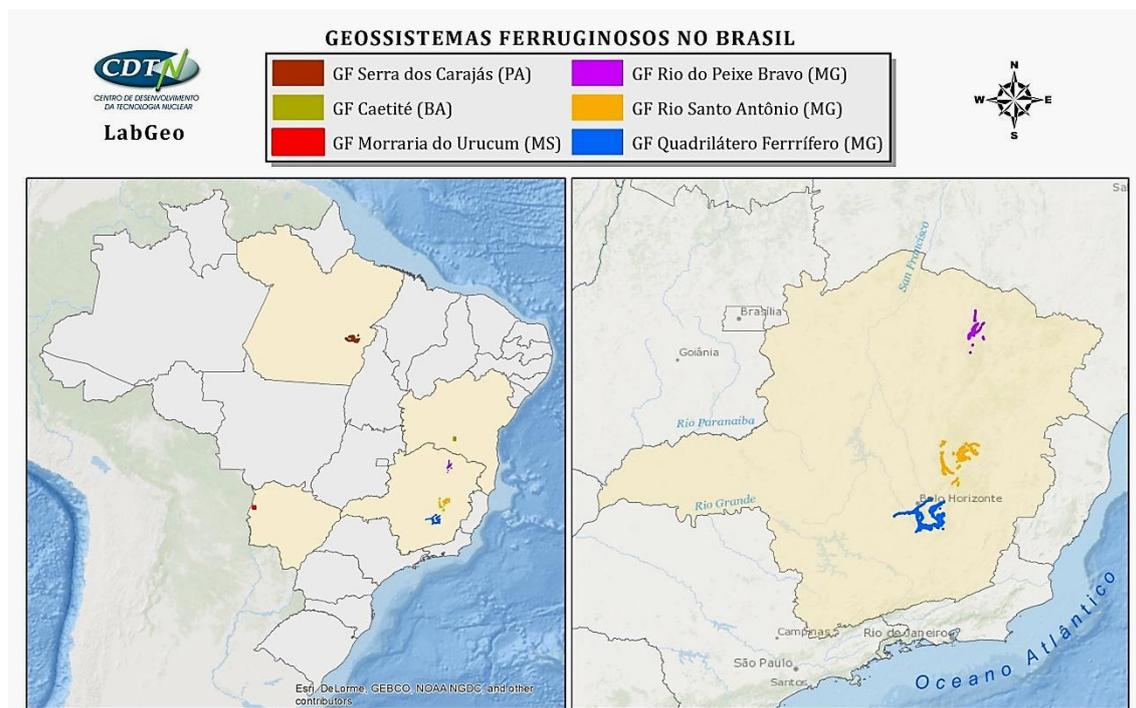
Em termos ambientais, o QF se situa na zona de transição entre os biomas Mata Atlântica e Cerrado, oficialmente fazendo parte do primeiro.

### *O Geossistema Ferruginoso do Quadrilátero Ferrífero*

Segundo Salgado (2015), “os Geossistemas Ferruginosos podem ser considerados como um dos ambientes naturais mais singulares e importantes da superfície terrestre”. Eles são constituídos por formações geológicas originadas principalmente no Arqueano e Paleoproterozoico e suas singularidades advêm das espécies raras da flora e fauna, sítios espeleológicos, belezas cênicas e recursos hídricos (Souza & Carmo, 2015). Quanto à geologia, são formados por rochas ferruginosas e pela interação de seus componentes mineralógicos, pedológicos, hidrológicos e hidrogeológicos. Os Geossistemas Ferruginosos destacam-se por abrigarem jazidas de grande importância econômica. Compreende-se assim porque eles também representam regiões com grandes conflitos de uso.

No Brasil são conhecidos somente seis Geossistemas Ferruginosos<sup>6</sup>, sendo o QF um dos três representantes em Minas Gerais (Figura 6). No QF, o Geossistema é composto pelas formações ferríferas da Formação Cauê, parte integrante do Grupo Itabira, e pelas Cangas. As formações ferríferas, por sua vez, são formadas por itabiritos, itabiritos dolomíticos, filitos dolomíticos, dolomitos ferruginosos e filitos (Souza & Carmo, op cit).

Devido aos altos teores de ferro, a Formação Cauê, do Grupo Itabira (Supergrupo Minas), forma as mais relevantes jazidas e minas de minério de ferro do QF e constitui o horizonte geológico de maior valor comercial no presente.



**Figura 6 – Localização dos seis Geossistemas Ferruginosos do Brasil e em Minas Gerais com destaque para os seus respectivos estados (baseado em dados SIG de Instituto Prístico, 2017).**

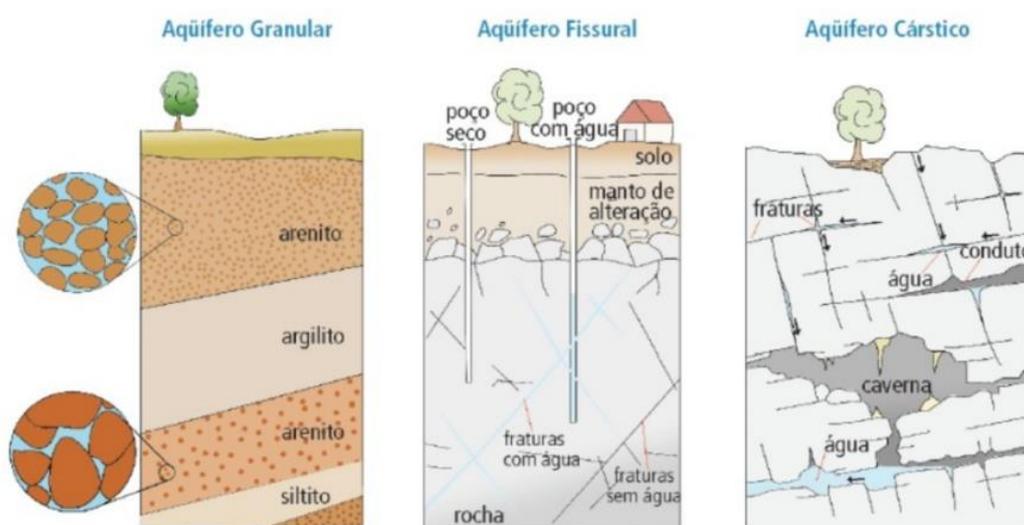
<sup>6</sup> Geossistemas do Quadrilátero Ferrífero (MG), do Rio Peixe Bravo (MG), do Rio Santo Antônio (MG), da Morraria do Urucum (MS), da Serra dos Carajás (PA) e Caetité (BA).

### 2.6.3.2 A Hidrogeologia do Quadrilátero Ferrífero

Com relação aos diferentes tipos de aquíferos, Mourão (2007) identificou sete unidades hidrogeológicas na porção ocidental do QF:

- (1) Aquíferos inconsolidados, de porosidade intersticial, livres, descontínuos e muito heterogêneos e anisotrópicos. Eles estão relacionados às formações superficiais continentais cenozóicas que abrangem depósitos sedimentares aluviais e lacustrinos e coberturas detrito-lateríticas (cangas) e elúvio-coluviais;
- (2) Aquíferos quartzíticos, de porosidade fissural, livres a semiconfinados relacionados às formações Maquiné, Moeda, Cercadinho, Taboões e Itacolomi;
- (3) Aquífero carbonático (Aquífero Gandarela), que se encontra sobreposto ao aquífero Cauê no Sinclinal Moeda e sotoposto a este na homoclinal Serra do Curral (aquífero fraturado ou cárstico, livre ou confinado por unidades metapelíticas ou materiais argilosos resultantes do intemperismo ou relacionados a sedimentos lacustres);
- (4) Aquíferos associados às formações ferríferas proterozoicas do tipo Lago Superior (Formação Cauê) ou arqueanas do tipo Algoma (intercalações no grupo Nova Lima);
- (5) Aquíferos associados a xistos (Aquíferos Nova Lima e Sabará) constituídos predominantemente por xistos metassedimentares e metavulcânicos. Exibem porosidade fissural e baixo potencial hidrogeológico.
- (6) Aquíferos em rochas granito-gnáissicas, que correspondem a aquíferos fissurados que têm como peculiaridade o espesso manto de intemperismo que tanto contribui para a recarga das fraturas na rocha, como para grande parte das restituições para os cursos d'água;
- (7) Unidades confinantes Moeda, Batatal, Fecho do Funil e Barreiro, além dos diques<sup>7</sup> e sills<sup>8</sup> de rochas básicas e depósitos sedimentares argilosos cenozoicos.

A Figura 7 exemplifica esquematicamente os três diferentes tipos tradicionais de aquíferos:



Fonte: [http://rafaelrubi.esy.es/geologia/hidrogeologia/aguas\\_subterraneas.html](http://rafaelrubi.esy.es/geologia/hidrogeologia/aguas_subterraneas.html)

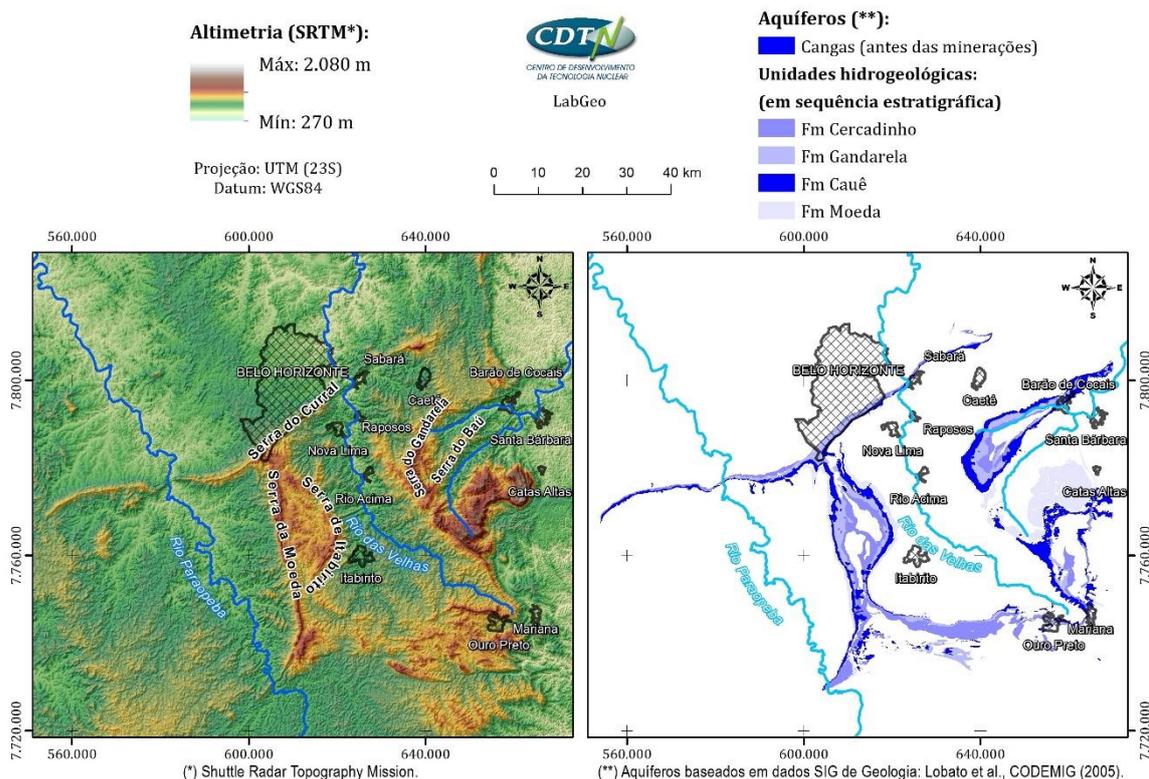
**Figura 7 - Desenhos esquemáticos dos três tipos básicos de aquíferos.**

<sup>7</sup> Dique – rocha ígnea em formato tabular que corta (transpassa) outras formações geológicas.

<sup>8</sup> Sill - rocha ígnea em formato tabular disposta entre duas formações geológicas.

Depreende-se, portanto, que no QF ocorrem tanto alguns aquíferos tradicionais com também outros, resultado da combinação entre eles.

No mapa da Figura 8 são destacadas em azul as quatro unidades geológicas responsáveis pelos principais aquíferos no QF: quanto mais escuro o tom de azul, mais se destaca a unidade geológica em termos de relevância hídrica - os dados geológicos que deram origem a esse mapa correspondem à escala 1:50 mil. Observa-se que a Formação Cauê e as Cangas estão representadas com uma única cor (o azul mais escuro de todos) por formarem o Geossistema Ferruginoso. A região nordeste do QF, como se pode constatar, abriga a maior área contínua, em superfície, desse Geossistema.



**Figura 8 - Mapas das altimetrias (sobre relevo sombreado) e das unidades hidrogeológicas do QFA.**

As Cangas, como sempre formam coberturas bem mais novas que as camadas a elas subjacentes, ocorrem nos topos de morros, funcionam como aquíferos livres e, como tal, de percolação hídrica rasa. Já o itabirito/aquífero Cauê pode tanto ocorrer diretamente sob as Cangas, assim como, quando da ausência delas, ocupar os topos de morro remanescentes. Importante nesse cenário hidrogeomorfológico é que a Formação Cauê possui grande espessura e profundidade, respondendo pela circulação profunda das águas. Assim, o Geossistema Ferruginoso é composto por aquíferos superficiais – as Cangas – e por aqueles de circulação profunda – o aquífero Cauê.

Pelos mapas da Figura 8 observa-se, portanto, que as cristas de todas as serras do QF (áreas marrons do mapa hipsométrico), com exceção da região da Serra do Caraça, coincidem quase sempre com o Geossistema Ferruginoso.

Todo esse cenário hidrogeológico é confirmado também por estudos realizados pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2004), segundo o qual esse é “sem dúvida (...) o principal sistema aquífero da APA Sul RMBH e do Quadrilátero Ferrífero. O seu elevado potencial hídrico proporciona uma fonte segura de abastecimento, como evidenciado pelos diversos mananciais e poços tubulares que por longos períodos vêm abastecendo várias comunidades e municípios

da RMBH.” Dentre os principais sistemas aquíferos identificados no Quadrilátero, o sistema canga/itabirito atinge as vazões máximas de 493 m<sup>3</sup>/h e o maior potencial hídrico estimado, considerando os valores de vazão específica (15 < l/s/km<sup>2</sup> < 20) e de vazão explotável em poços tubulares (20 < l/s < 70), segundo IBRAM (2003) e CPRM (2004).

O Geossistema Ferruginoso do QF é, portanto, também um grande Geossistema Aquífero e assim, infelizmente, é fonte de grandes conflitos de interesses. Neste contexto, as camadas geológicas do QF que abrigam as maiores concentrações de minério de ferro de Minas Gerais deixam de ser tão somente alvos de exploração comercial da commodity<sup>9</sup> mineral, e se tornam os maiores reservatórios naturais de acumulação, proteção e circulação de água, vitais para a capital do Estado e para a terceira maior região metropolitana do Brasil e inúmeros municípios do seu entorno.

### *O Aquífero Cauê*

Composto por itabiritos – rochas do tipo formação ferrífera bandada, BIF<sup>10</sup> (Figura 9) – o Aquífero Cauê é um sistema de circulação profunda, de idade paleoproterozoica (cerca de 2 bilhões de anos), e se originou pela precipitação química em ambiente sedimentar plataformar de ferro e sílica (e secundariamente carbonato). Ele integra a Formação Cauê (itabirito Cauê). Posteriormente, durante eventos geológicos envolvendo toda a Plataforma Sul-Americana (ciclos Transamazônico e Brasileiro), sua porosidade primária foi suprimida e conduzida a uma porosidade fissural, com a presença de falhas, fraturas e clivagens (Mourão, 2007).

Os aquíferos instalados nas rochas itabiríticas da Formação Cauê são os que possuem o mais alto potencial hidrogeológico da área, aflorando nas cotas mais elevadas e conformando os hogbacks<sup>11</sup> que delimitam as feições morfoestruturais mais notáveis, compondo, portanto, expressiva em área de recarga. Seu acamamento varia de muito inclinado até subvertical, podendo, entretanto, chegar à total verticalidade, conforme atestam os dados SIG de altitudes das suas camadas (Lobato et al., 2005).

Geralmente tais aquíferos encontram-se delimitados na base pelas rochas da Formação Batatal (filitos) e, no topo, pela Formação Gandarela (carbonatos dolomíticos). Cabe ressaltar, entretanto, que, devido à disposição por vezes subvertical dessas formações, os termos “base” e “topo” são meras formalidades estratigráficas, valendo mais, na realidade, e considerando-se as litologias<sup>12</sup> e geomorfologia, a designação “ladeado por”.

---

<sup>9</sup> *Commodity* - produto de origem primária na bolsa de valores, para se referir a produtos de qualidade e características uniformes, que não são diferenciados de acordo com quem os produziu ou de sua origem, sendo seu preço uniformemente determinado pela oferta e procura internacional (<https://pt.wikipedia.org/wiki/Commodity>).

<sup>10</sup> BIF - *Banded Iron Formation* (Formação Ferrífera Bandada).

<sup>11</sup> Hogback - crista estreita longa ou uma série de colinas com uma crista estreita e encostas íngremes de inclinação quase igual em ambos os flancos ([https://en.wikipedia.org/wiki/Hogback\\_\(geology\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Hogback_(geology))).

<sup>12</sup> Litologias – tipos de rochas.



Fonte: Carmo et al. (2012)

**Figura 9 - Exemplo de formação ferrífera bandada.**

Dois fenômenos distintos, mas complementares e determinantes para as características hidrogeológicas da Formação Cauê, ocorreram portanto durante o tempo geológico: (1) o surgimento de porosidade fissural com alta condutividade hidráulica – gerada pela dissolução da sílica e do carbonato, com a formação de corpos de hematita compacta – e (2) a formação de porosidade intersticial com alta capacidade de armazenamento (acumulação hídrica), quando da geração de corpos de hematita<sup>13</sup> friável (Mourão, op cit.).

A lixiviação<sup>14</sup> das bandas de sílica e carbonatos nos itabiritos a partir da infiltração da água de chuva durante bilhões de anos, dessa forma, fez surgir sua porosidade e a grande capacidade de transmissão de água.

Devido à grande capacidade de acumulação hídrica verifica-se que as águas ali permanecem por longo período, razão pela qual o aquífero Cauê é definido como tendo uma grande “memória”, ou seja, águas com longos períodos de residência. Elas fluem paulatinamente para pontos de descarga por meio das fraturas ou falhas das estruturas geológicas, as quais promovem também seu armazenamento, “ou pelos pontos baixos da rede de drenagem, onde se produz a saída da água” (Amorim, 2007). Essa percolação paulatina e profunda de água garante a regulação e a manutenção das nascentes e cursos d’água nas diferentes estações climáticas ao longo do ano, com destaque para a seu ótimo desempenho durante a estiagem, em contraste com as drenagens dos demais aquíferos da região (os de circulação rasa – ou superficiais – e os subsuperficiais), que reduzem drasticamente suas vazões no período seco.

Trata-se, portanto, de uma zona aquífera capaz tanto de armazenar como de transmitir água e em grandes quantidades e velocidades. O meio e a grande espessura saturada, em média 400 metros (Silva et al., 1994) e a vasta área de ocorrência na região, salientam sua importância socioeconômica para o estratégico fornecimento de água de qualidade para parte da RMBH, para o seu Colar e destes para a parte mais populosa da região – sistemas de abastecimento público (sistemas rio das Velhas e Paraopeba/Copasa) aduzidos do QF e entorno imediato.

Segundo Mourão (2007), a condutividade hidráulica é acentuadamente mais elevada nas direções aproximadamente paralelas ao acamamento [geológico]. A recarga estimada para o

<sup>13</sup> Hematita – mineral de fórmula  $Fe_2O_3$ , o qual junto com o mineral quartzo ( $SiO_2$ ) formam a rocha itabirito (minério de ferro).

<sup>14</sup> Lixiviação - solubilização dos constituintes químicos de uma rocha, mineral, solo, depósito sedimentar entre outros, pela ação de um fluido percolante (<https://pt.wikipedia.org/wiki/Lixiviação>).

QF, por meio de cinco métodos distintos e empregando informações de natureza diversificada, revelou valor médio [de infiltração no solo] de 30,3% da precipitação média anual, podendo alcançar valores acima de 38% em domínios da Formação Cauê. Complementarmente, Mourão (2007) observou que os valores de recarga estão diretamente relacionados com a geologia e tipos de solo. Os tempos de residência<sup>15</sup> das águas subterrâneas no aquífero Cauê indicam valores, em geral, entre 50 e 300 anos. Os conteúdos em  $\delta^{18}\text{O}$  e  $\delta^2\text{H}$  (razões isotópicas<sup>16</sup>) atestam uma rápida infiltração.

Reiterando outros estudos conhecidos, Mourão et al. (2008) apontam que nas grandes estruturas dobradas, o aquífero Cauê se apresenta, em geral, como um aquífero livre. Diques de rocha básica, considerados aquiocludes, cortariam as formações, compartimentando-as localmente. Conforme mencionado mais adiante, vem se verificando, entretanto, que fraturamentos e falhas nesses mesmos diques condicionam na realidade uma interligação entre os compartimentos aquíferos (Rúbio, 2004).

Uma outra importante peculiaridade da Formação Cauê, assim como das demais unidades aquíferas do Supergrupo Minas, é seu posicionamento em topos de morro<sup>17</sup>, sendo circundada nas laterais por outras formações menos permeáveis, dando origem a aquíferos em altimetrias muito elevadas, razão pela qual o nível da água subterrânea se situa em cotas 200 a 400 metros superiores às da superfície topográfica das rochas arqueanas, mais antigas (Biodiversitas, 2007). Essa característica, associada à verticalização do Aquífero Cauê, concorre para suas enormes profundidades e, conseqüentemente, para grandes complexidades hidráulicas.

Silva et al. apresentaram, em 1994, uma avaliação preliminar das reservas de águas subterrâneas para algumas formações do QF-MG. Segundo o estudo, a espessura saturada da formação Cauê é de 400 metros, o dobro da formação Cercadinho e o quádruplo da formação Moeda. De acordo com o mesmo diagnóstico, a porosidade eficaz da formação Cauê é o dobro da formação Cercadinho e cinco vezes a da formação Moeda. Com base na área de ocorrência destas formações foi estimado um volume de 5,4 bilhões de metros cúbicos exploráveis no QF, dos quais 4,1 bilhões de metros cúbicos na formação Cauê, conforme tabela abaixo.

---

<sup>15</sup> Tempo de residência (das águas subterrâneas) – período de tempo que a água da chuva permanece no subsolo, ou seja, antes de voltar à superfície na forma de nascentes ou rios.

<sup>16</sup> Razões isotópicas -  $\delta^{18}\text{O}$  (razão entre o número de átomos dos isótopos de oxigênio-18 e oxigênio-16) e  $\delta^2\text{H}$  (razão entre o número de átomos dos isótopos de hidrogênio-2 – também chamado de deutério - e hidrogênio-1). Os isótopos naturais presentes na molécula da água são usados como indicadores da origem e dos processos naturais aos quais determinada amostra de água foi submetida. Através de um processo denominado fracionamento isotópico, as quantidades relativas de cada isótopo na água são alteradas, dependendo dos ciclos de evaporação e precipitação (a fração evaporada é mais pobre em isótopos mais pesados). Essa técnica permite assim caracterizar as águas, ao fornecer importantes dados sobre sua origem e mecanismos de deslocamento/infiltração e armazenamento. Geralmente, essas análises são complementadas com a determinação de parâmetros hidroquímicos (por exemplo, pH, condutividade elétrica, ânions e cátions majoritários) que também podem ser utilizados como uma “impressão digital” da água. Esses estudos possibilitam importantes inferências sobre o ciclo hidrológico - tempo de contato água-rocha (tempo de residência e/ou percurso), origem, circulação, interações água superficial e água subterrânea, mistura de águas de diferentes origens, dentre outras - com importantes contribuições para os estudos de reserva e recarga de aquíferos.

<sup>17</sup> Independe das controvérsias sobre a metodologia definida pelo novo Código Florestal para o delineamento exato dos Topos de Morro (Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, Art. 4º, inciso IX), a expressão aqui utilizada se refere às superfícies mais altas dos morros (cimeiras), podendo englobar suas vertentes adjacentes.

Aquíferos	Moeda	Cauê	Cercadinho
Ocorrência (km <sup>2</sup> )	1.177	1.032	907
Espessura Saturada (m)	100	400	200
Porosidade Eficaz	0,02	0,10	0,05
Reserva Geológica (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	2.354	<b>41.280</b>	9.070
Reserva Explotável de água (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	235	4.128	907

Fonte: Silva et al., (1994).

**Tabela 1 - Quadro comparativo entre as características de três dos quatro principais aquíferos do QFA - Avaliação preliminar das reservas de Água Subterrânea (com destaque para o aquífero Cauê).**

Além disso, há que se ressaltar outras características desse aquífero segundo Caldas (2010): o aquífero Cauê, como constatado na região de Capão Xavier no município de Nova Lima, apresenta águas muito pouco mineralizadas, com condutividade elétrica, em geral, abaixo de 20 µS/cm. Isto ocorre devido tanto à pouca interação água-rocha e à rápida infiltração das águas de chuva, impedindo a salinização por evaporação, como também aos baixos teores de minerais de intemperismo na Formação Cauê, reduzindo a disponibilidade de íons salinos. Em outras palavras, as águas do Geossistema Aquífero do Quadrilátero são excelentes para o consumo humano.

#### As Cangas Ferruginosas

A canga é um produto de alteração consistindo em fragmentos de formação ferrífera (itabiritos), hematita compacta e minoritariamente outros minerais, cimentados por óxido hidratado de ferro, de espessura variável no QF entre 0,5 a mais de 50 metros. Seu conteúdo de ferro varia, em média, de 40 a mais de 60% (Dorr, 1964; Queiroz, 2003; Carmo et al., 2005, dentre outros), recobrando os topos das serras. Essas couraças ferruginosas, horizontais a sub-horizontais, podem se estender por quilômetros e compõem um terreno de grande resistência à erosão. Alguns exemplos de ocorrência de Cangas no QF estão ilustrados na Figura 10 e Figura 11.



**Figura 10 - Cangas no alto da Serra do Rola-Moça.**



**Figura 11 – Cangas no alto da Serra do Gandarela (Foto: Mercedes Valadares).**

As Cangas ferruginosas do QF datam dos períodos Paleógeno (65,5 a 23 milhões de anos) e Neógeno/Plioceno (5.3 a 1.8 milhões de anos), segundo Lobato et al. (2005). Já Spier et al. (2006) advogam idades entre 62 a 14 milhões de anos (do Paleógeno até o Neógeno/Mioceno).

No Brasil, conforme ilustrado na Figura 6, as Cangas ocorrem somente em seis regiões. Em 2007, o Ministério do Meio Ambiente enquadrando quatro delas, conforme resumo da Tabela 2, segundo seu grau de importância, prioridade para conservação e ação prioritária a ser implementada. Essas características espelham claramente o reconhecimento nacional da relevância dessas formações.

ÁREAS DE CANGAS NO BRASIL			
Região	Grau de Importância	Prioridade	Ação Prioritária
Carajás (PA)	Extremamente Alta	Alta	Área Protegida (?)
Caetité (BA)	Extremamente Alta	Extremamente Alta	Criar Unidade de Conservação (PI)
Urucum (MS)	Extremamente Alta	Extremamente Alta	Criar Unidade de Conservação (US)
<b>Quadrilátero Ferrífero (MG)</b>	<b>Extremamente Alta</b>	<b>Extremamente Alta</b>	<b>Criar Unidade de Conservação (PI/US)</b>

**Tabela 2 – Enquadramento das principais regiões de Cangas, segundo MMA (2007), com destaque para a região do Quadrilátero Ferrífero.**

As Cangas abrigam uma biota caracterizada pelo elevado número de espécies raras e endêmicas, sítios espeleológicos e paleoambientais, além de contribuírem para serviços ecológicos, como a recarga hídrica, vitais para a manutenção das notáveis características hidráulicas e ambientais do Quadrilátero Ferrífero.

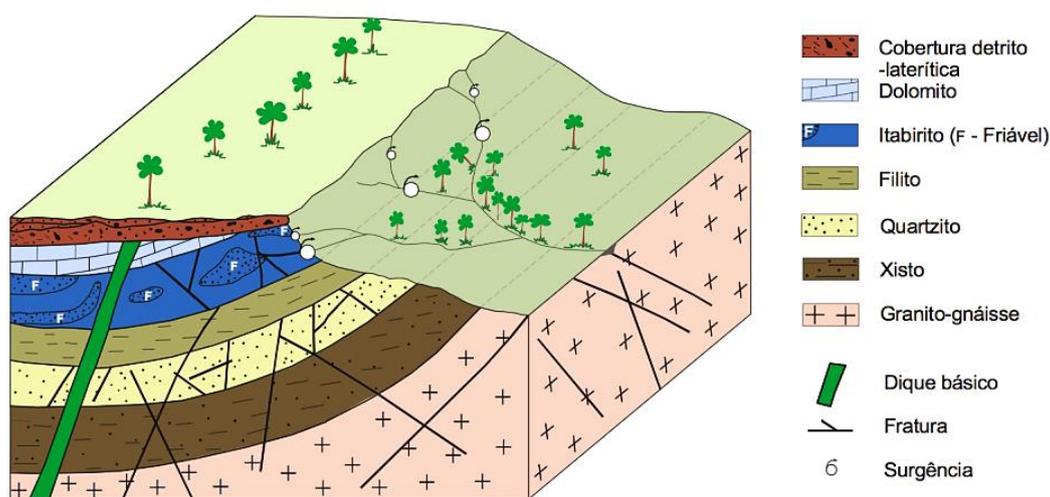
As Cangas podem ser sobrepostas por solos altamente porosos com fragmentos ferruginosos e demais sedimentos terciários e quaternários como lateritas e mudstone<sup>18</sup>. Elas foram classificadas por Dorr (1969) em três tipos: 1) canga rica – é uma brecha ou conglomerado de hematita compacta cimentada por pouca limonita, com teor de ferro superior a 66%. O cimento preenche total ou parcialmente os interstícios dos grãos, no entanto, a maior parte dos poros encontra-se vazia; 2) canga comum – é constituída por lascas de hematita e fragmentos de itabirito em proporção de 20 a 80% da rocha, cimentados por limonita; e 3) canga química –

<sup>18</sup> *Mudstone* - argila lateritizada, transportada, não plástica e não estratificada (Lobato *et al.*, 2005).

consiste, principalmente, de limonita cimentando argila e solo ferruginoso. Algumas amostras de Cangas podem chegar a teores de mais de 83% em  $Fe_2O_3$  (Alkmin, 2014).

Esse tipo peculiar de formação geológica, de aspecto semelhante a uma espessa carapaça rígida, porém porosa, é importantíssimo no contexto da recarga de aquíferos devido à sua alta condutividade hidráulica (capacidade de permitir a circulação da água).

Os depósitos de canga, geralmente distribuídas em grande parte por sobre as formações Gandarela e Cauê, atuam como aquífero superficial livre, conectado diretamente com os aquíferos subjacentes (Lazarim, 1999, apud IBRAM, 2003). De grande relevância nesse caso é a constatação de que a recarga se dá pela infiltração de águas pluviais diretamente sobre os espessos horizontes intemperizados dos itabiritos. A eficiência da infiltração é maior quando auxiliada pela presença das Cangas, de elevada porosidade, recobrindo as camadas de itabiritos (CPRM, 2005). Caldas (2010) ressalta ainda que a presença das Cangas reduz significativamente a evaporação. Tal eficiência é absolutamente necessária para que a água da chuva penetre rapidamente no solo/subsolo e alcance o aquífero – seu destino intermediário, até que água volte à superfície sob a forma de surgências (nascentes) e, na sequência, alimente riachos e rios ou os alimente subsuperficialmente por seções de descarga de aquíferos (Figura 12).



Fonte: BEATO et al. (2006).

**Figura 12 - Bloco-diagrama simplificado da seqüência metassedimentar parcial do QFA.**

A porosidade das Cangas e sua localização nos topos de morros dão origem, portanto, a uma excepcional zona de recarga hídrica, viabilizando o importantíssimo Aquífero Cauê (itabiritos da Formação Cauê, formação rochosa ferrífera, rica em fraturas e fendas) ou mesmo o Aquífero Gandarela, a ela sobpostos.

Assim, as Cangas exercem uma função hidrogeológica extremamente relevante, uma vez que a recarga hídrica do sistema se dá predominantemente pela infiltração de águas pluviais diretamente sobre essas camadas lateríticas de elevada porosidade (IBRAM, 2003 e CPRM, 2004).

Também o Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM) em seu documento “Contribuição do IBRAM para o Zoneamento Ecológico-Econômico e o Planejamento Ambiental de Municípios Integrantes da APA-SUL RMBH”, de 2003, corrobora a importâncias das Cangas para o contexto hidrogeológico do QF quando trata dos “Aquíferos em sedimentos colúvio-eluviais” (Cangas) e diz, na página 78:

“...Englobam unidades aquíferas superficiais relacionadas ao manto de intemperismo (saprólitos, elúvios e colúvios) e aos depósitos detríticos terciário-quaternários. Esses aquíferos são de ocorrência generalizada e mostram grande variabilidade de composição e espessura ligada ao tipo litológico originário, condições paleoclimáticas e condicionamento morfo-tectônico. São aquíferos potencialmente fracos e vulneráveis, porém importantes no processo de recarga dos aquíferos adjacentes.”...

Em grande parte, devido às Cangas, o QF tem reserva hídrica subterrânea estimada em 5 bilhões de metros cúbicos, dos quais estima-se que 4 bilhões de metros cúbicos estejam no Geossistema Canga/Formações Ferríferas (IBRAM, 2003).

As Cangas, como ecossistemas em área de recarga de aquíferos e de nascentes de rios, são reconhecidas, entretanto, como particularmente vulneráveis às mudanças climáticas, segundo a Resolução CONABIO nº 4, de 25 de abril de 2007, em seu Art. 1º Inciso VI (MMA, 2007). No art. 2º desse mesmo dispositivo legal são apresentadas algumas ações como respostas apropriadas de adaptação da biodiversidade brasileira nos ecossistemas mais vulneráveis, face aos impactos das mudanças climáticas, no âmbito da Política Nacional da Biodiversidade, e entre elas estão:

“...VIII – Ampliar ações de prevenção e controle de poluição urbana industrial, agrícola e da mineração;”...

“...XIII – Aprimorar as modelagens regionais de mudanças climáticas e gerar mapas mais precisos dos ecossistemas mais vulneráveis e das áreas degradadas;”...

Por todas essas características hídricas preponderantes do aquífero Cauê e as funções hidrológicas sistêmicas que englobam a atuação das Cangas ferruginosas, nada mais justo que seja reconsiderado o uso do acrônimo QF, até agora denominando o Quadrilátero Ferrífero: a narrativa do Quadrilátero foi até recentemente ditada pela visão do uso e caracterização mineral de um território prospectado pela Comissão Mista Brasil-Estados Unidos (anos 1940 e 1950), como objeto de exploração e exportação do bem geológico/mineral. Compreender uma definição mais completa e coerente com os conhecimentos atuais e a visão integrada de meio ambiente e recursos hídricos (e os serviços naturais que estes prestam à sociedade) parece, no entanto, o caminho mais adequado do ponto de vista etimológico e da natureza física desse patrimônio natural e ecológico.

Neste sentido, a visão científica e interdisciplinar obriga a alteração do acrônimo e respectiva definição para QFA, Quadrilátero Ferrífero-Aquífero. Da mesma forma, o Geossistema Ferruginoso do Quadrilátero, por representar uma verdadeira “Usina Hidráulica”, passará a ser considerado aqui um Geossistema Hidroferruginoso.

### *2.6.3.3 O Rodoanel no contexto das estruturas geológicas das Serras do Rola Moça e da Moeda*

A partir das considerações anteriores, depreende-se que ambos os túneis interceptariam alguns dos horizontes aquíferos característicos e fundamentais do Quadrilátero.

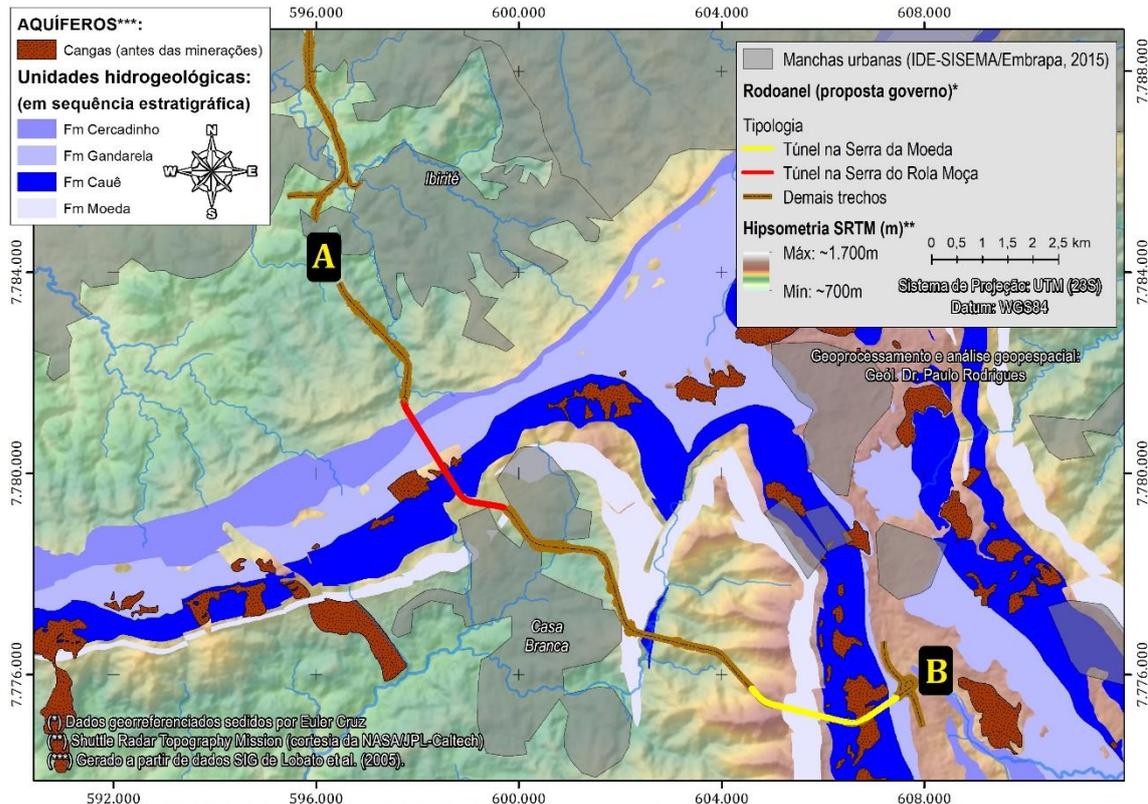
O túnel da Serra do Rola Moça, conforme ilustrado na Figura 13, interceptaria, dentre vários tipos de rochas, três dos quatro aquíferos mais importantes da região. Em sequência de norte para o sul seriam: a Formação Cercadinho (~280 metros), a Formação Gandarela (~670 metros) e a Formação Cauê (~990 metros).

Já o túnel pela Serra da Moeda (flanco oeste do Sinclinal Moeda) teria a seguinte composição (em continuação na da mesma direção da rodovia): a Formação Moeda (~750 metros); a Formação Cauê (~1.360 metros) e a Formação Gandarela (~200 metros).

Ambos os túneis estariam passando por baixo das cangas ferruginosas que representam também rochas com grande relevância para a circulação de água. No túnel pela Serra do Rola

Moça haveria um segmento de canga sobreposto ao traçado com cerca de 100 metros enquanto no da Serra da Moeda, outros três segmentos teriam também que ser contabilizados: de 90, 80 e 350 metros.

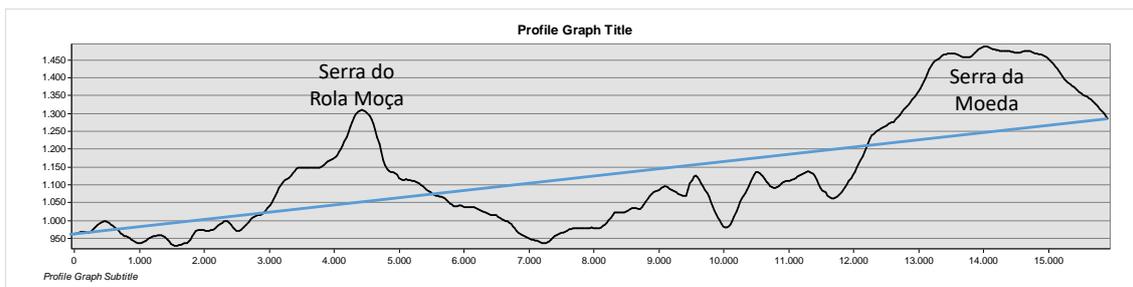
Para um melhor entendimento do complexo cenário dessas rochas são apresentadas, nos parágrafos a seguir, algumas das características hidrogeológicas mais relevantes dessas camadas. Destaque-se o Geossistema Hidroferruginoso que representa uma das interações rochosas mais peculiares e relevantes da região em termos de acumulação e circulação hídricas.



**Figura 13 – Ampliação cartográfica da região dos dois túneis previstos na proposta do governo para o Rodoanel com destaque para as formações hidrogeológicas (tons de azul e amarelo pontilhado).**

*2.6.3.4 Detalhes geológico-estruturais nos trechos da região da Serra da Moeda e na Serra do Rola Moça*

Na Figura 14, anteriormente citada, há a indicação de um perfil topográfico indicado por A-B. A seguir ele está ilustrado, juntamente com o traçado do Rodoanel proposto pelo governo (em azul):



**Figura 14 – Perfil topográfico correspondente ao traçado proposto pelo governo (linha azul) para o Rodoanel na região dos dois túneis pela Serra do Rola Moça e Serra da Moeda: traçado A-B.**

Observa-se, a partir dos mapas e do perfil topográfico apresentado, que a proposta do traçado governamental, além de gerar monumentais obras de engenharia, ainda resultaria em um traçado extremamente íngreme.

Geologicamente, o traçado em análise transpassaria tanto a Formação Cauê (principal unidade hidrogeológica do QFA) como outras duas formações aquíferas, também relevantes, as quais desempenham importantíssima função de área de recarga hídrica regional para grande parte da borda oeste do Quadrilátero. Na superfície de ambos os túneis ainda se encontrariam trechos da canga ferruginosa.

Conforme já mencionado, o binômio geológico canga/itabirito compõe um sistema aquífero que garante excepcional qualidade e quantidade hídricas para suas águas, considerando sua capacidade de recarga, armazenamento e qualidade de água (baixíssima salinidade), pois concilia, ao mesmo tempo, a rápida infiltração da água de chuva, uma grande capacidade de acumulação hídrica e, de forma incomum nessa situação, uma elevada condutividade hídrica, propiciadas, respectivamente, pelas Cangas, pelas fissuras e porosidade da Formação Cauê e também pela sua grande elevação topográfica, gerando potentes cargas hidráulicas.

#### 2.6.3.5 O cone de depressão (hidráulica) nos túneis das Serras

A Figura 15 e Figura 16, abaixo, ilustram o fenômeno do “cone de depressão” hidráulica, o qual é caracterizado pelo rebaixamento não horizontalizado do nível d’água subterrâneo causado pelo bombeamento de um poço tubular. Essa alusão à figura geométrica de um cone se justifica, então, a partir do fato que durante o período de bombeamento há a formação de um espaço vazio no subsolo com a mesma geometria – apenas virada de cabeça para baixo.

Esse espaço vazio é causado pela dificuldade da água subterrânea em recuperar o espaço deixado pelo bombeamento na proximidades da bomba d’água, já que sua velocidade de deslocamento no subsolo é bem inferior à necessária para compensá-lo. Em termos físicos, esse fenômeno pode ser explicado aumento da pressão negativa ao redor da bomba d’água.

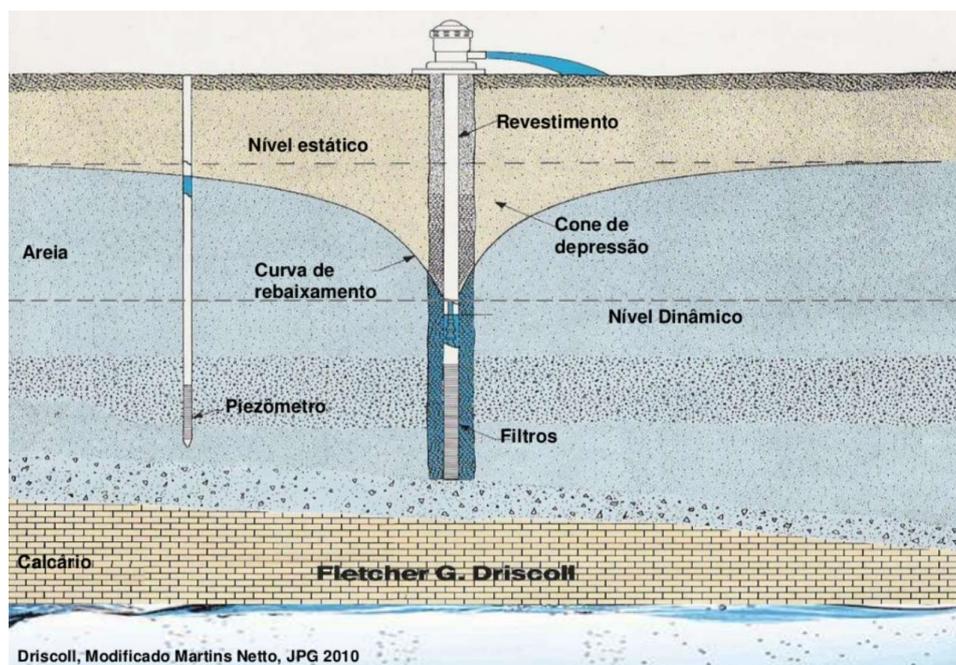
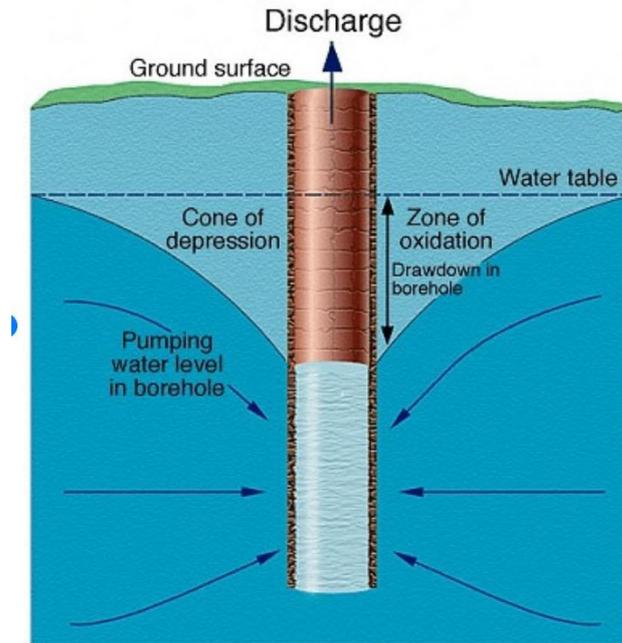


Figura 15 – Ilustração do Cone de Depressão (rebaixamento do nível d’água subterrânea) gerado pelo bombeamento de água em um poço tubular.



2. The formation of a cone of depression during pumping from a bore.

**Figura 16 - Ilustração do Cone de Depressão (rebaixamento do nível d'água subterrânea) gerado pelo bombeamento de água em um poço tubular com destaque para as linhas de fluxo hidráulico (setas pretas).**

Assim, da mesma forma que um espaço com pressão negativa suga a água em seu redor, a escavação de um túnel em camadas geológicas aquíferas seguirá a mesma tendência. Na Figura 17, abaixo, é possível se perceber a criação de um espaço subterrâneo com pressão negativa a partir da escavação de um túnel no interior de uma camada aquífera. Uma vez criada uma cavidade com pressão negativa, portanto, a água ao redor migrará preferencialmente para seu interior. Não são incomuns, então, situações como as da



**Figura 18, de túneis com grande afluência de águas subterrâneas vertendo de suas paredes.**

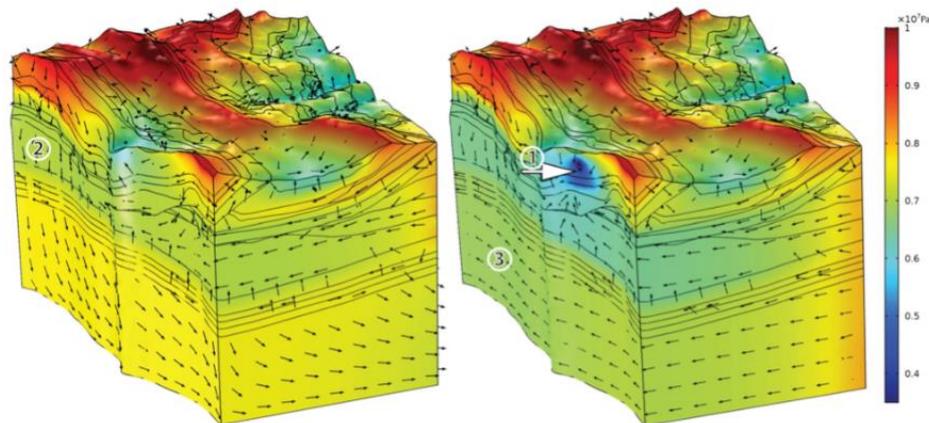


Fig. 6: Result of regional-scale groundwater modeling. The colors show the hydraulic pressure distribution in pascal; the arrows represent the flow direction. The left image shows the model without the tunnel, and the right image shows the model with the tunnel at atmospheric pressure. (1) Pressure reduction due to atmospheric boundary conditions in the tunnel; groundwater flow direction changes and points toward the tunnel. (2) Also, distant areas (in the regional aquifer) react with considerable pressure losses. (3) In deeper areas, the pressure conditions and even the groundwater flow direction also change, since this area is an aquitard; however, the flow velocities (not shown in the figure) are extremely low.

<https://www.comsol.com/blogs/integration-of-geological-structures-into-regional-scale-groundwater-models/>

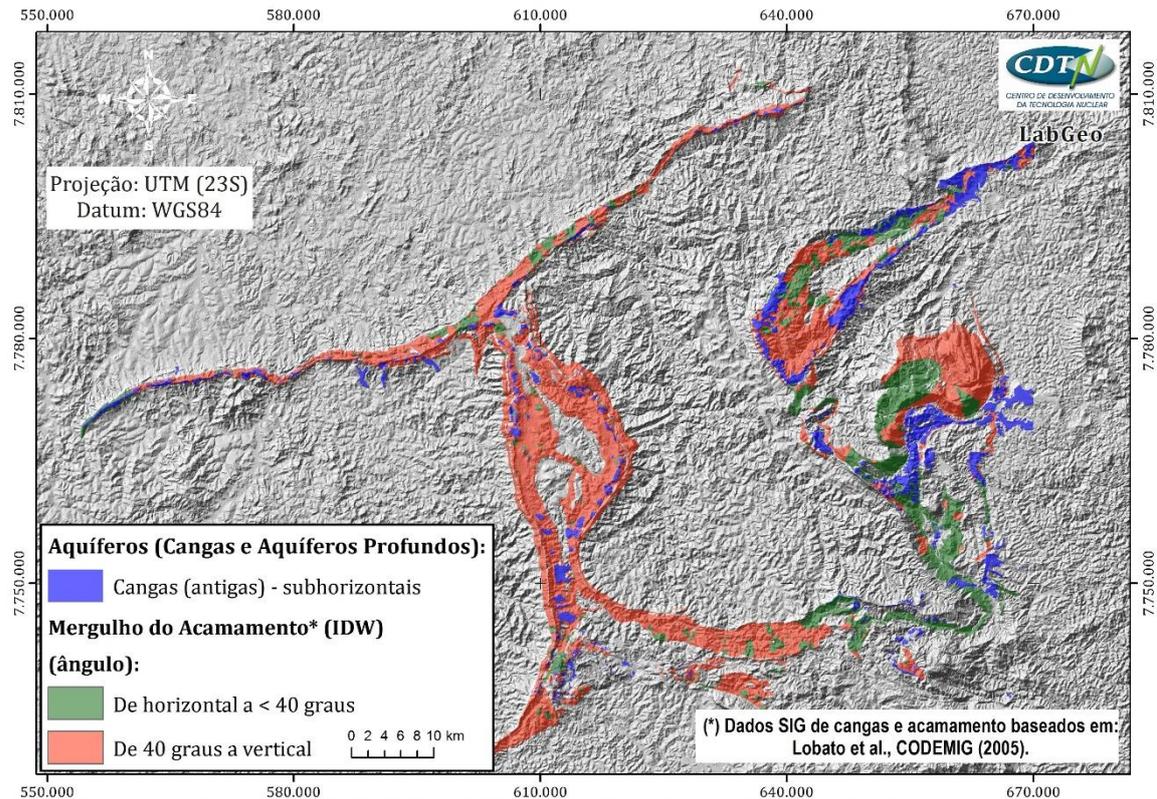
**Figura 17 – Blocos diagramas ilustrando os cenários hidrogeológicos antes (imagem da esquerda) e depois (imagem da direita) da escavação de um túnel com destaque para o acúmulo de água na seção do túnel (em tons de azul mais escuro).**



**Figura 18 – Conjunto de fotografias exemplificando o extravasamento de grandes volumes de água subterrânea pelas paredes de túneis escavados em horizontes geológicos formadores de aquíferos relevantes.**

### 2.6.3.6 A verticalidade das camadas geológicas das Serras do QFA

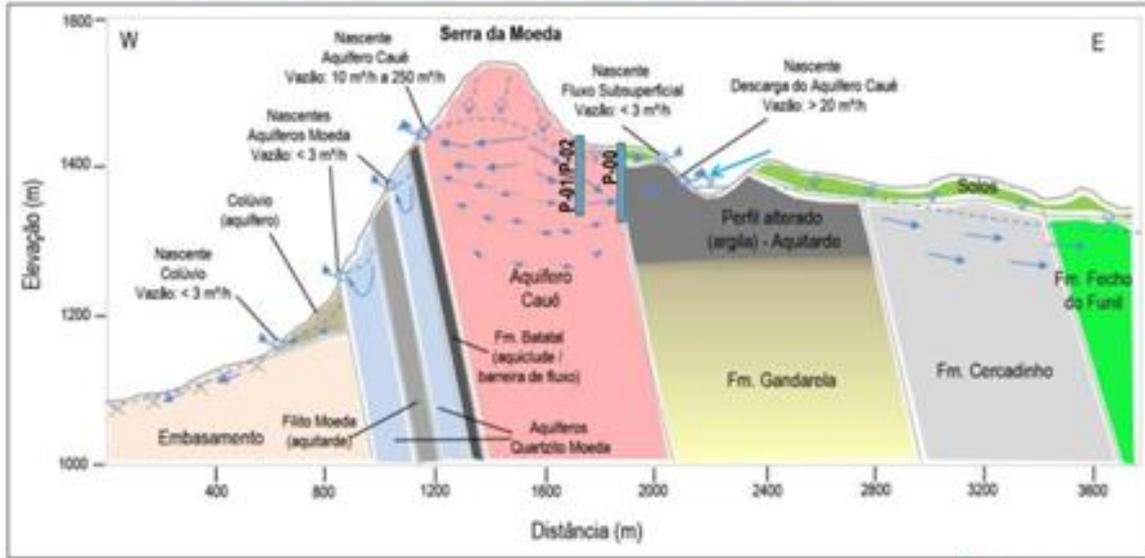
A Figura 19 ilustra o posicionamento espacial das camadas dos quatro aquíferos mais importantes do QFA, comprovando suas fortes inclinações também nos topos de morro.



**Figura 19 – Distribuição espacial dos dados de inclinação das camadas nas regiões dos quatro aquíferos profundos do QFA, evidenciando a grande frequência de áreas com forte inclinação, uma das singularidades da formação Cauê (as Cangas, apesar de se encontrarem sub-horizontalizadas, estão sobrepostas a camadas inclinadas dos aquíferos a elas sobpostos).**

Uma outra ilustração da verticalidade das camadas do QFA é trazida pela Figura 20, que traz um perfil geológico transversal à Serra da Moeda (a localização desse perfil pode ser observada na Figura 21). Nessa Figura é também possível observar as direções de fluxo hídrico a partir do cume da Serra da Moeda tanto para oeste, indo alimentar as nascentes da bacia do rio Paraopeba, como para leste, contribuindo para as vazões do rio das Velhas.

### Modelo Hidrogeológico Conceitual (análise integrada da base de dados disponível)



<http://www.slideshare.net/ckhvelhas/estudo-hidrogeologico-da-aba-oeste-do-sinclinal-moeda-metodologias-e-avaliacao-do-almeida-water-services-brasil>

Figura 20 – Perfil geológico pela Serra da Moeda (relativo à linha amarela na abaixo) e correspondendo ao flanco oeste do Sinclinal Moeda.

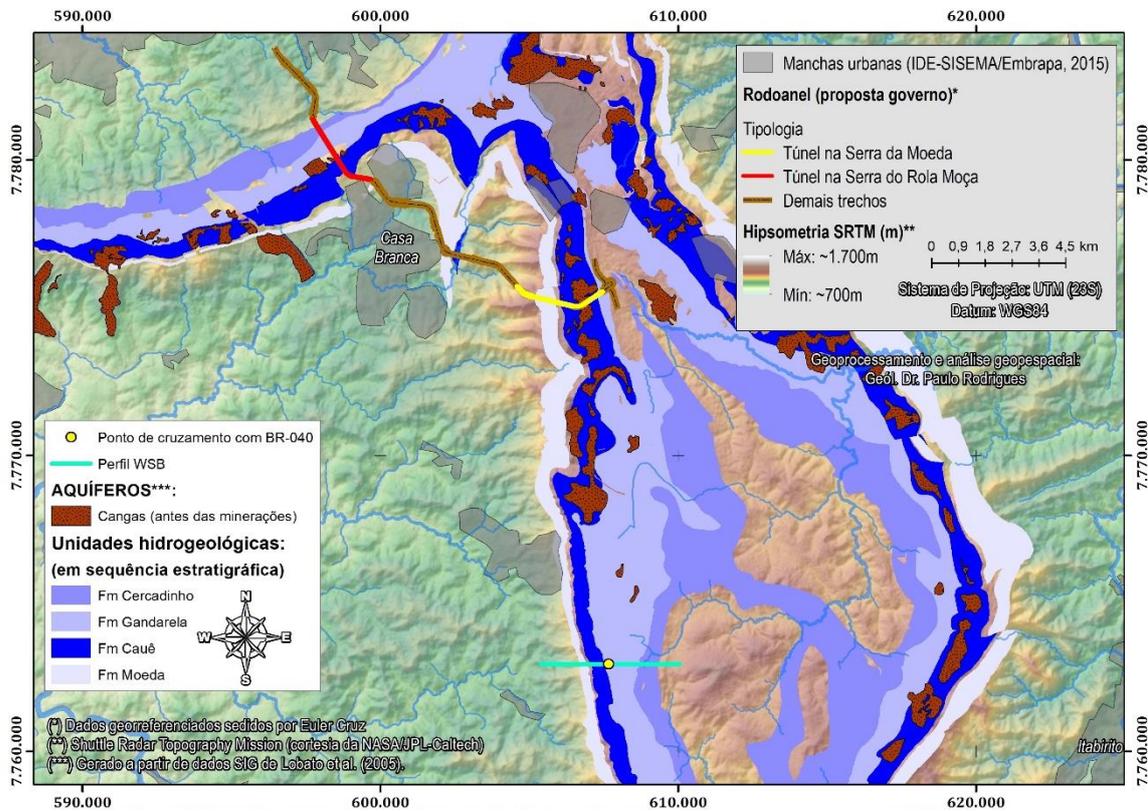


Figura 21 – Contexto hidrogeológico na região sul do projeto do Rodoanel com destaque para o perfil geológico (linha verde) e o seu cruzamento com a BR-040 (ponto amarelo).

Comparando-se o perfil indicado no mapa acima (traçado em verde) e o trecho de túnel pela Serra da Moeda, na proposição do governo para o Rodoanel (traçado em amarelo), observa-se claramente que a extensão do corte do túnel pela Serra da Moeda, por dentro do aquífero Cauê, seria bem superior ao do perfil da Figura 20.

Assim, o comprometimento na circulação hídrica nesse trajeto do Rodoanel proposto pelo governo seria de impactos incalculáveis nas vizinhanças imediatas do túnel e com consequências igualmente impactantes para a captação de água de abastecimento da COPASA no rio da Velhas (captação de Bela Fama, em Honório Bicalho), responsável pelo abastecimento de água de cerca de 70% de Belo Horizonte e de muitos outros municípios ao seu redor, num total de 2,4 milhões de pessoas.

Considerando-se ainda que os túneis em questão representariam aberturas, só na Formação Cauê, de cavidades subterrâneas da ordem de 990 metros (na Serra do Rola Moça) e de 1.360 metros (na Serra da Moeda), haveria um rebaixamento progressivo durante espaços de tempo inimagináveis até que seja alcançado um novo (des)equilíbrio hidráulico para as regiões. A Figura 22 ilustra bem as diferentes fases de rebaixamento das águas subterrâneas em cenários progressivos de expansão dos cones de depressão, evidenciando os impactos nas nascentes, rios e terras úmidas em seu raio de influência.

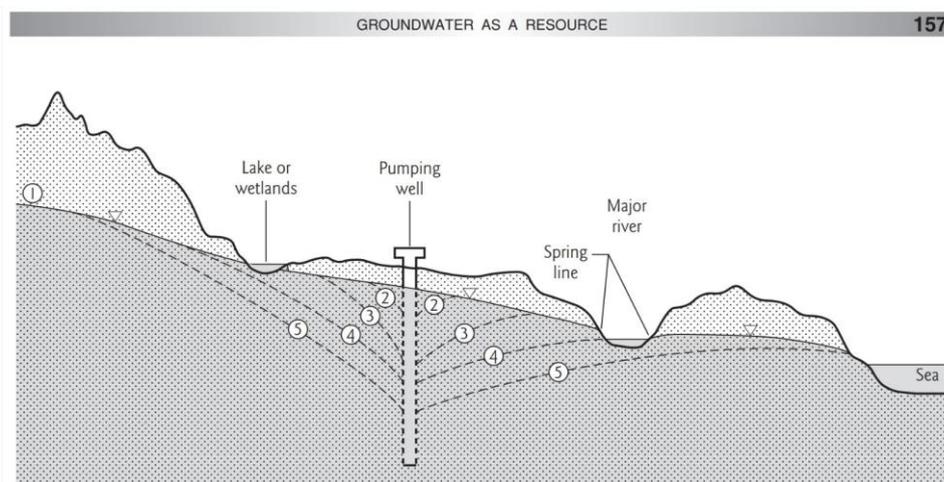


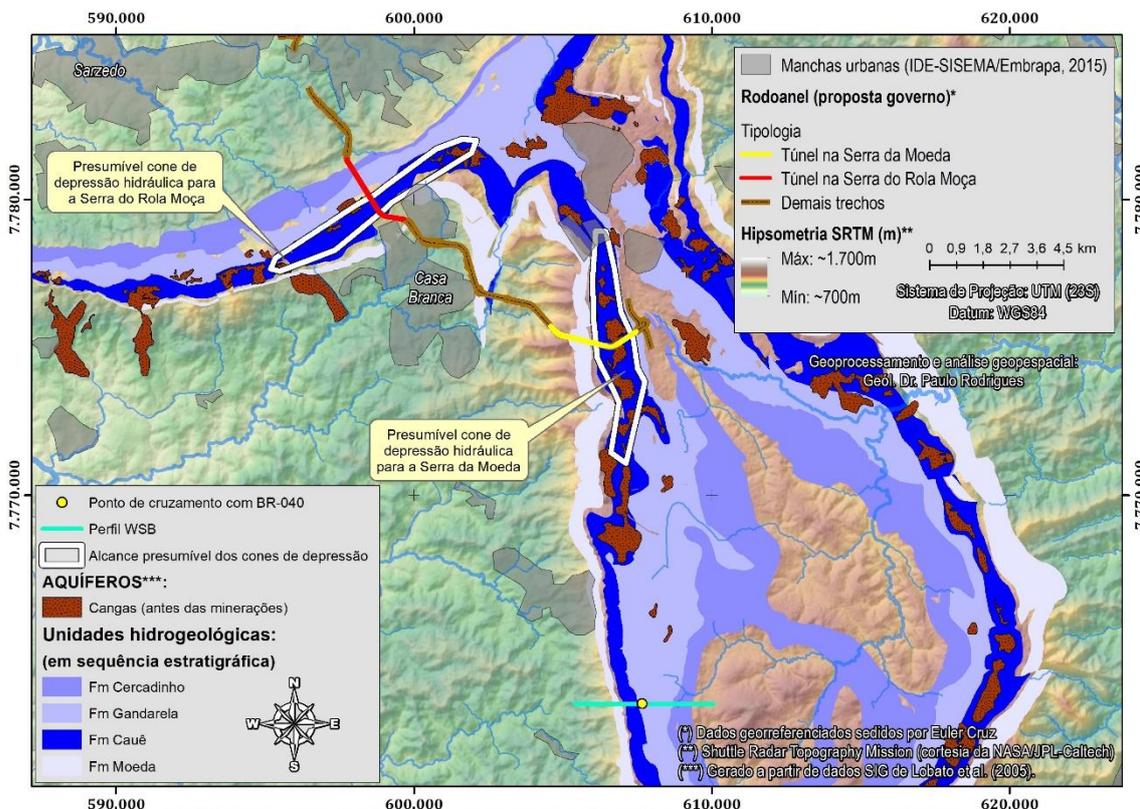
Fig. 7.1 The source of water derived from wells. The original pre-pumping water table (1) is disposed such that it feeds discharging groundwater to the lake or wetlands near the hills, to the spring lines and the major river, and finally to the sea. During the early stages of pumping (2, 3), all of the water arriving at the well is being removed from storage (the volume now occupied by the expanding cone of depression). By the time the cone of depression has reached position (4), the water table has fallen below the lake or wetlands (which will now leak further water into the aquifer, augmenting recharge), cut off discharge from the left-hand spring line above the river (a decrease in natural discharge), and reversed the water table gradient at the river itself (both a decrease in natural discharge and an induced increment in recharge). By the time the cone of depression has reached position (5), all inland freshwater bodies are hydraulically disconnected from the water table (cf. Figure 5.4c) and will be acting as recharge features only; furthermore, discharge to the sea is now being reduced, due to the lessening of the seaward hydraulic gradient, and if this continues, sea water intrusion to the aquifer can be anticipated (cf. Figures 3.6 and 7.2). (Inspired by Theis 1940.)

YOUNGER, Paul (2007) - Groundwater in the Environment (pág. 157)

**Figura 22 – Perfil topográfico esquemático ilustrando as etapas sequenciais do rebaixamento do nível de água subterrânea a partir do contínuo bombeamento pelo poço tubular.**

Comunicações verbais de geólogos de mineradora da região atestam que o rebaixamento do nível d'água pelas atividades de extração de minério de ferro na mina de Sapecado, no municípios de Itabirito, também na Formação Cauê, vem gerando a morte de nascentes a mais de 4 km de distância da cava. Numa extrapolação plenamente defensável dessa dimensão também para as regiões do aquífero Cauê tanto na Serra do Rola Moça como na Serra da Moeda, seria gerado um cenário de cone de depressão, presumivelmente em formato "achatado"

lateralmente, conforme ilustrado na Figura 23, uma vez que esse raio de impacto seria deformado pelas camadas aquíferas laterais, de menor circulação hídrica.



**Figura 23 - Contexto hidrogeológico na região sul do projeto do Rodoanel com destaque para o surgimento de dois enormes cones de depressão (presumivelmente achatados) nas imediações (até 4 km a partir de cada túnel) para as Serras do Rola Moça e da Moeda (elipses brancas), se concretizado a proposta do governo para a obra.**

### 2.6.3.7 Conclusões

A superação das serras do Rola Moça e da Calçada pelo Rodoanel pressupõe obras subterrâneas, mas não necessariamente aquelas previstas na alternativa 1C, a apresentada pelo Governo.

Esta proposta evidenciou que o túnel da Serra do Rola Moça interceptaria, dentre vários tipos de rochas, três dos quatro aquíferos mais importantes da região. Em sequência de norte para o sul seriam: a Formação Cercadinho (~280 metros), a Formação Gandarela (~670 metros) e a Formação Cauê (~990 metros).

O túnel pela Serra da Moeda interceptaria três camadas aquíferas: na Formação Moeda (~750 metros); na Formação Cauê (~1.360 metros) e na Formação Gandarela (~200 metros).

A construção de um túnel por dentre camadas geológicas com enorme capacidade aquífera como as quatro formações ocorrentes na Serra da Moeda (flanco oeste do Sinclinal Moeda) e na Serra do Rola Moça, não somente representaria um grande desafio de engenharia, como também geraria aumento dos custos financeiros para sua construção e manutenção.

Seja qual for o traçado definitivo, é imperioso ter em mente que:

- Não poder ser descartada a possibilidade de rebaixamento do nível das águas subterrâneas em extensões consideráveis a partir da cavidade do túnel. Esse

rebaixamento poderá levar a repercussões irreversíveis, como por exemplo à destruição das nascentes d'água nas duas serras.

Vale destacar que a Serra da Moeda tem papel fundamental na contribuição hídrica tanto para a bacia do rio Paraopeba como para a bacia do rio das Velhas, impactando os caudais que abastecem não somente a capital mineira como vários municípios de sua região metropolitana. Somente a captação de Bela Fama (Sistema 38 Integrado Rio das Velhas), por exemplo, já supre de água mais de 2,4 milhões de pessoas (COPASA, 2017). A ocorrência e as dimensões desse impacto ambiental só poderão ser determinadas por meio de estudos.

- b) Não conhecemos estudo e/ou pesquisa que permita desenhar o cenário hidrogeológico real e atual na área específica dos túneis e é bem possível que o Estado de MG não tenha elaborado tais estudos no âmbito do projeto do Rodoanel. Por ora, sabe-se que a pressão de água que atuará sobre eles será uma parcela do total original e natural. Mas qual parcela? Caso o Estado tenha elaborado tais estudos – imprescindíveis para um projeto da envergadura do Rodoanel – solicitamos que sejam disponibilizados para que a sociedade possa conhecê-los e analisá-los.
- c) O afluxo de água aos túneis será inevitável. Técnicas de engenharia permitem hoje a construção de túneis no mar, e, com certeza, existirão aquelas que permitirão a construção de túneis nos aquíferos citados. Conforme a escavação avance, as paredes dos túneis deverão ser progressivamente revestidas com concreto armado, com sua auréola previamente tratada com outros recursos de pleno domínio da Engenharia. Este concreto deverá ser dimensionado levando em conta a pressão de água neles incidente, que poderá ser previamente determinada em piezômetros e demais dispositivos adequadamente distribuídos no entorno da área de projeto. Convirá utilizar, o quanto possível, trabalhos similares já certamente feitos ao redor de tais cavas. A vazão da água para dentro dos túneis, por sua vez, poderá ser estimada com base em modelos matemáticos bastante sofisticados, alimentados por um amplo elenco de investigações de campo, tanto indiretas (métodos geofísicos) como diretas (sondagens de várias modalidades), além de dispositivos de medição igualmente bem distribuídos na área. Mas tudo isso tem um custo que precisa ser considerado na escolha do traçado.

Os projetos dos túneis previstos no traçado 1C são, evidentemente, o item principal do ponto de vista técnico-econômico de todo o empreendimento, a começar pela necessidade de estudos comparativos das alternativas de traçado (a “escolhida” e as “descartadas”), elegendo a que melhor equilibrar os parâmetros ambientais, econômicos e de engenharia, aí incluídas a geologia e a hidrogeologia.

Daí porque consideramos que a forma exageradamente simplista em que a Alternativa 1C foi apresentada ao público não revela nem de longe a dimensão do desafio que os túneis representarão para a Engenharia, à qual caberá enfrentar o cenário com todas as ferramentas e recursos necessários. Então, como os licitantes poderão fazer suas estimativas de preço, prazo, riscos etc.? E como o Governo poderá comparar as propostas recebidas, se nem ele conhece a magnitude do desafio?

#### **BIBLIOGRAFIA CITADA E CONSULTADA**

AGÊNCIA BRASIL - Água de BH e outras 15 capitais está contaminada por substâncias nocivas à população, segundo estudo da Unicamp. 2012. Disponível em: [www.em.com.br/app/noticia/especiais/rio-mais-20/noticias/2012/06/14/noticias\\_internas\\_](http://www.em.com.br/app/noticia/especiais/rio-mais-20/noticias/2012/06/14/noticias_internas_)



rio\_mais\_20,300028/agua-de-bh-e-outras-15-capitais-esta-contaminada-por-substancias-nocivas-a-populacao-segundo-estudo-da-unicamp.shtml. Acesso em julho de 2012.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA) - Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil: 2013. 2013. Disponível em: [http://arquivos.ana.gov.br/institucional/spr/conjuntura/webSite\\_relatorioConjuntura/projeto/index.html](http://arquivos.ana.gov.br/institucional/spr/conjuntura/webSite_relatorioConjuntura/projeto/index.html). Acesso em 16 de março de 2015.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA) - Dados SIG das Ottobacias da Bacia do São Francisco e da Bacia do Atlântico (Trecho Leste). Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb.asp?Tocltem=4100>. 2010. Acesso em: 10 de agosto de 2017.

ALKMIM, A.R. - Investigação geoquímica e estratigráfica na formação ferrífera na porção centro-oriental do Quadrilátero Ferrífero, MG. Dissertação de Mestrado – Ouro Preto, UFOP. 2014. Disponível em: <http://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/3610>. Acesso: em outubro de 2017.

AMORIM, L.Q. – Relatório Hidrogeológico de Acompanhamento Mina Capão Xavier (revisado por RÚBIO, Rafael F.), MBR, Nova Lima, março 2007.

AMPLO TREINAMENTO E CONSULTORIA– Estudos de Impacto Ambiental – Mina Apolo. 2.569 pág.; 2009.

ASSEMBLEIA LEGISLATIVA DE MINAS GERAIS (ALMG) - Decreto nº 46.711 - 27/01/2015 (MG) – Disponível em: <https://www.almg.gov.br/consulte/legislacao/completa/completa.html?tipo=DEC&num=46711&ano=2015>. Acesso em: 10 de agosto de 2017.

BALTAZAR, O.F.; BAARs F.J.; LOBATO, L.M.; REIS, L.B.; ACHTSCHIN, A.B.; BERNI, G.V.; SILVEIRA, V.D. - Mapa Geológico do Quadrilátero Ferrífero na Escala 1: 50.000 com Nota Explicativa. In: Projeto Geologia do Quadrilátero Ferrífero - Integração e Correção Cartográfica em SIG com Nota Explicativa. Lobato *et al.* (2005) CODEMIG. Belo Horizonte. 2005. Disponível em: [www.codemig.com.br](http://www.codemig.com.br). Acesso em 5 de agosto de 2012.

BAPTISTA, P. - Gandarela: o Avatar é aqui. 2013. Disponível em: <http://www.JornaldoBelvedere.com.br/index.php/2016-04-13-16-28-18/transito/item/1608-Gandarela-o-avatar-e-aqui>. Acesso em 23 de novembro de 2017.

BEATO, D.A.C.; MONSORES, A.M.; BERTACHINI, A.C. - Potencial aquífero nos metassedimentos do Quadrilátero Ferrífero - região da APA Sul RMBH – MG. XIV Congresso Brasileiro de Geologia, p. 1-20. 2006. Disponível em: <http://aguassubterraneas.abas.org>. Acesso em 15 de agosto de 2017.

BIODIVERSITAS - Plano de Manejo do Parque Estadual do Rola Moça (encarte 3). Belo Horizonte, IEF-Semad/Biodiversitas, 2007. Disponível em: [www.biodiversitas.org.br/planosdemanejo/pesrm/regiao3.htm](http://www.biodiversitas.org.br/planosdemanejo/pesrm/regiao3.htm). Acesso em: julho de 2012.

CALDAS, F.V. – Relatório de Acompanhamento Hidrogeológico – Mina de Capão Xavier – Ciclo Hidrológico 2009/2010. Vale, Nova Lima, outubro de 2010 (versão preliminar).

CARMO, F.F. - Importância Ambiental e Estado de Conservação dos Ecossistemas de Cangas no Quadrilátero Ferrífero e Proposta de áreas-alvo para a Investigação e Proteção da Biodiversidade em Minas Gerais, Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais. 2010.

CARMO, F.F.; CARMO, F.F.; CAMPOS, I.C.; JACOBI, C.M. – Cangas - Ilhas de ferro estratégicas para a conservação. Revista Ciência Hoje, Vol. 295: 49-53; agosto 2012.

CARMO, F.F.; KAMINO, L.H.Y. (organizadores) - Geossistemas Ferruginosos do Brasil: áreas prioritárias para conservação da diversidade geológica e biológica, patrimônio cultural e serviços ambientais. Instituto Prístino. 2015. Disponível em [www.institutoprinstino.org.br/wp-](http://www.institutoprinstino.org.br/wp-)



[content/uploads/2016/03/Geossistemas-ferruginosos-no-Brasil-CD.pdf](#). Acesso em outubro de 2017.

CHEREM, L.F.S. - Análise Morfométrica da Bacia do Alto Rio das Velhas – MG. Dissertação de Mestrado. Belo Horizonte, UFMG, 2008. Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/handle/1843/1891/browse?value=Luis+Felipe+Soares+Cherem&type=author>; Acesso: em 30 de outubro de 2017.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DE MINAS GERAIS (COPASA). Disponível em: [www.copasa.com.br/wps/wcm/connect/9bcce0c8-4aca-4aa7-a192-22063a072e2f/PMI\\_InformacoesDaDistribuicaoDeAguaDosSistemasRioDasVelhasEMorroRedondo.pdf?MOD=AJPERES](http://www.copasa.com.br/wps/wcm/connect/9bcce0c8-4aca-4aa7-a192-22063a072e2f/PMI_InformacoesDaDistribuicaoDeAguaDosSistemasRioDasVelhasEMorroRedondo.pdf?MOD=AJPERES). Acesso em: 17 de março de 2017.

CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME - Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Doce. PIRH\_Doce\_Volume\_I-Anexos.pdf. 2010. Disponível em [www.cbhmanhuacu.org.br/wp-content/uploads/2015/02/PIRH\\_Doce\\_Volume\\_I-Anexos.pdf](http://www.cbhmanhuacu.org.br/wp-content/uploads/2015/02/PIRH_Doce_Volume_I-Anexos.pdf); acesso em 15 de agosto de 2017.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS (CPRM) - Projeto APA Sul RMBH: Hidrogeologia, Vol. 8. Parte A – Texto. 101 p. Belo Horizonte, 2005.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS (CPRM) - Bases SIG do mapa Hidrogeológico do Brasil. Disponível em: <http://geobank.cprm.gov.br>. 2014. Acesso em: 17 de maio de 2017.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS (CPRM) - Excursão virtual pela Estrada Real no Quadrilátero Ferrífero. Disponível em: [www.cprm.gov.br/publique/media/gestao\\_territorial/geoparques/estrada\\_real/geologia\\_hidro.html](http://www.cprm.gov.br/publique/media/gestao_territorial/geoparques/estrada_real/geologia_hidro.html). Acesso em 10 de agosto de 2017.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL (DNPM) – Bases georreferenciadas dos direitos minerários de Minas Gerais - SIGMINE. Disponível em: <http://sigmine.dnpm.gov.br/webmap>. Acesso em: 7 de julho de 2017.

DORR II, J. v.N. - Supergene iron ores of Minas Gerais, Brazil. *Economic Geology*, 59 (7): 1203-1240. 1964.

DORR II, J. v.N. - Physiographic stratigraphic and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. U.S. Geol. Survey Prof. Paper 614-A, USGS. 110 p. 1969.

ESRI (Environmental Systems Research Institute) – Plataforma ArcGis, versão 10.2.2. Distribuído por Imagem - Soluções de Inteligência Geográfica. 2017.

HERDY, T. - Com comprometimento de até 95% do sistema em dias de pico, Copasa busca longe alternativa para demanda. Matéria do jornal Estado de Minas, Caderno Gerais, de 6 de junho de 2008. Disponível em: [www.em.com.br](http://www.em.com.br). Acesso em 4.ago.2012.

IBRAM - Instituto Brasileiro de Mineração. Contribuição do IBRAM para o zoneamento ecológico-econômico e o planejamento ambiental de municípios integrantes da APA-SUL RMBH, 322 p. 2003.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE (ICMBio) - Proposta de Criação do Parque Nacional da Serra do Gandarela. 2010. Disponível em [http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/o-que-fazemos/PARQUE\\_GANDARELA\\_proposta\\_ICMBio.pdf](http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/o-que-fazemos/PARQUE_GANDARELA_proposta_ICMBio.pdf). Acesso em 21 de novembro de 2017.

INSTITUTO PRÍSTINO - Dados SIG dos Geossistemas Ferruginosos; Disponível em: [www.institutopristico.org.br/atlas/geossistemas-ferruginosos-do-brasil](http://www.institutopristico.org.br/atlas/geossistemas-ferruginosos-do-brasil). Acesso em: 20 de agosto de 2017.



INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISA ESPACIAIS (INPE) – Imagens Landsat 5 e 7. Disponíveis em: [www.dgi.inpe.br/CDSR](http://www.dgi.inpe.br/CDSR). Acesso em: 23 de novembro de 2017.

LAZARIM, H.A. - Quadrilátero Ferrífero, Nova Lima, MG - Proposta de modelo. Dissertação de mestrado. Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais. 115 pp. 1999.

LOBATO, L.M.; BALTAZAR, O.F.; REIS, L.B.; ACHTSCHIN, A.B.; BAARS, F.J.; TIMBÓ, M.A.; BERNI, G.V; MENDONÇA, B.R.V. de; FERREIRA, D.V. - Projeto Geologia do Quadrilátero Ferrífero - Integração e Correção Cartográfica em SIG com Nota Explicativa. Belo Horizonte: CODEMIG, 2005. 1 CD-ROM. Disponível em: [www.codemig.com.br](http://www.codemig.com.br) – acesso em 5.ago.2012.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA) - Comissão Nacional da Biodiversidade (CONABIO) - Resolução CONABIO n° 4, de 25 de abril de 2007. 2007. Disponível em [http://www.mma.gov.br/estruturas/conabio/arquivos/15\\_12112008015417.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/conabio/arquivos/15_12112008015417.pdf). Acesso em 10 de agosto de 2017.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA) - Áreas Prioritárias para Conservação, Uso Sustentável e Repartição de Benefícios da Biodiversidade Brasileira: Atualização - Portaria MMA n° 9, de 23 de janeiro de 2007. Secretaria de Biodiversidade e Florestas. – Brasília: MMA, p.: il. color. ; 29 cm. (Série Biodiversidade, 31). 2007. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/chm/arquivos/biodiversidade31.pdf>. Acesso em: 20 de agosto de 2017.

MINITAB INC. – Programa Minitab 16, versão. 16.1.1.0. Ano 2010.

MOURÃO, M.A.A. - Caracterização hidrogeológica do aquífero Cauê, Quadrilátero Ferrífero, MG. Tese de doutoramento. Belo Horizonte, UFMG. 2007. Disponível em: [www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/handle/1843/ENGD-7AJNZE](http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/handle/1843/ENGD-7AJNZE); Acesso: em 24 de agosto de 2017.

MOURÃO, M.A.A.; LOUREIRO, C.O.; ALKMIM, F.F. - O aquífero Cauê e as unidades hidrogeológicas associadas: principais características hidroquímicas, porção ocidental do QF, MG. Suplemento - XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. – 2008. Disponível em: <http://aguassubterraneas.emnuvens.com.br/asubterraneas/article/view/23792/15857>. Acesso em 5 de agosto de 2012.

OMS (Organização Mundial de Saúde) – WHO (World Health Organization); UNICEF. Progress on Drinking Water and Sanitation 2014 Update. Geneva: WHO, 2014. Disponível em [http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/112727/1/9789241507240\\_eng.pdf?ua=1](http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/112727/1/9789241507240_eng.pdf?ua=1) Acesso em 21.nov.2017.

OLIVEIRA, J. - Aumento do royalty do minério traria água para Itabira; matéria do jornal Hoje em Dia, de 28 de julho de 2012.

PFAFSTETTER, O. - Classificação de Bacias Hidrográficas – Metodologia de Codificação. Rio de Janeiro, RJ: Departamento Nacional de Obras de Saneamento (DNOS), 1989, p. 19. Manuscrito não publicado.

QUEIROZ, L.A. - Emprego da atrição na deslamagem: efeitos na flotação reversa de minérios itabirítico. Dissertação de Mestrado. Ouro Preto. UFOP. 165 p. 2003. Disponível em: [www.ppgem.eng.ufmg.br/defesas/362M.PDF](http://www.ppgem.eng.ufmg.br/defesas/362M.PDF). Acesso em outubro de 2017.

SALGADO, A.A.R. – *in* Geossistemas Ferruginosos do Brasil: áreas protegidas para conservação da diversidade geológica e biológica, patrimônio cultural e serviços ambientais - Apresentação. Organizado por Flávio F. do Carmos e Luciana H.Y. Kamino. Belo Horizonte: 3i Editora, 2015.

SILVA, AB; SOBREIRO Neto, A.F.; BERTACHINI, A.C. – Potencial das águas subterrâneas no Quadrilátero Ferrífero. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 8, Recife. Anais... Recife:



ABAS/DNPM/CPRM, p.264-273. 1994. Acessível em: <http://aguassubterraneas.emnuvens.com.br/asubterraneas/article/view/24425/16377> - acesso em agosto de 2012.

SOUZA, F.C.R.; CARMO, F.F. - *in* Geossistemas Ferruginosos do Brasil: áreas protegidas para conservação da diversidade geológica e biológica, patrimônio cultural e serviços ambientais – Geossistemas Ferruginosos no Brasil. Organizado por Flávio F. do Carmo e Luciana H.Y. Kamino. Belo Horizonte: 3i Editora, 2015.

VILLAR, P.C. - As águas subterrâneas e o direito à água em um contexto de crise. *Ambiente & Sociedade*. São Paulo v. XIX, n. 41 n p. 83-102. jan.-mar. 2016. Disponível em [http://www.scielo.br/pdf/asoc/v19n1/pt\\_1809-4422-asoc-19-01-00085.pdf](http://www.scielo.br/pdf/asoc/v19n1/pt_1809-4422-asoc-19-01-00085.pdf). Acesso em 10 de agosto de 2017.

#### 2.6.4 Do ponto de vista da hidrografia

Nesse item são incluídos comentários e observações sobre o documento denominado “Anexo 13 - Contrato - Diretrizes Ambientais” disponibilizados no link da SEINFRA – MG.

Quando da implantação e a operação de uma nova rodovia é de grande importância avaliar e prever como ela irá afetar a dinâmica hídrica das regiões atravessadas.

De fato, o escoamento pluvial sobre a pista poderá carregar sólidos, óleos, graxas e outros elementos para o sistema de drenagem e daí alcançar os cursos d’água a jusante, podendo alterar a qualidade das águas. Áreas expostas, sujeitas a processos erosivos, instabilidades de taludes e deficiências no sistema de drenagem podem ocasionar o carreamento de sedimentos para os cursos d’água, comprometendo a qualidade das águas. Além disso, com o tráfego de produtos perigosos na rodovia, cria-se certo risco a partir do derramamento acidental, o que demanda soluções específicas de projeto.

O traçado também sempre provoca modificações do perfil do relevo e da dinâmica hídrica superficial, interceptando cursos d’água, realizando cortes e aterros e alterar o traçado dos cursos d’água com canalização ou passagem por obra de arte.

O destaque desse item se deve igualmente às características ambientais particulares da fauna e flora aquáticas e dos ambientes bióticos encontrados no entorno de cursos d’água como matas ciliares ou áreas brejosas. A caracterização da hidrografia possibilita estimar as intervenções em áreas de preservação permanente de cursos e corpos d’água.

Por isso, é necessário que se faça uma análise a nível regional e local da hidrografia da região, de forma a conhecer as interações Projeto x Meio Ambiente e, quando do licenciamento, cuidar da gestão adequada das águas superficiais, de forma a não gerar poluição aos recursos hídricos identificados.

##### 2.6.4.1 Resíduos asfálticos

Conforme descrito acima “O escoamento pluvial sobre a pista poderá carregar sólidos, óleos, graxas e outros elementos para o sistema de drenagem e daí alcançar os cursos d’água a jusante, podendo alterar a qualidade das águas”.

A principal matéria prima para a atividade de pavimentação asfáltica é a Emulsão Asfáltica. Como indicado na Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico - FISPQ utilizada como referência (anexo 1), trata-se de um produto tóxico, perigoso para a vida humana, que apresenta riscos para o meio ambiente. Seus insumos contaminados devem ser eliminados como resíduos

perigosos, de acordo com a legislação local. A construção Rodoanel envolverá pavimentação, e, portanto, a geração de resíduos asfálticos.

Estudos vêm demonstrando o potencial contaminante de resíduos asfálticos devido à presença de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs). Os HPAs são poluentes orgânicos de persistência ambiental e seus efeitos estão relacionados ao desenvolvimento de câncer. A United States Environmental Protection Agency (USEPA) monitora 16 desses componentes classificando-os como poluentes prioritários.

Conforme resultados obtidos em análise de amostras de resíduos asfálticos apresentado em Trabalho de Conclusão de Curso de graduação em Engenharia de Produção Civil, do Departamento Acadêmico de Construção Civil - DACOC, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, (anexo 2), foram detectados HPAs em todas as amostras de resíduo asfáltico analisadas.

Os compostos encontrados foram: acenaftileno, antraceno, fenantreno, fluoranteno, fluoreno e naftaleno. Estes compostos conferem periculosidade aos resíduos, o que representa um alerta em relação aos riscos da disposição desse material a céu aberto e sobre solos permeáveis, principalmente devido à alta capacidade de solubilidade em água, que é uma característica que influencia na capacidade de difusão do componente no ambiente, através da exposição à chuva e geração de efluentes.

Portanto, obras de implantação e conservação de rodovias, por si só, são atividades com grande potencial de geração de danos ambientais, podendo gerar problemas de abastecimento de água para o consumo humano e manutenção de comunidades aquáticas.

#### 2.6.4.2 Acidentes com cargas perigosas

Considerando outro cenário, também descrito acima, “Além disso, com o tráfego de produtos perigosos na rodovia, cria-se certo risco a partir do derramamento acidental, o que demanda soluções específicas de projeto”.

*Acidentes dessa natureza podem acarretar danos aos funcionários e usuários da via, população lindeira, meio ambiente e o patrimônio. Conforme descrito no “Item 4 Ações Preventivas” do Manual de Produtos Perigosos do Departamento de Estradas e Rodagem - DER (anexo 3), “para uma eficaz gestão ambiental voltada à prevenção de acidentes nessa modalidade de transporte, o gerenciamento de risco deve contemplar as principais peculiaridades técnicas da atividade, os riscos envolvidos, a severidade e o alcance de eventos indesejados, assim como a vulnerabilidade social e ambiental do meio, para que se possa a médio e longo prazo contabilizar os resultados gerados pela diminuição dos acidentes e os inevitáveis reflexos na minimização dos custos operacionais de intervenção e reparação, ações judiciais, desgaste da imagem da instituição perante o Governo, órgãos de imprensa, justiça e opinião pública”.*

A identificação de trechos críticos nas vias são de suma importância sob o ponto de vista ambiental e de segurança viária e devem ser considerados os que de alguma forma possam agravar as consequências de um acidente, seja pela proximidade, topografia, características construtivas, maior probabilidade de ocorrência, complexidades social e ambiental ou qualquer outro fator contribuinte.

*“Devem ser considerados críticos os trechos que pela inevitabilidade do traçado cruzam ou margeiam: áreas urbanas; corpos d’água; mananciais; áreas alagadas; lagoas; banhados; mangues e regiões costeiras. Assim como os trechos que pelas características topográficas propiciam uma maior probabilidade de acidentes, bem como o agravamento das*

*consequências em razão das dificuldades de acesso, velocidade de escoamento e das dificuldades de se colocar em prática ações de contenção e recolhimento do produto vazado, como é o caso dos trechos de serra”.*

*“Túneis: Por suas características construtivas, os túneis são considerados trechos críticos para acidentes envolvendo o transporte rodoviário de produtos perigosos, em razão da ausência de áreas de escape, ventilação restrita, dificuldade de dispersão de gases e vapores, ambiente confinado e dificuldade de acesso. Acidentes envolvendo principalmente produtos tóxicos e inflamáveis podem se constituir em grandes tragédias. Dados históricos de acidentes tecnológicos em túneis comprovam esse grau de severidade. Por essa razão as ações preventivas e corretivas devem dar a devida atenção a essas obras de arte.”*

*“Trechos sinuosos: o excesso de velocidade, atrelado às manobras de ultrapassagem imprudentes, fazem dos trechos sinuosos locais críticos de acidentes.”*

*“Encostas: Os trechos de encostas propiciam riscos acentuados aos motoristas, pois normalmente não dispõem de faixas de acostamento. O terreno íngreme se constitui em fator de agravo aos acidentes envolvendo produtos perigosos. As feições do terreno fazem com que os produtos derramados escoam rapidamente pela pista e sistema de drenagem, contaminando de forma rápida grandes extensões de terreno e conseqüentemente os corpos d’água receptores localizados a jusante da pista, o que dificulta qualquer possibilidade de pronta ação de contenção do produto. Outros fatores contribuem para que as encostas se configurem como trechos críticos, tais como deslizamentos de terra, rochas e incidência de neblinas.”*

*“Trechos sujeitos a neblina: os trechos sujeitos a neblina constituem fator de risco devido às longas extensões que essa condição atmosférica desfavorável pode atingir, principalmente no inverno e em regiões de serra. Poucos motoristas conhecem e aplicam regras básicas de segurança sob neblina. É grande a frequência de acidentes nesses trechos. O excesso de velocidade, a má sinalização de pista, não guardar distância segura do veículo que segue a frente, são situações geradoras de potenciais acidentes, como derrapagens, choques, tombamentos e capotagens. Esses trechos devem estar devidamente identificados em toda sua extensão.”*

*“Transposições de cursos d’ água: antes de chegar aos consumidores, a água percorre um longo caminho. A primeira etapa ocorre na captação que compreende a retirada da água dos mananciais superficiais (rios, lagos ou represas) antes do envio às estações de tratamento de água. São esses recursos hídricos que devem ser priorizados no que se refere à sua preservação, porquanto são indispensáveis para o bem estar e saúde da população. Acidentes envolvendo o transporte rodoviário de produtos perigosos representam, de modo geral, um percentual significativo de ocorrências de contaminação de corpos d’água e um forte fator de insegurança para o abastecimento público, sem falar nas necessidades de outros captadores e atividades exploratórias dos recursos hídricos como: indústria, serviços, hospitais, agricultura, lazer, pesca etc. Esses fatores de risco fazem com que a transposição de corpos d’ água por rodovias mereça particular atenção no estabelecimento de medidas preventivas, além de ações especiais para pronta intervenção saneadora.”*

*“Áreas Protegidas pela Legislação Ambiental: as chamadas unidades de conservação foram criadas para proteger os patrimônios natural e cultural do país. Essa é a forma legal que o Estado buscou para garantir a conservação e a perpetuação da diversidade biológica, assim como para manter os valores das culturas tradicionais, que se encontram associadas à proteção da natureza. As Unidades de Conservação constituem um dos mais importantes instrumentos do poder público para o planejamento ambiental sustentado e a implementação das políticas nacional e estadual do meio ambiente. Essas Unidades*

*classificam-se em diferentes categorias de manejo, possuindo diversos níveis de restrição ambiental”.*

A Alça Sul, cujo traçado foi escolhido pelo Governo de Minas Gerais, possui em quase todas suas extensões pontos considerados extremamente críticos, conforme descritos acima.

A situação é ainda mais crítica, se analisarmos a lista de cargas perigosas que irão passar pelo trecho, descritas abaixo.

Principais tipos de cargas perigosas:

- explosivos: os exemplos mais comuns são a nitroglicerina e a pólvora;
- gases: dispersam-se com facilidade no ar e, muitas vezes, não apresentam odor ou cor, como é o caso do gás de cozinha, do cloro e da amônia;
- líquidos inflamáveis: combustíveis como a gasolina, o álcool e o óleo diesel;
- sólidos inflamáveis: como o enxofre;
- substâncias oxidantes e peróxidos orgânicos: são materiais que podem liberar oxigênio e, portanto, são capazes de gerar incêndios causados por peróxido de hidrogênio (conhecido por água oxigenada);
- substâncias tóxicas e substâncias infectantes: são produtos químicos capazes de causar danos sérios à saúde, mesmo em pequenas quantidades. Um exemplo comum é o pesticida;
- material radioativo: são utilizados na área industrial e até mesmo no setor hospitalar. Contudo, apresentam riscos, pois a energia liberada é invisível e, para a sua detecção, deve-se recorrer a aparelhos especializados. Somente a blindagem do contêiner garante que a radioatividade não se espalhe;
- substâncias corrosivas: Alguns exemplos são o ácido sulfúrico e o hidróxido de sódio (comumente chamado de soda cáustica);
- substâncias e artigos perigosos diversos: Podem-se citar como exemplo as baterias de lítio.

O risco imediato é de explosões e incêndios, que podem assumir grandes proporções se ocorrerem em uma rodovia movimentada. Caso a substância não seja inflamável, o perigo mais frequente é a intoxicação de pessoas — seja por meio de inalação, seja por ingestão ou absorção cutânea.

O texto da SEINFRA define que, para se evitar uma situação como esta, basta verificar a “*solução de projeto possível*” para “*cuidar da gestão adequada das águas superficiais, de forma a não gerar poluição aos recursos hídricos identificados*”. Entretanto, nas opções de traçado apresentadas, a única solução de projeto possível seria a alteração do traçado para um trecho com áreas menos críticas, fora da APA SUL (área prioritária de preservação para manutenção do abastecimento de água da RMBH), das Serras da Calçada e Rola Moça

Para tanto, realizamos o lançamento do traçado sobre as Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos – UPGRH, superfície proposta pela legislação do estado de Minas Gerais para planejamento e controle dos recursos hídricos. As UPGRHs são subdivisões das bacias hidrográficas, caracterizadas por uma homogeneidade de fatores geomorfológicos, hidrográficos e hidrológicos. Esse planejamento territorial contribui para melhor organização e aproveitamento dos recursos hídricos presentes. O limite dessas unidades foi obtido através da Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IDE Sisema).

O empreendimento está contido em duas UPGRHs, sendo a UPGRH Rio Paraopeba - SF3, para os municípios de Betim e Contagem, Sarzedo, Ibirité e Brumadinho (Alças 1A, 1B e 2) e a UPGRH Rio das Velhas – SF5, para Nova Lima, Ribeirão das Neves, Pedro Leopoldo, Vespasiano, Santa

Luzia e Sabará (Alças 2 e 3). Ambas as unidades fazem parte da bacia federal do Rio São Francisco.

Dentro dessas unidades de planejamento (UPGRH) tem-se diversos recursos hídricos. A fim de garantir maior destaque aos cursos d'água de mais significativos, para a atual escala do projeto, utilizou-se o ordenamento de Strahler, o qual atribui ordens aos cursos d'água.

O aumento na ordem é conferido conforme ocorre confluência dos corpos hídricos com outros de mesma ordem; caso a confluência ocorra em canais de ordens distintas, mantêm-se a ordem mais elevada.

Ao todo, foram identificadas as travessias de 259 cursos d'água, conforme adaptado da base orto-codificada da bacia do rio São Francisco, disponibilizada pelo IGAM (2017). Os principais cursos d'água interceptados são apresentados a seguir (ordem superior ou igual a 3).

No documento "Anexo 13 - Contrato - Diretrizes Ambientais" disponibilizado pelo Governo de MG sobre cinco rios que apresentam características notáveis ao longo do traçado, sendo estes:

- O Rio das Velhas, interceptado em Santa Luzia, é o maior afluente da Bacia do Rio São Francisco com 801 km de extensão. Nasce no município de Ouro Preto e deságua no Velho Chico no distrito de Barra do Guaicuy, município de Várzea da Palma. Aproximadamente, um quarto dos habitantes de Minas Gerais mora dentro da bacia hidrográfica do Rio das Velhas, tornando-o um curso d'água de suma importância ao desenvolvimento do Estado. A região metropolitana de Belo Horizonte concentra 70% da população da bacia e contribui para a poluição das águas do Rio das Velhas, pelos processos de urbanização avançado e forte presença industrial;
- O Ribeirão Betim, que juntamente com o Córrego Água Suja, seu afluente pela margem esquerda, constituem os principais mananciais formadores da represa de Vargem das Flores (manancial de abastecimento público da RMBH), sendo cortado cinco vezes pelo traçado em Contagem;
- O Córrego das Abóboras, afluente do Ribeirão Betim, o qual acompanha o traçado por aproximadamente 03 (três) quilômetros, atravessando-o em sete pontos, sempre dentro da bacia de Vargem das Flores em Contagem;
- O Ribeirão Casa Branca, em Brumadinho, corre na direção sul e possui suas nascentes na vertente sul da serra Três Irmãos com contribuições pela margem esquerda do córrego da Areia e do ribeirão da Catarina (formado pelos córregos Retiro das Pedras, do Bernardino e da Senzala) e, finalmente;
- O Ribeirão das Areias. A bacia hidrográfica do Ribeirão das Areias compreende parte dos municípios de Vespasiano, Pedro Leopoldo, São José da Lapa e Ribeirão das Neves, quatro municípios envolvidos no projeto do Rodoanel. O Ribeirão das Areias é tributário do Ribeirão da Mata, que por sua vez é afluente do Rio das Velhas. O empreendimento acompanha o Ribeirão das Areias por cinco quilômetros e atravessam cinco vezes, após o cruzamento com a BR-040, em Ribeirão das Neves e em Areias/Pedro Leopoldo. Análises demonstraram que a qualidade do rio se encontra degradada pelos processos de urbanização da área, especialmente durante o período de seca (CARVALHO et al., 2008).

O projeto rodoviário atravessa as bacias de contribuição hídrica de duas represas de grande relevo na RMBH: a represa de Vargem das Flores e a represa Ibirité Petrobras.

A construção do reservatório de Vargem das Flores foi aprovada em 1968, visando suprir a crescente demanda urbana de água. Após cinco anos de construção, o reservatório entrou em funcionamento. A inauguração do sistema de captação de água foi uma resposta à crise de desabastecimento hídrico, mostrando-se como uma forma de proteção da disponibilidade hídrica da região metropolitana.

O reservatório está inserido nos municípios de Betim (13% da bacia de contribuição) e Contagem (87%) e recebe diversos cursos d'água, todos desaguando no Ribeirão Betim, a montante da represa. Este é um afluente do rio Paraopeba, na bacia do rio São Francisco.

O sistema de drenagem do Rodoanel verterá parte de suas águas para bacia de contribuição hídrica da represa de Vargem das Flores.

#### 2.6.4.3 Bacia do Rio Paraopeba

Conforme descrito acima “O empreendimento está contido em duas UPGRHs (Figura 34), sendo a UPGRH Rio Paraopeba - SF3, para os municípios de Betim e Contagem, Sarzedo, Ibirité e Brumadinho (Alças 1A, 1B e 2) e a UPGRH Rio das Velhas – SF5, para Nova Lima, Ribeirão das Neves, Pedro Leopoldo, Vespasiano, Santa Luzia e Sabará (Alças 2 e 3). Ambas as unidades fazem parte da bacia federal do Rio São Francisco.” Entretanto o abastecimento da RMBH é um sistema integrado, que depende de cerca de 70% do Rio das Velhas e de 30% da bacia do Rio Paraopeba, conforme descrito no Atlas de Abastecimento Urbano elaborado pela ANA - Agência Nacional das Águas (anexo 04).

Por mais incrível que pareça, o Rio Paraopeba não foi incluído pelo Governo de MG na lista dos cinco rios que apresentam características notáveis. Apesar do Rio Paraopeba não estar interceptado diretamente pelo traçado, os cursos d'água que serão interceptados pela Alça Sul proposta pelo Governo de MG compõem a bacia hidrográfica do Rio Paraopeba e o sistema de drenagem do Rodoanel verterá para jusante, diretamente nestes cursos d'água e posteriormente para o Rio Paraopeba.

Conforme descrito na reportagem apresentada no (anexo 05), “desde o rompimento da barragem no Córrego do Feijão, de responsabilidade da Vale, o Paraopeba foi destruído e junto com ele, uma estação de captação de água da Copasa, construída a partir de 2015 para resolver a crise hídrica, já existente naquela época.”

“Em Termo de Compromisso assinado em julho deste ano pelo Ministério Público de Minas Gerais, Estado de Minas Gerais, Copasa, Vale e a empresa de auditoria Aecom, a mineradora assumiu custear medidas a serem implementadas para reestabelecer a captação de água do Rio Paraopeba e evitar o racionamento de água. As obras para a nova captação, 2,3 km acima do local contaminado pela lama, começaram atrasadas, foram suspensas por determinação judicial e, segundo a Copasa, foram retomadas no último dia 22. A Vale esclarece que o prazo limite para conclusão da obra é até setembro do ano que vem.”

“Para Luiz Paulo Siqueira, integrante do Movimento Pela Soberania Popular na Mineração (MAM), essa medida é mitigadora e não resolverá o problema do abastecimento da região a longo prazo. Ele explica que ao longo do Rio das Velhas, como Itabirito e Ouro Preto, existem cerca de 16 barragens de rejeito que não possuem estabilidade garantida e correm o risco de romper. Seis delas, algumas com nível máximo de alerta, são de propriedade da Vale.”

“Na bacia do Paraopeba, além da barragem de mais alto risco Casa de Pedra, localizada dentro da cidade de Congonhas, a Companhia Siderúrgica Nacional (CSN) possui outras duas barragens. Em municípios rio acima, outras mineradoras, como a Gerdau e a Ferro+, também possuem barragens de rejeito.”

“Em setembro deste ano, o Instituto Mineiro de Gestão das Águas (Igam) publicou a Portaria de Outorga que autoriza a Copasa a captar 5.000 litros por segundo de água no Rio Paraopeba na nova captação. No entanto, o parecer técnico emitido pelo órgão no dia 2 setembro afirma que não existe disponibilidade hídrica dessa quantidade de água nem a jusante (para baixo) e nem a

montante (sentido da nascente) do rio. Ao conceder a outorga, o Igam justifica que há uma excepcionalidade para o abastecimento público.”

“O engenheiro Mauro da Costa Val, mestre em saneamento e águas naturais, opina que essa outorga não deveria ter sido concedida à Copasa, uma vez que ela pode impactar diretamente a qualidade e a quantidade da água do Rio Paraopeba. “Com esse crime da Vale, se a Copasa voltar a tirar esses 5 mil litros por segundo, o que acontece é que vai aumentar a concentração de contaminantes rio abaixo. Tem uma massa depositada que, sempre quando chove, é como se tivesse ocorrido um novo rompimento. Se tirar esses 5 mil litros por segundo, vai ter a mesma massa no fundo do rio, mas uma quantidade de água muito menor”, explica.”

“O parâmetro utilizado para afirmar se há ou não disponibilidade de água é um indicador de uso definido a partir de uma fórmula chamada Q7,10. Pelas normativas ambientais, só é permitido outorgar 30% da vazão do curso d’água. Segundo o parecer técnico do Igam, o cálculo da disponibilidade hídrica no Rio Paraopeba chega a 76% a montante e 54% a jusante, ou seja, muito mais que o permitido. Isso, segundo Mauro sobrecarregaria o aquífero, podendo acarretar sumiço de nascentes, impactos na biodiversidade e na sociedade, como pequenos usuários que ficariam privados de ter acesso à água.”

#### 2.6.4.4 Áreas de drenagem a montante de curso d’água enquadrados em classe especial

A Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01, de 05 de maio de 2008, apresenta no Art. 4 que:

“as águas doces são classificadas em:

I - classe especial: águas destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, com desinfecção;
- b) à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas; e,
- c) à preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.”

Consta também que: “Art. 13. Nas águas de classe especial deverão ser mantidas as condições naturais do corpo de água.” e “Art. 32. Nas águas de classe especial é vedado o lançamento de efluentes ou disposição de resíduos domésticos, agropecuários, de aquicultura, industriais e de quaisquer outras fontes poluentes, mesmo que tratados.”

A Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01, de 05 de maio de 2008, também apresenta no Art. 4 que:

“II - classe 1: águas que podem ser destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado;
- b) à proteção das comunidades aquáticas;
- c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA no 274, de 29 de novembro 2000;
- d) à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película; e
- e) à proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas”.

No Artigo 13 estão descritas as condições e padrões de qualidade das águas de classe 1, apresentados nos seguintes itens:

*“I - Condições de qualidade dos ambientes aquáticos: serão consideradas as modificações em relação ao(s) sítio(s) de referência, a serem detalhadas em regulamento específico.*

*II - Condições de qualidade de água:*

*III - Padrões físico-químicos de qualidade de água:*

*IV - Nas águas doces onde ocorrer pesca ou cultivo de organismos, para fins de consumo intensivo, além dos padrões estabelecidos no inciso III deste artigo, aplicam-se os seguintes padrões em substituição ou adicionalmente:*

*Para as águas de Classe 1, o padrão de qualidade determina restrições de materiais flutuantes, óleos e graxas, substâncias que conferem gosto ou odor, corantes artificiais, substâncias que formem depósitos objetáveis, coliformes, demanda biológica de oxigênio (DBO), oxigênio dissolvido (OD), turbidez, cor e pH 5. Além desses, estabelece uma série de substâncias consideradas potencialmente prejudiciais e seus respectivos teores máximos: metais, ânions, sólidos, substâncias orgânicas e nutrientes”.*

Em 2017, uma nova deliberação COPAM-CERH nº 06, modificou os critérios de diagnósticos do enquadramento de corpos d’água indicando que:

*“Os trechos dos cursos de águas superficiais já enquadrados com base na legislação anterior à data de publicação desta Deliberação deverão ser revistos para posterior encaminhamento e aprovação do Comitê de Bacia Hidrográfica e do CERH”.*

Contudo, o parágrafo § 2º diz que: 81 *“A revisão referida no caput não se aplicará aos corpos de água já enquadrados nas classes Especial e 1.”*

Considerando esses elementos, é observada a sobreposição da Alça 1A à Área de drenagem a montante de curso d’água enquadrado em classe especial do córrego do Taboão. O traçado corta a área aproximadamente 2 km após o cruzamento com a MG-040 até o limite com o município de Sarzedo. De forma detalhada, ocorrem três sobreposições de 3,5, 10,0 e 0,9 ha com a área de drenagem, totalizando 14,4 ha.

Essa bacia contribui para o abastecimento da região metropolitana de Belo Horizonte. As águas captadas nos Córregos do Taboão, Rola Moça e Bálsamo são reunidas no sistema Ibirité e correspondem a 2,80% das águas consumidas por municípios da RMBH.

A sub-bacia do Córrego do Taboão se localiza principalmente no município de Ibirité. Ela é limitada pela serra Três Irmãos, onde se localizam nascentes nos divisores de águas das bacias dos rios Paraopeba e das Velhas que alimentam o Córrego do Taboão, afluente do Ribeirão Ibirité. De acordo com Haddad Filho e colaboradores (1988), o principal agente de degradação da qualidade das águas e que afeta principalmente o recalque é o aporte de sedimentos nesta sub-bacia. Assim sendo, na sub-bacia, prevalecem áreas naturais, mas com alterações localizadas, como aquelas decorrentes de atividades minerárias, supressão da vegetação. Os solos de ocorrência maior são os Neossolo Litólico Distrófico e os Cambissolo Háptico Tb Distrófico, pouco evoluídos e bastante erodíveis.

A área de captação de águas é coberta por floresta estacional semidecidual. No médio curso desta sub-bacia, ocorrem os Latossolos Vermelho Distrófico, que correspondem a solos evoluídos e resistentes a processos erosivos. Ela possui uma área de proteção especial (APE) de 49 ha, tendo sido criada pelo Decreto de Proteção Estadual de nº 22.109 de 14 de junho de 1982. Deste modo, deverão ser propostas medidas mitigadoras durante a etapa de implantação e operação a fim de evitar o carreamento de sedimentos até tais cursos hídricos.

Destaca-se também que nas proximidades da sub-bacia do Córrego do Taboão, o empreendimento deverá constar dispositivos de drenagem que isolem hidraulicamente a rodovia das drenagens inseridas na APE. Tal medida tem como premissa evitar a alteração às

águas de classe especial de possíveis derrames de cargas perigosas e até mesmo da poluição difusa.

#### 2.6.4.5 Ações preventivas

A implantação de dispositivo de drenagem de uma rodovia visa principalmente desviar a água da chuva de cotas topográficas mais altas para cotas mais baixas, onde encontram-se os cursos d'água, evitando assim eventuais acidentes e deflagrações de processos erosivos.

Conforme descrito no “Item 4 Ações Preventivas” do Manual de Produtos Perigosos do Departamento de Estradas e Rodagem - DER (anexo 3), item 4.4.1 Medidas Estruturais, existem algumas medidas estruturais que podem ajudar na prevenção de acidentes como:

*“1 - Estruturas fixas (caixas) de retenção ou contenção para produtos perigosos derramados na pista;*

*2 - Estruturas fixas de prevenção e defesa tipo barreiras new jersey;*

*3 - Instalação de Postos de fiscalização junto aos trechos considerados críticos;*

*4 - Paradouros e estacionamentos específicos para veículos transportadores de produtos perigosos;*

*5 - Sinalização e iluminação específica nos trechos considerados vulneráveis;*

*6 - Instalação de sonorizadores nos trechos identificados como vulneráveis a acidentes;*

*7 - Instalação de câmeras de vídeos nos trechos críticos, de forma a monitorar e identificar imediatamente um acidente envolvendo produtos perigosos;*

*8 - Postos especializados para o socorro e auxílio ao usuário;*

*9 - Instalação de sistema de telefonia de emergência nos trechos mais críticos; e*

*10 - Criação e instalação de placas de advertência, educação e orientação, aos usuários da via e população lideira, sobre como proceder em caso de acidentes envolvendo o transporte rodoviário de produtos perigosos”.*

Entretanto não existe nenhuma tecnologia disponível no mundo, com dispositivos de drenagem que possam isolar a rodovia hidraulicamente.

#### 2.6.4.6 Bacia do Rio Paraopeba

Vale ressaltar que, considerando esses elementos, também é observada a sobreposição da Alça 1B e 1C a uma área de drenagem de cursos d'água enquadrados como Classe 1, pertencentes a sub-bacia do córrego Casa Branca, composta pelos córregos Catarina, Casa Branca, Jangada, Areia, Fundo, informação relevante que não consta no texto da SEINFRA.

No mapa de enquadramento de classes de qualidade das águas superficiais da APA Sul RMBH (anexo 06), verifica-se que, a sub-bacia 15 (ribeirão Casa Branca), está enquadrada pelo Estado como Classe 1.

O Estudo Técnico de Apoio ao PBHSF (Nº 05) Enquadramento dos Corpos d'água da Bacia do Rio São Francisco elaborado pela ANA - Agência Nacional de Águas (anexo 07), no item 4.2. Rios Pará, Paraopeba e das Velhas, indica que as águas da bacia do rio Paraopeba se destacam pela importância no abastecimento da Região Metropolitana de Belo Horizonte.

O Instituto Mineiro de Gestão das Águas - IGAM é o responsável pelo monitoramento das águas do estado de Minas Gerais e desde 1997 realiza o monitoramento através do Programa Águas de Minas. O programa disponibiliza uma série histórica que permite avaliar a evolução da qualidade das águas no Estado.

Nas amostras, coletadas e analisadas trimestralmente, são avaliados cerca de 50 parâmetros (anexo 08), considerados os limites estabelecidos na Deliberação Normativa Conjunta COPAM / CERH nº 01/2008. Na sub-bacia do ribeirão Casa Branca, existem duas estações de monitoramento, uma no córrego Catarina (BP094) e outra no ribeirão Casa Branca (BP092), posicionadas a montante e a jusante respectivamente da Alça 1B, proposta pelo Estado.

Neste sentido, qualquer contaminação da água, eventualmente gerada pela implantação do Rodoanel neste trecho, poderá ser identificada por meio da comparação dos resultados nas campanhas de monitoramento das águas realizadas periodicamente pelo IGAM.

Em Dissertação apresentada ao Programa de Pós graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais (anexo 09), elaborada utilizando técnicas estatísticas multivariadas para a avaliação da qualidade das águas superficiais da bacia do rio Piracicaba e do rio Paraopeba e a comparação dos corpos d'água das bacias e possíveis violações dos limites legais preconizados na DN COPAM/CERHMG 01/2008, no item 4.3.5 – Conclusões da avaliação da qualidade das águas superficiais da bacia do rio Paraopeba, o estudo conclui que em toda a bacia do rio Paraopeba os cursos d'água menos impactados são o ribeirão Casa Branca e o ribeirão Catarina, localizados em Brumadinho.

Portanto, espera-se que, por meio da correta gestão das águas, que no Brasil é realizada pela ANA - Agência Nacional das Águas e em Minas Gerais pelo IGAM - Instituto Mineiro de Gestão das Águas, que as águas dos ribeirões Casa Branca e Catarina continuem apresentando resultados de qualidade da água satisfatórios, garantindo-se assim o controle da poluição, a proteção da saúde, garantia de meio ambiente ecologicamente equilibrado e a melhoria da qualidade de vida dos moradores da RMBH.

#### 2.6.4.7 Conclusão

A SEINFRA, no documento intitulado "Diretrizes Ambientais - Item Hidrografia (tema mais de especial relevância por impactar diretamente o abastecimento de água)", com orientações para o licenciamento ambiental do empreendimento, demonstrou total desconhecimento da existência na Alças 1A, 1B e 1C, de cursos d'água protegidos pela legislação ambiental, classificados como classe 1, devido à importância de preservação de suas águas para abastecimento da RMBH.

Também não apresentou para as eventuais concessionárias interessadas os trechos considerados como críticos para acidentes de cargas perigosas e nenhuma referência sobre medidas preventivas reais que poderiam ser executadas para minimização da contaminação dos cursos d'água. Portanto, este documento já induzirá o licenciamento ambiental ao erro, o que poderá acarretar sérios danos para o meio ambiente e para a saúde humana.

Diante de todo esse cenário, seria uma temeridade a implantação do traçado proposto pelo Governo de Minas, sobre a bacia do Rio Paraopeba, principalmente devido à degradação gerada pelo crime da Vale em Brumadinho. Sem o aporte das águas de melhor qualidade, fornecido pelos afluentes, dificilmente poderá se garantir o abastecimento de água da RMBH e a recuperação do Paraopeba.

### 2.6.5 Sobre aspectos espeleológicos

Em linhas gerais, existem dois cenários espeleológicos no traçado do Eixo Norte proposto pelo Estado para o Rodoanel.

O primeiro, denominado carste, é típico de terrenos dominados por rochas carbonáticas solúveis que abrigam uma ou várias intrincadas redes subterrâneas de cavidades, com ou sem água, além de uma farta coleção de formas características expostas à superfície. O outro, designado pseudocarste, é muito mais raro e se desenvolve em outros tipos de rocha, em que as cavidades não se formam por dissolução, mas por erosão interna associada a fraturas, falhas, contatos e outras feições geológicas. Ambos os cenários estão presentes no traçado do Rodoanel.

O primeiro ocorre em dois segmentos consecutivos da Alça Norte, cada um com 6 km de extensão, separados por 1,5 km de terreno ocupado pela rodovia MG-010, nos arredores de Vespasiano. Esses segmentos interceptam rochas carbonáticas da Formação Sete Lagoas, que abriga grutas, cavernas e afins, bem como as numerosas indústrias de cimento instaladas na região ao norte de Belo Horizonte.

O documento “Levantamento de Aspectos Ambientais – Alça Norte”, de ago. /20, porém, aponta a inexistência de feições cársticas nas proximidades imediatas do traçado do Rodoanel, que traz o atenuante de prever obras a céu aberto (cortes e aterros de reduzidas dimensões. Porém, não encontramos, entre os documentos disponibilizados pelo Governo, estudo específico que tenha sido feito sobre esse tema ao longo do trajeto previsto.

Como fato indicativo, tem-se que APA do Carste de Lagoa Santa tem seu limite sul quase 5 km distante do traçado do Rodoanel naquele trecho, como mostra a Figura 5.



Fig. 1 – Rochas carbonáticas no trecho norte do Rodoanel

O segundo cenário é tema do documento “Aspectos Ambientais – Alça Sul”, de AGO20, que registra a existência de diversas cavidades pseudocársticas nos flancos das Serras Rola Moça e Moeda / Calçada potencialmente afetadas e aponta a possibilidade de o traçado do Rodoanel ter que ser modificado em função disso.

De acordo com trabalhos técnico-científicos publicados a respeito dessas cavidades, em geral elas são isoladas, de pequenas dimensões (1,5 m de altura e menos de 30 m de extensão), situadas em sua absoluta maioria em canga laterítica, material que ocorre apenas junto ao terreno natural. Significa que não são cavidades interligadas em redes subterrâneas como acontece em terrenos calcários, podendo, no entanto, afetar os locais de emboque dos túneis previstos – aspecto não esclarecido no documento citado. Como no caso anterior, não encontramos, entre os documentos disponibilizados pelo Governo, estudo específico que tenha sido feito sobre esse tema ao longo do trajeto previsto.

## 2.7 Sobre o projeto de túneis rodoviários

*“Os túneis rodoviários são cada vez mais utilizados como forma de atravessar barreiras naturais, tais como cadeias montanhosas, rios, braços de mar ou baías. (...) Estas condições fazem com que a construção e a manutenção de um túnel constituam um desafio permanente e que a sua implementação requeira o domínio de técnicas e ferramentas cada vez mais sofisticadas e complexas”<sup>19</sup>.*

Cada túnel tem suas peculiaridades, que devem ser bem estudadas, e a viabilidade de sua construção – de que depende o traçado das vias que passam por ele – não pode ser baseada apenas na geometria do traçado, como parece ocorrer na proposta do Governo de MG. É imprescindível que se tome em conta a geologia, a hidrogeologia, a quantidade e tipo de equipamentos a serem nele instalados, a respetiva manutenção, os aspectos operativos, a segurança, o ambiente etc. Devido à grande complexidade que envolve todos esses aspectos existem manuais, normas e comitês internacionais<sup>20</sup> que definem parâmetros a serem seguidos com base em experiência de décadas em vários países.

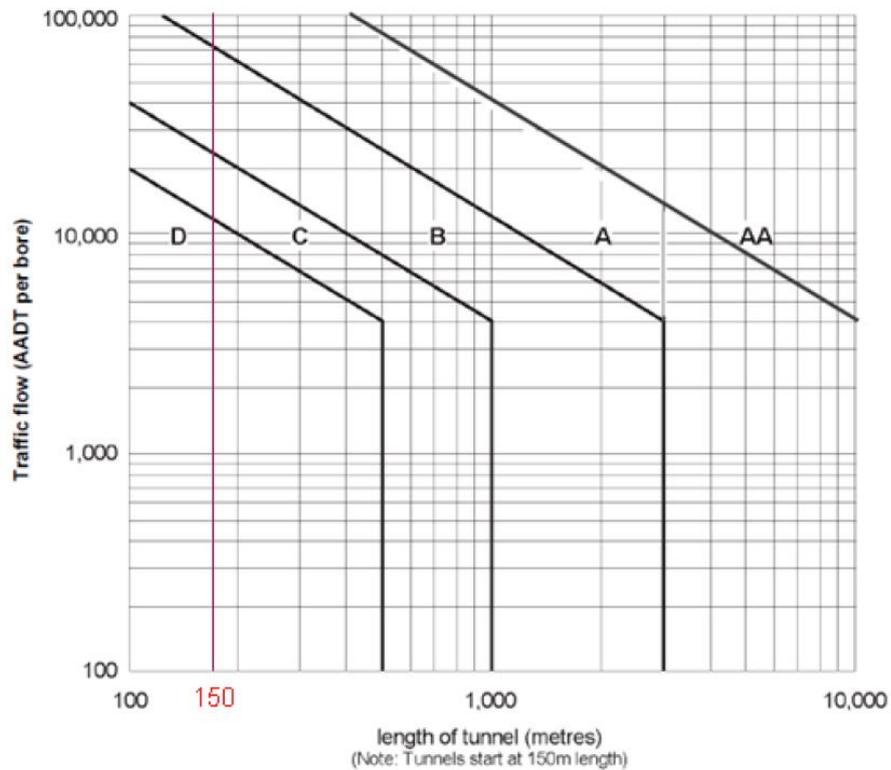
Não encontramos, entre os documentos disponibilizados pelo Governo de MG sobre o Rodoanel, algum que especifique quais normas e/ou manuais foram utilizados para os estudos dos túneis propostos e que deverão ser respeitados na fase de Projeto Executivo. Sem a definição de uma norma ou manual não é possível ao licitante prever os custos da construção, operação e manutenção de um túnel, visto que as exigências variam bastante em função de vários parâmetros, mormente o de classificação da categoria do túnel.

Conforme a norma “CD 352 – Design of Road Tunnels”, os túneis da Alça Sul serão de categoria A ou, mais provavelmente AA (ver gráfico a seguir):

<sup>19</sup> <https://tunnels.piar.org/pt/introducao/o-manual>

<sup>20</sup> Exemplo: “Em 1957, a AIPCR/PIARC criou o “Comité de Túneis Rodoviários”, comitê que aborda todos os aspetos ligados à utilização de túneis rodoviários, tais como a geometria, os equipamentos e respetiva manutenção, a exploração, a segurança e o ambiente. Desde então, este comitê produziu recomendações técnicas sobre os temas mencionados”.

Figure 3.15.2 Determination of tunnel category



**Fig. 1 – Classificação das categorias dos túneis em função do volume de tráfego e no comprimento do túnel**

Túneis de categorias AA ou A exigem projeto, construção, operação e manutenção especiais. Como exemplo, ver tabela abaixo, da norma do Reino Unido “CD 352 – Design of Road Tunnels”, que determina quais equipamentos de segurança devem ser instalados e mantidos operacionais:

**Table 3.7 Typical safety provisions for each tunnel category**

Safety and fire prevention equipment		TUNNEL CATEGORY		
		AA/AB	C	D
Communication and alarm equipment	Emergency telephones	-	-	-
	Radio rebroadcast system	-	-	-
	Radio break-In system	X	X	X
	Public address system	-	X	X
	Vehicle/incident detection system	-	X	X
	General surveillance CCTV	-	X	X
Fire detection and extinguishing equipment	Automatic fire detection	-	X	X
	Portable fire extinguishers	-	-	-
	Pressurised fire hydrants	-	-	-
	Ventilation for smoke control	-	-	-
Lighting and signals	Normal lighting	-	-	-
	Emergency lighting	-	-	-
	Emergency exit signs	-	-	-
	Evacuation lighting	-	-	-
	Lane control and tunnel closure signs/signals	-	-	X
Stopping, turning and escape provisions	Emergency stopping lane	-	-	-
	Escape doors	-	-	-
	Turning bays	X	-	-
Drainage	Impounding sump	*	*	*
Where: (-) Typical safety provision. (x) If required by TOA. (*) Provision determined by local requirements.				

**NOTE 1** Table 3.7 provides a list of frequently used tunnel safety facilities and has been developed from PIARC publication "Classification of Tunnels, Existing Guidelines and Experiences, Recommendations, 1995 Ref[x.x].

**NOTE 2** Tunnel categories are described later in the Section.

**Fig. 2 – Provisões de segurança típicas para cada categoria de túnel**

De acordo com o "Manual de Túneis Rodoviários"<sup>21</sup> da Associação Mundial da Estrada (AIPCR/PIARC), disponível em 10 idiomas,

*Os túneis, concebidos inicialmente para transpor um obstáculo (em geral uma montanha), têm vindo a tornar-se cada vez mais complexos, nos últimos anos, incorporando equipamentos (incluindo sistemas de ventilação) e métodos de exploração de complexidade crescente. Esta exploração inclui a implementação de sistemas de controle e de supervisão capazes de tratar dezenas de milhares de itens a controlar e de lidar com ambientes de gestão cada vez mais sofisticados.*

*Na sequência das catástrofes dos túneis do Monte Branco, Tauern e Gotardo em 1999 e 2001, foi reforçada a necessidade de serem tidos em consideração todos os aspetos relativos à segurança no seu conjunto. Tal facto conduziu à integração, logo desde a fase de projeto, de especificações mais restritivas, que têm um impacto importante a nível da engenharia civil e dos equipamentos específicos requeridos para túneis.*

*Em geral, os túneis são considerados obras "dispendiosas e com riscos", tanto na fase de construção como na fase de exploração. Esta "imagem" torna alguns países muito*

<sup>21</sup> <https://tunnels.piarc.org/pt>

relutantes quando ponderam a construção de um primeiro túnel para a respetiva rede rodoviária ou ferroviária.

Com vista a ultrapassar tal relutância, torna-se, portanto, cada vez mais necessário dominar o conhecimento dos custos de construção e exploração, do controle dos riscos (principalmente durante a fase de construção), da minimização dos acidentes ou incêndios durante a exploração e da otimização das estruturas do túnel em cada uma das fases de projeto, construção e exploração. Este controle de riscos e custos é particularmente premente dados os atuais formatos de contratação e financiamento da construção de túneis, que recorrem cada vez mais à utilização de modelos de “Concessão”, “Concessão/Construção” ou “Parceria Público-Privada”.

(...)

Um túnel constitui um “sistema complexo”, resultado da interação de um número elevado de parâmetros. Estes parâmetros podem ser agrupados em subconjuntos. No gráfico abaixo (fig. 1.1-1) estão representados os principais subconjuntos.

Todos estes parâmetros são variáveis e interativos, dentro de cada subconjunto, e entre os vários subconjuntos.

A ponderação relativa dos parâmetros e o seu carácter variam de acordo com a natureza de cada túnel. Por exemplo:

- Os critérios determinantes e a ponderação dos parâmetros não são os mesmos para um túnel urbano e para um túnel de montanha;
- Os parâmetros diferem de um túnel pequeno para um túnel mais extenso, de túneis atravessados por veículos de transporte de mercadorias perigosas para túneis atravessados apenas por veículos de passageiros;
- Os critérios não são os mesmos para um túnel recém construído ou para um túnel a reabilitar ou a modernizar em conformidade com novas normas em matéria de segurança.



Fig. 3 - Esquema dos principais subconjuntos do "complexo sistema de um túnel"

Alguns dos aspectos que devem ser abordados ainda nas fases de estudos conceituais e de viabilidade do projeto de um túnel são a seguir delineados no presente documento.

Recomenda-se o estudo atento da documentação disponibilizada nos seguintes links:

<https://tunnels.piarc.org/pt/aspectos-transversais/questoes-estrategicas>

<https://tunnels.piarc.org/pt/aspectos-transversais-questoes-estrategicas/regulamentacoes>

*‘O capítulo Questões Estratégicas apresenta os principais elementos estratégicos que qualquer decisor deve ter em conta antes de tomar uma decisão sobre a escolha ou o projeto de um túnel. Este capítulo é dirigido particularmente para os decisores e para os projetistas de países que estão a começar a empreender a construção ou renovação significativa de um túnel’.*

Para requisitos de segurança e de projeto ver, por exemplo, a norma do Reino Unido CD 352 – Design of Road Tunnels (antiga BD/78/99), de Março de 2020. 170 páginas. Ver também: “Guideline for Design of Road Tunnel”, Road Development Authority (RDA); Japan International Cooperation Agency (JICA). Fev. 2018.

## 2.8 Sobre a segurança nos túneis

Não necessariamente os túneis são melhores, em termos ambientais, técnicos e sob o aspecto de segurança, que uma rodovia ao ar livre. Não encontramos entre os documentos disponibilizados uma análise ou menção a riscos e problemas decorrentes dos túneis. Nos parece que eles não foram elencados, estudados e quantificados. Alguns dos aspectos que terão que ser estudados são apontados a seguir.

As consequências de acidentes no ambiente confinado de um túnel são potencialmente mais severas do que numa estrada a “céu aberto” e, habitualmente, suscitam reações mais fortes por parte do público. **Os túneis precisam ter várias saídas de emergência para permitir fugas e resgate de pessoas em caso de acidentes. Essas saídas também têm alto custo construtivo e ambiental. É preciso prever acessos para veículos de socorro e pessoas.**

A aeração de túneis, principalmente os de grande comprimento (acima de 500 metros) é muito complicada. Grande quantidade de CO<sub>2</sub> e de outros gases podem ser inaladas pelos motoristas. Em caso de acidente que interrompa o tráfego ou cause lentidão, os veículos ficam presos no interior do túnel, em atmosfera muito contaminada. As máquinas dos sistemas de exaustão também podem parar por defeito eletromecânico ou falta de energia.

**No caso do túnel previsto na alternativa 1C, com duas longas pistas de subida desde Casa Branca até a BR040 com a declividade máxima permitida (4,5%), a lentidão das carretas e a geração de grandes volumes de fumaça exigiriam um projeto especial de ventilação, bem como a instalação de sistema de emergência para geração de energia elétrica de grande capacidade, pronto para atuar no caso de falta de energia na rede.** É sabido que períodos de falta de energia são comuns na região por onde passariam os túneis, principalmente em épocas de chuva. Não apenas o sistema de ventilação, mas todos os sistemas de monitoração e sinalização devem estar operativos durante todo o tempo.

Exemplo: em 24/10/2001 dois caminhões se chocaram dentro do túnel de San Gottardo, entre a Itália e a Suíça. Vários veículos próximos pegaram fogo. Morreram 11 pessoas e muitas ficaram feridas. A temperatura chegou a ultrapassar 1.000°C na área onde aconteceu o choque. Elevada quantidade de gases tóxicos, resultante do desastre, foi liberada. Para agravar, devido ao calor

gerado pela combustão, uma laje de 300 metros de comprimento cedeu, o que dificultou as buscas.



Fig. 1 – Acidente no Túnel San Gottardo em 24/10/2001

Após o acidente, instalou-se nesse túnel um sistema com semáforos para: primeiro, manter uma distância de segurança entre cada veículo – de 50 metros para os automóveis e de 150 para os caminhões –, e segundo, impedir que muitos veículos fiquem dentro do túnel ao mesmo tempo, permitindo a intervenção e evacuação em caso de acidentes. Por esse motivo grandes congestionamentos se formam próximo à entrada do túnel no verão europeu. E isso poderá ser necessário nos túneis da Alça Sul do Rodoanel, caso seja mantido o traçado escolhido pelo Governo de MG, pois a grande declividade, a possibilidade de se ter pista molhada pelo fato de o túnel atravessar os aquíferos das serras, a dificuldade de atendimento a emergências em um túnel de grande comprimento e a possibilidade de falha nos equipamentos potencializam muito a gravidade de um acidente que possa ocorrer no interior do túnel. A maior distância entre veículos reduz o risco de acidentes.

Outro exemplo:

*“No dia 24 de março de 1999 um caminhão incendiou-se dentro do túnel e de um lado e do outro forma-se uma coluna de camiões e de automóveis. Os socorros italianos chegam primeiro mas têm de bater em retirada porque o fogo que progride a 4 m/s são asfixiantes - monóxido de carbono - e causaram a morte dos viajantes que se tinham refugiado nos abrigos de segurança. No total morreram 39 pessoas dentre os quais um bombeiro francês e um socorrista italiano que antes, e na sua motocicleta, havia conseguido salvar 8 pessoas. Mesmo com máscaras, 18 bombeiros tiveram de ser evacuados ao hospital.*

*O incêndio que durou 53 horas, e destruiu 24 caminhões, 9 veículos leves, e dois carros dos bombeiros, só permitiu a entrada no túnel três dias depois de ter começado. As temperaturas atingiram os 1 000 C°. O túnel ficou fechado durante três anos e os trabalhos custaram entre 200 e 250 milhões de euros”.*

(Fonte: [https://pt.wikipedia.org/wiki/T%C3%BAnel\\_do\\_Monte\\_Branco](https://pt.wikipedia.org/wiki/T%C3%BAnel_do_Monte_Branco) )

Sistemas especiais para extração de fumaça em caso de incêndio devem ser instalados, incluindo chaminés e/ou dutos dedicados e instrumentação para detecção do local do incêndio. É fundamental que todos os equipamentos e instrumentos estejam pelo menos 98% do tempo operativos (normas) o que exige manutenção constante<sup>22</sup>.

*“O perigo de incêndio em um túnel geralmente produz fumaça, o que é perigoso para os usuários do túnel, pois a visibilidade é reduzida e pode ser tóxico. Fig. 1 Fumaça em um túnel rodoviário. Em um sistema unidimensional, como um túnel rodoviário, a fumaça pode se espalhar muito rapidamente em uma ou duas direções, ameaçando as pessoas ali situadas. O ideal é que a fumaça seja extraída ou direcionada para direção onde nenhuma pessoa esteja em perigo. Controle de fumaça significa essencialmente o controle do fluxo de ar longitudinal no túnel, sozinho ou em combinação com um sistema de extração de fumaça. O controle da fumaça é principalmente para garantir a fuga dos usuários do túnel da área perigosa. Em segundo lugar, a brigada de incêndio deve ser apoiada garantindo um acesso livre de fumaça ao local do incêndio.*

*Em túneis com ventilação longitudinal pura, a única saída de fumaça é através do próprio espaço de tráfego. Neste caso, o sistema de controle de fumaça influencia apenas a direção e a velocidade do movimento da fumaça.*

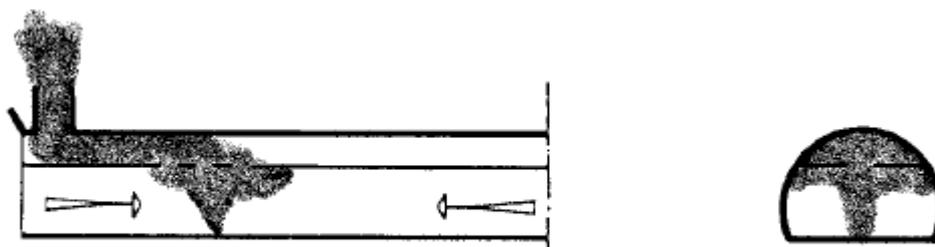


*Fig. 2 Longitudinal ventilation in case of fire*

**Fig. 2 – Simulação de incêndio em um túnel**

*Usando ventilação longitudinal, por exemplo, em um túnel com tráfego unidirecional, o objetivo do projeto típico é evitar que a fumaça se espalhe, ou seja, garantir que toda a fumaça seja conduzida em uma direção. Nesse caso, a velocidade longitudinal deve atingir pelo menos a chamada “velocidade crítica”. É inerentemente assumido que não há pessoas a jusante do incêndio. A situação é bem diferente em um túnel com tráfego bidirecional ou congestionado. Os usuários do túnel podem estar situados em ambos os lados do fogo. Com altas velocidades do ar, uma possível camada de fumaça estratificada sob o teto do túnel seria dispersa por toda a seção transversal do túnel. Portanto, com uma ventilação longitudinal, a intenção do controle da fumaça é estabilizar o fluxo de ar em baixa velocidade. O objetivo é evitar mudanças na direção do fluxo e manter a velocidade do ar baixa para minimizar a turbulência ou grande fluxo de redemoinhos. Em túneis mais longos, deve haver uma extração de fumaça do tubo do túnel usando um duto de ar separado. Idealmente, o fumo é extraído no ponto da fonte de fumo, e no local do incêndio.*

<sup>22</sup> Pospisil, P.; Brandt, R. “Smoke Control in Road Tunnels”. Research Gate, 2005

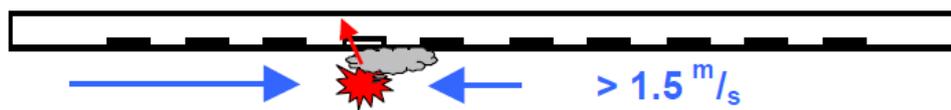


*Fig. 3 Local smoke extraction system*

Fig. 3 – Sistema de extração de fumaça em um túnel

*As normas suíça<sup>23</sup> e alemã<sup>24</sup> exigem que o fluxo de ambos os lados do fogo atinja uma velocidade de pelo menos 1,5 m / s em direção ao ponto de extração. Isso deve ser cumprido nas piores condições previsíveis. Normalmente, o caso indicativo para o dimensionamento é a extração próxima a um portal de túnel, com fluxo de ar natural adverso causado pelo vento e efeitos termodinâmicos.*

*Para atender aos requisitos de suporte à extração de fumaça, são exigidos ventiladores de jato para controlar o fluxo de ar longitudinal no túnel. Quanto maior a capacidade de extração de fumaça, menos ventiladores a jato são necessários. No projeto de um sistema de ventilação para extração de fumaça, é realizada uma otimização entre a taxa de extração e o número de ventiladores.*



*Fig. 4 Design for smoke control with smoke extraction*

Fig. 3 – Sistema de controle e extração de fumaça de incêndio em um túnel

*Em casos especiais, ao invés de controlar o fluxo de ar longitudinal por ventiladores de jato, a velocidade do ar pode ser interrompida por meio de uma poderosa ventilação transversal ou semitransversal, comum em túneis mais antigos. Exemplos são o túnel rodoviário Gotthard na Suíça, o túnel Elba em Hamburgo / Alemanha e o túnel Branisko na Eslováquia.*

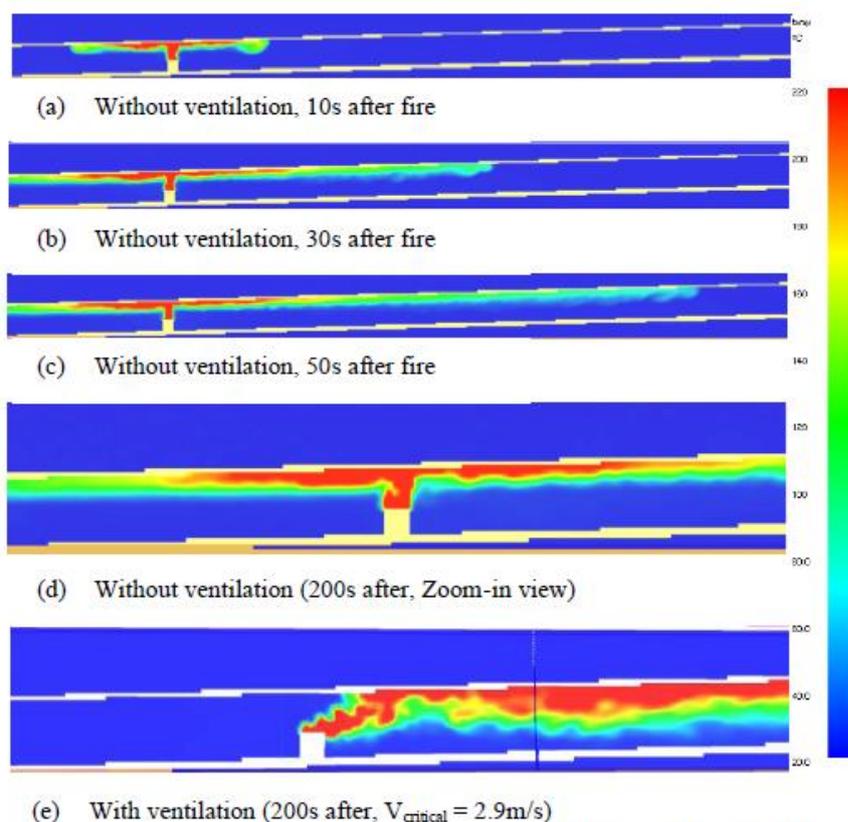
*No túnel Branisko, a extração da fumaça pode ser suportada por meio da ventilação semitransversal no ramo oposto do túnel. Ele foi testado com sucesso durante os **testes de fumaça antes da abertura do túnel.***

Exemplo de simulação de incêndio em túnel rodoviário (o que não foi encontrado entre os estudos apresentados pelo Governo de MG)<sup>25</sup>:

<sup>23</sup> ASTRA - Bundesamt für Strassen, Swiss Design Code - Richtlinie Lüftung der Strassentunnel, Draft version 19. December 2003

<sup>24</sup> RABT-2003 - German Design Code - Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Strassentunneln, 2003.

<sup>25</sup> Pak Hang Fu; Hou Kuan Tam; Seng Kin Lao; Lap Mou Tam; Vai Kuong Sin; Iok Wa Tang; Kuan Hou Lam. "Simulation of Smoke Flow in a Longitudinal Ventilated Tunnel in Macau". Department of Electromechanical Engineering, Faculty of Science and Technology, University of Macau, Macau SAR, China. Institute for the Development and Quality, Macau, Macau SAR, China.



**Figure 6. Temperature Contour Plot of the TMG Tunnel (with a tilt angle of 2.45 °)**

**Fig. 4 – Simulação de incêndio em um túnel**

Julgamos ser indispensável que o Estado disponibilize, para avaliação da sociedade, os estudos de risco e de sistemas de segurança que forçosamente precisam ser feitos em um projeto de túneis para rodovias, principalmente tendo-se em vista que os túneis previstos para a Alça Sul do Rodoanel da RMBH são da categoria AA. Igualmente, que sejam disponibilizadas as especificações de todos os sistemas de segurança que deverão ser instalados nos túneis previstos, bem como os custos estimados, para que os licitantes possam precificá-los e incluí-los em suas propostas. Sem as especificações detalhadas de todos os sistemas não será possível equalizar e julgar as propostas.

Julgamos ser imprescindível que sejam estudadas alternativas de traçados que, se não eliminam totalmente os túneis, resultam na menor quantidade e no menor comprimento possível, ainda que onerando trechos a céu aberto. Não é admissível a economia em sistemas de segurança, em análises de riscos, em previsões de tudo que for possível para aumentar a segurança e evitar danos a pessoas que trafegam em um túnel.

Acidentes em túneis são mais comuns do que se pensa. Ver por exemplo:

[https://en.wikipedia.org/wiki/Category:Tunnel\\_disasters](https://en.wikipedia.org/wiki/Category:Tunnel_disasters)

Ver também:

<https://tunnels.piarc.org/pt/transverse-aspects-pt/seguranca>

<https://tunnels.piarc.org/pt/aspetos-transversais-seguranca/experiencia-de-acidentes>

[C%20reports/2006%2005.16.B%20Table%202.1.pdf](#)

## 2.9 Análise de riscos

Entre os documentos disponibilizados pelo Governo de MG não foi encontrada documentação referente à análise de risco<sup>26</sup> dos túneis propostos.

As alternativas de projetos do Rodoanel que incluem túneis deveriam ter sido baseadas em uma exaustiva Análise de Risco, executada por empresa com comprovada experiência internacional no setor, análise essa fundamental para demonstrar a viabilidade, em termos de segurança, dos traçados alternativos propostos para a Alça Sul.

Não nos parece possível aceitar, tecnicamente, legalmente e eticamente, um projeto que não comprove que os túneis e vias respeitam os requisitos de segurança previstos em normas e necessários para minimizar o risco e as consequências de acidentes.

A Análise de Risco deve incluir o estudo completo dos sistemas de prevenção e combate a incêndios nos túneis, com dutos especiais para extração de fumaça, equipamento de extração, instrumentação de monitoramento, estudo e cálculos de capacidade e tipo de equipamentos, estudo do número de pessoas afetadas por incêndios nos túneis, rotas de fuga etc. Tais estudos devem ser feitos para vários cenários de acidentes de trânsito com incêndio conjugados com várias opções de projeto dos túneis (ver exemplo abaixo, em que foram estudados cerca de 2 milhões de cenários representativos). O projeto deveria apresentar ainda quantitativos (preços) e determinação para a execução de testes de fumaça em escala real antes da abertura dos túneis etc.

*“Uma das principais dificuldades nas Avaliações de Risco Quantificado (QRA) é determinar o risco de incêndios, pois isso depende de vários parâmetros, tais como: taxa de liberação de calor, geometria do túnel (em particular comprimento e Declividade), distância entre saídas de emergência, ventilação em túnel (sistema, capacidade e uso) e tráfego (quantidade, unidirecional com / sem congestionamento, bidirecional). Consequentemente, os modelos de análise de risco tratam o risco devido a incêndios em túneis de uma maneira bastante simplista ou exigem modelagem CFD dedicada com análise de saída a ser realizada.*

*A desvantagem do uso de CFD e modelagem de saída na análise de risco é que nenhuma resposta única é obtida, pois os resultados dependem do programa de computador, seleção de parâmetros e preferências do usuário. Portanto, o modelo genérico aqui apresentado foi desenvolvido para a metodologia de análise de risco de túneis rodoviários na Suíça.*

*Os dados necessários para interpolar as superfícies de resposta dedicadas são baseados em cerca de **2 milhões de cenários representativos** que foram calculados com os programas SPRINT (Smoke Propagation IN Tunnels) e ODEM (One-Dimensional Egress Model).*

*A análise é baseada em cinco sistemas distintos de ventilação em túnel: ventilação natural, ventilação longitudinal com / sem controle de velocidade de fluxo e extração local de fumaça com / sem controle de velocidade de fluxo. Outros sistemas podem ser deduzidos destes de acordo com regras de interpolação, que também foram estabelecidas. Além do sistema de ventilação, sua utilização em conjunto com o*

---

<sup>26</sup> Para exemplos de análises a serem realizadas ver: <https://www.piarc.org/en/order-library/5871-en-Risk%20analysis%20for%20road%20tunnels.htm?catalog&catalog-topic=37&catalog-size=>

*regime de tráfego (unidirecional fluente / congestionado, bidirecional) também são parâmetros característicos.*

*Verificou-se que, com um grau adequado de precisão, as consequências devido a incêndios podem ser determinadas com base em: comprimento total do túnel, Declividade local da seção do túnel, distância entre as saídas de emergência, sistema de ventilação, estratégia de ventilação, regime de tráfego e taxa de liberação de calor.*

***O resultado do modelo genérico é o número de mortos e feridos.***

*O modelo proposto é adaptado para ser usado em um contexto de análise de risco, onde as consequências absolutas são frequentemente menos relevantes do que a capacidade de distinguir adequadamente entre as mudanças no impacto de várias opções de design. Não substitui a engenharia de, por exemplo sistemas de ventilação.*<sup>27</sup>

### Referências para Análise de Riscos em Túneis

- (1) ASTRA 19004 Risikoanalyse für Tunnel der Nationalstrassen (2014 V1.01), [www.astra.admin.ch](http://www.astra.admin.ch)
- (2) ASTRA 89005 Risikokonzept für Tunnel der Nationalstrassen / Methodik zur Ermittlung und Bewertung der Risiken in Tunnel (2014 V1.01), [www.astra.admin.ch](http://www.astra.admin.ch)
- (3) ASTRA 89007 Risikoanalyse für Tunnel der Nationalstrassen: Anwendungsbeispiel (2014 V1.01), [www.astra.admin.ch](http://www.astra.admin.ch)
- (4) ASTRA 74001 Sicherheitsanforderungen an Tunnel im Nationalstrassennetz (2010 V1.02), [www.astra.admin.ch](http://www.astra.admin.ch)
- (5) Directive 2004/54/EC of the European Parliament and of the Council of 29 April 2004 on minimum safety requirements for tunnels in the Trans-European Road Network
- (6) TUSI (2014), Nationalstrassen Teilprogramm Sicherheitsmassnahmen Tunnel (TUSI), Zwischenbilanz Juni 2014, ASTR N304-1462
- (7) Riess, R. Brandt: ODEM: A One-Dimensional Egress Model for Risk Analysis, 5. Symposium Tunnel Safety and Ventilation, Graz, Mai 2010, VKM-THD Mitteilung Heft/Volume 93, 2010, ISBN: 978-3-85125-106-7
- (8) Riess, M. Bettelini, R. Brandt: Sprint – A Design Tool for Fire Ventilation, 10<sup>th</sup> International Conference, Aerodynamics and Ventilation of Vehicle Tunnels, bHr, Boston, 1-3 November 2000 94 © BHR Group ISAVFT 2015
- (9) ASTRA 13001 Bundesamt für Strassen ASTRA, “Richtlinie Lüftung der Strassentunnel”, Richtlinie, (2008 V2.02), [www.astra.admin.ch](http://www.astra.admin.ch)
- (10) ASTRA Merkblatt “Hauptalarm Stationär” 23 001-11315 (2012 V1.00), 30.04.2012

---

<sup>27</sup> R Brandt, N Riklin, V Butty, S Frey, M Schubert, N P Høj, C Gammeter, B Gogniat. “Generic quantification of consequences of road-tunnel fires”. BHR Group ISAVFT 2015

(11) Einfluss der Tunnellüftung auf das Risiko eines Strassentunnels, Fachbericht ASTRA N191-1345, Natalie Riklin, Dr. Rune Brandt, Dr. Vincent Butty und Simon Frey, Dr. Matthias Schubert, Niels Peter Høj, June 2014

(12) Entwicklung einer besten Praxis Methode zur Risikomodellierung für Strassentunnelanlagen, Research project ASTRA 2009/001 at request of Federal Road Office (FEDRO) and Norwegian Public Roads Administration (NPRA), November 2011, VSS 1351

(13) Brandt, R; Schubert, M; Høj, N.P. On Risk Analysis of Complex Road-tunnel systems; 6th International Conference 'Tunnel Safety and Ventilation' 2012, Graz

(14) Brandt, R.; Høj, N. P.; Schubert, M., On Bayesian Probabilistic Networks for Risk Analysis of Road Tunnels; Proceedings from the Fifth International Symposium on Tunnel Safety and Security, New York, USA, March 14-16, 2012, Edited by Anders Lönnermark and Haukur Ingason, SP Report 2012:10, ISBN 978-91- 87017-26-1, ISSN 0284-5172

## 2.10 Sobre a declividade de trechos do Rodoanel e a segurança de motoristas e passageiros

A Alça Sul das alternativas 1B e 1C precisa vencer um desnível de aproximadamente 360 m entre as imediações de Casa Branca e a BR 040. Para vencê-lo o projeto da alternativa 1C prevê um trecho de túnel duplo com 8,2 km de extensão com declividade contínua de exatamente 4,50%, a qual é o limite determinado pelo DNIT e um pouco maior que a declividade da descida da BR 040 desde a proximidade do Bairro Jardim Canadá até o viaduto da Mutuca. A declividade de 4,5% também é bastante próxima da declividade do atual Anel Rodoviário, desde o bairro Olhos d'Água até o Betânia. Portanto, o trecho de 8,2 km poderá apresentar os mesmos problemas hoje existentes no Anel Rodoviário e na 040: grande número de acidentes na pista de descida e lentidão na pista de subida. O traçado da alternativa 1B apresenta características bem similares, com o agravante de incluir dois túneis duplos.

Apresenta-se a seguir a comparação de trajetos já existentes na BR 040 e no Anel Rodoviário com os trechos de travessia da Serra da Calçada e da Serra do Rola Moça as alternativas 1B e 1C do Rodoanel.

- a) Declividade máxima de rodovias (DNIT): 4,5% para rodovias Classe I ou Classe Especial situadas em áreas montanhosas e em altitudes superiores a 1000 manm<sup>28</sup>, como as da Alça Sul.
- b) Outras características exigidas por norma pelo DNIT para rodovias Classe I ou Classe Especial em áreas montanhosas:
  - Faixa de domínio: 80 m
  - Largura dos acostamentos: mín. 2,5 m ou, se existirem áreas de estacionamento "tão próximas quanto possível, de acordo com a topografia e o volume do tráfego previsto em futuro próximo", mín. 2,0 m.
  - Largura do canteiro central: mín. 1,5 m
  - "Quando se prever ou verificar, em certos trechos de estradas em regiões montanhosas ou escarpadas, "engarramento" do tráfego de veículos leves, em consequência de forte redução da velocidade dos veículos de carga, deve-se projetar uma "pista de subida" para o tráfego lento, independente da pista normal. "

---

<sup>28</sup> manm = metros acima do nível do mar, ou seja, altitude relativa ao nível do mar.



- c) Trecho desde o início da descida da BR 040, em frente ao Posto de Combustível da pista de descida, situado depois do Jardim Canadá, até o viaduto do Mutuca:
  - Comprimento: 4060 m
  - Desnível: 170 m
  - Declividade média =  $170 / 4060 = -4,2\%$
  
- d) Trecho desde o viaduto do Mutuca até o início da descida do Anel Rodoviário:
  - Comprimento: 2100 m
  - Desnível: 6 m
  - Declividade média:  $6 / 2100 = +0,3\%$
  
- e) Trecho desde o início da descida do Anel Rodoviário até o viaduto do Betânia (via do Minério):
  - Comprimento: 5060 m
  - Desnível: 254 m
  - Declividade média:  $254 / 5060 = -5,0\%$
  
- f) Comprimento do trecho de descida desde o Posto de Combustível até o Betânia:  $4060 + 5060 = 9120$  m, com 2100 m de aplaneamento entre os trechos para os caminhões “esfiarem os freios”.
  
- g) Declividade média dos trechos de descida:  $(170 - 6 + 254) / (4060 + 5060) = 418/9120 = 4,58\%$
  
- h) **Alternativa 1C** da Alça Sul do Rodoanel: Trecho da travessia da Serra da Calçada, desde a Serra do Ouro Fino (Casa Branca) até o Posto Parada Boa:
  - Comprimento total: 8200 m
  - Desnível: 366,375 m (El. 964,784 m ao pé da Serra do Ouro Fino até a El. 1331,159 m na BR 040)
  - Declividade média:  $366,375 / 8200 = -4,47\%$  sendo:

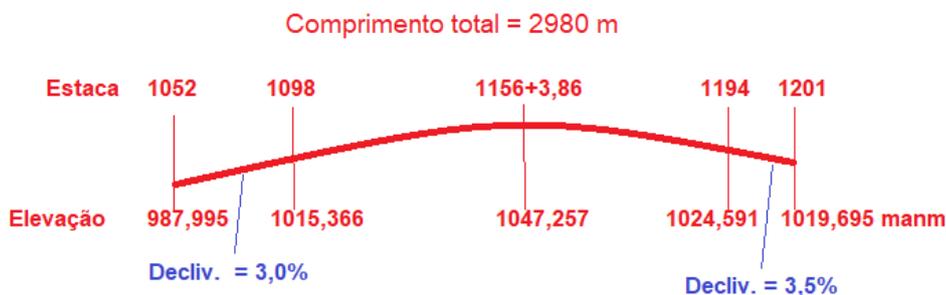
Trecho	Estaca inicial	Estaca final	Compr. (m)	Cota inicial (manm)	Cota Final (manm)	Diferença de níveis (m)	Declividade
Ponto mais baixo ao pé da Serra do Ouro Fino	1279+10	1290	210,0	964,784	974,234	9,45	<b>4,50%</b>
Do ponto mais baixo até o fim da Serra do Ouro Fino	1290	1384	1880	974,234	1058,834	84,6	<b>4,50%</b>
Trecho sobre o vale do Ribeirão Catarina	1384	1482+10	1970	1058,834	1147,5	88,666	<b>4,50%</b>
Ponte antes do emboque do túnel no contraforte da Serra da Calçada	1482+10	1520	750	1147,5	1181,234	33,734	<b>4,50%</b>

Túnel sob a Serra da Calçada	1520	1689+10	3390	1181,234	1331,159	149,925	<b>4,42%</b>
Totais			8200,0			366,375	

Obs.:

- Trecho de 8200 m de descida contínua, com a declividade máxima permitida pelo DNIT, sem nenhum trecho para “esfriar os freios”. Comprimento total de 8200 m, sendo 3390 m em túnel, com lentidão das carretas e grande volume de fumaça gerada pelos motores dentro do túnel de alta declividade. Em termos de riscos de ocorrência de acidentes, a Alternativa 1C (com 8200 m e inclinação média de 4,47%) poderia ser considerada **pior** que descida atual desde o Posto de Combustíveis da BR 040 até o bairro Betânia. A presença do túnel potencializa muito as consequências nocivas de algum acidente.
- O entroncamento (“trevo”) do Rodoanel com a BR 040 dessa Alternativa 1C está desenhado exatamente sobre uma das nascentes que dá nome à região (“Água Boa”), entre o Posto de Combustível Água Boa e a denominada “Curva da Morte”, em frente ao Condomínio Miguelão. Outras nascentes bem próximas ao possível trevo, há décadas utilizadas para o abastecimento da região, poderão ser seriamente afetadas pelos impactos dos túneis sobre os aquíferos da Serra.

i) Trecho da travessia da Serra do Rola Moça:



Em trechos de rodovias de maior declividade têm sido instaladas áreas de escape, cujo objetivo é evitar acidentes.

*As chamadas áreas de escape, recursos de emergência localizados em rodovias e destinados a veículos pesados sem freio, já evitaram 321 acidentes nas BRs 277 e 376, nos trechos que ligam Curitiba ao litoral do Paraná e de Santa Catarina.*

*O caso mais recente ocorreu nesta terça-feira (25/8/2020), por volta das 17 horas na BR-376. Um caminhão que descia a serra com 11 toneladas de carga adentrou 47 metros na estrutura localizada no km 667,3, no município de Guaratuba, após o motorista perceber falha nos freios.*

Leia mais em: <https://www.gazetadopovo.com.br/parana/areas-escape-277-376-evitaram-acidentes/>

O projeto do Governo de MG não prevê nenhuma área de escape no trecho de 8,2 km de descida da Serra da Calçada. A falta de áreas de escape tornaria esse trecho tão desguarnecido de opções de saída para caminhões desgovernados quanto o atual Anel Rodoviário.

Aliás, é incompreensível porque tais áreas ainda não foram construídas no atual Anel, na descida para o Betânia e porque o projeto do Governo não prevê, para o atual Anel, a construção dessas áreas. Como o atual Anel não será desativado consideramos ser imprescindível o aumento da sua segurança no âmbito do projeto do Rodoanel. A instalação de áreas de escape e de outros dispositivos de segurança constitui providência que já deveria ter sido adotada há muitos anos.



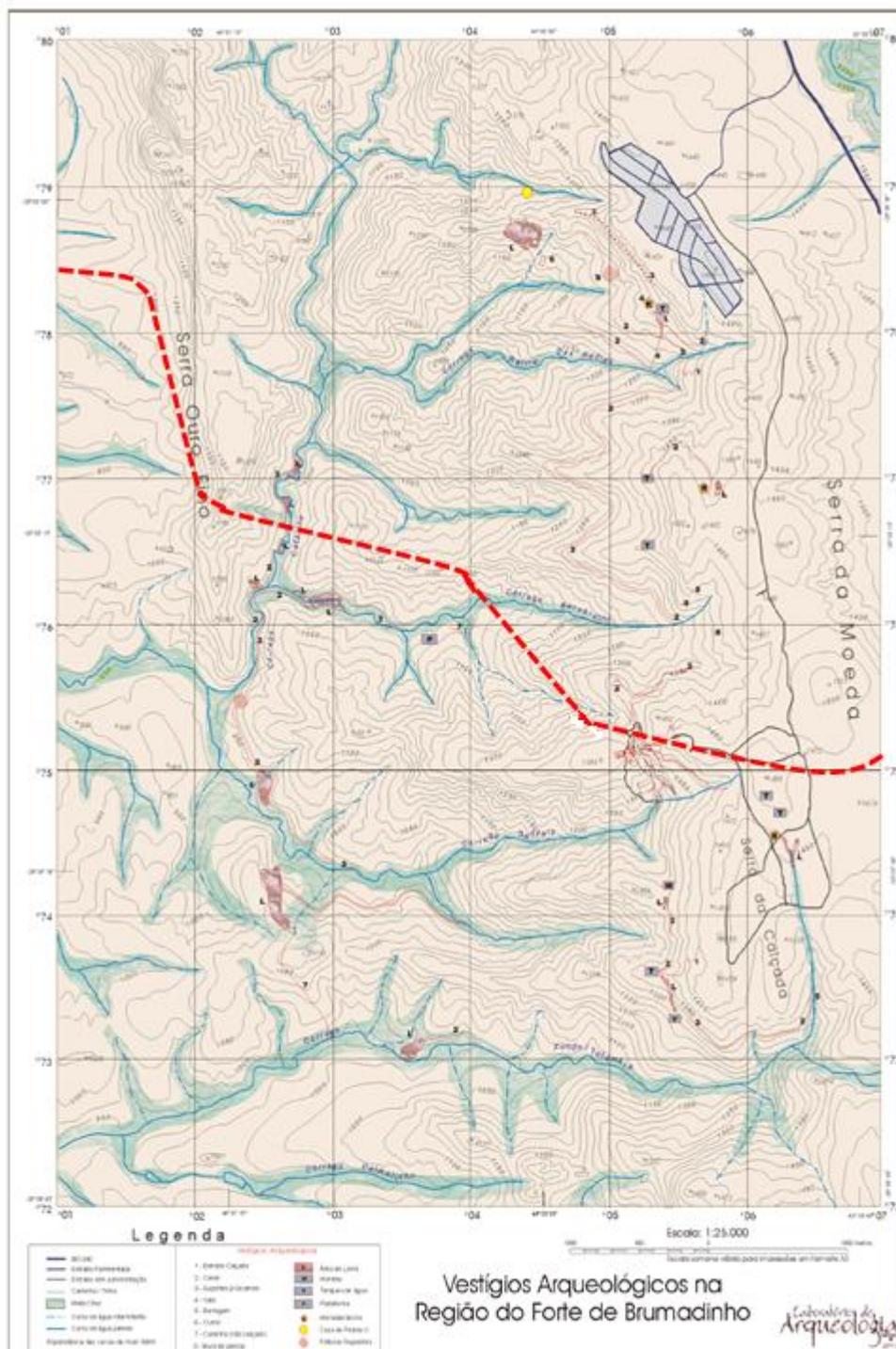
**Fig. 1 – Caminhão sem freios entra em Área de Escape do km 667,3 da BR-376, em Guaratuba/PR. 17 h do dia 25/8/2020**

### 2.11 Sobre a existência de sítios arqueológicos e/ou históricos que serão prejudicados com a instalação da Alça Sul do Rodoanel

As alternativas locacionais previstas no projeto do Rodoanel poderão resultar em destruição de patrimônios históricos, sítios arqueológicos e nascentes, supressão de vegetação, perda de biodiversidade, obstáculos à atividade turística, dentre outros.

Em 2001 e 2002, sob gestão da AMDA e da ASTURIES, foram desenvolvidos estudos multidisciplinares na área da Serra da Moeda / Calça nas imediações do Forte de Brumadinho, exatamente por onde passaria a Alça Sul da Alternativa selecionada 1C. Entre esses estudos, está o de arqueologia, realizado pelo Laboratório de Arqueologia da Fafich/UFMG, sob a coordenação geral do Prof. Calos Magno Guimarães. Como resultado dos estudos, foi gerado o Relatório denominado “Projeto Arqueológico: Prospecção e Topografia do Forte de Brumadinho e Entorno”, de 123 páginas, emitido em dez./2002. Esse Relatório está anexado ao presente documento (ver Anexo 10).

Os vestígios arqueológicos que puderam ser mapeados na época – de forma incompleta devido às limitações de verba do Projeto – estão em mapa apresentado na pág. 86 do citado Relatório (ver a seguir). Pode-se ver claramente que o traçado da Alça 1C coincide ou está bem próximo de vários dos vestígios já mapeados. Um mapeamento bem mais detalhado deveria ter sido feito pelo Estado antes de decidir pelo traçado da Alternativa 1C, para evitar a destruição de sítios de grande importância histórica e arqueológica.



**Fig. 1 – Mapa de alguns dos vestígios arqueológicos da região por onde passaria a Alça 1C do Rodoanel.**

A título de exemplo dos sítios arqueológicos e de importância ambiental que têm que ser preservados, apresentamos imagens nas quais indicamos locais que serão destruídos ou extremamente afetados caso a opção escolhida seja o traçado 1C.



Fig. 2 - Alt. 1C – Seleccionada pelo Governo



Fig. 3 - Detalhe da Alt. 1C – Sítios arqueológicos, córregos, cachoeiras



Fig. 4 - Detalhe da Alt. 1C – Sítios arqueológicos



Fig. 5 - Alt. 1B e 1C – Núcleos urbanos, sítios arqueológicos, nascentes, córregos



Fig. 6 - Poço Encantado



Fig. 7 - Forte de Brumadinho



**Fig. 8 - Forte de Brumadinho**



**Fig. 9 - Estrada da Serra da Calçada – De acordo com informações disponíveis, a estrada que vinha de São Paulo e do oeste de Minas pelo Vale do Paraopeba, rumo a Ouro Preto (caminho de Bandeirantes), passava dentro de Piedade do Paraopeba (onde há resquícios dela), seguia pelo Morro Vermelho e Tutaméia e subia a serra aqui, um pouco ao sul do Forte de Brumadinho, com trechos calçados.**



**Fig. 10 - Trilha para o Forte de Brumadinho**

O documento ASPECTOS AMBIENTAIS – ALÇA SUL inclui os seguintes parágrafos referentes aos aspectos culturais, históricos e arqueológicos, como se tais aspectos pertencessem ao que normalmente se entende como “meio ambiente”. Entretanto, não encontramos entre os documentos disponibilizados no link, uma análise detida, sistemática e adequada a respeito dos possíveis impactos do Rodoanel sobre os itens mencionados a seguir, bem como sobre os referentes aos aspectos sociais e ambientais. Não encontramos nenhuma proposição de atividade ou obra que possa reduzir ou evitar tais impactos, nenhuma justificativa de escolha ou descarte de alternativas de traçado que considerasse tais aspectos, além dos econômicos e técnicos.

*“Em relação ao patrimônio cultural, o trecho 1 se encontra na área de influência dos saberes, Linguagens e expressões musicais da viola em Minas Gerais registrada no município de Betim (IEPHA, 2017).*

*No município de Ibirité, os trechos 3, 4 e 5 interceptam áreas de influência das manifestações religiosas e práticas musicais seguintes: Associação Folia de Reis Divino Espírito Santo, Prática Musical de Violeiro, Folia de Reis Jesus-Maria-José e Folia dos Santos Reis Irmãos Unidos com Fé. Destaca-se que, a menos de 400 metros do projeto, está localizada a Capela Nossa Senhora do Rosário, que possivelmente está incluída no trajeto destas Folias. Essas áreas de influência são indicativas, sem apresentar um valor legal impeditivo.*

*O único bem tombado em nível estadual no entorno do Rodoanel é o Conjunto Histórico e Paisagístico da Serra da Calçada que foi efetuado por meio da reunião do Conselho Curador do dia 30 de julho de 2008. São encontrados vestígios históricos, testemunhos da história da mineração na região nos séculos XVIII e XIX. O topônimo Serra da Calçada advém do caminho pavimentado com lajes de pedra de mão que unia o Vale do Paraopeba a Serra da*

*Moeda. Nela encontram-se várias ruínas e um dos remanescentes é a antiga fábrica de São Caetano da Moeda Velha e complexo minerário do “Forte de Brumadinho”. Aparentemente, esse tombamento é provisório, mas tem os mesmos efeitos legais de um tombamento definitivo.*

*O Plano de Manejo do Monumento Natural da Serra da Calçada descreve esse patrimônio histórico:*

*‘Na Serra da calçada, do período histórico, é possível avistar ao longe parte das estruturas que formam o Sítio Arqueológico Forte de Brumadinho, composto por estruturas atribuídas a uma fortificação, uma grande cata a céu aberto, um extenso sistema hidráulico e uma estrada calçada que ligava a área de lavra, na parte mais baixa, ao topo da serra. De acordo com recentes pesquisas arqueológicas e históricas, nas primeiras décadas do século XVIII, importantes descobertas de ouro foram realizadas às margens do rio Paraopeba e em mais alguns pontos da serra da Moeda, proporcionando um grande movimento exploratório. A construção do Forte de Brumadinho é reflexo dessa intensa exploração aurífera, e testemunho da grande riqueza produzida na região, período em que o contrabando foi praticado em larga escala (JARDIM, 1982). Em função disso, o motivo da construção do forte passou a frequentar o imaginário local, que criou hipóteses sobre a função do Forte: ele teria servido de abrigo para tropas militares (PREFEITURA MUNICIPAL DE BRUMADINHO, 2003); ou teria sido um local de cunhagem clandestina de moeda, recebendo a alcunha de Casa da Moeda Falsa; com o desenrolar das pesquisas arqueológicas e históricas foram localizadas as ruínas da verdadeira Casa da Moeda Falsa no atual lugarejo de “São Caetano da Moeda” (GUIMARÃES et al., 2003). Pesquisas arqueológicas indicaram que a construção funcionava como sede administrativa de uma grande unidade mineradora, característica do período colonial mineiro (GUIMARÃES et al., 2003). Segundo Neves (in Baeta e Piló 2015), ela provavelmente foi construída com o fim de resguardar o ouro de possíveis furtos; a parte central ao fundo possuía um telhado de uma casa interna; o resto seria um pátio. O muro maciço e sem brechas teria o fim de evitar contato com o exterior, com total controle pela única entrada, com uma “caixa-forte”. A posição da entrada sugere o controle do acesso para as povoações existentes pela serra acima, onde a maior visibilidade propiciaria o controle de eventuais rebeliões’.*

*A área de influência do bem tombado (IDE SISEMA) consiste em um raio de 10 km no entorno de um ponto central localizado na Serra da Calçada. Porém, no Plano de Manejo do MONA, é apresentado um limite mais detalhado. Esse limite borda a BR-040 ao leste, é limitado ao sul pela mina Pau Branco e ao norte pela localidade Retiro das Pedras. A divisa leste corresponde aproximadamente à confluência do córrego Senzala com outro rio para formar o Ribeirão da Catarina. Essa área de influência engloba a maior parte dos campos nativos da serra.*

*Finalmente, pode ser observada também a sobreposição dos trechos 3 e 4 com o raio de restrição a terras Quilombolas de 15 km de tipologia “Aproveitamentos hidrelétricos (UHE’s e PCH’s)”. A restrição de 10 km para rodovias não alcança o quilombo. Esse raio protege o Quilombo urbano dos Luízes na cidade de Belo Horizonte. O mesmo cenário é encontrado em Brumadinho, com o Quilombo do Sapé, distante a 13 km do trecho 7, em linha reta”.*

## 2.12 Sobre a possibilidade de minimizar os impactos sociais negativos, e maximizar os positivos, relativos à instalação do Rodoanel

No início da expansão rodoviária no Brasil, a partir dos anos de 1950, os projetos de rodovias eram elaborados diretamente pelo Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER) e focava apenas a geometria da obra. Os estudos realizados para a implantação de uma nova rodovia consistiam apenas do levantamento topográfico e do projeto das obras de arte, e, excepcionalmente, era realizada uma sondagem do subsolo como complementação. (DNIT/IPR, 2006).

Ao longo dos anos, a programação de obras rodoviárias sofreu diversas alterações, passando a priorizar restaurações ao invés de novas construções e procurando adequar-se às novas exigências ambientais estabelecidas pelos principais órgãos financiadores do desenvolvimento no país.

Nos anos 1980 (FREIRE, 2003), surge uma nova preocupação entre instituições responsáveis pelo transporte no país: os prejuízos causados às populações pelas travessias urbanas.

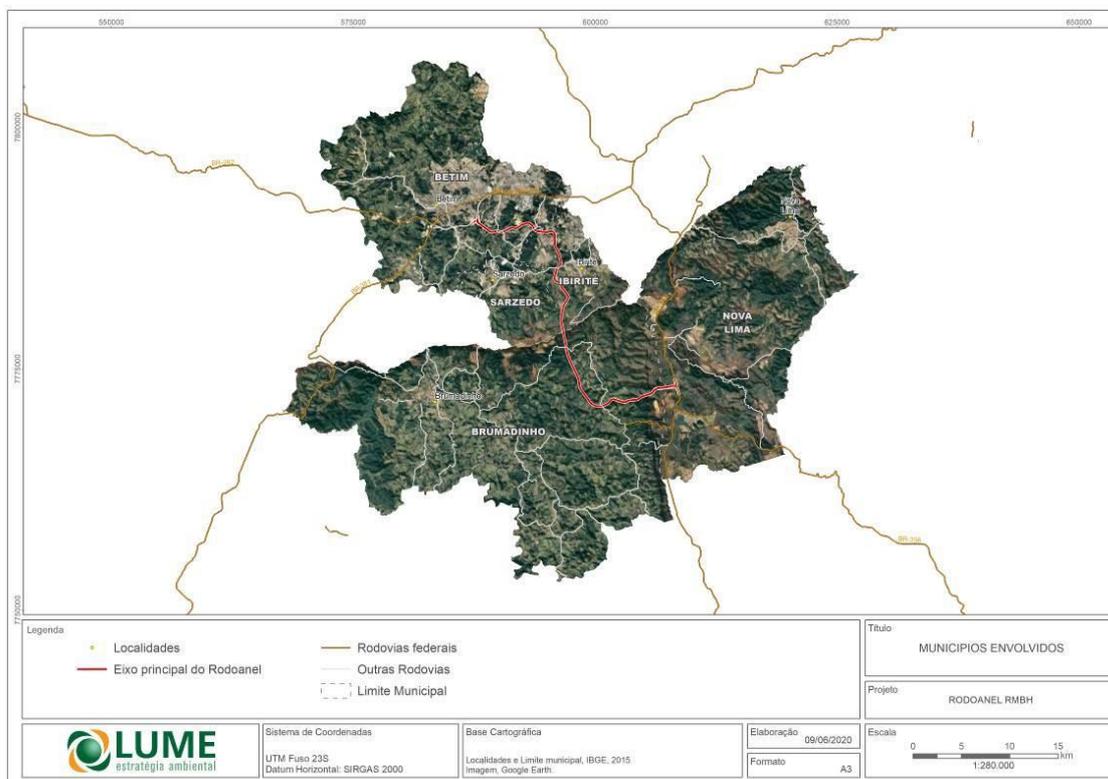
A análise dos impactos sociais decorrentes de um empreendimento comprometido com a sustentabilidade passou a ser exigência, juntamente com as análises ambiental e econômica.

Respondendo a essa exigência, foi elaborado pelo Governo de MG o documento denominado ASPECTOS SOCIAIS – ALÇA SUL.

Conforme explicitado nesse documento,

*“O trecho estudado, Sul, possuirá uma extensão de 37,4 km, com a adição de alças e rampas de acesso para unir as rodovias BR381/BR262 (Contorno de Betim) a BR040, esta última no município de Nova Lima, esta última no município de Nova Lima.*

*Ao longo de seu desenvolvimento, esse traçado atravessa os municípios de Betim, Ibirité, Sarzedo, Brumadinho e Nova Lima. (Figura 1)”.*



**Figura 1 - Localização e posicionamento do traçado em relação aos municípios cortados.”**

Análise do texto e da imagem permitem concluir que o estudo sobre levantamento de aspectos sociais realizado teve como objeto o traçado 1B, que foi descartado.

Considerando que uma licitação é feita quando se tem definido o produto desejado, será necessária a realização de novo estudo dos impactos sociais para que a licitação seja realizada.

Ainda que o estudo mencionado não tenha sido feito tomando como base o trajeto escolhido (1C), algumas observações podem ser feitas sobre o documento disponibilizado.

1. A metodologia utilizada no estudo considerou apenas os bens sociais materiais – escolas, unidades de saúde e segurança, à exceção das comunidades quilombolas. Entretanto, os bens imateriais, como a cultura, vizinhança, afetos e hábitos de muitas comunidades podem ser profundamente impactados pela construção do Rodoanel.

A título de exemplo, a concentração de trabalhadores do sexo masculino durante a construção da rodovia pode acarretar prostituição e exploração de menores. Ações para mitigação desse impacto devem ser planejadas e isso impacta o custo da obra.

2. O estudo localizou pontos que se destacam nas imagens, como poços, áreas de cultivo, lixões não oficiais etc. Conforme explicitado:

*“Esses pontos são tratados na sequência por “ASPECTOS SOCIAIS – ALÇA SUL” e foram sistematizados e analisados. Isso permitirá indicar necessidades ao desenvolvimento do projeto, como travessias de pedestres e de veículos, ou mesmo poderão indicar pequenos ajustes na geometria do traçado. Na sequência foram não somente apresentados, mas também comentados e inseridos m material cartográfico.”*

O documento apresenta o levantamento de pontos em uma tabela, mas não os analisa de forma a produzir informação que contribua para a definição do produto a ser licitado.

3. Observações muito superficiais sobre sítios históricos ou arqueológicos são apresentados no documento ASPECTOS AMBIENTAIS – ALÇA SUL, o que evidencia uma concepção limitada do que venha ser social, conforme abordado m tópico específico.
4. É apresentado um tópico específico sobre mineradoras, concessões e requerimentos de lavra, bem como requerimento de licenciamento, com recomendações para ajustes estratégicos.

O que seriam estes ajustes estratégicos? Investir alguns bilhões do Estado na construção de um Rodoanel e cobrar pedágio para que a sociedade financie sua manutenção e eliminando um dos principais custos diretos das mineradoras, o escoamento dos minérios? É preciso lembrar que a passagem contínua de caminhões de minério por uma rodovia exige uma manutenção constante e cara, como acontece atualmente na BR 040 em vários trechos entre Belo Horizonte e Congonhas. Se for assim, isto significaria transferência de recursos do estado e dos cidadãos para os poucos acionistas de algumas mineradoras.

*“Existem outras manchas ao longo do traçado que podem ser visualizadas nos mapas que se seguem, porém ainda em estágios de pesquisa, mais incipientes. Os destaques dados nesse item remetem ao processo de desapropriação a ser enfrentado, bem como os aspectos negociais durante a implantação do projeto e que devem ser considerados pela sua significância, levando até mesmo a possibilidades de ajustes estratégicos”.*

5. À exceção do indicativo da necessidade de construção de passarelas, sem dizer onde ou quantas, o documento não aponta nenhuma ação no sentido de mitigar os impactos sociais negativos ou de maximizar os positivos, que aliás não foram levantados.

As restrições de acesso às vias, mencionadas em alguns pontos dos documentos disponibilizados pelo Governo de MG, por exemplo, logo são derrubadas por comunidades que ocupam terrenos ao lado das vias, muitas vezes sob pressão da criminalidade, do tráfico etc. Isso aconteceu no Rodoanel de São Paulo, onde as comunidades, incentivadas por marginais, começaram a interromper o tráfego queimando pneus para forçar o governo a abrir acessos ao Rodoanel, que foi construído em áreas de preservação, e o governo já cedeu em vários pontos. Medidas de mitigação de problemas como esse deveriam ser apresentadas no documento sobre aspectos sócias, o que não acontece.

### 2.13 Sobre a proximidade de túneis com minerações ativas

As imagens do Google Earth mostram claramente que os túneis previstos para cruzar as serras Rola Moça e Moeda / Calçada, em quaisquer das alternativas de traçado (1B e 1C) disponibilizadas para consulta pública, situam-se muito perto de minerações ativas. O documento “Levantamento de Aspectos Ambientais – Alça Sul” levanta este tema também e registra que o traçado do Rodoanel (sem especificar qual deles, se o da Alternativa 1C ou o da 1B) *“intercepta cinco processos de concessão de lavra (...) para extração de argila, ouro, manganês e ferro”* e chama atenção para a necessidade de consultar *“as empresas mineradoras a fim de que não haja conflitos entre o projeto e a atividade minerária”*. Esta recomendação se repete no documento “ASPECTOS SOCIAIS – ALÇA SUL”.

Mas também cabe considerar que não encontramos, entre os documentos disponibilizados pelo Governo, estudo sobre as influências recíprocas que poderão vir a se efetivar entre o Rodoanel e a exploração minerária. Entre elas elencamos as que podem ser exercidas por detonações, poeira, barragens e pilhas de estéreis, trânsito de caminhões de transporte de minério etc.

### 2.14 Sobre os impactos econômicos da construção e funcionamento do Rodoanel

#### 2.14.1 Geral

Conforme já assinalado, não encontramos entre os documentos disponibilizados pelo Governo de MG no link da SEINFRA o Relatório de Estudo de Viabilidade do Rodoanel da RMBH, mas apenas planilhas Excel com os resultados financeiros, cujos pressupostos deveriam estar no citado Relatório.

Um Relatório de Estudos de Viabilidade, independentemente da natureza ou do porte do empreendimento, é requisito obrigatório de qualquer obra ou negócio. Este conceito básico é aprendido em qualquer curso de gestão. Surpreende, portanto que dentre os documentos disponibilizados, não nos seja possível encontrar um relatório contendo a análise de viabilidade para construção do Rodoanel.

Somos um país de crenças, uma dela é que estradas trazem progresso. O presidente Washington Luís baseou sua campanha eleitoral de 1920 no lema “governar é abrir estradas”. Não se pode considerar que esse lema continue válido 100 anos depois e que as estradas sejam feitas às custas de todos os outros modais de transporte e apesar de todos os impactos sociais e ambientais.

“É impossível imaginar a civilização atual sem estradas; por meio delas são transportadas as safras agrícolas e os insumos necessários para produzi-las, os insumos e produtos industriais, quase toda a produção intelectual humana impressa, notícias em jornais e revistas, máquinas, combustíveis, produtos minerais e toda espécie de coisa material que se possa imaginar que a humanidade utilize; além disso, são as principais vias de transporte de pessoas em curta e média distância. Por outro lado, rodovias representam um dos maiores males da civilização quanto aos impactos sobre o ambiente natural; causam problemas, também, ao próprio meio antrópico”<sup>29</sup>

**É inegável que um Rodoanel pode trazer impactos positivos, mas como todo remédio tem seus efeitos colaterais, e se não nos é apresentado uma análise completa e adequada como conhecer, prevenir e minimizar estes efeitos?**

O conceito principal do século XIX é o de sustentabilidade, conforme definido pela ONU:

“Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável são um apelo global à ação para acabar com a pobreza, proteger o meio ambiente e o clima e garantir que as pessoas, em todos os lugares, possam desfrutar de paz e de prosperidade. Estes são os objetivos para os quais as Nações Unidas estão contribuindo a fim de que possamos atingir a Agenda 2030 no Brasil”<sup>30</sup>.

Desenvolver não é apenas crescer, há que se pensar hoje em desenvolvimento sustentável e para isso é preciso planejar de que forma o desenvolvimento econômico deve acontecer.

### 2.14.2 Análise preliminar do CAPEX – Alternativa 1B da Alça Sul

Devido às restrições de tempo, é apresentada a seguir somente uma análise sucinta de alguns pontos dos aspectos econômicos disponibilizados no link do Governo de MG.

É razoável supor que a definição, ainda que preliminar, do CAPEX apresentado pelo Governo de MG, decorreu de uma avaliação de custos de obras deste porte, de um diagnóstico de impactos e consequentes ações de contingenciamento e mitigação e de um Projeto de Viabilidade.

Avaliamos os CAPEX preliminares apresentados, que sinalizam a concepção do projeto – seus objetivos, valores e crenças que levam à definição e alocação de recursos.



**Projeto de Modelagem do Processo para Concessão do Rodoanel da Região Metropolitana de Belo Horizonte**  
CAPEX preliminar para as alças de implantação do Rodoanel Metropolitano

Disciplina	Alça 1A	Alça 1B	Alça 2	Alça 3
Pavimento	R\$ 61.750.000,00	R\$ 159.250.000,00	R\$ 182.000.000,00	R\$ 279.500.000,00
Drenagem	R\$ 18.525.000,00	R\$ 47.775.000,00	R\$ 54.600.000,00	R\$ 83.850.000,00
Sinalização	R\$ 17.907.500,00	R\$ 46.182.500,00	R\$ 52.780.000,00	R\$ 81.055.000,00
Terraplenagem	R\$ 69.630.698,02	R\$ 197.171.471,38	R\$ 244.608.000,00	R\$ 375.648.000,00
Estruturas	R\$ 206.700.000,00	R\$ 279.500.000,00	R\$ 322.400.000,00	R\$ 390.000.000,00
Túnel	R\$ -	R\$ 1.595.000.000,00	R\$ -	R\$ -
Ambiente	R\$ 3.705.000,00	R\$ 9.555.000,00	R\$ 10.920.000,00	R\$ 16.770.000,00
Outros	R\$ 6.175.000,00	R\$ 15.925.000,00	R\$ 18.200.000,00	R\$ 27.950.000,00
Desapropriação	R\$ 306.000.000,00	R\$ 184.000.000,00	R\$ 494.000.000,00	R\$ 355.000.000,00
Total	R\$ 690.393.198,02	R\$ 2.534.358.971,38	R\$ 1.379.508.000,00	R\$ 1.609.773.000,00



**Alça Descrição**

- Alça 01B** BR-040 → MG-040
- Alça 01A** MG-040 → BR-381
- Alça 02** BR-381 → LMG-806
- Alça 03** LMG-806 → BR-381

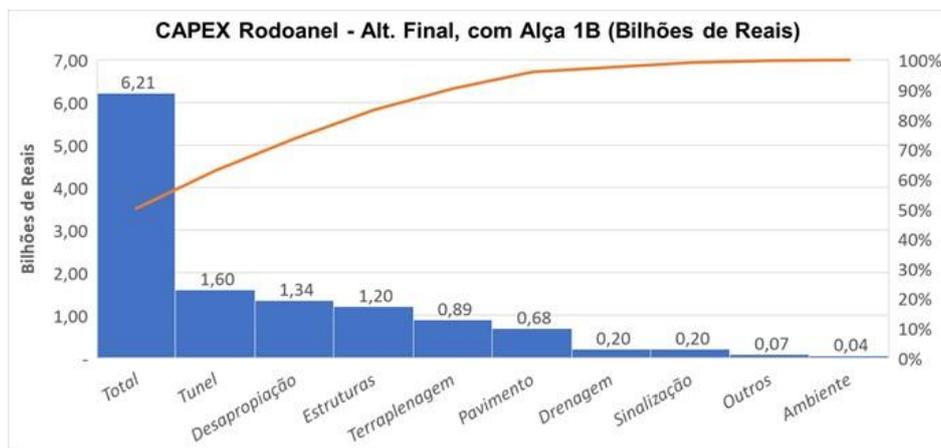
<sup>29</sup> <https://rodoviasverdes.ufsc.br/files/2010/03/Avalia%C3%A7%C3%A3o-de-impacto-ambiental-de-rodovias.pdf>

<sup>30</sup> <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>

**Tabela 1 - CAPEX preliminar para as alças de implantação do Rodoanel Metropolitano, apresentado pelo Governo – Esse CAPEX considera a Alternativa 1B descartada pelo Governo.**

Pode-se notar que esse documento se refere à Alça 1B descartada pelo Governo. Mesmo assim o documento foi incluído no link, o que causa confusão a quem se dispõe a analisar a documentação disponibilizada, conforme já assinalamos aqui em outras partes.

Para uma análise preliminar desse CAPEX fizemos dois recortes, apresentados nos gráficos a seguir.



**Figura 1 – CAPEX que considera a Alternativa 1B, em Bilhões de R\$ por disciplina**

Evidencia-se que os túneis constituem o maior dos valores e a sua eliminação ou minimização do comprimento deles pode trazer uma significativa redução de custos da obra, além de reduzir bastante os riscos de acidentes e os custos de operação e manutenção.

Consideramos que os valores unitários aportados para as disciplinas: Túneis, Estruturas, Terraplenagem, Pavimentação, Drenagem e Sinalização podem ter sido obtidos, como referências, de projetos análogos, ainda que – como mostramos no presente documento – se trata de obra de engenharia ímpar em condições muito adversas de situações normais.

Decorre desta inferência, posto que não foi apresentado o Relatório de Estudos de Viabilidade, que os gastos com desapropriação, ambiente e outros contemplam os impactos com contingenciamentos e ações reparatórias de promoção do desenvolvimento das partes atingidas.

Para compreender melhor esses valores apresentamos na Figura 2 o gráfico de distribuição percentual do CAPEX.

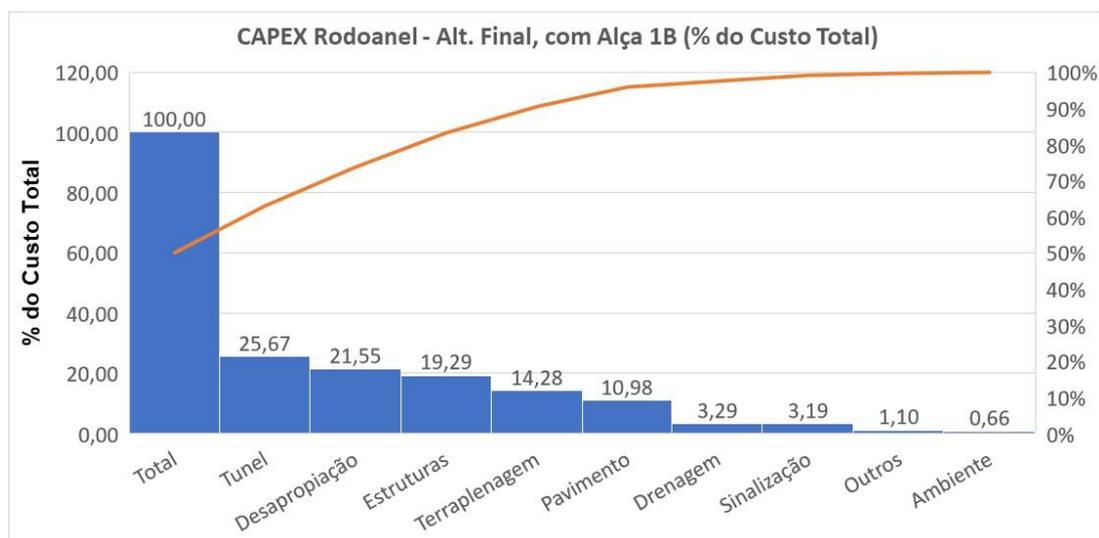


Figura 2 – CAPEX que considera a Alternativa 1B, distribuição percentual

Evidencia-se, assim, que **os túneis sob as serras do Rola Moça e da Moeda / Calçada representam mais de 25% do valor de todo o Rodovanel nessa alternativa**, valor esse bastante questionável quando se toma em conta tudo o que foi apresentado a respeito de túneis no presente documento.

Por outro lado, verifica-se que os valores destinados a ambiente e outros, considerando estes como valores para contingenciamentos, ações sócio-reparatórias e ações mitigadoras dos impactos ambientais, equivalem a 1,76% do total, ou seja, menos que os 3,19% destinados à sinalização do Rodovanel. A parcela destinada ao meio ambiente é a menor de todas (apenas 0,66%), o que permite inquirir se o projeto respeita os preceitos de sustentabilidade tão evidentes e mandatórios atualmente.

Pode-se cogitar que o único impacto que realmente preocupa o Governo é o vinculado às desapropriações uma vez que o projeto inclui três túneis, num total de 5,25 km de comprimento, o item mais caro e controverso do projeto.

#### 2.14.3 Análise preliminar do CAPEX – Alternativa 1C da Alça Sul

Entre os documentos disponibilizados pelo Governo para a consulta pública está uma Planilha Excel denominada “Estudo de Viabilidade Técnico Econômica – Rodovanel” com o detalhamento dos seguintes itens, em abas específicas: “Premissas; Retorno; Demonstrativo de Resultado do Exercício – DRE; Fluxo de Caixa; Investimentos; CAPEX das Alças Sul, Sudoeste, Oeste e Norte; Desapropriação; Manutenção e OPEX”. Para comparação com a Tabela 1 acima, obtida da Planilha com o resumo disponível para a alternativa descartada (1B), montamos a Tabela 2 abaixo.

É importante salientar que, embora a Planilha referida seja denominada “Estudo de Viabilidade”, ela constitui apenas uma parte (o resumo, com os cálculos) do verdadeiro Estudo de Viabilidade, que – como é de praxe em todo projeto de obra ou negócio – é um Relatório, com centenas de páginas, que descreve detalhadamente todos os estudos realizados, no âmbito das diversas disciplinas. Esse Relatório apresenta as características, dados de projeto, premissas, desenhos, cálculos etc. de várias alternativas e os motivos pelos quais uma delas foi selecionada, bem como os motivos pelos quais cada uma das outras foi descartada. Como já assinalado, não encontramos tal Relatório entre a documentação disponibilizada para consulta pública.

Reiteramos que a existência de um Estudo de Viabilidade completo, nos moldes do que é obrigatório em toda obra de engenharia que envolva custos não desprezíveis, é fundamental para se garantir e efetivar a probidade administrativa, princípio básico norteador das condutas públicas.

Como já afirmado no início do presente documento, acreditamos que o Estudo de Viabilidade completo tenha sido realizado pelo Estado. Solicitamos, portanto, ao Governo do Estado de MG que, exercitando a transparência de suas ações, disponibilize esse Estudos para consulta pública.

1. OBRA PRINCIPAL	Sul	Sudoeste	Oeste	Norte	Total
Terraplenagem	73.741.985,51	65.404.355,19	118.251.831,15	205.350.028,99	462.748.200,85
Pavimentação	28.926.391,36	39.184.583,32	58.534.515,97	115.961.756,05	242.607.246,70
OAEs	180.114.218,70	30.102.995,69	150.878.991,01	312.139.476,38	673.235.681,78
Contenção	313.760.877,69	81.020.709,52	1.305.030,98	15.775.159,31	411.861.777,50
Drenagem	7.081.700,28	11.209.855,55	40.028.738,22	46.200.527,99	104.520.822,04
Sinalização	12.563.791,53	12.434.118,71	28.479.047,14	24.657.716,24	78.134.673,62
Iluminação	3.762.443,57	13.178.530,57	42.517.839,81	8.910.053,40	68.368.867,35
Passarelas	2.008.638,49	12.051.830,94	23.151.702,51	10.043.192,45	47.255.364,38
Ed. Operacionais	2.596.605,70	1.396.190,57	1.532.627,29	2.596.605,70	8.122.029,27
Túneis	863.916.951,35	-	-	-	863.916.951,35
Meio Ambiente	3.427.032,00	8.787.808,97	16.385.571,13	25.851.216,13	54.451.628,23
Cercamento	527.408,58	567.699,16	1.052.376,05	1.520.208,51	3.667.692,29
Canteiro de Obras (*)	37.310.701,12	6.883.466,95	12.052.956,78	19.225.148,53	75.472.273,38
Eng. Gerenc. Superv. (**)	91.784.324,75	16.933.328,71	29.650.273,68	47.293.865,38	185.661.792,52
Despropriação	81.886.870,64	359.108.514,01	493.809.995,61	354.764.272,39	1.289.569.652,65
<b>TOTAL GERAL CAPEX</b>	<b>1.703.409.941,26</b>	<b>658.263.987,87</b>	<b>1.017.631.497,33</b>	<b>1.190.289.227,44</b>	<b>4.569.594.653,90</b>
(*) Canteiro de Obras - 2,5% da Obra Principal					
ENGENHARIA (2% Projeto e 2% Gerenciamento/Supervisão) - Embora essa célula informe uma porcentagem de 4% (2% + 2%), as planilhas calcularam esse custo utilizando uma porcentagem de 6%					

**Tabela 2 - CAPEX preliminar para as alças de implantação do Rodoanel Metropolitano, apresentado pelo Governo – Esse CAPEX considera a Alternativa 1C selecionada como final pelo Governo**

Não nos foi possível encontrar entre os documentos disponibilizados para consulta pública um que contenha informações que permitam avaliar as análises e mudanças de custos unitários que subsidiaram as alterações realizadas nos custos da proposta descartada (Alça 1B – Tab. 1 acima). Tais alterações resultaram em um custo final do Rodoanel, com a alternativa 1C da Alça Sul, de R\$4.569.594.653,90, contra R\$ 6.214.033.169,40 do Rodoanel com a alternativa 1B, ou seja, houve uma redução de 26,46%. Essa redução de custos não se fez somente por efeito da mudança de alternativas da Alça Sul, da 1B para a 1C, conforme mostrado nas Tabela 3 e 4 a seguir.

Antes, é preciso esclarecer que a nomenclatura das Alças foi alterada no decurso da mudança de traçado de Rodoanel, como mostrado a seguir:

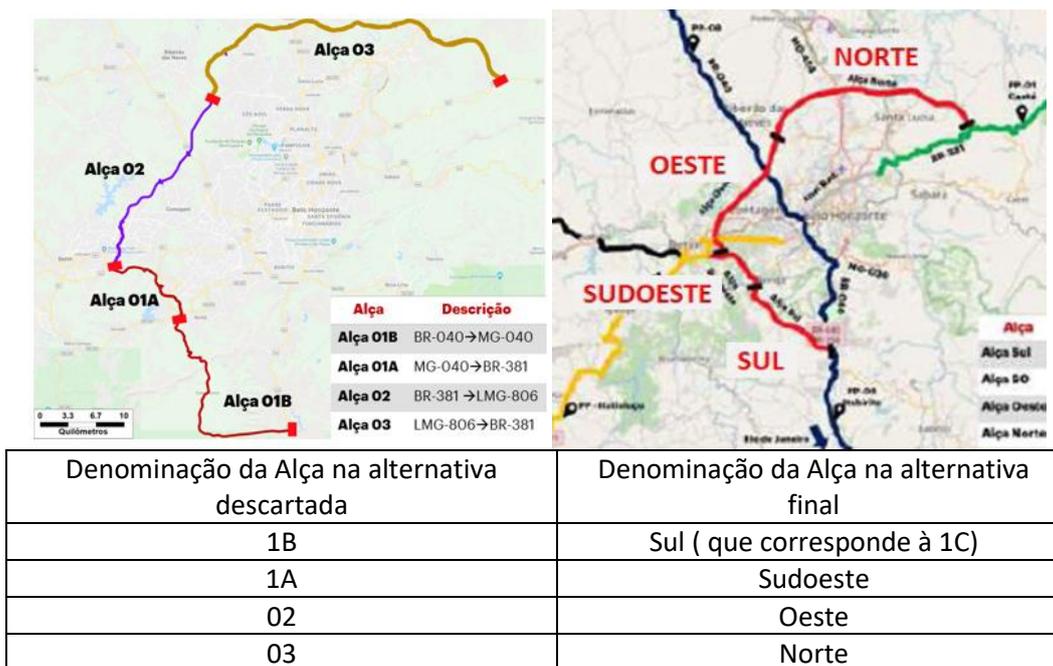


Fig. 3 – Alteração da nomenclatura das Alças

	1B (descartada)	1C (final)	Diferença	
Sul	R\$ 2.534.358.971,38	R\$ 1.703.409.941,26	R\$ 830.949.030,12	32,79%
Sudoeste	R\$ 690.393.198,02	R\$ 658.263.987,87	R\$ 32.129.210,15	4,65%
Oeste	R\$ 1.379.508.000,00	R\$ 1.017.631.497,33	R\$ 361.876.502,67	26,23%
Norte	R\$ 1.609.773.000,00	R\$ 1.190.289.227,44	R\$ 419.483.772,56	26,06%
<b>Total</b>	<b>R\$ 6.214.033.169,40</b>	<b>R\$ 4.569.594.653,90</b>	<b>R\$ 1.644.438.515,50</b>	<b>26,46%</b>

Tab. 3 – Comparação dos custos totais do Rodoanel com alternativas 1B e 1C

Disciplina	1B (descartada)	1C (final)	Diferença % entre 1B e 1C
	Total	Total	
Pavimento	682.500.000,00	242.607.246,70	-64,45%
Drenagem	204.750.000,00	104.520.822,04	-48,95%
Sinalização	197.925.000,00	78.134.673,62	-60,52%
Terraplenagem	887.058.169,40	462.748.200,85	-47,83%
Estruturas	1.198.600.000,00	673.235.681,78	-43,83%
Túneis	1.595.000.000,00	863.916.951,35	-45,84%
Ambiente	40.950.000,00	54.451.628,23	+32,97%
Outros	68.250.000,00	800.409.796,70	+1.0172,76%
Desapropriação	1.339.000.000,00	1.289.569.652,65	-3,69%
<b>Total</b>	<b>6.214.033.169,40</b>	<b>4.569.594.653,90</b>	<b>-26,46%</b>

Tab. 4 – Comparação dos custos do Rodoanel, por disciplina, com alternativas 1B e 1C

Pode-se verificar que, da alternativa descartada para a final, houve uma redução média de aprox. 52% dos custos totais das seis primeiras disciplinas (Pavimento, Drenagem, Sinalização, Terraplenagem, Estruturas e Túneis), redução essa para a qual não conseguimos encontrar justificativas entre os documentos disponibilizados pelo Estado. Essa redução de custos significativa em todas as Alças – levando-se em conta que, ao que tudo indica, apenas a Alça Sul teve alteração de traçado – permite inferir que um dos dois orçamentos de alternativas contém erros de valoração importantes, que precisam ser identificados e justificados em nome da transparência que deve ser a base da administração pública.

Houve um aumento de aprox. 32% na verba destinada ao meio ambiente, porém o valor absoluto dessa verba, em comparação com as demais, não é significativo e pode não cobrir todos os impactos que ocorrerão ao longo de todo o percurso. Esse valor também deve ser justificado por meio de relatórios detalhados.

Também não encontramos justificativas para o grande aumento de 1072% na rubrica “Outros”, pelo fato de não termos encontrado, nos documentos da alternativa descartada, o detalhamento do que estaria incluído nessa rubrica. A Planilha referente à alternativa final é bem mais detalhada. Eliminando-se, nessa Planilha, as disciplinas nomeadas que se encontram na Planilha da alternativa descartada (Pavimento, Drenagem, Sinalização, Terraplenagem, Estruturas, Túneis, Ambiente e Desapropriação), pode-se concluir que a rubrica “Outros” da alternativa descartada incluiria “Contenção; Iluminação; Passarelas; Edifícios Operacionais; Cercamento; Canteiro de Obras; Engenharia, Gerenciamento e Supervisão”. São essas as disciplinas que tiveram um aumento de custos de 1072%, tornando obrigatória, em nome da transparência, a explicação dessa enorme diferença.

Na alternativa selecionada (1C), a verba destinada a desapropriações teve uma redução de apenas 3,7% em relação à alternativa descartada. Para nenhum dos dois casos encontramos documentos que explicam como foram calculados os valores. Um cálculo confiável deveria incluir a listagem de todos os imóveis que seriam afetados e a precificação de cada um deles. O custo das desapropriações praticamente se manteve de uma alternativa para a outra. Na alternativa descartada ele representa 21,55% do total, atrás apenas dos túneis (25,67%). Na alternativa selecionada a posição se inverteu, como mostrado nos gráficos das Figuras 4 e 5 a seguir: 18,91% para os túneis e 28,22% para as desapropriações. Isso se deve ao fato de que o custo total do Rodoanel da alternativa selecionada é 26,46% inferior ao da alternativa descartada e um mesmo valor absoluto da disciplina “Desapropriações” corresponde a porcentagens diferentes dos valores totais.

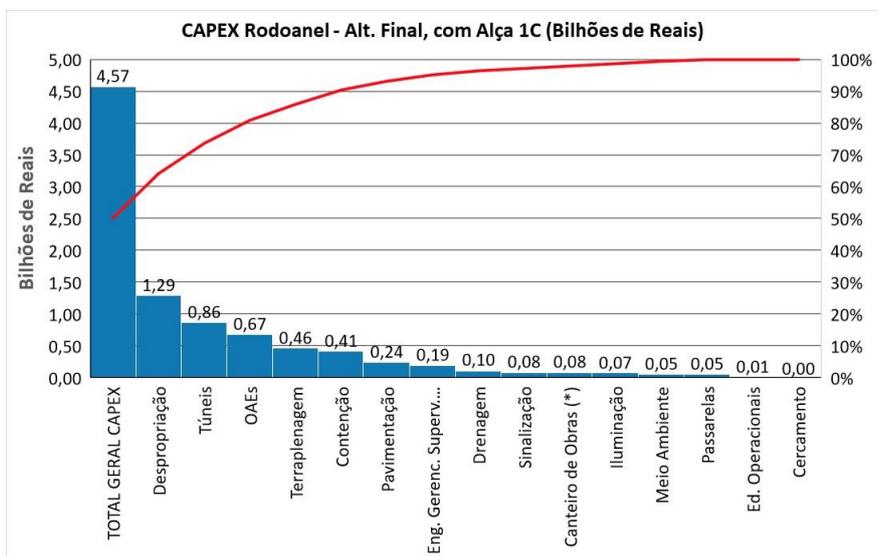


Figura 4 – CAPEX que considera a Alternativa 1C, em Bilhões de R\$ por disciplina

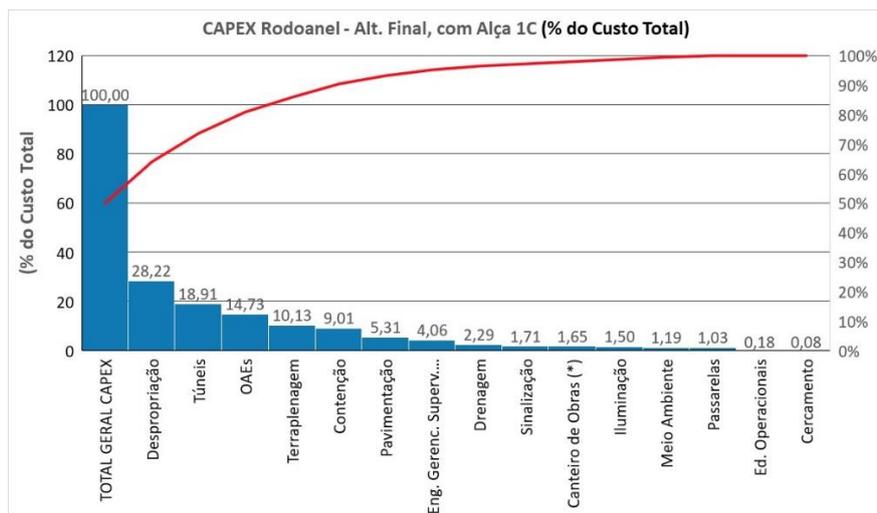


Figura 5 – CAPEX que considera a Alternativa 1C, distribuição percentual

Faz-se mister evidenciar que na alternativa descartada (com a Alça 1B) estavam previstos três túneis, com um comprimento total de 5,25 km (um sob a Serra do Rola Moça e dois sob a da Calçada). Na alternativa final (com a Alça 1C) estão previstos dois túneis com um comprimento total de 7,37 km (um túnel de 3,39 km sob a Serra da Calçada e outro de 2,98 sob a Serra do Rola Moça). Embora o comprimento de túneis tenha aumentado em 2,21 km (40,4%) da alternativa 1B para a 1C, o custo deles foi reduzido de R\$1.595.000.000,00 para R\$ 863.916.951,35 (45,84%), conforme Tab. 4 acima.

Tem-se, portanto, uma redução no custo por km construído de R\$303.809.523,81/km para R\$117.220.753,24/km (61,42%).

Não nos parece razoável nem tecnicamente justificável uma redução desse porte, a não ser que um dos dois orçamentos tenha cometido um equívoco considerável, o que levantaria uma séria dúvida sobre a confiabilidade de todos os estudos e da orçamentação feita pelo Governo, não só com relação aos túneis, mas com respeito a todas as demais disciplinas. É imprescindível, portanto, que o Governo abra para a análise pública todos os estudos e cálculos que resultaram em uma disparidade tão grande de cursos unitários. Isso permitiria elucidar não apenas esse aspecto, porém os relacionados aos custos unitários das demais disciplinas.

Sendo os túneis de categoria AA, conforme normas internacionais e tendo o túnel sob a Serra da Calçada uma alta declividade – o que aumenta os riscos de acidentes na descida e impõe morosidade ao tráfego de subida – essa grande redução do custo unitário se torna ainda mais questionável. Estaria esse custo cobrindo todos os requisitos de segurança, todos os de cunho ambiental, todos os relativos à manutenção e operação necessários para túneis desse tipo? Seria esse custo suficiente para cobrir todo o risco geológico, visto que o traçado 1C não inclui nenhuma sondagem, nenhum estudo geofísico (estudo que, aliás, também falta para a 1B)? Ou teria o Governo que arcar com os riscos geológicos, que poderiam onerar muito as obras e impor prejuízos ao Estado? Não nos parece aceitável que seja tratada dessa forma a “res publica” (a coisa pública).

Não encontramos, entre a documentação disponibilizada pelo Governo, a especificação da Norma Internacional ou do Manual de Projeto que deveriam ser respeitados pelos Licitantes, de forma a exigir deles túneis seguros e adequados à sua categoria. Conseqüentemente, como ter certeza sobre o que cada Licitante consideraria em sua proposta, como equalizar as propostas? Nos parece que os túneis foram considerados, pela documentação disponibilizada pelo Governo,

de forma exageradamente simplista, como se fossem meras trincheiras de passagem sob uma avenida urbana.

Pelo exame dos gráficos e tabelas apresentados, verifica-se que os valores destinados ao meio ambiente (1,19%) é bem próximo do previsto para passarelas (1,03%) e menor que os calculados para iluminação (1,5%) e canteiros de obras (1,65%). Como no caso da alternativa descartada, o valor da parcela permite inquirir se o projeto respeita os preceitos de sustentabilidade tão evidentes e mandatórios nos dias atuais.

É necessário, ainda, que o Governo informe qual é o montante previsto para ações sócio-reparatórias, e que ações seriam essas, em cada trecho das quatro Alças do Rodoanel. A ausência de uma rubrica específica para esse ponto crucial, entre as 15 elencadas na Planilha mencionada, nos parece um indicativo irrefutável da incompletude da orçamentação e das diretrizes sociais, dos valores e princípios que orientaram a feitura do projeto.

Os gráficos das Figuras 6 e 7 a seguir referem-se à distribuição dos custos previstos para cada disciplina da Alça 1C.

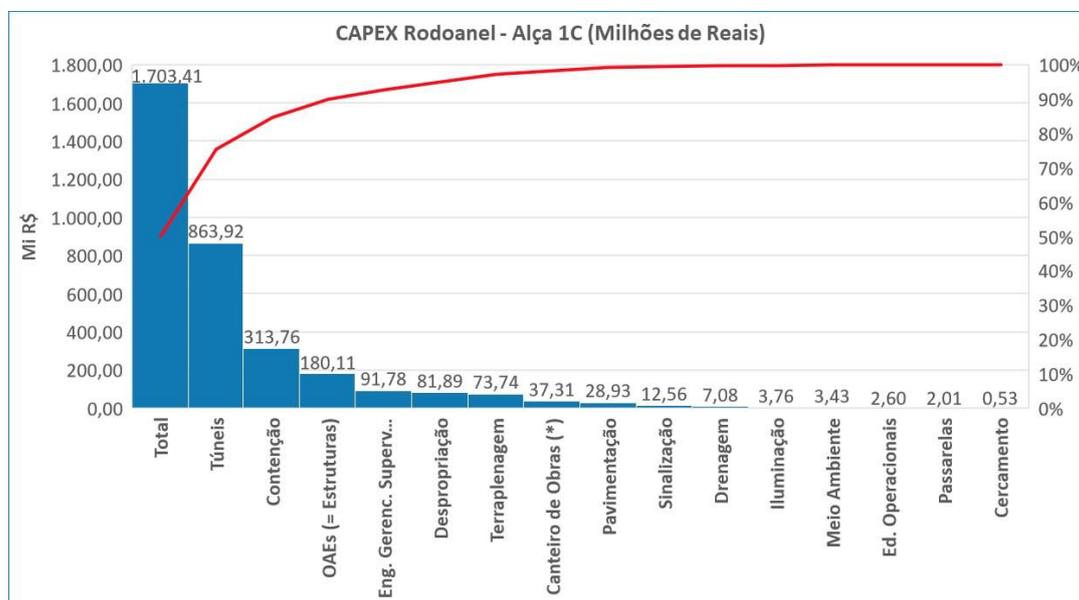
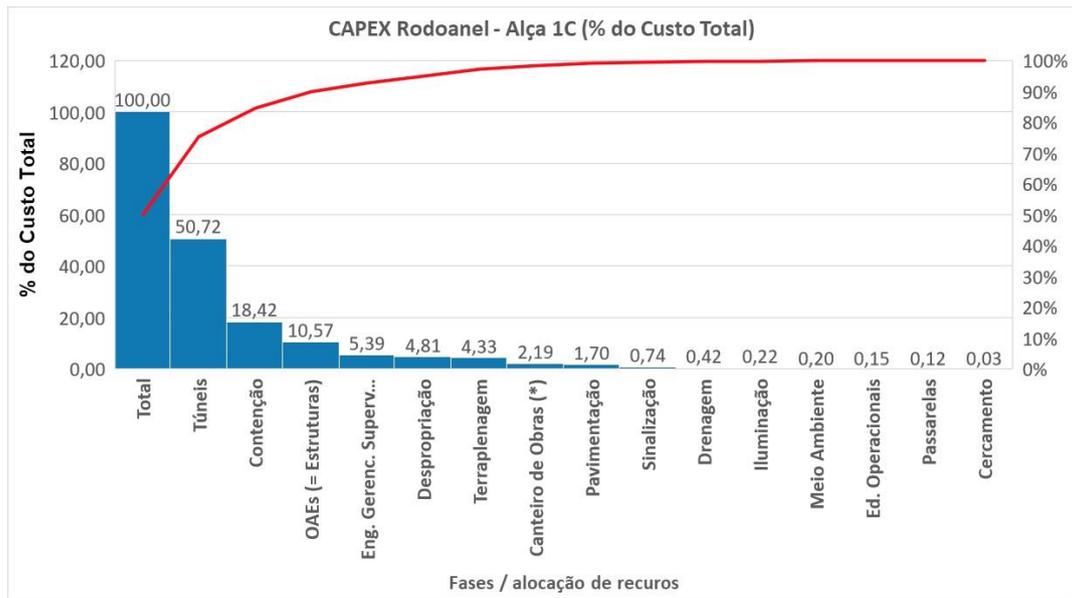


Figura 6 – CAPEX da Alça 1C, em Milhões de R\$ por disciplina



**Figura 7 – CAPEX da Alça 1C, distribuição percentual**

Os gráficos acima apontam, de forma eloquente, para um possível motivo fundamentador da seleção da alternativa com Alça 1C em detrimento das demais: a verba para desapropriações constitui apenas 4,81% do total do custo da Alça, ocupando a 5ª posição no ranking das disciplinas. Os túneis aparecem em 1º lugar, com quase 51% do valor total e a parcela dedicada ao meio ambiente em 12º lugar, com apenas 0,20%. Ao que tudo indica, a escolha da alternativa de Alça 1C teve como motivo principal a redução dos custos de desapropriações, o que foi alcançado por meio da alocação do traçado, em grande parte do seu percurso, em áreas de proteção ambiental e de sítios arqueológicos nas Serras do Rola Moça e da Calçada. Em que pese o fato, a verba dedicada a possíveis reduções de impactos e compensações restringiu-se a 0,20% do valor total.

Nos parece que faltou a devida valoração das áreas referidas, não apenas quanto aos aspectos intrínsecos relativos ao ambiente e à cultura, mas quanto ao seu papel utilitário e relevante de muniçadoras de água para a RMBH. Conforme mostrado nesse Relatório, a abertura dos túneis propostos na alternativa 1C pode implicar em rebaixamento de lençóis freáticos, com conseqüente comprometimento do abastecimento de água na Região Metropolitana de BH. Qual o custo, por exemplo, desse impacto ambiental? Que parte dos R\$ 54.451.628,23 previstos o meio ambiente seria dedicada a esse impacto? E o Governo estaria disposto e preparado para assumir tamanho dano ambiental, social, econômico?

A rápida análise acima apresentada tem elementos suficientes, de acordo com nossa avaliação, para justificar a suspensão do processo de consulta pública e de licitação das obras até que estudos completos, consistentes e devidamente justificados sejam realizados e disponibilizados para a análise da sociedade.

Não há dúvidas quando à necessidade de soluções para o tráfego de interligação de rodovias na RMBH. As dúvidas, que necessitam ser dirimidas, dizem respeito à forma mais sustentável, econômica e segura de fazê-lo, minimizando os impactos sociais e ambientais e os riscos de acidentes. A sociedade necessita de projetos que, ao saírem do papel, se mantenham de pé e resultem em soluções efetivas e em redução expressiva – e não em aumento – dos problemas.