

RELATÓRIO TÉCNICO

QUEDAS DE BLOCOS E PROCEDIMENTOS DE SEGURANÇA NA MT 251 ENTRE A SALGADEIRA E A CURVA DA MATA FRIA



Cuiabá - MT

2024

Apresentação

O presente projeto foi desenvolvido por meio de um convênio firmado entre a Prefeitura Municipal de Chapada dos Guimarães e a Fundação Universidade Federal de Mato Grosso, por intermédio da Fundação Uniselva (SICONV 3034006), com objetivo de realizar a análise sobre os processos de queda de bloco, entre o km 42 e o km 48, considerando a avaliação de riscos, a capacidade de fluxo e a capacidade de carga sob o viaduto.

Responsáveis técnicos:

Geólogo Prof. Dr. Caiubi Emanuel Souza Kuhn, CREA-MT 025838

Eng. Civil e de Segurança do Trabalho Me. Renan Rodrigues Pires, CREA-MT 18666

Equipe técnica

Geógrafo Prof. Dr. Cleberson Ribeiro De Jesus

Geóloga Prof^a. Dra. Flavia Regina Pereira Santos

Entrega do relatório: 12/06/2024

Sumário

Apresentação.....	02
1. Introdução.....	07
2. Conceitos básicos adotados.....	09
3. Procedimentos metodológicos.....	12
4. Geologia.....	14
6. Geologia estrutural.....	18
7. Geomorfologia.....	20
8. Histórico de desastres e registro de eventos em Chapada dos Guimarães e Cuiabá..	21
9. Análise do risco de processos de queda de bloco, entre o km 42 e o km 48.....	26
10. Análise geológica-geotécnica.....	34
11. Análise da ponte na área do Portão do Inferno.....	41
12. Análise de gestão de risco.....	51
13. Análise de possíveis soluções definitivas.....	56
14. Considerações finais.....	62
Bibliografias.....	63

Lista de Figuras

Figura 1: Registro de um dos eventos de quedas de blocos registradas na MT 251.....	08
Figura 2: Modelo de deslizamento planar.....	10
Figura 3: Modelo de processo de quedas de blocos.....	11
Figura 4: Modelo processo corridas de detritos.....	11
Figura 5: Limites inferiores e superiores da área de dispersão para os grupos 1, 2 e 3.....	13
Figura 6: Empilhamento estratigráfico esquemático para o município de Chapada dos Guimarães-MT.....	15
Figura 7: Contato discordante entre as rochas do Grupo Cuiabá e a Formação Furnas, na Cachoeira da Salgadeira.....	16
Figura 8: camadas tabulares da Formação Furnas.....	17
Figura 9: Estratificações cruzadas acanaladas da Formação Botucatu.....	17
Figura 10: Estereograma Schmidt-Lambert com as atitudes dos planos de fratura obtidos in loco no Portão do Inferno.....	18
Figura 11: Diagrama de roseta com os 138 lineamentos obtidos nas imagens de satélite.....	19
Figura 12: Mapa de lineamentos estruturais feito sobre imagem de satélite do Google Earth (QGIS) com o diagrama de roseta das estruturas.....	19
Figura 13: (A) rochas do Grupo Cuiabá, que compõem a Depressão Cuiabana, composta de forma predominante por morros e morrotes; (B) escarpa e patamar da Formação Furnas; (C) escapa festonada da Formação Botucatu.....	20
Figura 14: Cachoeira do Véu de Noiva, a seta indica o local onde ocorreu o desprendimento do bloco, sendo a área da escarpa onde possui um arenito com coloração mais clara.....	24
Figura 15: Erosão na MT 020.....	24
Figura 16: A) queda de blocos relacionados a escarpa da Formação Furnas; B) queda de blocos relacionado a escarpa da Formação Botucatu, atingindo distâncias superiores a 100 metros, com deslocamento de blocos de grande dimensão, que chegam a cerca de 10 metros de comprimento; C) voçorocas no mirante do centro geodésico; D) voçoroca com comprimento superior a 1 km de extensão, desenvolvido nas rochas da Formação Botucatu.....	25
Figura 17: Dezenas de cicatrizes de deslizamentos, com comprimento que chegam a mais de 100 metros, desenvolvidas em morros e morrotes do Grupo Cuiabá.....	25
Figura 18: Áreas mapeadas com drone, para desenvolvimento da metodologia de queda de blocos.....	27
Figura 19: Mapa de análise de área crítica de dispersão, da área 1.....	27
Figura 20: (a) maciço rochoso situado ao lado da rodovia e placa indicativa do risco de queda de bloco; (b) blocos de rocha métrico situado próximo a rodovia; (c) bloco de rocha localizado a margem da rodovia.....	28
Figura 21: Mapa de análise de área crítica de dispersão, da área 2, indicando que em nenhum trecho as linhas que indicam os limites da área crítica, interpolam a rodovia.....	28
Figura 22: Mapa de análise de área crítica de dispersão, da área 3.....	29

Figura 23: (a) porção superior do maciço na região do portão do inferno, indicando um grau elevado de fraturamento; (b) vertente da escarpa, indicando a proximidade entre blocos fraturados do maciço e a rodovia; (c) tela de proteção com tirantes, e sistemas de fraturas que favorecem o desprendimento de blocos.....	30
Figura 24: Mapa de análise de área crítica de dispersão, da área 4.....	30
Figura 25: (A) bloco de rocha separado do maciço por fratura, indicando a possibilidade de queda eminente; (B) maciço rochoso fraturado; (C) depósitos de talus com blocos de rochas métricos a margem da rodovia; (D) blocos de rocha métricos situados a cerca de 10 metros da margem da estrada; (E) blocos de rochas próximos a rodovia, em caso de queda a área de dispersão pode atingir a rodovia.....	31
Figura 26: Mapa de análise de área crítica de dispersão, da área 5.....	32
Figura 27: (A) placa indicativa de risco de queda de blocos; (B) rampa na base da escarpa; (C) rampa com diversos blocos retidos na vertente, resultado de processos de queda de blocos passado; (D) áreas planas a frente do maciço, onde pode ser depositados eventuais blocos que venham a se desprender.....	32
Figura 28: Mapa de análise de área crítica de dispersão, da área 6.....	33
Figura 29: (A) rampa relacionada a escarpa alcançando a base da rodovia; (B) fraturas individualizando blocos de rochas que indicam eminência de queda.....	33
Figura 30: (A) seta indica um bloco de rocha métrico, que caiu em evento anterior de quedas de blocos na região do Portão do Inferno. O Bloco ainda pode ser descalçado e cair novamente atingindo a rodovia; (B) bloco de rocha com mais de 16 metros cúbicos, depositado em depósitos de talus próximo a rodovia, as linhas amarelas indicam as estratificações cruzadas em direção quase vertical, ou seja, em padrão incompatível com a deposição em ambiente desértico.....	35
Figura 31: localização e distribuição das linhas geofísicas adquiridas na área de estudo.....	36
Figura 32: Localização da linha 01 com destaque para as principais estruturas.....	37
Figura 33: Seção de resistividade Linha_10_DD (a) resistividade aparente, (b) resistividade real modelada. Tracejado preto indica feições e ou descontinuidades estruturais.....	37
Figura 34: Testemunhos de sondagem de arenitos da Formação Furnas.....	38
Figura 35: Carga máxima de compressão atingida e o valor do deslocamento para os arenitos da Formação Furnas conforme relatório NE018/21.....	38
Figura 36: (A) Antiga passagem pelo portão do Inferno registrada em 1959; (B) a seta indica o antigo pavimento da estrada, assim como que a estrutura atual foi construída sobre a área da antiga estrada, e estendida sobre parte do vale, por meio de um viaduto; (C) Sapata do Viaduto, posicionada sobre a Formação Furnas, próxima ao contato com a Formação Botucatu; (D) rochas da Formação Furnas, sobre a qual foi construída a sapata do outro lado do viaduto.....	39
Figura 37: Posicionamento das sapatas está indicados com os círculos vermelhos, enquanto os principais sistemas de fraturas que podem favorecer os processos de quedas estão indicados com as linhas amarelas.....	40
Figura 38: As letras A, B, C e D indicam blocos de rochas que são marcados por descontinuidades; a letra E indica depósitos de blocos de rochas que caíram da escarpa, enquanto a letra F indica cicatrizes de quedas de blocos anteriores.....	40
Figura 39: Imagem aérea do Portão do Inferno.....	41

Figura 40: Modelo 3D da ponte e seus elementos constituintes.....	42
Figura 41: (A) Trinca que acompanha toda a pista; (B) Trinca em formato radial, do meio da pista em direção ao paredão de arenito; (C) Trinca em formato radial, do meio da pista em direção ao paredão de arenito.....	48
Figura 42: Diferença entre o nível da via fora da ponte e dentro da ponte.....	49
Figura 43: (A) Detalhe da infiltração oriunda da junta de dilatação e água superficial; (B) Detalhe da infiltração oriunda da junta de dilatação e água superficial; (C) Detalhe da infiltração oriunda da junta de dilatação e água superficial; (D) Detalhe da infiltração oriunda da junta de dilatação e água superficial.....	50
Figura 44: Blocos de rochas retidos pelas barreiras e redes de proteção contra quedas de blocos.....	54
Figura 45: (A) escarpa de arenito da formação Botucatu situado próximo a MT 251, nas proximidades da Curva da Mata Fria; (B) depósitos de talus com blocos de rocha depositados a margem da rodovia.....	54
Figura 46: Alternativas locacionais e tecnológicas.....	57
Figura 47: Soluções, valores e característica.....	57
Figura 48: Projeto de terraplanagem apresentado pela Secretaria de Infraestrutura de Mato Grosso.....	59

Lista de Tabelas

Tabela 1: Direção e mergulho dos planos de fratura obtidos in loco no Portão do Inferno.....	18
Tabela 2: Eventos registrados no município de Chapada dos Guimarães.....	21
Tabela 3: Eventos registrados no município de Cuiabá.....	21

Lista de Quadros

Quadro 1: Medidas sugeridas por Azambuja Engenharia e Geotécnia.....	52
Quadro 2: Report e relatório de vistoria técnica em decorrência de deslizamentos e queda de blocos rochosos na MT – 251, imediações do Portão do Inferno.....	53
Quadro 3: Propostas de soluções e descrição apresentadas pela Secretaria de Infraestrutura de Mato Grosso.....	58

1. Introdução

No Brasil, ao menos 825 municípios possuem, histórico de desastres ou áreas de risco mapeadas relacionados a deslizamentos e inundações, estima-se que 2.470.506 domicílios e 8.266.566 pessoas viva em áreas de risco de desastres, ou seja, 9 em cada 100 habitantes do país (Alvalá et al., 2019).

Além das residências os fenômenos da natureza afetam também as rodovias do Brasil. Conforme o Comitê Climático da Agência Nacional de Transportes Terrestres, entre 09/10/2023 e 08/04/2024, 276 interdições de rodovias ocorreram em virtude alagamentos ou transbordamentos (40,22%), quedas de arvores, rochas ou outros objetos (34,42%), deslizamentos de barreiras (12,32%), erosão (2,17%) entre outros processos (5,07%), em média, as interdições tiveram uma duração de 27 horas (ANTT, 2024).

No estado de Mato Grosso, na Rodovia Emanuel Pinheiro, MT 251, o Governo do estado de Mato Grosso decretou a situação de emergência, por meio do Decreto nº 615, de 13 de dezembro de 2023, devido a ocorrência de quedas de blocos no local (Figura 1). A área afetada está situada em uma estrada parque, e também está no Território do Parque Nacional da Chapada dos Guimarães, unidade com área de 33 mil hectares, localizada entre os municípios de Cuiabá e Chapada dos Guimarães, com 65% e 35%, respectivamente, criada através do Decreto Federal 97.656, de 12 de abril de 1989, com o objetivo de proteger e preservar amostras dos ecossistemas ali existentes, assegurando a preservação de seus recursos naturais, proporcionando oportunidades controladas para uso pelo público, educação, pesquisa científica e contribuindo para a preservação de sítios arqueológicos existentes na área (Xavier 2020).

Figura 1: Registro de um dos eventos de quedas de blocos registradas na MT 251.



Fonte: Site Primeira Página. Disponível em: <https://primeirapagina.com.br/infraestrutura/deslizamentos-no-portao-do-inferno-mt-030-pode-ser-alternativa-ate-chapada-dos-guimaraes/>. Acesso em: maio de 2024.

As quedas de rocha são um processo geomorfológico comum em regiões com declives acentuados, constituindo eventos de movimentos independentes de fragmentos de rochas, que se desprendem do leito rochoso, ao longo de discontinuidades novas ou previamente existentes, como planos de estratificação, juntas, fraturas, clivagens e foliações (Mainieri, 2020). Apesar de possuírem volumes limitados a evolução rápida, a alta velocidade e energia de impacto representam um perigo significativo (Mainieri, 2020).

O risco de quedas de blocos na região do portão do inferno e em outros pontos da MT 251, entre a Salgadeira e a curva da Mata Fria, já é conhecido pelo governo a mais de uma década, tendo sido citado na avaliação sobre risco geológico no âmbito da ação judicial 1115-55.2010.811.0024 (Xavier, 2020) e em estudo realizados Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e Relatório de Impacto Ambiental (RIMA), desenvolvido pela Ecoplan Engenharia em 2013, por solicitação da Secretaria do Estado de Transporte e Pavimentação Urbana (SETPU) (Ecoplan Engenharia, 2013).

Neste relatório será apresentada a análise sobre os processos de queda de bloco, entre o km 42 e o km 48, considerando a avaliação de riscos, a capacidade de fluxo e a capacidade de carga sob o viaduto, além de outras avaliações pertinentes a tomada de decisão sobre os procedimentos necessários a serem adotados na área.

2. Conceitos básicos adotados

Este relatório adotou os conceitos utilizados no Guia de Procedimentos Técnicos do Departamento de Gestão Territorial, (Lana et al 2021), no qual são utilizados de forma direta ou indireta os seguintes conceitos, baseado nos estudos desenvolvidos por diversos autores (Ellison, 1948; Augusto Filho, 1992; Merritt et al., 2003; Morgan, 2005; Ministério das Cidades & IPT 2007; Fell et al., 2008; UNISDR, 2009; Julien, 2010; Bitar 2014):

Processo geológico: conjunto de ações derivadas da dinâmica natural do planeta Terra, que promovem modificações na superfície e subsuperfície, mesmo quando sua deflagração seja impulsionada por ações antrópicas.

Risco: probabilidade de ocorrência e severidade de um efeito adverso à saúde, à propriedade ou ao meio ambiente.

Risco geológico: relação entre a probabilidade de ocorrência de um evento adverso de natureza geológica e a magnitude de suas consequências socioeconômicas.

Setorização de áreas de risco geológico: divisão do terreno em áreas ou domínios homogêneos e sua classificação de acordo com os graus de risco.

Suscetibilidade: em geociências, está relacionada à propensão ou potencialidade natural de ocorrer um evento do meio físico em uma determinada área.

Perigo: condição com potencial para causar consequência indesejável em um intervalo de tempo. Deve incluir o local, a área de deflagração e atingimento, velocidade e probabilidade de ocorrência em um dado período de tempo.

Vulnerabilidade: grau de perda de um dado elemento ou grupo de elementos em uma área afetada por um evento adverso. Em geral, quanto maior a vulnerabilidade, maior o risco.

Desastre: uma grave perturbação do funcionamento de uma comunidade ou sociedade, envolvendo amplo impacto e perdas humanas, materiais, econômicas ou ambientais, que excedem a capacidade de gerenciamento próprio por parte da população afetada.

Talude natural: superfície natural inclinada, sem alterações em sua geometria provocadas pela ação humana.

Talude de corte: superfície inclinada decorrente da ação antrópica (escavação ou aterro).

Movimentos de massa: deslocamento descendente de solo, rocha ou detritos sob ação da força da gravidade.

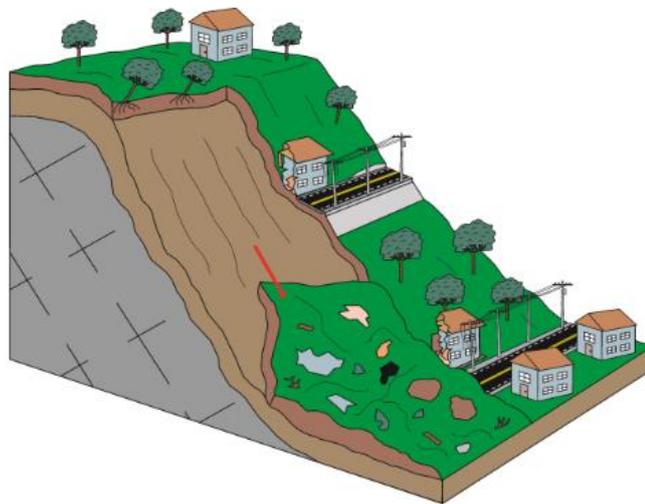
Erosão: em geociências é o processo bifásico que compreende a remoção de partículas de um determinado meio e seu transporte até que não haja mais energia suficiente para tal.

Os processos de movimento de massa podem ser classificados e diferenciados conforme a análise de algumas características (Augusto Filho, 1992).

Rastejo: Possuem vários planos de deslocamento (internos), uma velocidade muito baixa (cm/ano) a baixas e decrescentes com a profundidade, com movimentos constantes, sazonais ou intermitentes; ocorre no solo, depósitos sedimentares, rocha alterada/fraturada; com uma geometria indefinida.

Deslizamentos: possuem poucos planos de deslocamento (externos), e ocorrem com uma velocidade de médias (m/h) a altas (m/s); podem ser desde pequenos a grandes volumes de material; com uma geometria e materiais variáveis. São classificados em Planares (Figura 2), Circulares ou rotacionais e em cunha. Planares: ocorrem em solos pouco espessos, solos e rochas com um plano de fraqueza; Circulares ou rotacionais: ocorrem em solos espessos homogêneos e rochas muito fraturadas; Em cunha: ocorrem em solos e rochas com dois planos de fraqueza.

Figura 2: Modelo de deslizamento planar

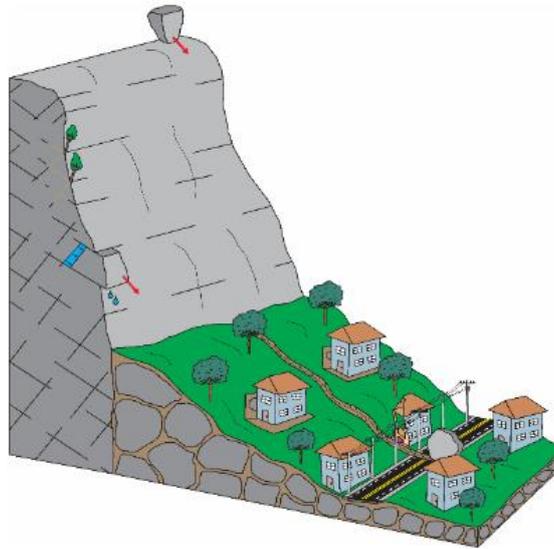


Elaborado por Rafael Ribeiro, 2016.

Fonte: Pimentel e Dos Santos (2018).

Quedas: não possuem planos de deslocamento; os movimentos ocorrem em queda livre ou em plano inclinado, com uma velocidade muito alta (vários m/s); o material deslocado é rochoso; podem ser desde pequenos a médios volumes; a geometria variável: podem ser desde lascas, placas, blocos, etc.; podem ocorrer também rolamento de matacão e tombamento (Figura 3).

Figura 3: Modelo de processo de quedas de blocos

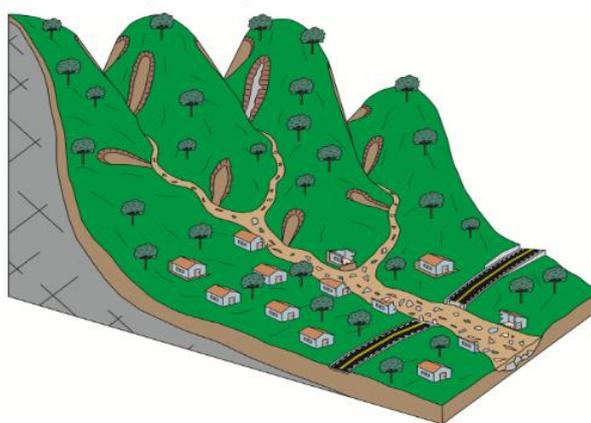


Fonte: Elaborado por Rafael Ribeiro, 2016.

Fonte: Pimentel e Dos Santos 2018).

Corridas: esse é o tipo de processo de maior intensidade, possui muitas superfícies de deslocamento (internas e externas à massa em movimentação); o movimento semelhante ao de um líquido viscoso; o desenvolvimento do processo ocorre ao longo das drenagens; com velocidades médias a altas; constituindo a mobilização de grandes volumes de solo, rocha, detritos e água; que podem atingir um extenso raio de alcance, mesmo em áreas planas (Figura 4).

Figura 4: Modelo processo corridas de detritos



Fonte: Elaborado por Rafael Ribeiro, 2016.

Fonte: Pimentel e Dos Santos, (2018).

3. Procedimentos metodológicos

Este relatório foi desenvolvido com base nas seguintes etapas: a) análise bibliográfica de estudos anteriores realizado na área; b) análise do histórico de desastres em Cuiabá e Chapada dos Guimarães de 2013 a 2024; c) análise geológico-geotécnica relacionada a susceptibilidade e risco de quedas de blocos entre o km 42 e o km 48; e d) avaliação de riscos, a capacidade de fluxo e a capacidade de carga sob o viaduto do portão do inverno. Com base nestas etapas e nos resultados alcançados foi realizada os apontamentos sobre gestão de risco e as considerações finais deste estudo.

a) Análise bibliográfica de estudos anteriores realizado na área

Foram analisadas publicações sobre movimentos de massa, disponíveis em livros e em periódicos científicos, além de estudos anteriores que abordam a área de estudo. As informações foram sistematizadas e organizadas visando fundamentar a discussão realizada no relatório.

b) Análise do histórico de desastres em Cuiabá e Chapada dos Guimarães de 2013 a 2024

Foi utilizada a base dados do Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2ID), para obtenção dos desastres registrados em Chapada dos Guimarães e Cuiabá, entre 01/01/2013 e 10/05/2024. Além disso, foi realizada uma análise de desastres citados em relatórios e em sites de notícias. Imagens do google Earth foram utilizadas para ilustrar eventuais processos erosivos e movimentos de massa, comuns na região em estudo.

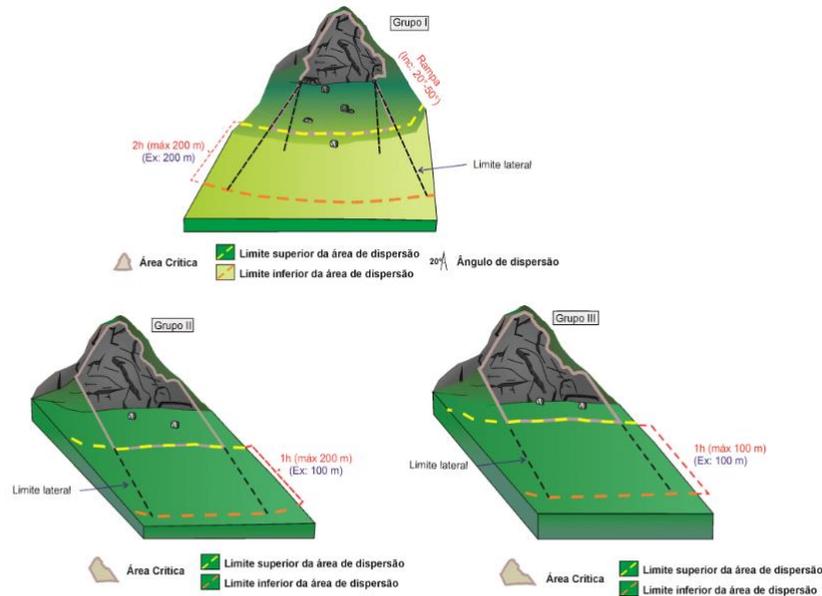
c) Análise geológico-geotécnica relacionada a susceptibilidade e risco de quedas de blocos entre o km 42 e o km 48

Foi realizado um levantamento de campo, visando identificar colúvios com ocorrências de movimento gravitacional de massa oriundos de eventos pretéritos na área de estudo (i.e. blocos de diversas dimensões)), assim como, identificar feições geomorfológicas que possam contribuir para retenção ou ampliação da área de impacto de quedas de blocos.

Após a análise em campo, foi realizado o imageamento com uso de drone, para obtenção de informações sobre a declividade local. No estudo do processo de quedas de blocos, além dos critérios básicos como inclinação mínima de 50° , constituídas total ou parcialmente por maciço rochoso, cuja amplitude mínima é de 5 m, foram utilizadas as imagens, para classificar as áreas potenciais conforme três critérios estabelecidos por Pimentel & dos Santos (2018), sendo eles: Grupo 1: encostas com rampa entre 20° - 50° ; Grupo 2: encosta sem rampa, com inclinação entre

50° e 70°; Grupo 3: encosta sem rampa, com inclinação superior a 70°. Foram estabelecidos limites superiores e inferiores (Figura 5) para cada caso, conforme previsto na metodologia.

Figura 5: Limites inferiores e superiores da área de dispersão para os grupos 1, 2 e 3



Fonte: Elaborada por Thiago Dutra, 2017.

Fonte: Pimentel e Dos Santos (2018).

A análise de Perigo, conforme Pimentel e Dos Santos (2018) deve considerar a área crítica e a área de dispersão, conforme os autores cada um dos termos representa:

Área Crítica (AC): Área com maior probabilidade à deflagração de movimentos gravitacionais de massa (MLIT, 1988; Ministry of Construction, 1996; Ministry of Construction, 2009) e atingimento do material mobilizado (MLIT, op.cit.; Ministry of Construction, op. cit.). Considera-se que a energia potencial do movimento ocorra de forma concentrada na área afetada (Ministry of Construction, op. cit.,; Hayashi et. al., 2000) (Pimentel e dos Santos 2018).

Área de Dispersão (AD): Área sujeita a deposição do material mobilizado durante um movimento gravitacional de massa (MLIT, 1988; Ministry of Construction, 1996; Ministry of Construction, 2009). Considera-se que a energia potencial do movimento ocorra de forma dispersa na área afetada (Pimentel e Dos Santos 2018)

d) Avaliação de riscos, a capacidade de fluxo e a capacidade de carga sob o viaduto do portão do inverno

A avaliação de risco considerou dois aspectos, sendo eles, o estado de conservação da estrutura do viaduto e indicativos de possíveis movimentos de massa que possam afetar a

estrutura. Para isso foi realizada uma vistoria visando identificar eventuais patologias na obra de arte. Foi realizada uma análise de eventuais indícios de movimentos de massa, como existência de juntas e fraturas nas rochas e indícios de movimentações recentes. A análise do maciço em profundidade foi realizada de forma indireta com base em informações de sondagem existente de relatórios anteriores e por meio da análise de imagens.

4. Geologia

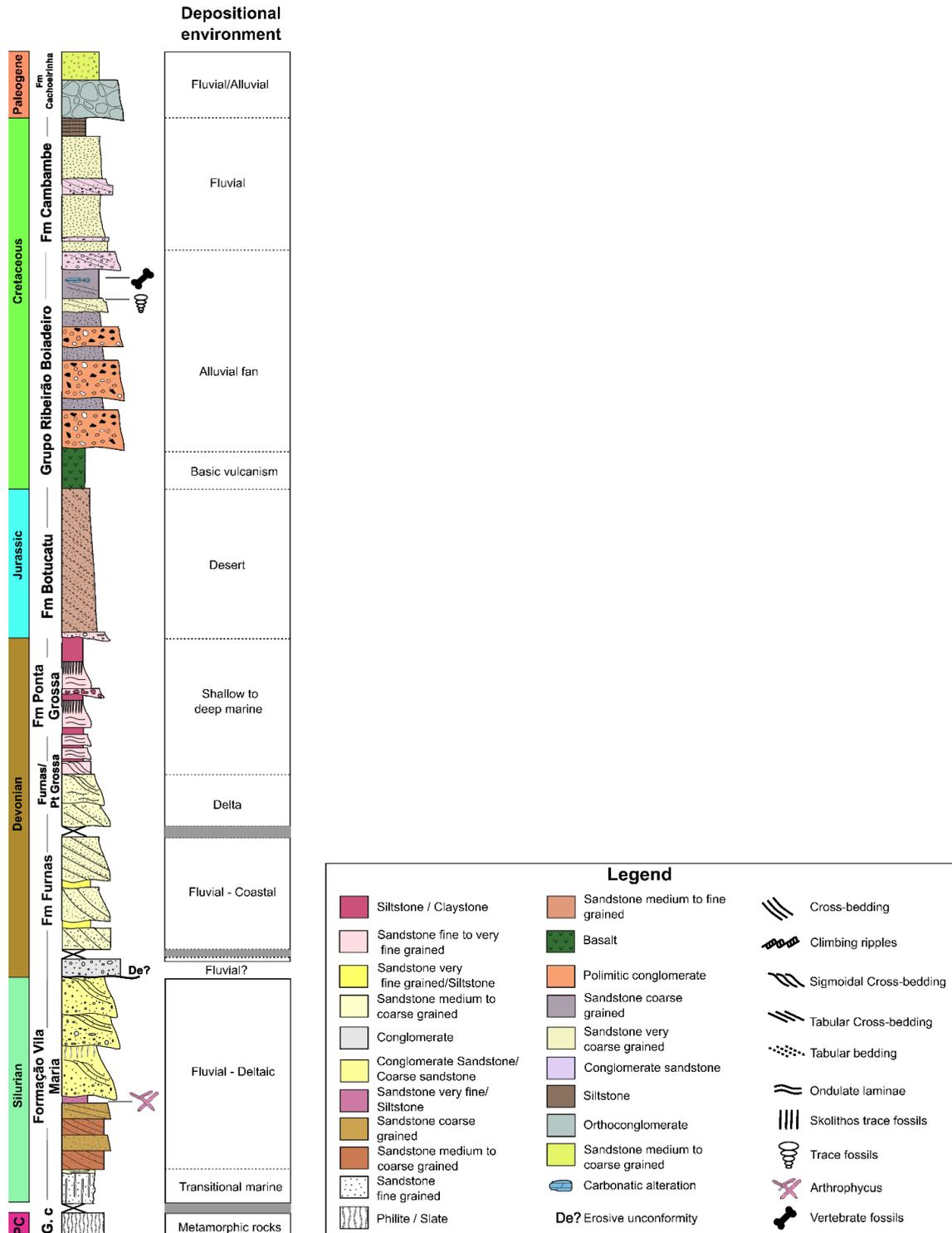
Na região de Chapada dos Guimarães, afloram três unidades morfotectônicas regionais que ocorrem na área: Faixa Paraguai, Bacia Sedimentar do Paraná e Bacia Cambambe, além de Coberturas Cenozóicas (Amorim E Rubert 2021). O empilhamento estratigráfico possui como embasamento as rochas do Grupo Cuiabá, seguido pelo Grupo Rio Ivaí, Pela Formação Furnas, Formação Ponta Grossa, Formação Botucatu, Formação Paredão Grande, seguida pelo Grupo Ribeirão Boiadeiro, pela Formação Cambambe e pela Formação Cachoeirinha (Figura 6).

O trecho entre o km 42 e o km 48, da MT 251, está situado em um contexto em que afloram rochas do Grupo Cuiabá, da Formação Furnas, da Formação Ponta Grossa e da Formação Botucatu. Desta forma, esse relatório irá detalhar apenas as unidades aflorantes na área de estudo.

A Grupo Cuiabá é constituído por rochas metamórficas, conforme a Thomé Filho et al. (2004), a Subunidade 7, que constitui o embasamento regional na área de estudo, é constituída por metaparaconglomerados petromíticos (diamictitos), com raríssimas intercalações de filitos e metarenitos. Os metaparaconglomerados possuem cor cinza-claro a cinza-esverdeado e matriz silto-arenosa, na qual encontram-se dispersos fragmentos angulosos a subarredondados de tamanho variando de grânulos até matações de quartzo, quartzito, filito, granitos, metacalcários e rochas básicas. As rochas do Grupo Cuiabá, possuem contato discordante (inconformidade), com as rochas da Formação Furnas (Figura 7), que pode ser observado na Cachoeira da Salgadeira, e em toda base da escarpa da Formação Furnas.

Conforme Milani et al. (2007), a Formação Furnas, na base por arenitos quartzosos brancos, médios a grossos, com estratificações cruzadas, intercalados com níveis de conglomerados. Nas porções intermediárias predominam arenitos com estratificações cruzadas do tipo hummocky e estratificações cruzadas por ondas. As camadas possuem geometria tabulares ou em forma de lentes. No topo da unidade as camadas de arenito intercalam com siltitos, possuindo uma gradação granulodecrecente, até realizar transição para os folhelhos da Formação Ponta Grossa (Thomé Filho et al., 2004; Amorim e Rubert 2021).

Figura 6: Empilhamento estratigráfico esquemático para o município de Chapada dos Guimarães-MT

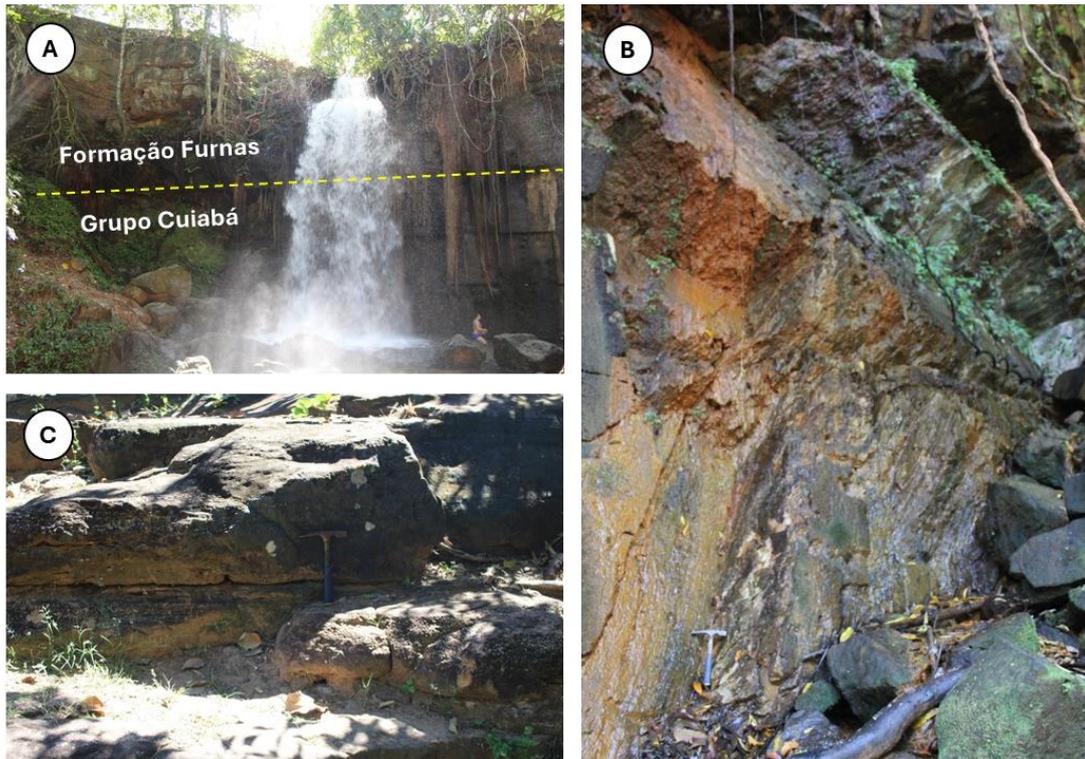


Fonte: Amorim e Rubert (2021).

A Formação Ponta Grossa é composta por arenitos finos e siltitos, com laminações e estratificações geradas por onda e folhelhos bege a cinza. A deposição das Formações furnas e Ponta Grossa, sugere predominância de processos marinhos, com o progressivo aumento do nível do mar.

A Formação Botucatu, foi depositada em um ambiente desértico. As rochas desta unidade são formadas por arenitos finos a médios, localmente grossos, com coloração vermelha predominante, em grãos bem arredondados e com alta esfericidade, dispostos em sets e/ou cosets de estratificações cruzadas planar e acanalada de grande porte. As porções superiores desta unidade registram um episódio significativo de silicificação, que tornou o topo da formação bem mais resistente a erosão (Amorim e Rubert 2021).

Figura 7: Contato discordante entre as rochas do Grupo Cuiabá e a Formação Furnas, na Cachoeira da Salgadeira



Fonte: Autores, 2024.

Figura 8: camadas tabulares da Formação Furnas



Fonte: Autores, 2024.

Figura 9: Estratificações cruzadas acanaladas da Formação Botucatu

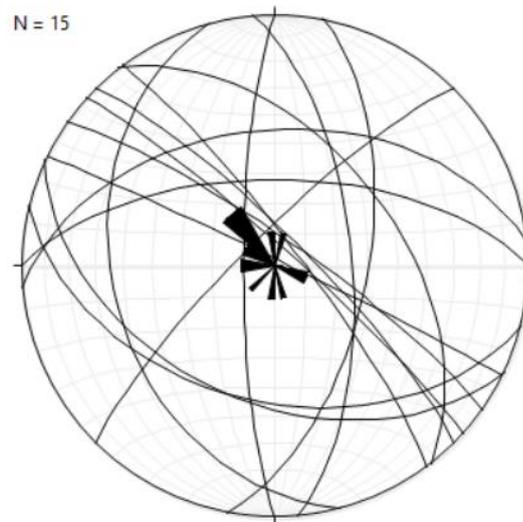


Fonte: Autores, 2024.

5. Geologia estrutural

No diagrama Schmidt-Lambert pode-se observar os resultados da coleta de dados de atitude de estruturas in loco (Figura 10), ao todo foram obtidas 15 medidas de planos fraturas (Tabela 1), a direção preferencial dos planos foi NW-SE com mergulhos acima de 80° para Nordeste (NE).

Figura 10: Estereograma Schmidt-Lambert com as atitudes dos planos de fratura obtidos in loco no Portão do Inferno



Fonte: Autores, 2024.

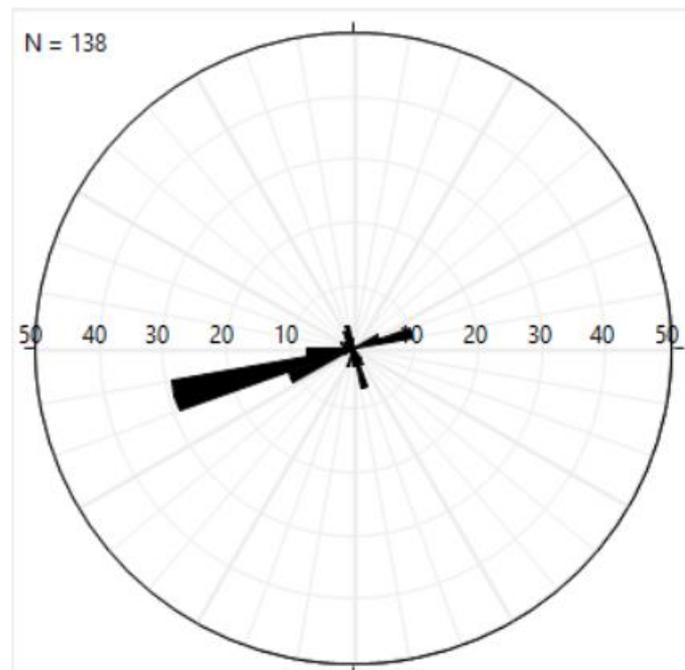
Tabela 1: Direção e mergulho dos planos de fratura obtidos in loco no Portão do Inferno.

Planos de fratura
132°/84° NE
116°/88° NE
90°/62° N
125°/81° NE
45°/80° NW
135°/80° NW
265°/45° NE
180°/80° N
11°/60°S
143°/82° NW
165°/36° SW
175°/65° NW
115°/45°SW
142°/50°NE
104°/45°SW

Fonte: Autores, 2024.

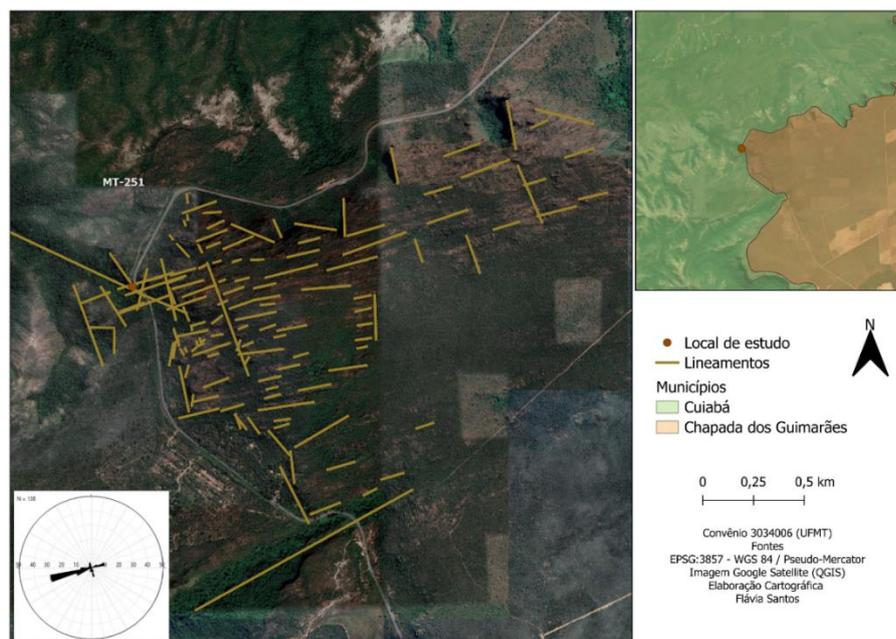
Os dados dos lineamentos demonstram uma média na direção NE-SW para os lineamentos, acompanhando o trend regional (Figura 11). No ponto do Portão do inferno há o cruzamento de quatro famílias de fraturas (Figura 12) o que propicia a formação de cunhas e a queda de blocos de rocha planares.

Figura 11: Diagrama de roseta com os 138 lineamentos obtidos nas imagens de satélite.



Fonte: Autores, 2024.

Figura 12: Mapa de lineamentos estruturais feito sobre imagem de satélite do Google Earth (QGIS) com o diagrama de roseta das estruturas.



Fonte: Autores, 2024.

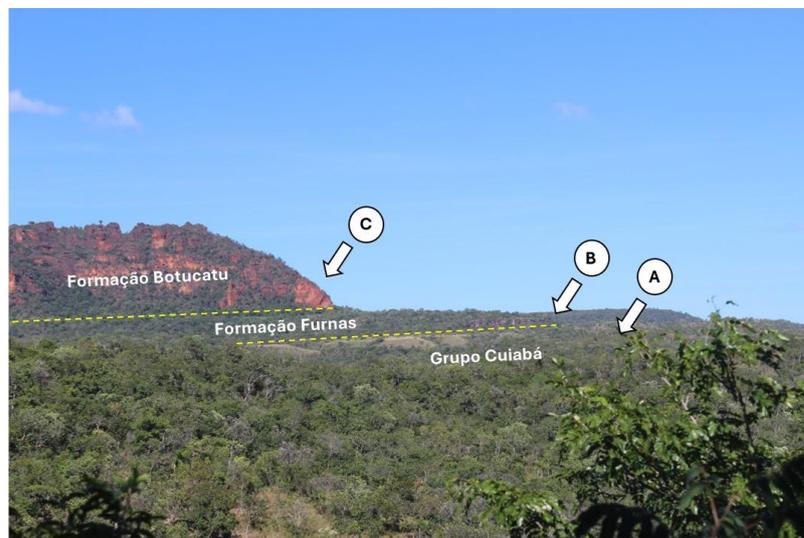
6. Geomorfologia

A região entre o Km 42 e 48 da MT 251, está situada na transição entre a Chapada dos Guimarães e a Depressão Cuiabana. A Depressão Cuiabana, apresenta topografia em geral com formas aguçadas e dissecadas, em domínio de formas de morros e morrotes, podendo variar localmente para colinas médias e superfícies rampeadas. Ocorre o controle estrutural na rede de drenagem, condicionados pelas disposições estruturais preferencias (NE) e em direção NW (Barros et al., 1982).

A unidade de relevo Chapada dos Guimarães, é caracterizada por extensa área de relevo suave, comumente aplainado, contendo também porções com variações topográficas significativas, mas que em geral situa-se entre 600 a 850m dentro do município de Chapada dos Guimarães (Faria et al., 2021).

A base da região é relacionada as rochas do Grupo Cuiabá e a depressão Cuiabana, com morros e morrotes (Figura 13 A). Duas escarpas são identificadas na área de estudo, sendo a primeira delas relacionada com a Formação Furnas (Figura 13 B), tendo como característica escarpas com declividade próxima a 90 graus ou em alguns casos com declividade negativa em forma concava, ou seja, com base mais recuada do que o topo da escarpa. A Segunda escarpa é relacionada a Formação Botucatu (Figura 13 C), e se difere da escapa anterior pela forma festonada e pelos depósitos de talos associados a base da escarpa e pelas feições ruiformes marcantes no topo. A MT 251 foi construída no patamar que marca o topo da Formação Furnas e a base da Formação Botucatu.

Figura 13: (A) rochas do Grupo Cuiabá, que compõem a Depressão Cuiabana, composta de forma predominante por morros e morrotes; (B) escarpa e patamar da Formação Furnas; (C) escapa festonada da Formação Botucatu.



Fonte: Autores, 2024.

8. Histórico de desastres e registro de eventos em Chapada dos Guimarães e Cuiabá

Conforme os dados do Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2ID), entre 01/01/2013 e 10/05/2024, com Chapada dos Guimarães (Tabela 2) e Cuiabá (Tabela 3), foram registrados respectivamente, 22 e 74 eventos de desastres.

Tabela 2: Eventos registrados no município de Chapada dos Guimarães.

Ano	Classificação e Codificação Brasileira de Desastres
2016	13215 - Tempestade Local/Convectiva - Vendaval
2017	13214 - Tempestade Local/Convectiva - Chuvas Intensas
2017	14131 - Incêndio Florestal - Incêndios em Parques, Áreas de Proteção Ambiental e Áreas de Preservação Permanente Nacionais, Estaduais ou Municipais
2017	14131 - Incêndio Florestal - Incêndios em Parques, Áreas de Proteção Ambiental e Áreas de Preservação Permanente Nacionais, Estaduais ou Municipais
2017	14131 - Incêndio Florestal - Incêndios em Parques, Áreas de Proteção Ambiental e Áreas de Preservação Permanente Nacionais, Estaduais ou Municipais
2018	11433 - Erosão Continental - Boçorocas
2019	14131 - Incêndio Florestal - Incêndios em Parques, Áreas de Proteção Ambiental e Áreas de Preservação Permanente Nacionais, Estaduais ou Municipais
2019	14132 - Incêndio Florestal - Incêndios em áreas não protegidas, com reflexos na qualidade do ar
2020	13310 - Onda de Calor
2020	14110 - Estiagem
2020	14131 - Incêndio Florestal - Incêndios em Parques, Áreas de Proteção Ambiental e Áreas de Preservação Permanente Nacionais, Estaduais ou Municipais
2020	14132 - Incêndio Florestal - Incêndios em áreas não protegidas, com reflexos na qualidade do ar
2020	14140 - Baixa Umidade do Ar
2021	14120 - Seca
2021	14120 - Seca
2021	14132 - Incêndio Florestal - Incêndios em áreas não protegidas, com reflexos na qualidade do ar
2022	13214 - Tempestade Local/Convectiva - Chuvas Intensas
2023	11311 - Quedas, Tombamentos e rolamentos - Blocos
2023	13213 - Tempestade Local/Convectiva - Granizo
2023	14131 - Incêndio Florestal - Incêndios em Parques, Áreas de Proteção Ambiental e Áreas de Preservação Permanente Nacionais, Estaduais ou Municipais
2023	14131 - Incêndio Florestal - Incêndios em Parques, Áreas de Proteção Ambiental e Áreas de Preservação Permanente Nacionais, Estaduais ou Municipais
2023	14132 - Incêndio Florestal - Incêndios em áreas não protegidas, com reflexos na qualidade do ar

Fonte: Sistema Integrado de Informações sobre Desastres, 2024.

Tabela 3: Eventos registrados no município de Cuiabá.

Ano	Classificação e Codificação Brasileira de Desastres
2013	13214 - Tempestade Local/Convectiva - Chuvas Intensas
2013	13214 - Tempestade Local/Convectiva - Chuvas Intensas
2013	13214 - Tempestade Local/Convectiva - Chuvas Intensas
2013	13215 - Tempestade Local/Convectiva - Vendaval
2014	12300 - Alagamentos
2016	12100 - Inundações
2016	12300 - Alagamentos
2016	13214 - Tempestade Local/Convectiva - Chuvas Intensas
2016	13214 - Tempestade Local/Convectiva - Chuvas Intensas
2016	13214 - Tempestade Local/Convectiva - Chuvas Intensas
2017	11420 - Erosão de Margem Fluvial

2020	14140 - Baixa Umidade do Ar
2020	23110 - Incêndios em plantas e distritos industriais, parques e depósitos
2020	23110 - Incêndios em plantas e distritos industriais, parques e depósitos
2020	23110 - Incêndios em plantas e distritos industriais, parques e depósitos
2020	23120 - Incêndios em aglomerados residenciais
2020	23120 - Incêndios em aglomerados residenciais
2020	23120 - Incêndios em aglomerados residenciais
2020	23120 - Incêndios em aglomerados residenciais
2020	23120 - Incêndios em aglomerados residenciais
2020	23120 - Incêndios em aglomerados residenciais
2020	23120 - Incêndios em aglomerados residenciais
2020	23120 - Incêndios em aglomerados residenciais
2020	23120 - Incêndios em aglomerados residenciais
2021	14132 - Incêndio Florestal - Incêndios em áreas não protegidas, com reflexos na qualidade do ar
2022	13214 - Tempestade Local/Convectiva - Chuvas Intensas
2023	11311 - Quedas, Tombamentos e rolamentos - Blocos
2023	14131 - Incêndio Florestal - Incêndios em Parques, Áreas de Proteção Ambiental e Áreas de Preservação Permanente Nacionais, Estaduais ou Municipais
2023	14131 - Incêndio Florestal - Incêndios em Parques, Áreas de Proteção Ambiental e Áreas de Preservação Permanente Nacionais, Estaduais ou Municipais
2023	14132 - Incêndio Florestal - Incêndios em áreas não protegidas, com reflexos na qualidade do ar

Fonte: Sistema Integrado de Informações sobre Desastres, 2024.

Na data em que foi decretada a situação de emergência em 13/12/2023, foi realizado o registro, tanto no município de Chapada dos Guimarães como em Cuiabá, do evento de Quedas, Tombamentos e rolamentos de Blocos, no sistema S2ID.

O sistema S2ID entrou em funcionamento no ano de 2013, alguns desastres anteriores a essa data, era registrados no antigo sistema da defesa civil, porém, em muitos casos é possível identificar a ocorrência de desastres somente por jornais ou outros tipos de registros de informação (Kuhn et al., 2022). No caso de Chapada dos Guimarães, no ano de 2008 ocorreu um caso de queda de blocos com uma vítima fatal na Cachoeira do Véu de Noiva (Figura 14). As rochas da Cachoeira do Véu de Noiva, são da Formação Furnas, mesma composição das rochas da base do portão do inferno. O desenvolvimento de erosões, também é um problema recorrente no município, tendo inclusive causado danos significativos a rodovias, como é o caso ocorrido em 2016 na MT 020 (Figura 15).

Figura 14: Cachoeira do Véu de Noiva, a seta indica o local onde ocorreu o desprendimento do bloco, sendo a área da escarpa onde possui um arenito com coloração mais clara.



Fonte: Autores, 2024.

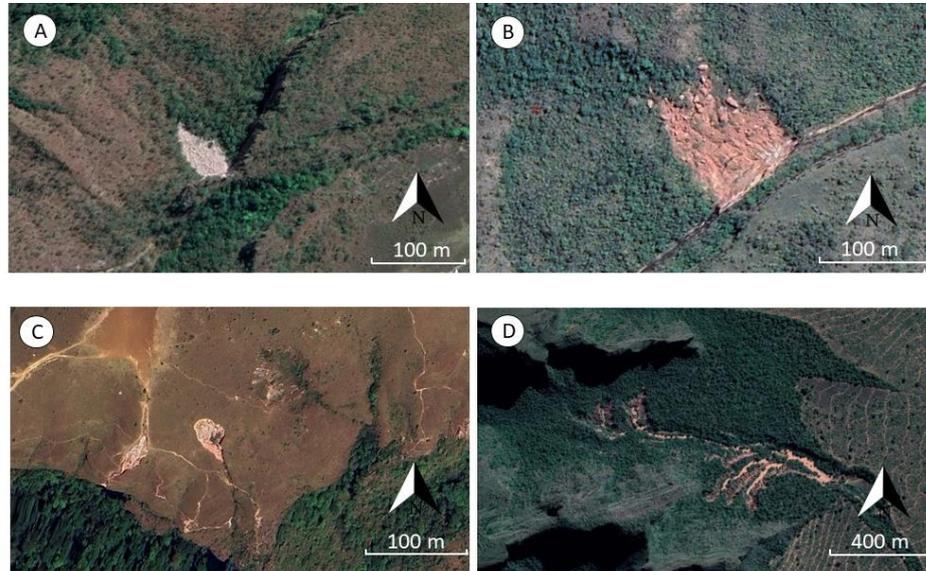
Figura 15: Erosão na MT 020



Fonte: Site Só Notícias. Disponível em: <https://www.sonoticias.com.br/geral/erosao-asfalto-caido-cratera-mt-020-chapada-novembro-2016-rep-1/>. Acesso em: maio de 2024.

Porém para além dos registros oficiais da Defesa Civil, é preciso ressaltar que a região de Chapada dos Guimarães, possui o registro de diversos processos de quedas de blocos, tanto relacionado as rochas da Formação Furnas (Figura 16 A), quanto nas rochas da Formação Botucatu (Figura 16 B). Também são registrados processos de erosão acelerada com a formação de ravinas e voçorocas, em locais onde afloram as rochas da Formação Ponta Grossa, como no Mirante (Figura 16 C), e também em locais onde afloram a Formação Botucatu (Figura 16 D).

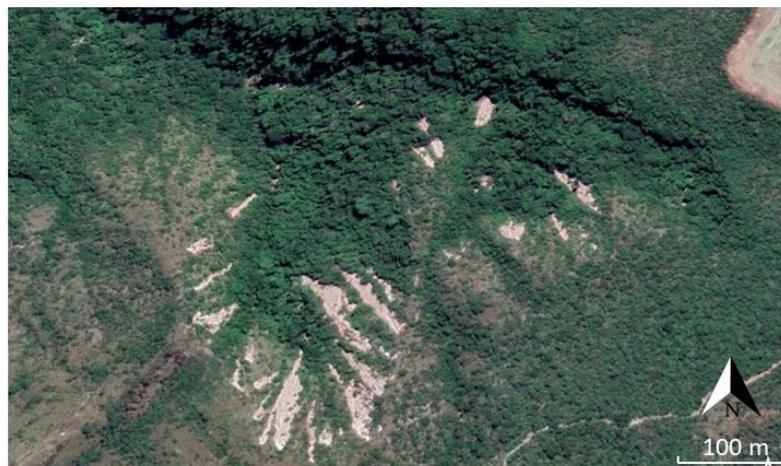
Figura 16: A) queda de blocos relacionados a escarpa da Formação Furnas; B) queda de blocos relacionado a escarpa da Formação Botucatu, atingindo distâncias superiores a 100 metros, com deslocamento de blocos de grande dimensão, que chegam a cerca de 10 metros de comprimento; C) voçorocas no mirante do centro geodésico; D) voçoroca com comprimento superior a 1 km de extensão, desenvolvido nas rochas da Formação Botucatu.



Fonte: Google Earth, 2024.

Na região de transição entre a depressão Cuiabana e a Chapada dos Guimarães, ocorrem com frequências deslizamentos (Figura 17) nas unidades do Grupo Cuiabá. As áreas de ocorrência estão situadas na Area de Proteção de Chapada dos Guimarães, em uma região com muito baixa densidade populacional, e por isso, até o momento não se teve o registro de desastres.

Figura 17: Dezenas de cicatrizes de deslizamentos, com comprimento que chegam a mais de 100 metros, desenvolvidas em morros e morrotes do Grupo Cuiabá.



Fonte: Google Earth, 2024.

Desta forma, ao analisar o histórico recente de desastres naturais registrados em Cuiabá e Chapada dos Guimarães, é preciso considerar eventuais subnotificações, e a necessidade de

uma análise aprofundada sobre processos de dinâmica superficial, na análise e definições sobre o ordenamento territorial e no desenvolvimento de grandes obras, que interliguem os municípios, pois os empreendimentos podem passar por áreas que hoje não são ocupadas, mas que possuem um histórico de desenvolvimento de processos de movimento de massa ou de processos erosivos significativos.

9. Análise do risco de processos de queda de bloco, entre o km 42 e o km 48

Para realizar a análise de processos de queda de bloco, na área de estudo, foi realizada uma visita em campo, para identificação de depósitos de talus, que indiquem a ocorrência de eventos de quedas de bloco. A posição da rodovia em relação a escarpa foi utilizada como um dos critérios para delimitação das áreas de risco. Quatro diferentes cenários foram encontrados: a) escarpas próximas a pista, sem rampa; b) escarpas próximas da pista com rampa; c) patamar plano separando a base da escarpa e a pista; d) depressão situada entre a pista e a escarpa, indicando local onde eventuais quedas de blocos ficariam retidas. A metodologia descrita por Pimentel e Dos Santos (2018), foi aplicada: Grupo 1: encostas com rampa entre 20°-50°; Grupo 2: encosta sem rampa, com inclinação entre 50° e 70°; Grupo 3: encosta sem rampa, com inclinação superior a 70°.

Visando realizar o mapeamento da área de risco, foram realizadas aerolevantamento com uso de Sistema de Aeronave Remotamente Pilotada – RPAS em 5 áreas onde se identificou a possibilidade de quedas de bloco (Figura 18), e em mais uma área como condição baixa ou nula de possíveis quedas de blocos, de acordo com o levantamento de campo.

A área 1 está situada entre a Curva da Mata Fria e a Casa do Mel (Figura 19). Nesta área foram identificados blocos de rochas depositados próximo à rodovia (Figura 20 B e C). O maciço apresenta fraturas que podem favorecer possíveis rupturas (Figura 20 A). A área é sinalizada com placa de risco de queda de blocos, mas apesar disso os veículos param no local para aguardar o sistema de tráfego nos moldes, siga e pare. O mapa de área crítica indica que em caso de quedas de blocos existe um risco elevado de os blocos rochosos atinjam a rodovia.

Figura 18: Áreas mapeadas com drone, para desenvolvimento da metodologia de queda de blocos

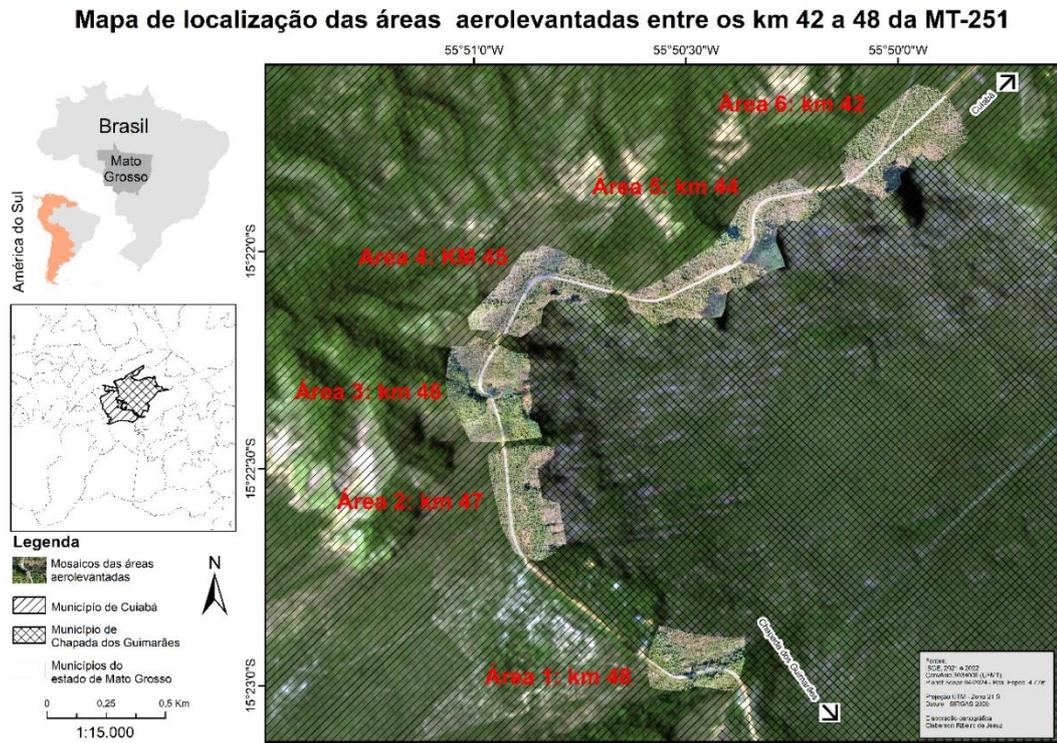


Figura 19: Mapa de análise de área crítica de dispersão, da área 1.

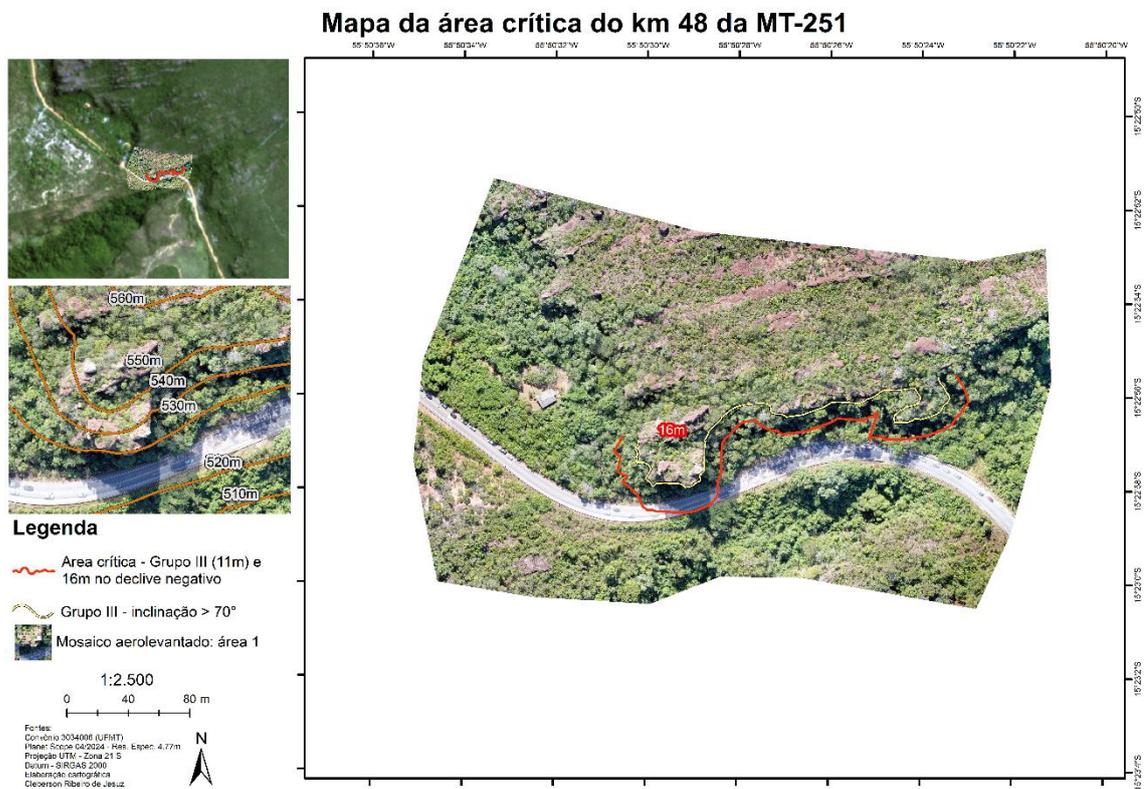


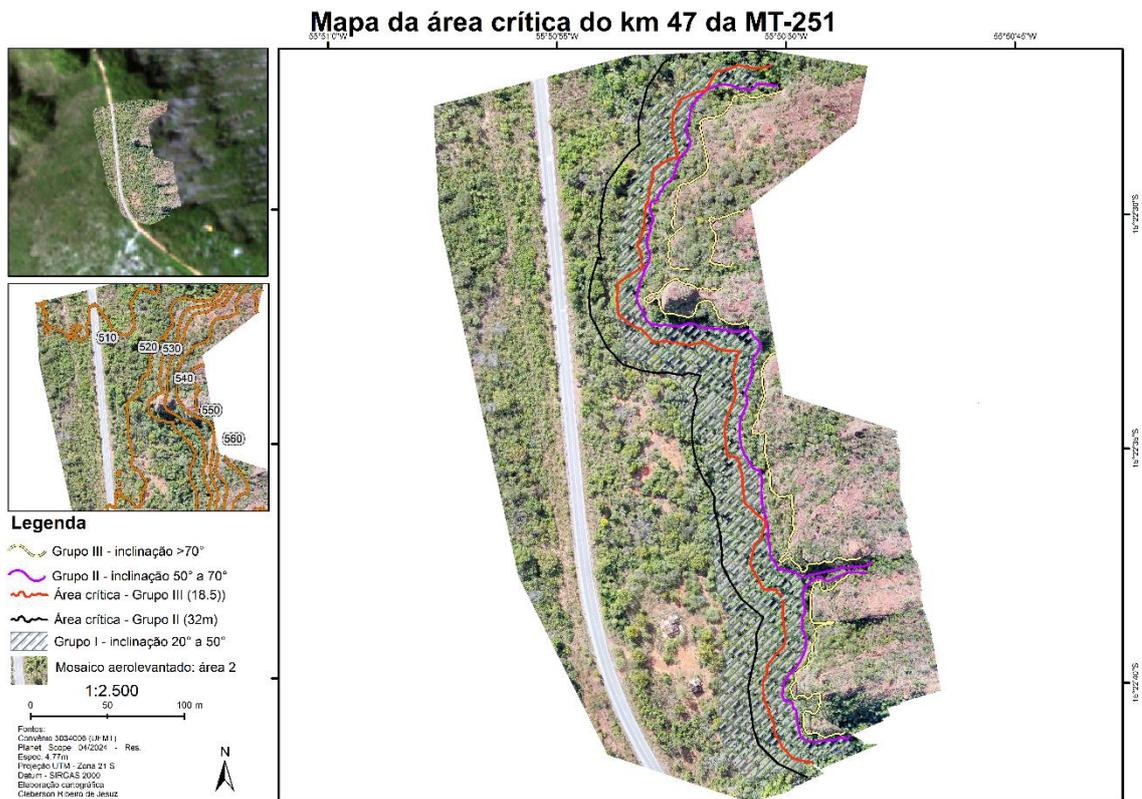
Figura 20: (a) maciço rochoso situado ao lado da rodovia e placa indicativa do risco de queda de bloco; (b) blocos de rocha métrico situado próximo a rodovia; (c) bloco de rocha localizado a margem da rodovia.



Fonte: Autores, 2024.

A área 2 (Figura 21) foi proposta para verificação da metodologia proposta. Nesta área não foi identificada nenhuma estrutura que apresentasse risco, conforme os critérios estabelecidos pela metodologia de Pimentel e Dos Santos (2018).

Figura 21: Mapa de análise de área crítica de dispersão, da área 2, indicando que em nenhum trecho as linhas que indicam os limites da área crítica, interpolam a rodovia.



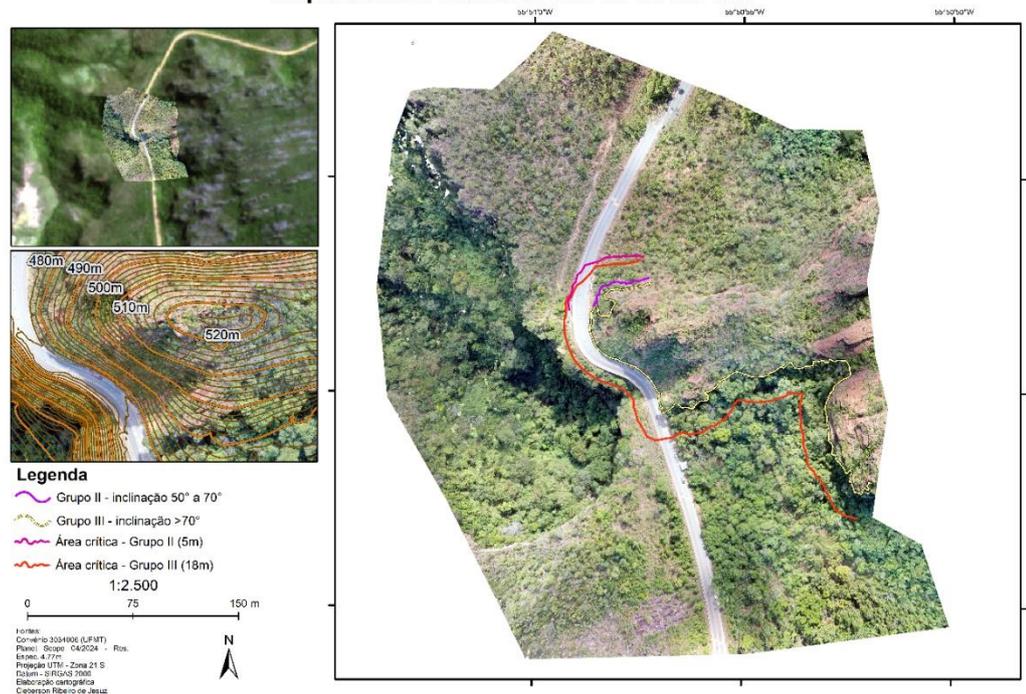
Fonte: Autores, 2024.

Na área 3 está localizado o Portão do Inferno (Figura 22). Nesta área o limite de dispersão indicado pela área crítica interpola a rodovia por cerca de 150 metros. A escarpa quase vertical está situada a margem da rodovia (Figura 23 B). Além dos blocos que caíram na pista recentemente, existe depósitos com blocos métricos depositados na vertente (Figura 23 A). Esses blocos podem ser descaçados e se deslocarem até a pista. Além disso, o maciço possui diversas direções de fraturamento, conforme indicado no item que retrata a geologia estrutural da área. A tela de proteção estalada pode auxiliar a conter blocos que se soltarem do maciço na porção inferior (Figura 23 C). Porém em caso de quedas de blocos do topo da escarpa, os blocos podem atingir a rodovia rapidamente.

A área 4 (Figura 24) indica uma possibilidade de quedas de blocos em vários pontos próximos a rodovia, inclusive com a existência de depósitos de talos com blocos métricos a margem da rodovia ou em áreas próximas, a cerca de 10 metros. Em alguns pontos rochas fraturas indicam a possibilidade de quedas de blocos Figura 25 (A e B). A existência de rampas até próxima a rodovia pode favorecer a dispersão de blocos.

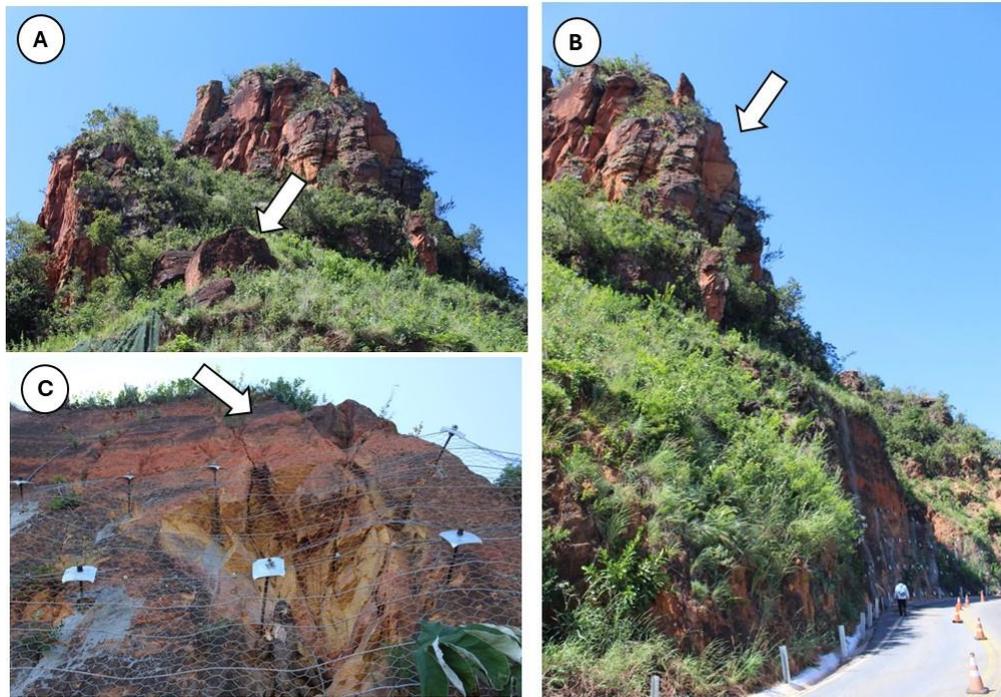
Figura 22: Mapa de análise de área crítica de dispersão, da área 3.

Mapa da área crítica do km 46 da MT-251



Fonte: Autores, 2024.

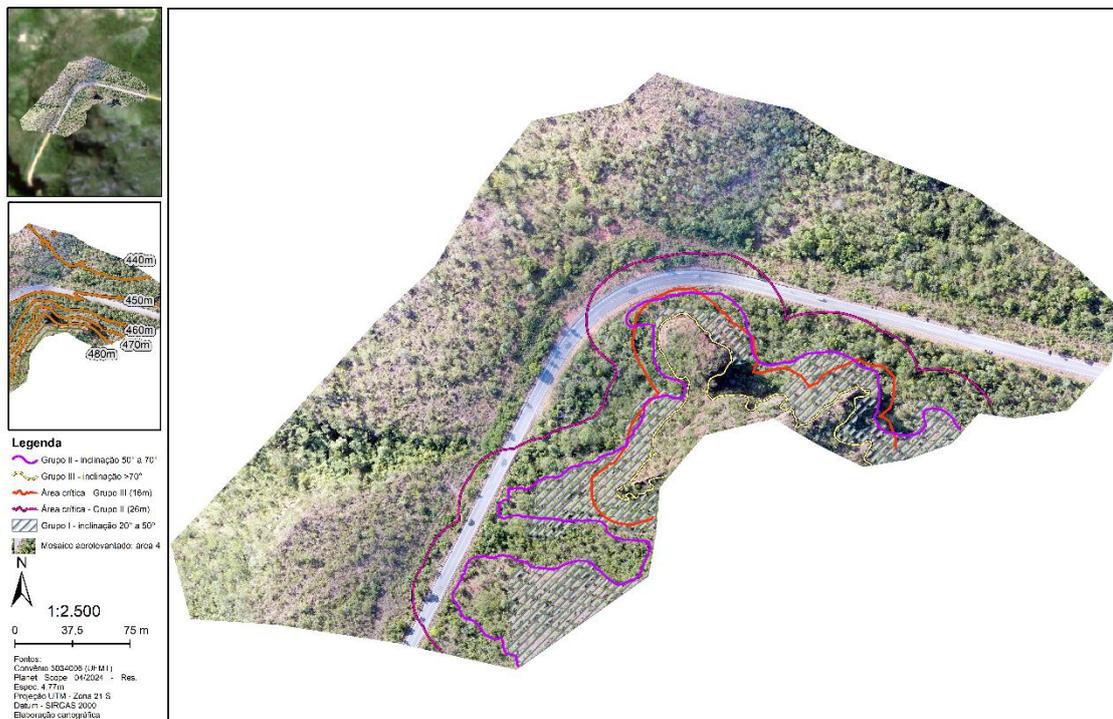
Figura 23: (a) porção superior do maciço na região do portão do inferno, indicando um grau elevado de fraturamento; (b) vertente da escarpa, indicando a proximidade entre blocos fraturados do maciço e a rodovia; (c) tela de proteção com tirantes, e sistemas de fraturas que favorecem o desprendimento de blocos



Fonte: Autores, 2024.

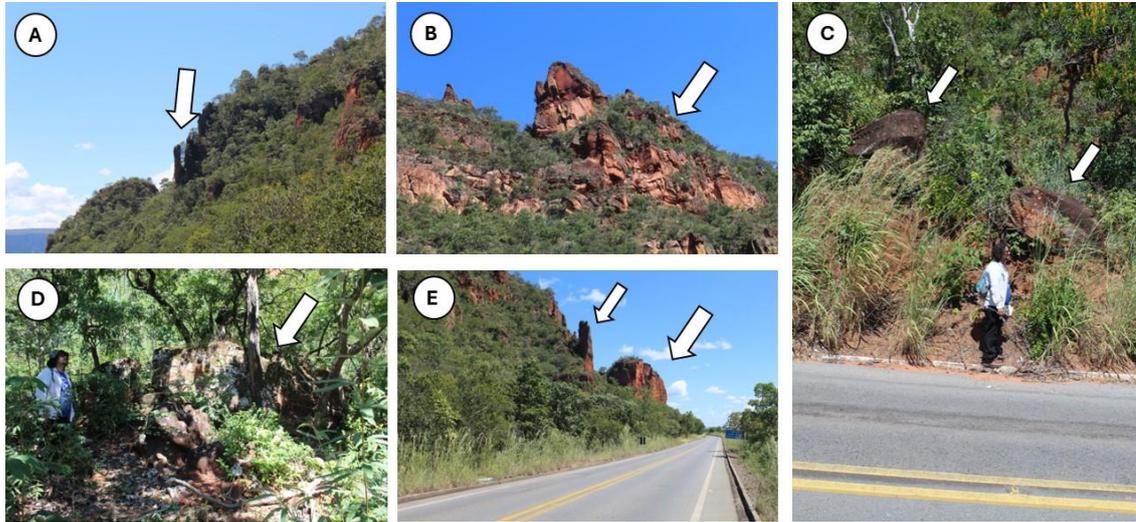
Figura 24: Mapa de análise de área crítica de dispersão, da área 4.

Mapa da área crítica do km 44 da MT-251



Fonte: Autores, 2024.

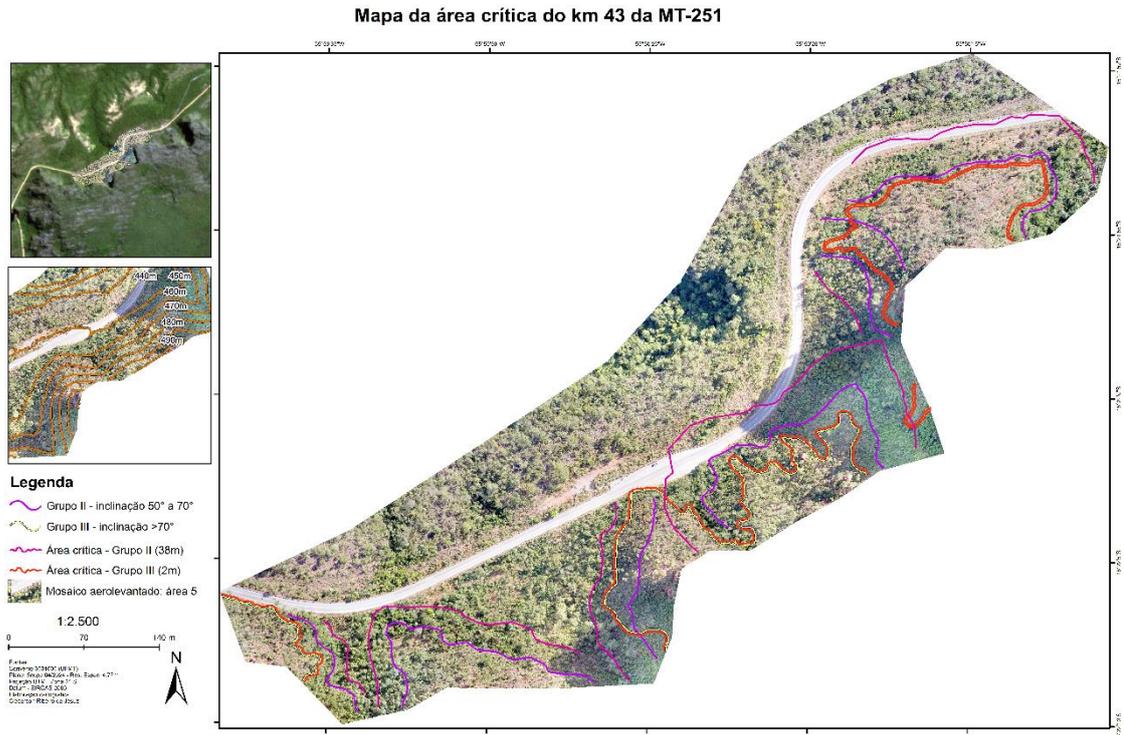
Figura 25: (A) bloco de rocha separado do maciço por fratura, indicando a possibilidade de queda eminente; (B) maciço rochoso fraturado; (C) depósitos de talus com blocos de rochas métricas a margem da rodovia; (D) blocos de rocha métricos situados a cerca de 10 metros da margem da estrada; (E) blocos de rochas próximos a rodovia, em caso de queda a área de dispersão pode atingir a rodovia.



Fonte: Autores, 2024.

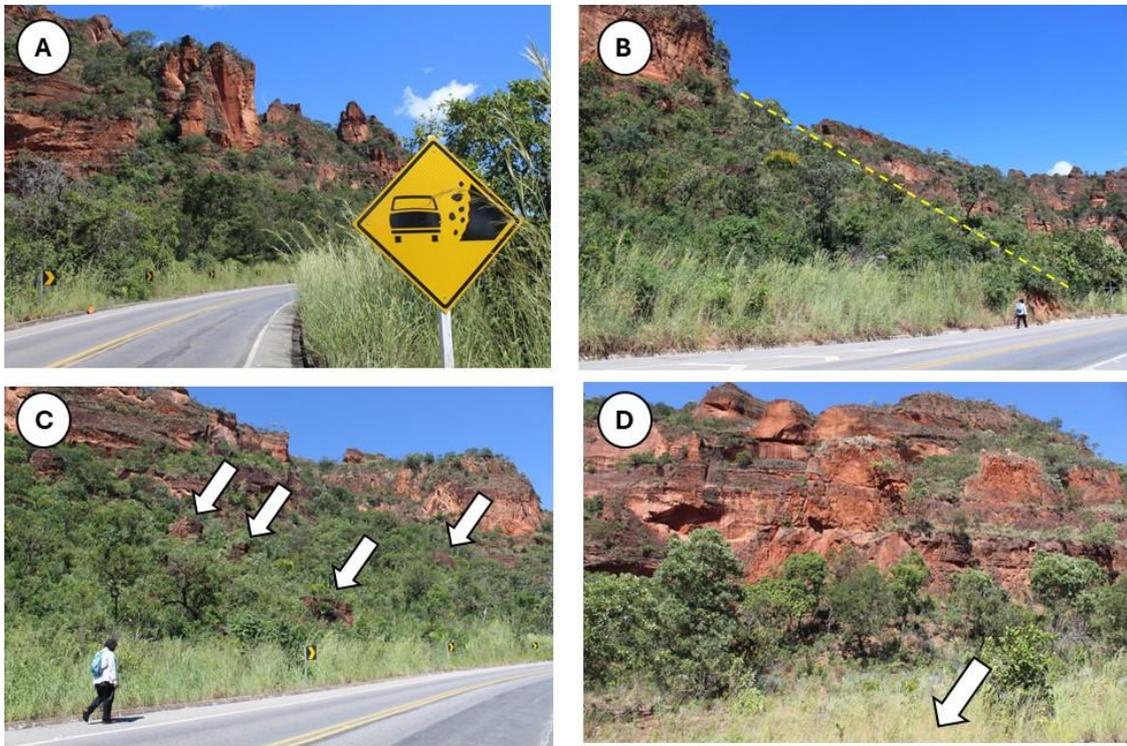
A área 5 (Figura 26), está indicada com placas que alertam sobre o risco de quedas de bloco (Figura 27 A). Esta área possui pontos com depósitos de talus com blocos métricos próximo à rodovia (Figura 27 C), a existência de uma rampa em parte da área mapeada indica um potencial de dispersão maior nestes locais (Figura 27 B). Porém em parte da área mapeada as margens da rodovia apresentam depressões ou áreas planas (Figura 27 D), que pode reter os blocos em caso de queda.

Figura 26: Mapa de análise de área crítica de dispersão, da área 5.



Fonte: Autores, 2024.

Figura 27: (A) placa indicativa de risco de queda de blocos; (B) rampa na base da escarpa; (C) rampa com diversos blocos retidos na vertente, resultado de processos de queda de blocos passado; (D) áreas planas a frente do maciço, onde pode ser depositados eventuais blocos que venham a se desprender.



Fonte: Autores, 2024.

A área 6 (Figura 28) possuem pontos onde o limite de dispersão pode atingir a rodovia. Entre a estrada e topo da escarpa existe um desnível superior a 60 metros. São identificados depósitos de talus a cerca de 10 metros da estrada. Em alguns pontos a rampa chega até a beira da rodovia (Figura 29 A), o que pode favorecer a dispersão de blocos. O maciço possui fraturas que individualizam blocos, que podem indicar queda eminente (Figura 29 B).

Figura 28: Mapa de análise de área crítica de dispersão, da área 6.

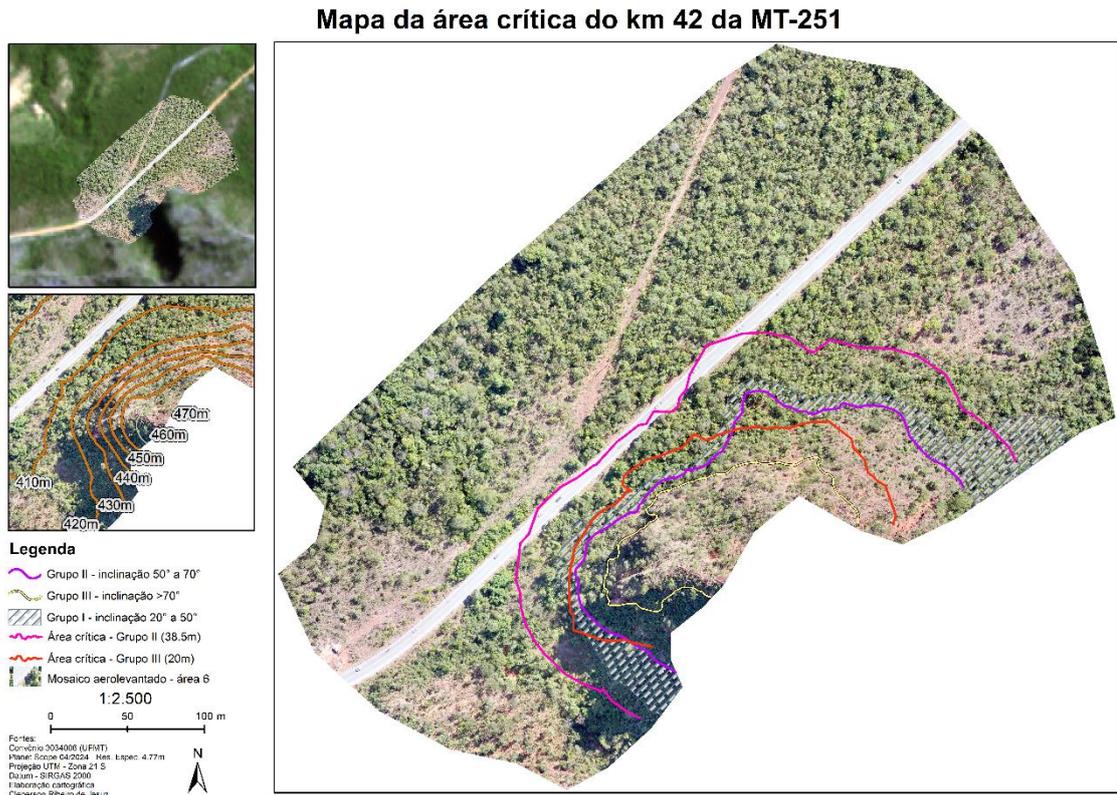
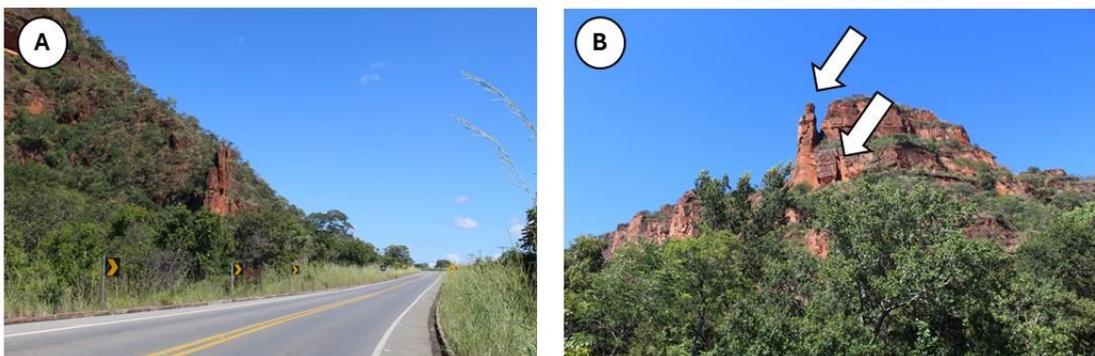


Figura 29: (A) rampa relacionada a escarpa alcançando a base da rodovia; (B) fraturas individualizando blocos de rochas que indicam eminência de queda.



Fonte: Autores, 2024.

As análises realizadas indicam que os processos de quedas de blocos podem atingir a rodovia em ao menos 8 pontos no percurso entre o km 42 e o km 48.

10. Análise geológica-geotécnica

Devido a existência de diversas obras anteriores na região do portão do inferno, relacionadas a infraestruturas de turismo, estudos anteriores já tinham realizado sondagens rotativas e tomografia eletrorresistiva.

Foram realizadas sondagem rotativa horizontal, obtendo testemunhos de arenito friável com grau de fraturamento e desagregação, o furo foi interrompido por desmoronamento, indicando que a rocha não tem capacidade de sustentação e se comporta como solo cimentado (ANNOTTI 2024, Conciani 2024). Entretanto, esse furo de sondagem foi realizado próximo a contato entre as Rochas da Formação Furnas e Botucatu, e as características da rocha nesta porção da unidade, possui aspectos distintos da porção intermediária e topo da unidade.

Conforme Azambuja engenharia e geotécnia (2023) as estabilidades da escarpa estão relacionadas com a compartimentação dos blocos de arenitos da Formação Botucatu individualizados por descontinuidades verticais de tração. O processo de quedas de blocos pode ser favorecido por a erosão ou a degradação da base do arenito Botucatu ou o topo do arenito Furnas favorecem o descalçamento desses blocos, ativando movimentos de queda.

Devido as diferenças de porosidade das duas unidades geológicas, a base da Formação Botucatu possui um fluxo maior de água no aquífero, e uma composição granulométrica mais heterogênea. As porções intermediárias da Formação Botucatu possuem arenitos bem selecionados bimodais, que possuem uma capacidade de suporte crescente em direção ao topo, devido a silicificação das camadas superiores. As camadas silicificadas da Formação Botucatu já foram objetos de obras de engenharia no Morro da Lage, na MT 020, onde foi necessário o desenvolvimento de planos de fogo para realizar o desmonte e remoção dos blocos. Desta forma, é preciso considerar que nas rochas da Formação Botucatu, existem porções que após ação do intemperismo, resistência baixa resistência e que se fragmentam com facilidade, mas também existem porções com elevada resistência e capacidade de suporte.

As quedas de blocos relacionadas aos arenitos da Formação Botucatu podem afetar a rodovia nos locais em que a estrada passa dentro da área de dispersão dos blocos, a característica dos blocos pode variar desde blocos pequenos e que se fragmentam em grãos de areia ao se colidir com solo, até blocos métricos e coesos que se mantem íntegros mesmo após a queda (Figura 30).

Figura 30: (A) seta indica um bloco de rocha métrico, que caiu em evento anterior de quedas de blocos na região do Portão do Inferno. O Bloco ainda pode ser descalçado e cair novamente atingindo a rodovia; (B) bloco de rocha com mais de 16 metros cúbicos, depositado em depósitos de talus próximo a rodovia, as linhas amarelas indicam as estratificações cruzadas em direção quase vertical, ou seja, em padrão incompatível com a deposição em ambiente desértico.



Fonte: Autores, 2024.

A base da rodovia está situada em sua maioria sobre as rochas da Formação Furnas. Nesta unidade foram realizadas sondagens rotativas e tomografia eletrorresistiva, por dois estudos distintos.

Sondagem elétrica (tomografia eletrorresistiva) realizada ao longo da rodovia (lado sul do viaduto) mostrou que o arenito friável, ocupa cerca de 10 m de profundidade (Annotti 2024; Conciani, 2024). A sondagem vertical realizada no pé da encosta do viaduto, indicou que entre 20 m e 40 m foi encontrado material rochoso de coesão elevada, com planos de acamamento horizontal, e fraturas subverticais, após 40 metros voltou-se a uma região de arenito friável, onde não foram recuperadas amostras (Annotti, 2024; Conciani 2024).

Entretanto, os ensaios com método da eletrorestividade, Tomografia Elétrica (TE) com arranjo Dipolo-dipolo, com espaçamento entre eletrodos igual a 5 metros (Figura 31), realizados por Jucá (2021), encontrou áreas com um caráter resistivo predominante nos estratos geoeletricos, em subsuperfície, com valores resistivos que chegam a 800000 ohm.m.

Figura 31: Localização e distribuição das linhas geofísicas adquiridas na área de estudo



Fonte: Google Earth. Adaptado de Jucá, (2021)

Dentro do estudo realizado por Jucá (2021), a Linha_01_DD está situada próxima do portão do Inferno (Figura 32). Conforme o autor “A seção de resistividade Linha_01_DD investigou até uma profundidade aproximadamente de 15 metros (Figura 33). A variação de resistividade apresentada na seção vai desde zonas condutivas com aproximadamente 1000 ohm.m até valores máximos de resistividade chegando a 20000 ohm.m. É possível destacar a presença de regiões com ambientes geoeletricos distintas: i) um ambiente inicial mais condutivo representado pelas tonalidades em azul; e ii) um ambiente geoeletrico com caráter mais resistivo que se inicia aproximadamente na posição 27 metros até o final do perfil. Por fim temos indicadas na seção a presença de algumas descontinuidades subverticais (tracejado em cor preta), posições 15, 17, 16 e 30 metros.”

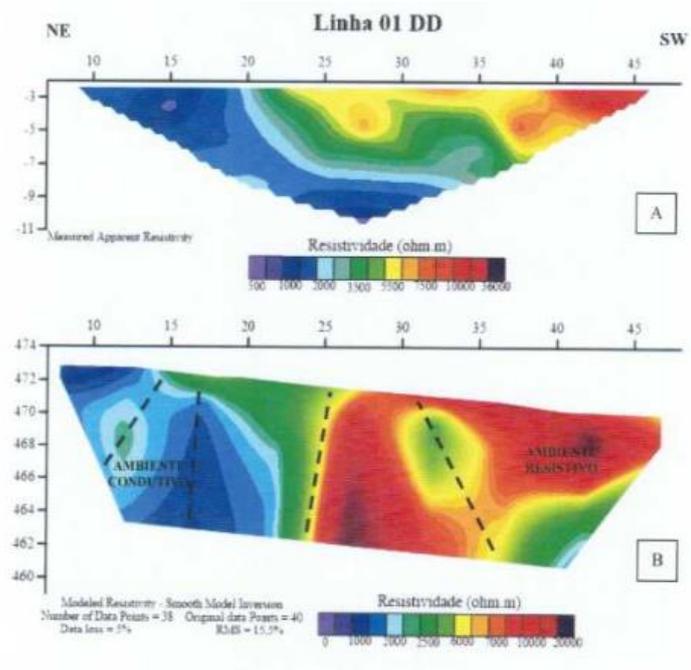
Entre as conclusões realizadas por Jucá (2021) estão: i) a região apresenta um caráter geral resistivo, com predomínio de valores entre elevados de resistividade em seus estratos geoeletricos, chegando a 800000 ohm.m na Linha 05, os quais podem ser associados, no geral, com a litologias bem compactadas e consolidadas (inalteradas e/ou pouco alteradas) bem como sedimentos inconsolidados e insaturados, este último em porções rasas; ii) a região em questão apresenta um comportamento estrutural evidenciado por descontinuidades subverticais; iii) a região apresenta uma distinção marcante entre ambientes geoeletricos resistivos, condutivos e intermediários.

Figura 32: Localização da linha 01 com destaque para as principais estruturas



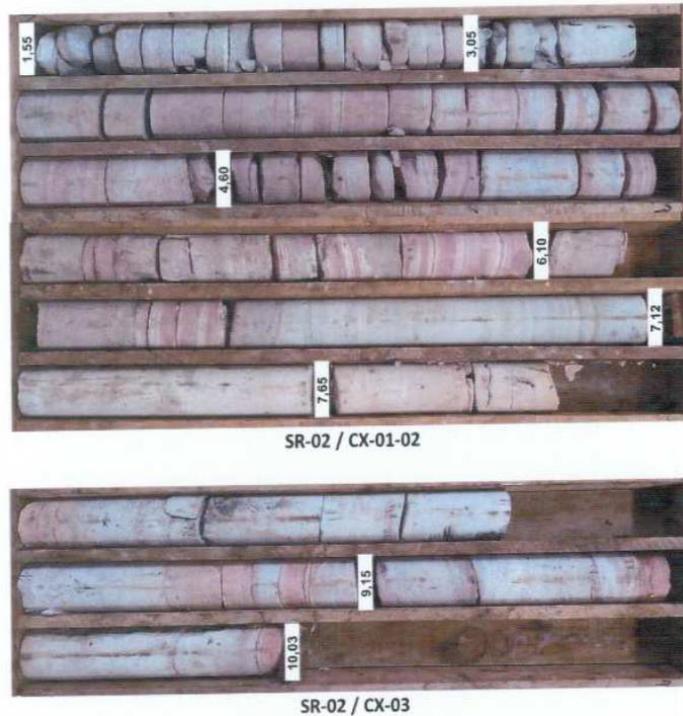
Fonte: Google Earth. Adaptado de Jucá, (2021)

Figura 33: Seção de resistividade Linha_10_DD (a) resistividade aparente, (b) resistividade real modelada. Tracejado preto indica feições e ou descontinuidades estruturais



Fonte: Jucá, (2021).

O Relatório NE018/21 relacionado com sondagens rotativas, para respostas complementares ao estudo de Jucá (2021), obteve amostras desde 1,55 m até 10,03, conforme Figura 34.

Figura 34: Testemunhos de sondagem de arenitos da Formação Furnas

Fonte: Relatório NE018/21, 2024.

O relatório NE018/21 indicou também a carga máxima de compressão atingida e o valor do deslocamento da prova de carga (Figura 35).

Figura 35: Carga máxima de compressão atingida e o valor do deslocamento para os arenitos da Formação Furnas conforme relatório NE018/21.

PROVA DE CARGA Nº	CARGA MÁXIMA (tf)		DESLOCAMENTO MÁXIMO (mm)	
	1º CICLO	2º CICLO	1º CICLO	2º CICLO
PC-01	57,20	57,20	4,15	4,07
PC-02	57,20	57,20	1,91	2,31

Fonte: Relatório NE018/21, 2024.

Para Azambuja engenharia e geotécnia (2023) os arenitos da Formação Furnas, exibem essencialmente movimentos de quedas de blocos individualizados por fraturas, relacionadas com taludes negativos que se formam na parte basal da camada, possivelmente pela erosão de paraconglomerados.

Os dados geotécnicos obtidos por Conciani (2024) e as desenvolvidas por Jucá (2021) e no relatório NE018/21, possuem informações distintas em relação as características geológicas-geotécnicas do maciço. As diferenças de resultado em relação a sondagem podem ser justificadas pelo fato de a sondagem realizada Conciani (2024) tem sido desenvolvida nos metros iniciais na base do pavimento da antiga estrada (Figura 24, A e B), nas nos arenitos, da

base da Formação Botucatu (Figura 24 C), e próximas a uma interpolação de linhas de falha e fraturas, que contribuíram para um cenário de erosão preferencial, ocasionando ao longo do tempo, um recuo da escarpa mais acentuado na região do Portão do Inferno. Porém, é preciso ressaltar a base da estrutura do pontilhão está situada sobre a Formação Furnas, que apresenta no local rochas coesas, pouco alteradas, com camadas tabulares condizentes com o Relatório NE018/21. O desenvolvimento de pilares com sapatas rasas, sobre as camadas tabulares dos arenitos, neste caso, contribui para dispersão radial da energia relacionada ao viaduto. As rochas da Formação Furnas próximas as sapatas (Figura 37) não apresentam indicativos de movimentações recentes ou fraturas os planos de indiquem a possibilidade eminente de queda dos blocos a qual estão a base a rodovias. Os sistemas de Fraturas que podem gerar quedas de blocos de rochas da Formação Furnas, são visíveis próximo a escarpa (Figura 36).

Figura 36: (A) Antiga passagem pelo portão do Inferno registrada em 1959; (B) a seta indica o antigo pavimento da estrada, assim como que a estrutura atual foi construída sobre a área da antiga estrada, e estendida sobre parte do vale, por meio de um viaduto; (C) Sapata do Viaduto, posicionada sobre a Formação Furnas, próxima ao contato com a Formação Botucatu; (D) rochas da Formação Furnas, sobre a qual foi construída a sapata do outro lado do viaduto.



Fonte: Autores, 2024.

Figura 37: Posicionamento das sapatas está indicado com os círculos vermelhos, enquanto os principais sistemas de fraturas que podem favorecer os processos de quedas estão indicados com as linhas amarelas.



Fonte: Autores, 2024.

A Figura 38 A, B, C e D indica o compartilhamento dos blocos de arenito da Formação Furnas. Também são observados depósitos de quedas de blocos recentes (Figura 38 E) e cicatrizes de quedas de blocos, indicadas por arenito com coloração mais clara (Figura 38 F). A queda de blocos da Formação Furnas, só constitui um risco caso possa afetar a estrutura da rodovia, e por isso caso ocorra quedas de blocos nos locais indicados pelas letras A, B, C e D, novas vistorias devem ser realizadas. Porém o cenário atual não indica que um eventual processo de queda de blocos da formação Furnas possa vir levar o viaduto a colapso repentino.

Figura 38: As letras A, B, C e D indicam blocos de rochas que são marcados por discontinuidades; a letra E indica depósitos de blocos de rochas que caíram da escarpa, enquanto a letra F indica cicatrizes de quedas de blocos anteriores.



Fonte: Autores, 2024.

11. Análise da ponte na área do Portão do Inferno

A ponte localizada na MT-251, acesso entre a cidade de Cuiabá e Chapada dos Guimarães. A estrutura localiza-se entre a curva da mata fria e a casa do mel, em um trecho conhecido popularmente como “Portão do Inferno”. A ponte apresenta 35 metros de comprimento e 10 metros de largura, sendo que parte desta largura está assentada sobre a rocha (Figura 39 e 40).

Trata-se de uma ponte de concreto, desde o tabuleiro até a fundação, incluindo os aparelhos de apoio. O pavimento da ponte é de material asfáltico, porém no trecho sobre a rocha, havia pavimento de concreto e a camada de asfalto foi executada sobre este pavimento de concreto.

É uma ponte com duas vias simples, de 2,80m cada uma e um acesso elevado para pedestres, com 50cm de altura em relação ao nível da pista de rolamento. A largura da passagem de pedestre é de 80cm. Na lateral externa da passagem de pedestres, há um guarda corpo de 1,20m, de concreto, com largura de 20cm aproximadamente. A análise apresentada por este estudo será na orientação Cuiabá - Chapada dos Guimarães (Fig. 39).

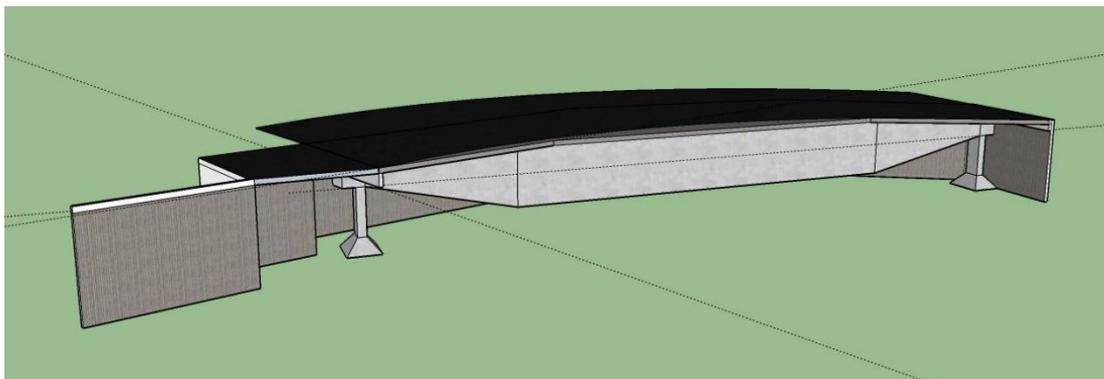
Figura 39: Imagem aérea do Portão do Inferno



Fonte: Autores, 2024.

Para auxiliar no entendimento, também foi modelado a ponte com os seus elementos constituintes, como pode ser visto na Figura 40.

Figura 40: Modelo 3D da ponte e seus elementos constituintes



Fonte: Autores, 2024.

Com este modelo, fica fácil observar a estrutura da ponte em si e como a ponte se arranja estruturalmente. Para facilitar o entendimento e a identificação dos pontos relevantes, a análise das partes da estrutura da ponte será dividida em Estrado, Superestrutura e Infraestrutura, conforme a divisão do Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias, elaborado pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT).

ESTRADO

a) Tabuleiro: Trata-se de um tabuleiro de concreto armado, com 20cm de espessura, concretado *in loco* em formas de madeira e armadura passiva. Acima da laje de concreto, foi executada uma camada de pavimento asfáltico, com duas vias simples para a passagem do tráfego, além de área para sarjeta e passagem para pedestres.

b) Guarda corpo: O elemento é constituído de concreto, fixo, com altura de 1,20m, em todo bordo lateral externo da passarela de pedestres.

c) Junta de dilatação: A presente na estrutura da ponte separa o tabuleiro da ponte em si da laje da estrutura de apoio. tipo aberta, definida por forma. Está localizada entre o tabuleiro da ponte com a laje da estrutura de apoio.

SUPERESTRUTURA

d) Longarinas: A estrutura apresenta uma única longarina de concreto armado, executado *in loco* com formas de madeira, sem sinais de armadura ativa, que em conjunto com a parte do tabuleiro que está sobre o arenito da formação furnas, sustenta a ponte. A longarina apresenta altura variável, indo de 1,05m, próximo aos apoios, até 2,20m, no meio do vão, largura fixa de 60cm e um comprimento de 30 metros. Ela é engastada diretamente em dois pilares de concreto armado, não tendo um aparelho de apoio para realizar a ligação entre os elementos.

e) Transversinas: A estrutura conta com duas transversinas nos limites do tabuleiro com as estruturas de acesso. São elementos de concreto armado, sem sinais de armadura ativa, executadas *in loco* com formas de madeira. As transversinas têm 15cm de largura e 50 de altura e um comprimento de 5,50 metros. São transversinas de borda, engastadas diretamente sobre as cabeças dos pilares e na contenção lateral.

INFRAESTRUTURA

f) Estrutura de acesso: Este elemento é construído para elevar a pista e acessar o tabuleiro da ponte. Ele é constituído todo em concreto armado, sem sinais de armadura ativa, concretado *in loco* com formas de madeira. A estrutura de acesso é constituída por com uma contenção aos fundos e na lateral, uma parede estrutural no meio do vão e uma laje, que sustenta parte da pista e faz a ligação entre o trecho da via sobre a rocha e a via sobre o tabuleiro da ponte.

g) Apoios intermediários (pilares): A ponte conta com dois pilares, de 35x70cm, de concreto armado, moldado *in loco* com formas de madeira, curtos. A direção de maior rigidez está perpendicular a direção do vão da ponte.

h) Fundação (sapata): A fundação existente na ponte é do tipo sapata direta, em concreto armado executada *in loco*, na forma de tronco de pirâmide. As dimensões da sapata são de 35x70cm no topo e de 1,35 x 1,70m na base. Foi possível verificar a dimensão da base pois o tronco da sapata não está enterrado, provavelmente devido à dificuldade de escavação na rocha que está assentada, pois é um arenito da formação Furnas.

i) Contenção lateral: Como a pista passa sobre parte da rocha e parte sobre a ponte, há um muro de contenção sob a pista, acompanhando-a longitudinalmente. Trata-se de uma contenção, com aproximadamente 20 centímetros de largura, 3,60 metros de altura e 34 metros de comprimento, de concreto armado, moldada *in loco*, com formas de madeira. Não há execução de sistema de drenagem para esta contenção.

11.1 Procedimentos de análise estrutural e situacional da ponte

Para realizar a avaliação da ponte, foi realizada a avaliação de cada um dos elementos constituintes individualmente, além de se analisar o conjunto e as inter-relações entre os elementos e o entorno. O procedimento adotado foi o do Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias, elaborado pelo DNIT, com adequações para o caso concreto.

11.2. Estrado

a) Tabuleiro de concreto:

Tanto topo como fundo das lajes de concreto foram examinados e, cada trecho, foi analisado observando os seguintes itens:

- Áreas expostas ao tráfego: verificar desgaste e estado geral.
- Áreas de apoio: verificar existência de esmagamentos e trincas de força cortante.
- Restante da estrutura: verificar existência de manchas, trincas, fissuras, armaduras corroídas, contaminação por cloretos.

b) Juntas de dilatação

As observações realizadas, no que se refere às juntas dos estrados, foram:

- Acumulação de Detritos: A acumulação de detritos nas juntas pode prejudicar sua livre movimentação, causando, em casos extremos, o aparecimento de trincas ou fissuras no estrado.
- Alinhamento Adequado: Os dois trechos separados pela junta devem estar no mesmo nível.
- Juntas Danificadas: Foi verificado se as movimentações, o tráfego e os detritos provocaram danos às juntas, descolando-as de suas sedes ou provocando avarias outras que prejudicam sua estanquidade.

11.3. Superestruturas

c) Longarina:

Os procedimentos de inspeção utilizados para avaliar a longarina foram os seguintes:

- Examinar as áreas junto aos apoios para verificar a existência de trincas inclinadas, de força cortante.
- Examinar as áreas mais solicitadas e onde serão encontradas as patologias porventura existentes: trincas, fissuras, eflorescências, manchas no concreto, sinais de corrosão das armaduras e armaduras expostas.
- Examinar eventuais danos provocados por colisões ou fogo.
- Verificar o estado do concreto, como a existência de manchas, trincas, fissuras, armaduras corroídas, contaminação por cloretos.

d) Transversina

Os procedimentos de inspeção utilizados para avaliar as transversinas foram os seguintes:

- Examinar as áreas junto aos apoios para verificar a existência de trincas inclinadas, de força cortante.
- Examinar as áreas mais solicitadas e onde serão encontradas as patologias porventura existentes: trincas, fissuras, eflorescências, manchas no concreto, sinais de corrosão das armaduras e armaduras expostas.
- Examinar eventuais danos provocados por colisões ou fogo.
- Verificar o estado do concreto, como a existência de manchas, trincas, fissuras, armaduras corroídas, contaminação por cloretos.

12.3. Infraestrutura

e) Estrutura de acesso

Para a inspeção da estrutura de acesso, foi verificado os seguintes itens:

- Verificar o estado do concreto, como a existência de manchas, trincas, fissuras, armaduras corroídas, contaminação por cloretos, sinais de corrosão das armaduras e armaduras expostas.
- Verificar indícios de infiltrações na estrutura de acesso, seja por manchas no concreto ou sinais de finos passando pelo interior do concreto.
- Verificar indícios de ruptura da estrutura de apoio.

f) Pilares

Para a inspeção dos pilares, foi verificado os seguintes itens:

- Verificação de algum tipo de deslocamento do pilar, seja movimentação vertical, movimentação horizontal, ou movimentação rotacional.
- Verificar o estado do concreto, como a existência de manchas, trincas, fissuras, armaduras corroídas, contaminação por cloretos, sinais de corrosão das armaduras e armaduras expostas.
- Verificar sinais de ruptura, tanto por compressão quanto por flambagem, como trincas, fissuras, rachaduras ou deslocamento excessivo.

g) Sapatas

Para a inspeção das sapatas, foi verificado os seguintes itens:

- Verificação de algum tipo de deslocamento da sapata, seja solapamento ou recalque.

- Verificar o estado do concreto, como a existência de manchas, trincas, fissuras, armaduras corroídas, contaminação por cloretos, sinais de corrosão das armaduras e armaduras expostas.
- Verificar a presença de processo erosivo na região da sapata.
- Verificar indícios de ruptura do solo no entorno da sapata.

h) Contenção Lateral

Para a inspeção do muro de arrimo, foi verificado os seguintes itens:

- Verificação de algum tipo de deslocamento do muro de arrimo, seja movimentação vertical, movimentação horizontal, ou movimentação rotacional.
- Verificar o estado do concreto, como a existência de manchas, trincas, fissuras, armaduras corroídas, contaminação por cloretos, sinais de corrosão das armaduras e armaduras expostas.
- Verificar indícios de infiltrações no muro de arrimo, seja por manchas no concreto ou sinais de finos passando pelo interior do concreto.
- Verificar indícios de ruptura do muro de arrimo.

11.4. Condições observadas

11.4.1. Estrado

a) Tabuleiro

O tabuleiro encontra-se em boas condições estruturais, sem manifestações patológicas no concreto, sem marcas de oxidação de armadura ou outra manifestação patológica.

A pista apresenta uma grande trinca, que se estende de um lado ao outro da ponte pelo meio da pista. Também apresenta trincas que partem dessa trinca maior e vão em direção ao paredão, em formato “radial”, do centro para as bordas, já que se trata de um trecho em curva.

b) Guarda corpo

O guarda corpos existentes estão em boas condições, íntegros, cobrindo todo o trecho da passagem dos pedestres, atendendo a altura mínima normatizada e sem sinais de colisões ou desgaste que possa vir a comprometer seu desempenho.

c) Junta de dilatação

As juntas de dilatação apresentam-se limpas e desobstruídas. Não há sinal de quebra ou de que os cantos estão gastos. Porém, não há a presença de nenhum aparelho para evitar o

desgaste dos cantos das juntas ou a infiltração de água, o que, em conjunto com a falta de aparelhos específicos de drenagem, faz com que a água infiltre pelas juntas, escorrendo entre a transversina e a laje da estrutura de acesso.

11.4.2. Superestrutura

d) Longarinas

As longarinas estão íntegras, em boas condições, sem eflorescências, oxidação de armadura, trincas, fissuras ou rachaduras. Não há marca de deformação excessiva pela sobrecarga e não há marca de fadiga da estrutura. Também não há sinal de deslocamento ou de deformação excessiva do elemento.

e) Transversinas

As transversinas estão íntegras, sem marcas de desgaste, oxidação, eflorescência ou outra marca de manifestação patológica. Não há marca de deformação excessiva pela sobrecarga e não há marca de fadiga da estrutura. Também não há sinal de deslocamento ou de deformação excessiva do elemento.

11.4.3. Infraestrutura

f) Estrutura de acesso

Na estrutura de acesso, a contenção lateral e do fundo e a parede estrutural estão em boas condições, sem manifestações patológicas, com concreto íntegro e sem marcas ou manchas de oxidação ou expansão da armadura. Em contrapartida, a laje do acesso apresenta marcas de infiltração, com carreamento de finos.

g) Apoios intermediários (pilares)

Os pilares se apresentam íntegros, sem trincas, fissuras ou rachaduras, sem sinais de deslocamento rotacional, sem indícios de recalque. O concreto apresenta-se sem manchas, e sem indícios de oxidação da armadura. Não há sinal de nenhum tipo de ruptura, seja por excesso de carregamento ou flambagem.

h) Fundações (sapatas)

As sapatas se apresentam íntegras, sem sinais de eflorescências ou descamação do concreto. Não há sinais de oxidação da armadura. Não há sinais de recalques da sapata, nem de ruptura no entorno. A sapata não obedece a NBR 6122 - Projeto e execução de fundações, sobre a cota mínima que uma fundação deve estar enterrada.

i) Contenção lateral

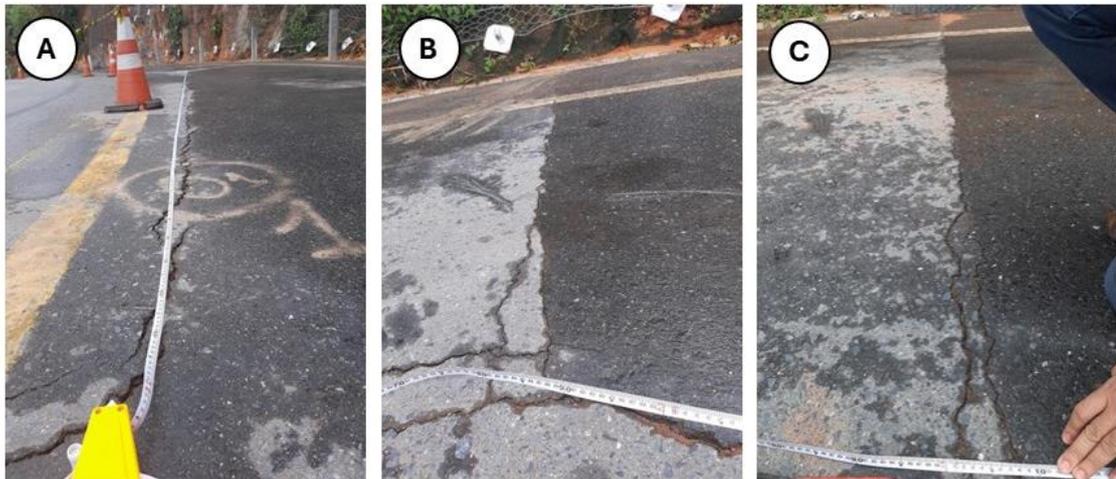
A contenção lateral se apresenta íntegra, sem trincas, fissuras ou rachaduras, sem sinais de deslocamento rotacional. O concreto apresenta-se sem manchas, e sem indícios de oxidação da armadura. Não há sinais de infiltração ou de carreamento de finos para dentro da estrutura.

Manifestações patológicas identificadas

a) Trincas no pavimento

Foram detectadas trincas no pavimento de asfalto (Figura 41). Estas trincas tem formato radial, saindo do meio da pista e indo em direção ao paredão de arenito.

Figura 41: (A) Trinca que acompanha toda a pista; (B) Trinca em formato radial, do meio da pista em direção ao paredão de arenito; (C) Trinca em formato radial, do meio da pista em direção ao paredão de arenito.



Fonte: Autores, 2024.

As trincas coincidem com as juntas de dilatação do antigo pavimento de concreto, que existe sob o pavimento de asfalto existe. A causa mais provável para o aparecimento dessas trincas é a dilatação térmica das placas de concreto no pavimento, fazendo com que estas juntas sejam refletidas no pavimento.

b) Diferença de nível entre a estrutura de acesso e a ponte

Foi detectado que a parte da ponte e a estrutura de acesso estão desniveladas, onde a estrutura da ponte está mais elevada que a estrutura de apoio (Figura 42).

Figura 42: Diferença entre o nível da via fora da ponte e dentro da ponte



Fonte: Autores, 2024.

Essa diferença no nível pode indicar algum deslocamento da pista fora do trecho. É recomendado que este deslocamento seja acompanhado e monitorado em futuras avaliações da ponte.

c) Infiltração no primeiro acesso

Pela ausência de equipamentos específicos de drenagem (Figura 43), ocorre o acúmulo de água na pista e nas valetas, que acabam por escorrer pela junta de dilatação entre a ponte e a estrutura de acesso.

Figura 43: (A) Detalhe da infiltração oriunda da junta de dilatação e água superficial; (B) Detalhe da infiltração oriunda da junta de dilatação e água superficial; (C) Detalhe da infiltração oriunda da junta de dilatação e água superficial; (D) Detalhe da infiltração oriunda da junta de dilatação e água superficial.



Fonte: Autores, 2024.

Esta água infiltrada está escorrendo pela transversina e pela laje do aparelho de apoio, fazendo com que o concreto fique úmido, podendo comprometer, com o passar do tempo, a integridade desta laje, oxidando a armadura e fazendo com que ela tenha manifestações patológicas mais graves.

A solução inicial é realizar a drenagem eficiente da pista, implantando aparelhos de drenagem eficientes que impeçam a infiltração desta água na junta, impedindo a degradação do concreto.

11.5. Conclusão sobre a condição da ponte na área do Portão do Inferno

O pontilhão se apresenta sem muitas manifestações patológicas, íntegro, com as estruturas sem marcas de trincas ou fissuras, sem manifestação de dano estrutural ou comprometedor do seu desempenho.

As manifestações patológicas apontadas podem vir a prejudicar o desempenho futuro do pontilhão, logo a resolução dessas manifestações visa estender a vida útil da estrutura.

Para as condições atuais de tráfego e carregamento, a estrutura se apresenta íntegra e com boa capacidade de desempenho, porém incrementos de carga ou mudanças nas condições de carregamento, caso ocorram, devem vir acompanhadas de inspeções periódicas de vistoria para reavaliar a condição estrutural do elemento, para que se acompanhe como as mudanças de carregamento estão sendo suportadas pela estrutura da ponte.

12. Análise de gestão de risco

Os mapas com indicativos de área crítica e área de dispersão, além dos depósitos de colúvio, que demonstra a dispersão dos materiais após os processos de queda de blocos, são um importante mecanismo para delimitação de áreas de risco e desenvolvimento de protocolos de segurança.

Processos de movimento de massa como deslizamento e corridas de detritos, possuem uma relação direta com eventos de pluviosidade elevadas. Em rodovias como Tamoios, é adotado o protocolo de interdição da via quando o volume de chuvas atinge 100 mm em 72h (Tamoios, 2024). Porém em relação aos processos de quedas de blocos não existe um consenso na literatura sobre relação direta entre o evento de queda e o volume de chuvas. Conforme Ribeiro (2013) in Pimentel e Dos Santos (2018) as causas dos processos de quedas de blocos são diversas. Outros autores como Sass e Oberlechner (2012), Mainieri et al., (2022) não encontraram tendências significativas de relação entre fatores meteorológicos e quedas de blocos.

Porém autores como Wei et al., (2014) consideram que o intemperismo e eventos de chuvas de alta intensidade aceleram o processo erosivo, pois uma grande quantidade de água pode erodir a matriz causando instabilidade e levando a ruptura dos blocos.

A análise realizada por Conciani (2024) indicou uma correlação entre eventos de quedas de blocos com ocorrência de chuvas, ventos ou trovões. Porém as análises foram realizadas após a remoção da vegetação e a interferência no maciço. Tais interferências tentam a facilitar a fragmentação da rocha e a posterior remoção destes blocos por meio da energia cinética da chuva.

A água pode influenciar no desenvolvimento de processos de quedas de bloco, por meio da ampliação do peso da rocha, pois quando saturada pela água o bloco rochoso possui um peso superior ao do mesmo bloco quando não está saturado. A água possui uma velocidade de infiltração lenta, desta forma o tempo de percolação entre o evento de Chuva e a água saturar o bloco, pode demorar desde dias até meses, a depender da dinâmica do aquífero no local. Fatores

como onda de calor, e o rebaixamento do aquífero em virtude das fortes secas também podem contribuir para fragmentação da rocha, ampliação de fraturas e perda de coesão. A vegetação em áreas de escarpa pode contribuir tanto para auxiliar a reduzir a erosão, e conseqüentemente a queda de blocos, mas também pode auxiliar a ampliar fraturas e deslocar blocos, favorecendo o processo de queda.

O protocolo de segurança adotado na MT 251, com a interdição até a realização de vistoria, foi mais rigoroso que o adotado em casos como da rodovia Tamoios, onde a interdição ocorre somente quando a chuva atinge 100 mm em 72h (Tamoios 2024). Cabe ressaltar que na Rodovia Tamoios o processo predominante são os deslizamentos, podendo ocorrer nos fundos de vales corridas de detritos, ambos possuem uma relação direta com eventos de chuva. Enquanto no caso dos processos de quedas de blocos, predominantes na MT 251, a relação entre eventos de chuvas e quedas de blocos não é consenso.

Estudos anteriores, desenvolvidos por Azambuja Engenharia e Geotécnia (2023) e Dos Santos e Petermann (2023), sugeriram algumas medidas para gestão de risco na MT 251 (Quadros 1 e 2).

Quadro 1: Medidas sugeridas por Azambuja Engenharia e Geotécnia.

Medidas	Função:
Remoção controlada de blocos	destinam-se a retirar blocos propensos ao movimento e que poderiam ser perigosos inclusive para os trabalhos de estabilização
Medidas de estabilização da escarpa	são contenções destinadas a impedir os movimentos, tais como malhas metálicas com chumbadores, grampeamentos com face em concreto projetado, gigantes e vigas atirantadas, etc;
Medidas de proteção da rodovia	são estruturas ou dispositivos destinados a absorver a energia cinética dos blocos em movimento, reduzindo o risco desses materiais atingirem a pista.

Fonte: Relatório técnico avaliação das encostas à margem da mt-251 entre o km42 e o km48 – portão do inferno, 2023.

Quadro 2: Report e relatório de vistoria técnica em decorrência de deslizamentos e queda de blocos rochosos na MT – 251, imediações do Portão do Inferno.

Medidas e função
Remoção/corte da vegetação de médio porte, cujas raízes estão alocadas nas descontinuidades do maciço rochoso e geram tensões internas em função da expansão radicular. Neste aspecto, deve-se atentar para não remover de imediato as raízes das árvores do interior das descontinuidades enquanto as obras de estabilização definitivas não forem efetuadas. Tão somente é recomendado o corte da vegetação porte a fim de interromper seu crescimento;
Remoção controlada (mecânica e manual) de blocos de pequeno e médio porte propensos ao movimento e em estado iminente de queda;
Melhoria da sinalização no local, atrelada a advertência/perigo para o risco de queda de blocos;
Implantação de barreira guard rail junto à encosta e delineadores de fluxo;
Implantação de barreiras e redes de proteção contra quedas de blocos, principalmente no terço inicial da encosta junto a rodovia;

Fonte: Dos Santos e Petermann, (2023)

Entre as medidas adotadas está a implementação de barreira guard rail, que posteriormente foi retirada. A implantação de barreiras e redes de proteção contra quedas de blocos, principalmente no terço inicial da encosta junto a rodovia, que possui como função a retenção de pequenos blocos na porção inferior (Figura 44). A remoção controlada de blocos também foi realizada, embora existam ainda grandes blocos em depósitos de talus próximos a rodovia.

O fluxo de veículos na MT 251 entre a Casa do Mel e a Salgadeira está sendo controlado pelo siga e pare, instalado nos dois pontos citados. Porém, cabe alertar que nas proximidades da Casa do Mel, na curva da Mata Fria, os veículos e trabalhadores ficam aguardando a liberação do fluxo em um ponto com risco de quedas de blocos. Na margem direita da rodovia (sentido Chapada dos Guimarães – Cuiabá) é possível observar diversos blocos de rochas inconsolidados (Figura 45) sendo alguns deles de dimensões métricas.

Figura 44: Blocos de rochas retidos pelas barreiras e redes de proteção contra quedas de blocos.



Fonte: Autores, 2024.

Figura 45: (A) escarpa de arenito da formação Botucatu situado próximo a MT 251, nas proximidades da Curva da Mata Fria; (B) depósitos de talus com blocos de rocha depositados a margem da rodovia.



Fonte: Autores, 2024.

Na gestão de risco alguns fatores são considerados, um deles é o risco em si, e outro é o tempo de exposição ao risco. No percurso entre a Salgadeira e a Curva da Mata Fria existem pontos com risco de quedas de blocos, ações podem ser realizadas buscando mudanças de percurso ou medidas estruturais para buscar uma solução definitiva que consiga reduzir ao máximo o risco de quedas de blocos na rodovia. Estas ações estruturais em geral demandam tempo e uma quantidade recursos mais elevadas, conforme os estudos realizados por Azambuja Engenharia e Geotécnia (2023), poderiam variar entre 228 milhões, no caso de realizar a

estabilização de todos os pontos críticos, sem que seja realizada a duplicação da estrada, 278 milhões em caso de duplicação mantendo o traçado atual, 450 milhões em caso de duplicação com túnel curto e 1,9 bilhões em caso de construção de um túnel longo. Outras opções de estabilização e estudos poderiam ser realizadas visando ações de mais baixo custo e que já possam garantir mais segurança para população.

Em relação ao tempo de exposição ao risco, o cenário atual de siga e pare, amplia o risco de desastre por alguns fatores, o primeiro deles, e que alguns carros ficam aguardando a liberação para seguir viagens exatamente em um ponto onde pode ocorrer quedas de blocos, ou seja, o tempo em que esse veículo ficará situado em uma área de risco será superior ao tempo que ficaria caso seguisse viagem. Ao seguir viagem em comboio, com carros muito próximo um ao outro, a capacidade resposta do motorista para parar ou acelerar o veículo fica limitada em caso de quedas de blocos, sendo assim, mais fácil um veículo ser atingido por um bloco. Desta forma, após concluídas as medidas emergências, a liberação do trânsito em ambos os sentidos seria a alternativa que manteria os veículos menos tempo em áreas de risco.

Em relação ao uso de opções alternativas para o fluxo de veículos em Cuiabá e Chapada dos Guimarães, como a Serra de São Vicente, é necessário salientar que neste trecho também existem locais com risco de queda de blocos. Além disso, o fluxo de veículos pesados pode representar um perigo ainda maior, considerando que o número de mortes por acidentes de trânsito em rodovias que possuem intenso tráfego de carretas é elevado. Desta forma, mesmo com risco de quedas de blocos em alguns pontos da rodovia, o percurso da MT 251 continua a ser a melhor opção para o trânsito em Cuiabá e Chapada dos Guimarães.

Algumas medidas podem ser realizadas para ampliar a segurança na via, entre elas:

- a) Ampliar as placas indicativas dos locais com risco de quedas de blocos;
- b) Reduzir a velocidade dos veículos na via para assegurar uma velocidade adequada para tomada de decisão em caso de quedas de blocos;
- c) Orientar os motoristas em relação a necessidade manter distância do veículo que está à frente, e fixar placas indicativas com essa orientação;
- d) Estabelecer de forma permanente sinalização na pista, próxima saída de Chapada dos Guimarães, em relação a alertas meteorológicos do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais CEMADEN que indiquem volumes chuvas elevados na rodovia, e/ou alertas quando o acumulado de chuva nas últimas 72h for superior a 100 mm;
- e) Manter o monitoramento da rodovia por câmeras de segurança;

- f) Realizar vistorias técnicas periódicas, a cada 2 meses, ou após eventos de chuva que superem 100 mm em 72h, com profissionais devidamente habilitados para análise de processos geológicos, para identificar eventuais mudanças de cenário nas áreas com risco elevado;
- g) Realizar alertas pelo SMS da Defesa Civil, sobre a possibilidade de ocorrência de desastres e de eventos adversos, acompanhados de recomendações ou ações emergenciais para a população em situação de risco.
- h) Orientar a população que transita pela rodovia sobre o sistema de alertas pelo SMS da Defesa Civil.
- i) Realizar a remoção de blocos, que em caso de queda, possam via oferecer risco, ou criar estruturas as margens da rodovia para reter os blocos em caso de queda.

As ações propostas, podem ampliar a segurança da população enquanto não for concluída as ações estruturais definitivas que possam ampliar a segurança da população que utiliza a MT 251.

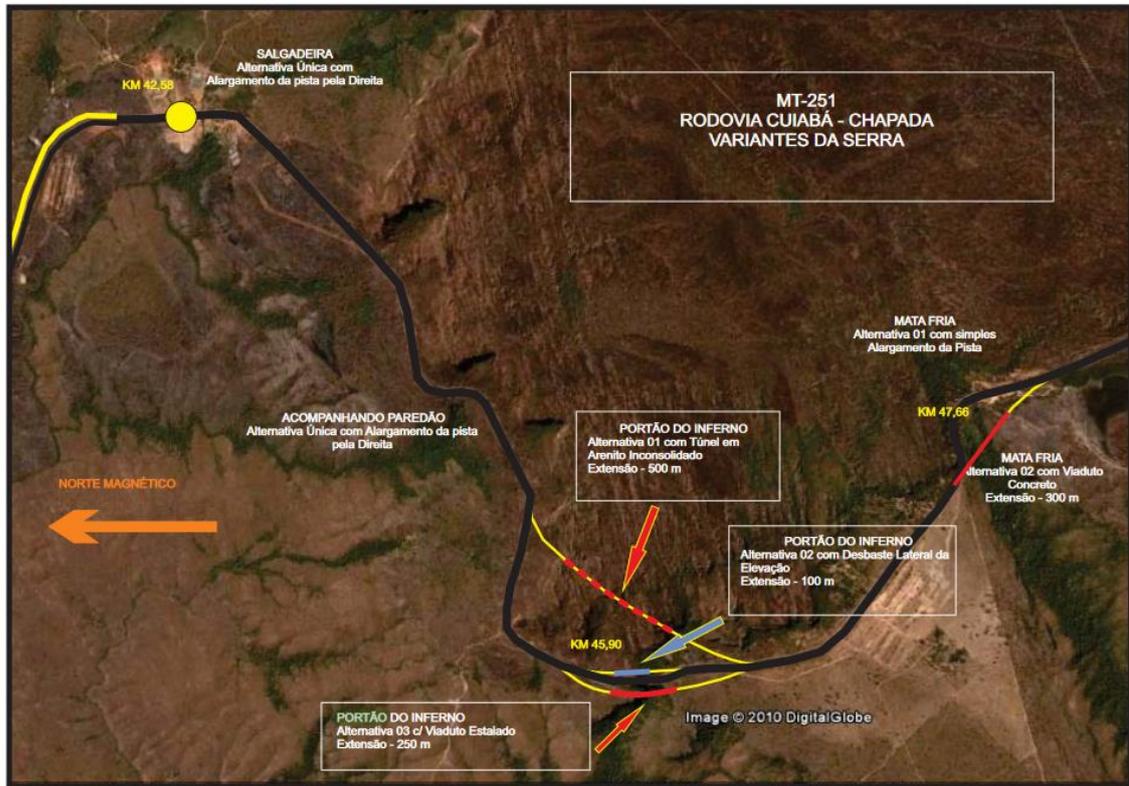
13. Análise de possíveis soluções definitivas

A busca de alternativas locacionais e tecnológicas, para a rodovia entre o Km 42 e 48 da MT 251, já foi objeto de diversos estudos, o mais antigo deles o realizado pela Ecoplan Engenharia (2013) durante os estudos para duplicação da MT 251 realizado em 2013, e mais recentemente Azambuja Engenharia e Geotécnia (2023) e SINFRA (2024)

No estudo realizado pela Ecoplan Engenharia (2013), foram analisadas as seguintes alternativas Figura 46: 01) túnel em arenito inconsolidado e extensão de 500 m; 02) desbaste lateral da elevação e extensão de 100 m; e 3) viaduto estaiado e extensão de 250 m. Além disso, foram apresentadas soluções para a Curva da Mata Fria, outro local crítico no trajeto, sendo elas: 01) simples alargamento de pista e 02) viaduto de concreto e extensão de 300 m.

Considerando as características geotécnicas, e o diagnóstico realizado no âmbito do Estudo de Impacto Ambiental (EIA) constatou que a melhor alternativa corresponde ao viaduto para o Portão do Inferno, em virtude das dificuldades técnicas e do impacto na paisagem relacionadas as alternativas de túnel e corte no morro. As considerações técnicas que levaram a equipe do estudo a essa conclusão pode ser verificada no item Geotecnia do relatório realizado pela Ecoplan Engenharia (2013).

Figura 46: Alternativas locais e tecnológicas.



Fonte: Ecoplan Engenharia, (2013)

O estudo realizado por Azambuja Engenharia e Geotécnia (2023) destacou o que o segmento entre o Km 42 e 48, requer intervenções com maior brevidade possível. Neste estudo além das opções locais para o Portão do Inferno, são apresentadas ações que podem ser realizadas em outros trechos da rodovia, que também apresentam risco de quedas de blocos (Fig. 47).

Figura 47: Soluções, valores e característica.

Solução	Valor Global (R\$)	Característica
1. Não duplicação e estabilização das escarpas com nova OAE	228.000.000,00	Mínima interferência na área do parque, ficando restrita às imediações da faixa de domínio da rodovia. Estrada com nível de serviço abaixo das necessidades locais.
2. Duplicação mantendo o traçado atual, estabilização das encostas e nova OAE dupla.	276.400.000,00	Pequena interferência na área do parque, com pouco alargamento da plataforma viária. Estrada com nível de serviço compatível com as necessidades locais
3. Duplicação com túnel longo	1.960.000.000,00	Obra com interferência apenas nos acessos aos emboques. É necessário identificar os volumes de bota-fora para a construção de túnel longo. Existem custos operacionais do túnel que são significativos. Os riscos de sinistros geotécnicos são menores.
4. Duplicação com túnel curto	450.800.000,00	Obra que separa da via o Portão do Inferno que permite melhor aproveitamento do potencial paisagístico. Combina as vantagens e desvantagens das soluções de túneis e de duplicação com manutenção do traçado

Fonte: Azambuja Engenharia e Geotécnia, (2023)

Os estudos realizados por SINFRA (2024) consideraram algumas possíveis soluções (Quadro 3).

Quadro 3: Propostas de soluções e descrição apresentadas pela Secretaria de Infraestrutura de Mato Grosso

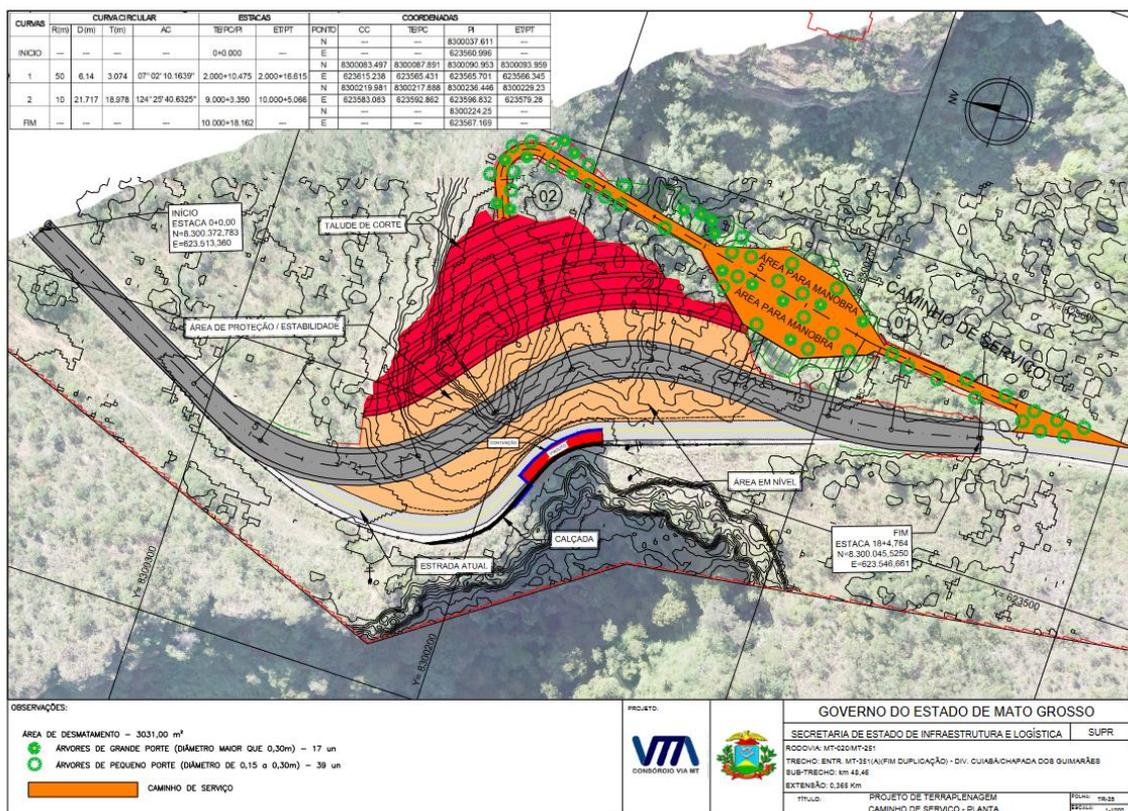
Solução	Descrição
01: Retaludamento	Essa solução implica em cortar o morro acima da estrada mudando a sua inclinação para um ângulo estável e criando patamares. Os patamares têm a função de reduzir a velocidade da água que corre pela encosta, amortecer a eventual queda de blocos e permitir a manutenção dos taludes e sua drenagem. Essa solução deve ser complementada pela estabilização da encosta sob a estrada. Além disso, se considerado que o talude sob a estrada atual é instável, é preciso haver um recuo traçado para dentro do morro.
02: Falso Túnel	Essa solução é de baixo impacto visual. Trata-se de criar uma estrutura que cubra toda a região de risco. O trabalho consiste em escavar um nicho na encosta e cobri-lo com estruturas de concreto. Os blocos de rocha que porventura se desprenderam das regiões acima caem sobre o teto desse falso túnel e se desviam para o despenhadeiro. Como no caso anterior, essa solução exige um tratamento da encosta sob o viaduto.
03: Redes de contenção e barreiras dinâmicas.	Redes de contenção e barreiras dinâmicas. Essa solução é um pouco mais complexa que as demais por conta da dificuldade em fixar as redes e as barreiras. A encosta acima da estrada seria tratada com redes de contenção até cerca de 35 m de altura. Depois disso, várias telas seriam instaladas para parar os blocos que se desprendem das partes mais altas. O impacto visual dessa solução é mínimo, uma vez que a vegetação a encontre no período de 1 ou 2 anos. Como nos casos anteriores, essa solução exige um tratamento da encosta sob o viaduto.
04: Túnel.	Essa solução se desvia do atual traçado da rodovia, evitando a região de queda de blocos. O que se propõe é um túnel curto, cerca de 80 m e a mudança do atual traçado. Nesse caso, a rodovia passaria dentro do morro, cerca de 50 m do atual local. Essa solução não impacta o trânsito de veículos durante a obra, nem mexe com as encostas sob o atual traçado.
05: Ponte estaiada.	A ponte estaiada é uma solução de baixo impacto ambiental, que não interfere no trânsito do atual traçado da rodovia. Essa ponte pode ser construída de tal sorte que se torne mais que uma passagem de veículos, mas um belvedere para apreciação de cenários. A ponte seria construída sobre o despenhadeiro, ancorada dentro do maciço distante das escarpas. Qualquer bloco que se desprenda acima ou abaixo do atual leito da estrada não interfere no funcionamento da ponte.

Fonte: SINFRA, (2024).

Dentre as alternativas, a SINFRA (2024), depois de vários estudos de Engenharia e Análise de Valor, optou-se pela Solução 01 (Figura 48), tendo em vista que:

- i. Propicia aos usuários obras definitivas, visando a trafegabilidade segura neste trecho rodoviário;
- ii. Apresenta curto prazo para execução das obras;
- iii. Solução técnica e economicamente mais viável;
- iv. Os serviços a serem executados não são dependentes de tecnologia sofisticada e de domínio restrito;
- v. Os serviços a serem executados apresentam média complexidade técnica;
- vi. Os métodos construtivos, equipamentos, materiais e mão de obra, utilizados para sua execução são frequentemente empregados;
- vii. Existem diversas empresas aptas a se habilitarem no certame licitatório;
- viii. No local do atual viaduto será instalado um belvedere, para contemplação de cenários.

Figura 48: Projeto de terraplanagem apresentado pela Secretaria de Infraestrutura de Mato Grosso



Fonte: SINFRÁ, (2024)

Estudos da SINFRÁ indicaram que o volume escavado seria de 81.953,00 m³ de em material de 1^a categoria e 81.953,00 m³ em material de 3^a categoria, as análises contudo foram realizadas com base nas sondagens realizadas nas rochas da Formação Furnas, e somente com um furo horizontal na base da Formação Botucatu. Observa-se que os volumes estimados no orçamento não guardam relação com a realidade, pois o material a ser escavado é composto de

forma integral pelas rochas da Formação Botucatu, e desta forma os dados utilizados para estimativa das características do material, não representam as características das rochas a serem escavadas.

Entretanto, Azambuja Engenharia e Geotécnia (2023) indicou que a porção superior da formação Botucatu possui uma resistência maior devido a silicificação. As camadas silicificadas da Formação Botucatu foram identificadas durante o desenvolvimento da pavimentação da MT 020, na altura do Morro da Lage. Embora a obra tenha sido tratada como terraplanagem, em verdade, a proposta apresentada pelo Sinfra se trata de um projeto de desmonte de rocha.

Com este volume de solo de 3ª categoria, é absolutamente necessário a utilização de explosivos, que podem vir a instabilizar outras regiões da MT-251 que, conforme indicado por este estudo, possuem riscos médios a altos de queda de bloco.

A inexistência de vias de acesso ao topo, e as dificuldade de desenvolver as vias pela rota proposta, somadas a distância elevada até o bota fora dos materiais que serão extraídos, e o volume elevado de material, indicam que o prazo de 120 dias dificilmente será factível. A falta de conhecimento sobre o maciço e o conjunto de descontinuidade e planos de fraturas apresentados no capítulo de geologia estrutural, ampliam o risco de problemas no decorrer da obra, relacionados a movimentações de blocos não planejadas.

O desmonte de rocha do morro do Portão do Inferno pode levar também a movimentações geológicas que venham a comprometer o viaduto atual, impossibilitando o trânsito. Diferente de outras propostas como viaduto ou túnel, o desenvolvimento retaludamento, levará no mínimo a uma interdição parcial da rodovia durante, no horário de desenvolvimento da obra, ou seja, durante o dia. Porém devido a fatores de segurança e/ou em virtude de quedas de blocos não planejadas, o desmonte de rocha pode interditar totalmente a via.

A população de Chapada dos Guimarães já vem sofrendo com os impactos econômicos em virtude dos problemas geológicos-geotécnicos no portão do inferno. A adoção do siga e pare tem sido um dos fatores que contribuem para redução do número de visitantes, fundamental para aquecimento do turismo e do setor de bares e restaurantes. A interdição total durante o dia, ou uma possível interdição total da vida por causa de quedas de blocos ou movimentações geológicas que venham a impactar o viaduto, gerariam um impacto ainda maiores no município.

A possibilidade de ampliação de prazos em virtude da falta de conhecimento é outro fator latente na proposta apresentada.

O desmonte de rocha é a opção com maior impacto ambiental, levando mudanças na paisagem, na hidrogeologia da área, além de representar a remobilização de uma quantidade elevada de material rochoso. O desmonte também é uma opção com impacto social significativo, com alta possibilidade de fechamento da via, e ampliação da crise econômica e social causada pela queda de visitantes. As incertezas geológicas apresentadas, indicam que o valor proposto de 29 milhões para obra, pode estar subrepresentado. Desta forma, a opção do retaludamento pode representar uma alternativa ruim do ponto de vista ambiental, social e até mesmo econômico.

A ausência de rota alternativa viável a uma operação deste porte, com cronograma de execução tão curto e risco de interdição agrava a situação econômico-social da cidade de Chapada, pois uma interdição maior que o previsto inicialmente, o que com grandes chances vai ocorrer, pode vir a comprometer a vida de inúmeros cidadãos, além de que todo o processo desestabiliza ainda mais a região.

A opção do túnel, embora possa ser realizada sem interferência na via, ou seja, sem que se amplie os impactos econômicos em Chapada dos Guimarães, possui dificuldades técnicas relacionadas ao grau de fraturamento elevado do maciço, e as características do arenito, que possui porções com baixa capacidade de suporte. Além disso, os processos de quedas de blocos poderiam ainda ser um problema na entrada e na saída do túnel.

A opção do viaduto sobre o portão inferno, pode ser a melhor opção, por representar o menor impacto ambiental, e por permitir que o fluxo de veículos continue normalmente na vida. Porém pode ser que possua um custo mais elevado em comparação a previsão inicialmente para o retaludamento. As rochas do Grupo Cuiabá, compõem o fundo do vale do Portão do Inferno, e possuem capacidade de suporte para eventuais fundações que venham a suportar a estrutura do viaduto.

14. Considerações finais

Conforme já citado por diversos estudos (Ecoplan Engenharia 2013; Azambuja Engenharia e Geotécnia 2023; Dos Santos, 2022) no percurso entre o km 42 e o km 48 existe risco de quedas de blocos, que podem vir a afetar a área da rodovia. Os mapas indicando a área crítica de dispersão apresentados neste trabalho podem contribuir para identificar locais prioritários para intervenção.

O Portão do Inferno é o local com maior risco, devido à proximidade entre a escarpa e a estrada, e devido à altura da escarpa e o grau de fraturamento elevado do maciço. Os estudos realizados neste trabalho sobre a escarpa inferior e sobre a ponte do Portão do Inferno, indicam que o local necessita de vistorias periódicas, porém no cenário atual não apresenta risco eminente de ruptura que possa afetar o viaduto. Desta forma, é possível a retomada de trânsito de veículos, entre eles ônibus e caminhões de até 12t de peso bruto total do veículo, considerando o volume médio de tráfego que ocorre normalmente entre as cidades de Cuiabá e Chapada dos Guimarães, para qual a ponte foi dimensionada. Somente será necessário a adoção de siga e pare ou a interdição da via em caso de desenvolvimento de obras. É imperioso lembrar que a avaliação e acompanhamento de uma ponte de cinquenta anos de idade deve ser realizada frequentemente, tanto pela idade dos materiais constituintes quanto por eventos pontuais que possam danificar a estrutura da ponte.

Outro ponto sensível e de grande atenção é a escarpa da curva anterior a Mata Fria (km 48), onde atualmente o tempo de exposição dos carros no sistema de siga e pare, amplifica acentuadamente a possibilidade de risco de quedas de blocos, pois como apontam os dados de área crítica, os blocos em queda poderão atingir diretamente uma área de 16m, isto é, as duas faixas da pista de rolagem e os dois acostamentos.

Portanto, as diversas metodologia e técnicas usadas neste relatório corroboram de forma direta e necessária a atenção dispensada pelos órgãos federais, estaduais e municipais em uma solução assertiva economicamente, ambientalmente e dentro de prazos reais para estancar as dificuldades da população chapadense e a todos que frequentam o território de Chapada dos Guimarães.

Bibliografias

ALVALÁ CSR, DIAS CMA, SAITO SM, STENNER C, FRANCO C, AMADEU P, RIBEIRO J, RODRIGO AMORIM SANTANA RASM, NOBRE CA. Mapping characteristics of at-risk population to disasters in the context of Brazilian early warning system. *International Journal of Disaster Risk Reduction* 41, 101326, 2019.

AMORIM KB; RUBERT RR. Contexto geológico regional. In Geoparque Chapada dos Guimarães: uma viagem pela história do planeta / organização Caiubi Emanuel Souza Kuhn, Flávia Regina Pereira Santos. -- Cuiabá, MT: Associação Profissional dos Geólogos do Estado de Mato Grosso - AGEMAT : Federação Brasileira de Geólogos - FEBRAGEO, 2021.

IANNOTTI, ATC. Projeto De Engenharia, Relatório do projeto e documentos para concorrência, Consórcio via MT. Volume 1, 2014.

ANTT 2024. Comitê Climático da ANTT divulga balanço de interdições por fenômenos da natureza. <https://www.gov.br/antt/pt-br/assuntos/ultimas-noticias/comite-climatico-da-antt-divulga-balanco-de-interdicoes-por-fenomenos-da-natureza>

AUGUSTO FILHO, O. Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica. In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS, 1., 1992. Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: p. 721-733, 1992.

AZAMBUJA ENGENHARIA E GEOTÉCNIA. Relatório técnico avaliação das encostas à margem da mt-251 entre o km42 e o km48 – portão do inferno RTA Engenheiros Consultores LTDA, 2023.

BARROS, A. M., SILVA, R. H., CARDOSO, O. R. F. A., FREIRE, F. A., SOUZA JR, J. J., RIVETTI, M., TASSINARI, C. C. G. Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação e Uso Potencial da Terra. Folha Cuiabá, SD-21. BRASIL, MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. Projeto Radambrasil Cuiabá Projeto: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra Rio de Janeiro: ministério das Minas e energia, v. 26, 1982.

BITAR, O.Y. et al. Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações: 1:25.000: nota técnica explicativa. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo; Brasília, DF: CPRM, 42p. 2014.

CONCIANI, W. Relatório Técnico 05/2024.

DOS SANTOS VO, PETERMANN D. Report e relatório de vistoria técnica em decorrência de deslizamentos e queda de blocos rochosos na MT – 251, imediações do Portão do Inferno. Obra: restauração e revitalização, Rodovia: MT-251, trecho: entre Cuiabá e Chapada dos Guimarães, 2023.

DOS SANTOS, D. Atrativos Naturais para visitação turísticas e riscos geológicos. Relatório Parcial. Estudo de caso - Portão do inferno. Companhia MatoGrossense de Mineração (METAMAT), 2022.

ECOPLAN ENGENHARIA, Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e Relatório de Impacto Ambiental (RIMA), referente a Duplicação da Rodovia MT-251 (Rodovia Emanuel Pinheiro), Trecho: Cuiabá - Chapada dos Guimarães, Sub-Trecho: Entrº MT-351 (Acesso à Manso) - Chapada dos Guimarães, com extensão de 44,2 KM, Secretaria do Estado de Transporte e Pavimentação Urbana (SETPU), 2013.

ELLISON, W. D. Soil Erosion. Soil Science Society American Proceedings. v. 12, n. 5, p. 479-484, 1948.

FARIA TO; SANTOS FRP; DE JESUZ CR; DOS SANTOS JÚNIOR CR. Características Do Meio Físico Do Geoparque Chapada Dos Guimarães. In Geoparque Chapada dos Guimarães: uma viagem pela história do planeta / organização Caiubi Emanuel Souza Kuhn , Flávia Regina Pereira Santos. -- Cuiabá, MT: Associação Profissional dos Geólogos do Estado de Mato Grosso - AGEMAT : Federação Brasileira de Geólogos - FEBRAGEO, 2021.

FELL, R. et al. On behalf of the JTC-1 Joint Technical Committee on Landslides and Engineered Slopes: guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning. Eng. Geol., v. 102, p. 85-98, 2008.

JUCÁ, CCA. Relatório do Levantamento Geofísico, tomografia Elétrica - Varredura Lateral do Subsolo (resistividade elétrica para mapeamento estrutural). Geoscan, geologia e geofísica, 2021.

JULIEN, P. Y. Erosion and Sedimentation, 2nd ed. Cambridge University Press. 2010. 371 p

LANA JC; DE JESUS, D; ANTONELLI, T. Guia de procedimentos técnicos do Departamento de Gestão Territorial / Organizado por Julio Cesar Lana et al. [...] Brasília : CPRM, 2021.

MAINIERI R. Is forest a robust indicator of rockfall dynamics within the context of environmental changes?. *Environmental studies*. Université Grenoble Alpes [2020-..], 2020. English. NNT : 2020.

MAINIERI, R., ECKERT, N., CORONA, C., LOPEZ-SAEZ, J., STOFFEL, M., AND BOURRIER, F.: Limited impacts of global warming on rockfall activity at low elevations: Insights from two calcareous cliffs from the French Prealps, *Prog. Phys. Geogr.*, 47, 50–73, , 2022.

MERRITT, W. S.; LETCHER, R. A.; JAKEMAN, A. J. A review of erosion and sediment transport models. *Environmental Modelling & Software*. v. 18, p. 761-799, 2003

MILANI, E. J., RANGEL, H. D., BUENO, G. V., STICA, J. M., WINTER, W. R., CAIXETA, J. M., e NETO, O. P. Bacias sedimentares brasileiras: cartas estratigráficas. Anexo ao Boletim de Geociências da Petrobrás, 15(1), 183-205. 2007.

MINISTERIO DAS CIDADES; INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLOGICAS. Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios. Brasília: 2007. 176 p.

MINISTRY OF CONSTRUCTION. River Bureau. Erosion Control Dept. Sloped LandConservation Section. Procedures for survey of landslide danger zones. Tokyo, 1996.

MINISTRY OF LAND, INFRASTRUCTURE, TRANSPORT AND TOURISM (MLIT). Sabo Department. Manual concerning survey of valleys where debris flow occurs and dangerous areas of debris flow. Tokyo, 1988.

MORGAN, R. P. C. Soil erosion and conservation. Oxford, Blackwell Science Ltd: 2005. 304p.

PIMENTEL J, DOS SANTOS TD, Manual de Mapeamento de Perigo e Risco a Movimentos Gravitacionais de Massa – Projeto de Fortalecimento da Estratégia Nacional de Gestão Integrada de Desastres Naturais – Projeto GIDES. (livro eletrônico): CPRM - Coordenação: Jorge Pimentel e Thiago Dutra dos Santos. – Rio de Janeiro: CPRM/SGB – Serviço Geológico do Brasil, 2018; Versão 1. 213 páginas (pdf), 2018.

RELATÓRIO NE018/21, sonsagens rotativas e prova de carga de arrancamento tirantes. Nacon condagens, 2021.

SASS, O. AND OBERLECHNER, M.: Is climate change causing increased rockfall frequency in Austria?, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 12, 3209–3216, 2012. <https://doi.org/10.5194/nhess-12-3209-2012>,.

SINFRA 2024, ESTUDO TÉCNICO PRELIMINAR (ETP) – Obra de Implantação e Pavimentação da Rodovia MT-020/MT-251 e Retaludamento de Encosta (Região denominada Portão do Inferno). ETP Nº 020/2024/SAOR/SINFRA-MT

TAMOIOS 2024, RISCO DE INTERDIÇÃO DA SERRA ANTIGA DA RODOVIA DOS TAMOIOS, <https://www23.concessionariatamoios.com.br/noticias/show/1364/RISCO+DE+INTERDI%25C3%2587%25C3%2583O+DA+SERRA+ANTIGA+DA+RODOVIA+DOS+TAMOIOS>

THOMÉ FILHO, JJ (Org.) Sistema de Informação Geoambiental de Cuiabá, Várzea Grande e Entorno – SIG CUIABÁ. Org. Jamilo J. Thomé F, Gilberto Scislewski, Edgar Shinzato, Gustavo A. Rocha, Marcelo Dantas, Prudêncio R. Castro Jr., Eric S. Araújo, Denise C. R. Melo, Regina Célia Gimenez Armesto, Lígia Maria Nascimento de Araújo. Goiânia: CPRM, 2004.

UNISDR. UNISDR Terminology on Disaster Risk Reduction. United Nations. 2009. 35p

WEI LW , CHEN H, LEE CF, HUANG WK, LIN ML, CHI CC, LIN HH. The mechanism of rockfall disaster: A case study from Badouzi, Keelung, in northern Taiwan. *Engineering Geology*, Volume 183(9): 116-126, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2014.10.008>

XAVIER, FF (2020) Parecer SEI nº 2/2020-PARNA Chapada dos Guimarães/ICMBio, processo: 02097.000280/2019-78.