XXII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
XI Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
24 a 28 de agosto de 2026 – Brasília/DF
DOI: 10.47094/COBRAMSEG2026.6/12

Mapeamento Geotécnico Litoestrutural do Maciço do Portão do Inferno – Chapada dos Guimarães/MT

Henrique de Oliveira Ramos
Geólogo Geotécnico, MZ Geológica LTDA, Cuiabá - MT, Brasil, mzgeologica@gmail.com

Cristiano Zandoná dos Santos
Engenheiro Civil, Zandoná Consultoria Ltda, Cuiaba - MT, Brasil, cristianozandona@uol.com.br

Wilson Conciani
Consultor, Cuiabá - MT, Brasil, concianiw@gmail.com

RESUMO: Este estudo tem como objetivo apresentar o mapeamento geológico geotécnico litoestrutural do maciço do Portão do Inferno, composto pelos arenitos friáveis e silicificados das Formações Furnas e Botucatu, localizado as margens da Rodovia MT-251, porção esta locada sob zona de falha geológica com forte incidência de agentes intempéricos. Adjacente ao maciço rochoso foi instalado um pontilhão sobre patamar de modo a viabilizar a ligação entre as cidades de Cuiabá e Chapada dos Guimarães, trecho este que tem sido observada a queda de blocos provenientes dos níveis acima e abaixo do leito estradal. O mapeamento geológico geotécnico correlaciona descrições sistemáticas das exposições rochosas, com subdivisões das litofácies presentes, correlacionando suas composições, RQD, graus de alteração, coesão, granulometria, cimentação e disposição estrutural das descontinuidades (falhas, fraturas e veios), com materialização das continuidades destes planos, como forma de avaliação dos possíveis pontos de ruptura e zonas preferenciais para percolação de água. Este trabalho conta com dados de perfis de sondagem, linhas geofísicas e ensaios laboratoriais de caracterização. O produto proposto para este trabalho se resume a materialização cartográfica da geologia local junto a perfis longitudinais do maciço.

PALAVRAS-CHAVE: Mapeamento geológico geotécnico, Arenitos friáveis, Zona de falha.

ABSTRACT: This study aims to present the geological, geotechnical, and lithostructural mapping of the Portão do Inferno massif, composed of friable and silicified sandstones of the Furnas and Botucatu Formations, located along the MT-251 highway. This portion is situated under a geological fault zone with a strong incidence of weathering agents. Adjacent to the rock massif, a bridge was installed on a platform to enable the connection between the cities of Cuiabá and Chapada dos Guimarães. In this section, rockfalls from levels above and below the roadbed have been observed. Geotechnical geological mapping correlates systematic descriptions of rock exposures with subdivisions of the lithofacies present, correlating their compositions, RQD (Relative Quality of Disruption), degrees of alteration, cohesion, granulometry, cementation, and structural arrangement of discontinuities (faults, fractures, and veins), with the materialization of the continuities of these planes, as a way of evaluating possible rupture points and preferential zones for water percolation. This work includes data from borehole logs, geophysical lines, and laboratory characterization tests. The proposed product for this work is summarized as the cartographic materialization of the local geology along with longitudinal profiles of the rock mass.

KEYWORDS: Geotechnical and geologic mapping, Friable sandstone, Fault zone.

1 INTRODUÇÃO

Este artigo apresenta o produto cartográfico gerado a partir do mapeamento geotécnico litoestrutural de detalhe do maciço do Portão do Inferno, com topo rochoso que perfaz área aproximada de 1,1 hectare, localizado as margens da rodovia MT – 251, divisa municipal de Cuiabá e Chapada dos Guimarães, estado de Mato Grosso. A área em questão vem sofrendo interdições recorrentes no tráfego de veículos em

decorrência de riscos geológicos de movimento de massa, com risco de queda de blocos rochosos sobre o pontilhão existente na encosta, além do alerta quanto à instabilidade do bloco rochoso da base da estrutura.

No ano de 2024 foram adotadas medidas emergenciais para a região do Portão do Inferno, com a aplicação de planos de monitoramento para identificação em tempo real de possíveis movimentos de massa, processos erosivos, subsidências, entre outros eventos naturais que possam comprometer a estabilidade da encosta e do viaduto, onde dados da Secretaria de Infraestrutura de Mato Grosso (SINFRA-MT) apontam que de dezembro de 2023 a fevereiro de 2024 foram contabilizados 16 eventos de movimento de massa na região, com a ocorrência de queda de blocos e corrida de detritos associados a precipitações de chuva sobre o pontilhão.

Como parte dos planos de monitoramento ambientais indicados para o local, de agosto de 2024 a julho de 2025, foi realizado mapeamento geológico de detalhe do maciço junto a baterias de ensaios geotécnicos (sondagem mista e análises laboratoriais), além da execução de linhas geofísicas para projeção das descontinuidades, com objetivo de descrever as exposições rochosas e materializar a geologia local, como subsídio técnico para implantação de obras de infraestruturas locais. O produto cartográfico resultado deste estudo tem escala de investigação de 1:10.000, acompanhado de perfil longitudinal do maciço, desenvolvidos com a interpolação dos resultados obtidos.

2 GEOLOGIA LOCAL

Segundo Ross (2014), as escarpas da Chapada dos Guimarães, por vezes, sofrem fortes influências de falhamentos com atuação de processos erosivos plúvio-fluviais nestes planos, esculpindo relevos com forte dissecação, o que corrobora com a formação de vales muito profundos, estreitos e com encostas escarpadas, como pode ser observado na área do estudo, aflorando rochas das Formações Furnas e Botucatu, com formação de patamar resultado da erosão diferencial entre as litologias (arenito eólico e fluvial transicional).

De forma geral, na área do estudo, o patamar da chapada é composto pelas rochas da Formação Furnas enquanto a porção topograficamente superior é composta pela Formação Botucatu, diz Silva (2018). Autores identificaram por fotointerpretação dois padrões de lineamentos estruturais regionais, com *trends* preferenciais para NE e NW, associadas a formação da bacia do Paraná (*grabens e hosts*), projetando-se padrões principais de ruptura em cunha.

As rochas da Formação Furnas, de idade devoniana, afloram localmente abaixo do leito estradal como arenitos puros de granulação de média a grossa, com presença de seixos, friáveis e imaturos, e estratificações cruzadas, de coloração branca e amarela, localmente arroxeado (Lacerda e Filho *et al.*, 2004). Em decorrência dos falhamentos locais são observadas descontinuidades penetrativas, abertas, semiverticais que interceptam acamamentos horizontalizados bem definidos, geotécnicamente propício para a formação natural de blocos instáveis (Conciani, 2024).

Acima do nível do viaduto afloram rochas da Formação Botucatu, de idade juro-cretácica, interpretado como um clássico depósito residual de dunas eólicas como um sistema eólico seco (Lacerda e Filho *et al.*, 2004), constituída em arenitos avermelhados, finos a médios, friáveis, contendo grãos esféricos, arredondados e foscos. Esses arenitos apresentam estratificações cruzadas acanaladas de grande porte, estratificações cruzadas tabulares, tangenciais e plano-paralelas.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Mapeamento Geológico Litoestrutural

Como referência de apoio, as metodologias e boas práticas aplicadas no mapeamento geológico deste estudo teve como referência o “Guia de Procedimentos Técnicos, Volume 1, do Serviço Geológico do Brasil (Medeiros e Rosa Costa, 2020), como forma de padronizar os resultados perante a academia e assegurar a validação dos produtos. O mapeamento geológico sistemático fora realizado com pontos de descrição preestabelecidos, a depender da viabilidade de acesso as porções marginais do maciço, espaçados em malha regular aproximada de 100 m, com detalhamento nas faixas fraturadas e zonas de falha. Nos pontos descritos

foram catalogadas as litologias com base nas sua granulometria, composição dos grãos, cimentação, graus de alteração, graus de fraturamento, presença de descontinuidades e estruturas sedimentares relevantes. Os equipamentos utilizados ao longo dos levantamentos de campo foram: caderneta de campo, máquina fotográfica (*smartphone*), bússola, GPS (*Global Positioning System*), martelo, bisnaga de ácido clorídrico, canivete e lupa, imã.

O levantamento topográfico do local foi realizado por método indireto, com o uso de tecnologia *LiDAR* (*Light Detection and Ranging*), pré supressão vegetal, para modelamento tridimensional primitiva do maciço, nos permitindo gerar curvas de nível de precisão e análises geomorfológicas para o planejamento de caminhamentos de campo.

3.2 Análises Geotécnicas Laboratoriais

Para ensaios de caracterização geotécnicas, ao longo da área de estudo foram coletadas amostras em porções pré-determinadas, com amostragens indeformadas e amolgadas para caracterização geotécnica em níveis específicos do maciço. As amostras coletadas foram submetidas a ensaios como: Análise granulométrica; Limites de Atterberg; Ensaios de Cisalhamento Direto e Triaxial; Índice de suporte Califórnia (ISC).

3.3 Levantamento Geofísico e Sondagens Geotécnicas

Em seguida ao mapeamento, foram determinadas 7 linhas geofísicas, pelo método eletrorresistivo (Sondagem Elétrica Vertical – SEV, arranjo Dipolo-Dipolo), totalizando aproximadamente 870 metros de arranjo, de forma a interceptar as principais descontinuidades do maciço, que por meio dos contrastes de resistividade elétrica se torna possível classificar e determinar os principais planos de fluxo d'água em subsuperfície (Telford *et al*., 1990), característica de comum observação em zonas fraturadas e caixas de falha, por se tratar de um contexto litológico de baixa condutividade (arenito). Os levantamento geofísicos na área foram realizados com equipamento GEOSINAL, modelo GEO_EF 800. Braga *et al.* (2016) obtiverem bons resultados com essa técnica ao mapear feições da Formação Botucatu em São Paulo.

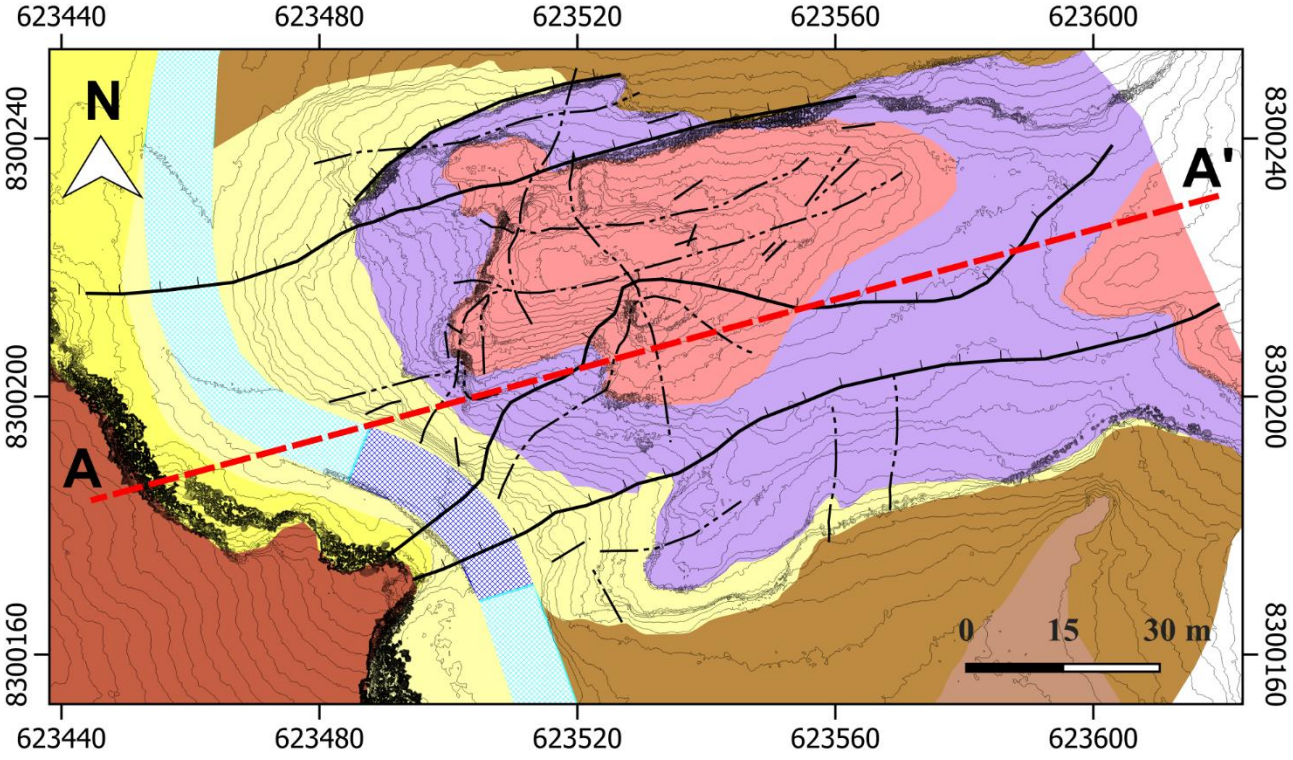
Com base nos resultados das linhas geofísicas, como método de investigação direta, foram realizados 5 furos de sondagem mista no local, com 3 pontos de ensaio locados no nível de pista (aproximadamente 25 metros de profundidade por furo) e 2 furos nas cotas de topo do maciço (aproximadamente 50 metros de profundidade por furo), com içamento dos equipamentos de sondagem viabilizados pelo uso de guindaste.

Os ensaios de sondagem foram executados e analisados de acordo com as normas ABNT NBR 6484/2020 e DNER-PRO 102-97, para sondagens de reconhecimento pelo método rotativo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O mapeamento geológico foi executado após a supressão de vegetação do maciço para melhor visualização das descontinuidades e contextualização geológica estrutural total da área com a catalogação de 80 pontos de descrição, com controle de coordenadas. Como resultado das descrições de campo e sistematização dos dados foi elaborado o Mapa Geológico do Portão Inferno (Figura 1) em escala de 1:500.

Os caminhamentos terrestres do mapeamento foram restritos ao maciço localizada a montante do nível estradal, nos permitindo observar a ocorrência de 3 (três) litofácies principais, denominadas neste estudo como Inferior, Intermediária e Superior.



LEGENDA

- Formação Botucatu (Litofácie Superior)
  - Arenito fino a médio, fraturado, ferruginoso, muito brando a mediamente resistente, avermelhado.
- Formação Botucatu (Litofácie Intermediária)
  - Arenito fino, fraturado, brando a mediamente resistente, rosa/roxa.
- Formação Botucatu (Litofácie Inferior)
  - Arenito fino a médio, fraturado, limonitizado, muito brando a brando, amarelado.
- Formação Botucatu
  - Depósito de Talus
- Formação Botucatu
  - Areia fina siltosa, limonitizada, amarela clara
- Formação Furnas
  - Arenito fino a médio, brando a resistente, com intercalações argilicas, fraturada, cinza/marrom
- Grupo Cuiabá (Subunidade 7)
  - Metadiamictitos petromíticos, com clastos e raras intercalações de filitos.
- Viaduto do Portão do Inferno
- Rodovia MT - 251
- Curvas de Nível - Intervalo de 2 metros
- Falhas Extensionais
- Planos de Fratura Principais
- Perfil Longitudinal A-A'

Figura 1. Mapa Geológico do Portão do Inferno (DATUM SIRGAS 2000 - 21L).

A litofácie da base do maciço, denominada litofácie inferior, tem seu início na cota da rodovia com espessura variando entre 14 e 22 metros, perfazendo cotas de elevação entre 464 m e 486 m, composto de arenito médio (NBR 6502:1995), caulínico, feldspáticos, com aparente grau de limonitização, com

laminações plano paralelas de escala milimétrica em afloramento, apresentando pontualmente sinais de percolação de fluidos enriquecidos em ferro (Figura 2a), majoritariamente friável e com coloração amarela.

A litofácie denominada intermediária apresenta espessura variando entre 12 e 21 metros, perfazendo cotas de elevação entre 486 m e 508 m, composto preferencialmente de arenito de granulação fina (NBR 6502:1995) com silicificação moderada, colaborando assim para uma rocha de reologia mais resistiva, por vezes conglomerática, com presença de clastos arredondados compostos de caulim (Figura 2b), depositado em acamamentos tabulares, perfazendo coloração rosa arroxeada. Observa-se que nesta litofácie as porções de contato entre as camadas apresentam maiores graus de silicificação, evento este determinante para o modelamento dos patamares nas regiões periféricas do maciço.

A litofácie superior do maciço apresenta espessuras mais relevantes, variando entre 18 e 22 metros, perfazendo cotas de elevação entre 508 m a 532 m, composto de arenito médio (NBR 6502/1995), com estratificações plano paralelas e estratificações cruzadas, cimentação ferruginosa, mediamente friável e com coloração avermelhada. São presentes nesta litofácie diversos pontos de acentuada silicificação do arenito, correlacionadas com os principais planos de fratura, formando nos blocos uma espécie de “capa” resistente (Figura 2c).

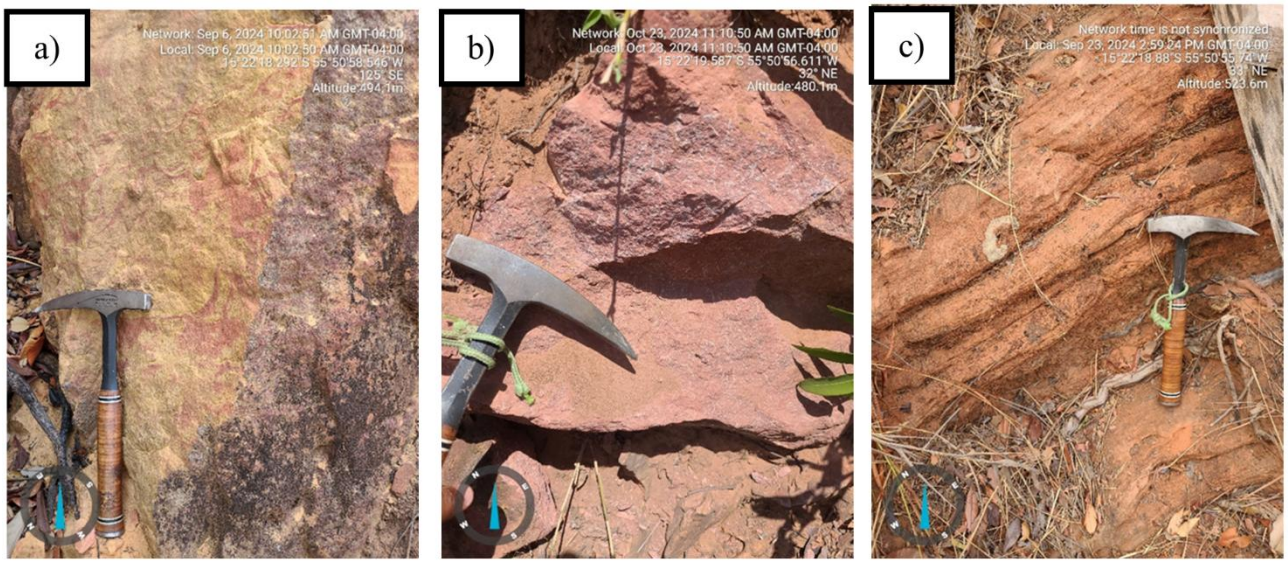


Figura 2. a) Sinais de percolação de fluidos ricos em Fe em meio as rochas da litofácie inferior. b) Imagem em escala de afloramento da litofácie intermediária. c) Imagem em escala de afloramento da estratificação presente na litofácie superior.

Como produto da correlação das linhas geofísicas, furos de sondagem e o mapeamento geológico preliminar foram elaborados perfis longitudinais (Figura 3), denominados A-A', como forma de ilustrar as projeções das descontinuidades relevantes e espessura das litofácies locais. As linhas geofísicas posicionadas perpendicularmente aos fraturamentos e falhamentos principais investigaram indiretamente o maciço, mostrando forte condutividade elétrica nestas faixas (Figura 4), associado a baixa recuperação de amostras em ensaios de sondagem realizados sobre estes planos.

Os arenitos da Formação Furnas apresentam forte silicificação quando comparados com os arenitos friáveis da Formação Botucatu, dado este confirmado pelos testemunhos de sondagem analisados, com a melhora expressiva nas taxas de recuperação e coesão das amostras destes níveis, com cotas destes contatos variando entre 458 m e 464 m de altitude nesta região.

Ambas as litofácies analisadas apresentaram Classificação HRB (*Highway Research Board*) mostrando predominância geotécnica de areia fina de praia ou desértica não plástica com teores de silte excedendo os limites de A3, com comportamento de subleito excelente a bom, sem propriedades expansivas.

Em resumo, segundo DNIT (2006), as litofácies do maciço foram classificadas como SP-SM, porém uma das amostras analisadas trouxe classificação SM para a litofácie intermediária, devido a maior presença de finos neste horizonte, com amostragem realizada na zona de falha principal do maciço. Os valores médios de CBR das litofácies não apresentaram variação expressiva, com resultados abaixo de 8%, com destaque

para as litofácies intermediária e superior, que perfazem respectivamente os maiores e os menores índices, em geral com umidades ótimas médias abaixo de 10%.

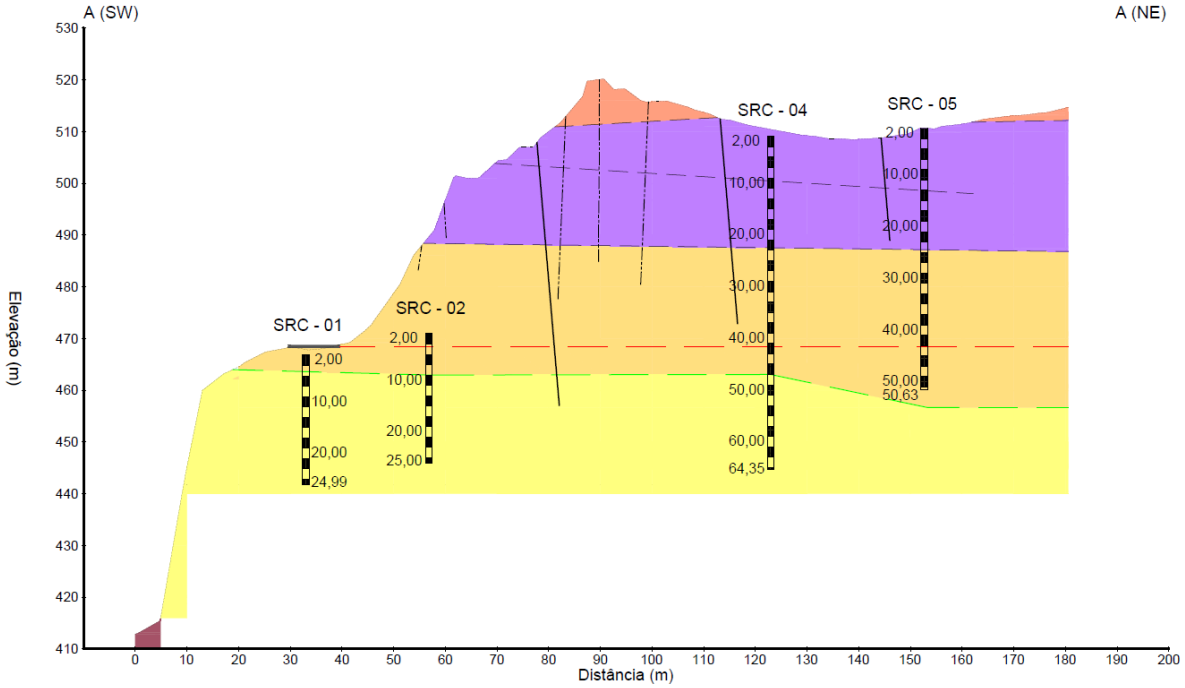


Figura 3. Perfil geológico longitudinal A-A', locado na Figura 1. São ilustrados no perfil o contato entre as Formações Furnas e Botucatu (linha tracejada verde), com locação dos furos de sondagem executados no nível de pista (linha traceja vermelha) e sobre o maciço. Também estão indicadas na figura os planos de falha (linhas cheias pretas) identificados, fraturas (linha tracejada alternada com dois pontos) e acamamentos sedimentares (linha tracejada preta), além as formações geológicas, que seguem os padrões estabelecidos pelo Mapa Geológico de detalhe (Figura 1).

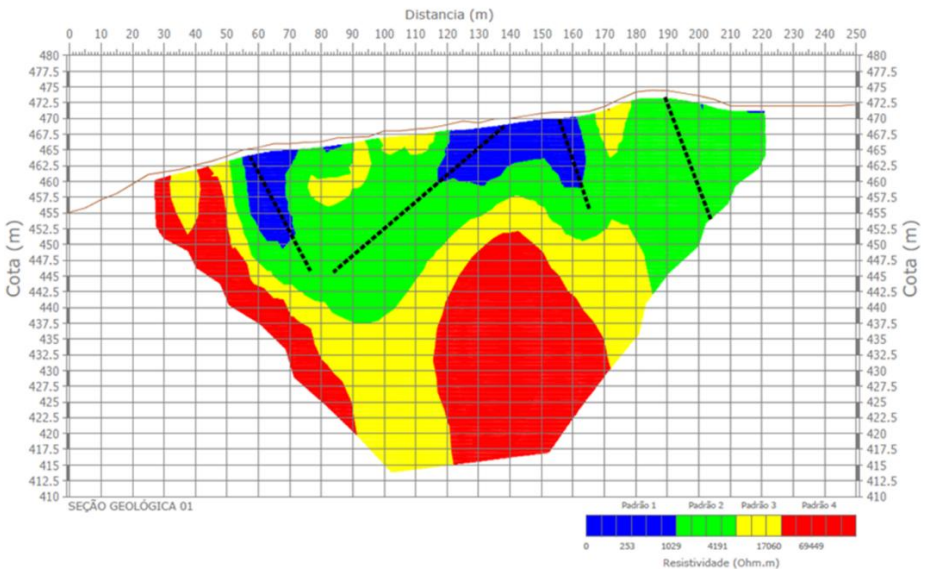


Figura 4. Sessão geofísica 01 com contrastes de baixa resistividade na caixa de falha principal da área de estudo (ECOPLAN, 2025).

Como ilustrado no mapa litoestrutural, são presentes 4 zonas de falha extensionais no Portão do Inferno, de escala regional com direção NE-SW e *dip* em alto ângulo para NW e SE (Figura 5a). Associadas

a estas descontinuidades principais são observados veios quartzofeldspáticos controlados de escala centimétrica (Figura 5b) e brechamentos.

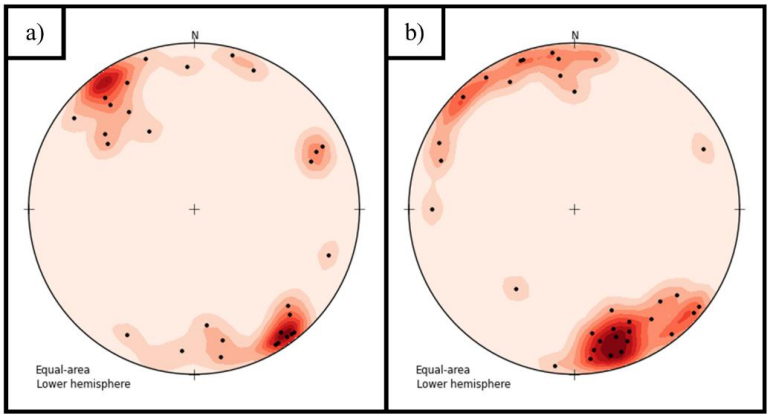


Figura 5. a) Estereograma com planos de falha medidos (n = 29), mostrando *trend* com direção NE-SW, com *dip* em alto angulo para NW e SE. b) Estereograma com veios de quartzo medidos (n = 34), concordante com os planos de falha.

Os ensaios de resistência ao cisalhamento trouxeram resultados expressivos quanto a diferenciação das litofácies em estudo com destaque para a litofácie intermediária, que apresenta valores consideravelmente mais elevados de coesão (c), alcançando 36,5 KPa de resistência devido a maior presença de matriz fina nestes níveis. Os ensaios realizados na litofácie inferior do maciço mostraram coesões nulas ou da ordem de 10 kPa. Essa diferença é devida ao grau e tipo de cimentação encontrada nas duas litofácies. As mesmas considerações são feitas para o ângulo de atrito, porém as litofácies mostram relativa similaridade, com resultados de ângulos de atrito internos variando entre 29 graus e 37 graus. Nesse caso, a direção do acamamento também interfere no resultado.

Ao longo dos perfis de sondagem foram determinados níveis específicos para a realização de ensaios de resistência a compressão simples, trazendo para as rochas da Formação Furnas (abaixo do nível da pista) resultados de resistência expressivamente variáveis devido aos diferentes graus de silicificação observados nestes pacotes.

As sondagens rotativas realizadas no local tiveram por objetivo descrever o perfil e recuperar amostras. Os furos realizados no nível da estrada mostram que há um pacote com espessura variando entre 12 m e 18 m de arenito friável onde não recuperam amostras. Sotoposto a esse arenito tem-se um arenito mais cimentado onde se observam acamamentos horizontais e fraturas subverticais. Esse pacote tem espessura variando entre 10 e 20 m.

Os testemunhos recolhidos foram analisados quanto a alguns parâmetros. O intemperismo ao longo do perfil varia de rocha sã e rocha muito alterada. O fato que chama a atenção é a falta de uma graduação nessa escala. Isso é, o material começa como muito alterado, vai para rocha sã e dai para moderadamente alterada e volta a muito alterada. Portanto, isso difere do típico que seria a da alteração ir se reduzindo com a profundidade.

O grau de fraturamento destas rochas varia entre pouco fraturada e muito fraturada. Novamente não se observa uma tendência de aumento ou redução com a profundidade. A inclinação das fraturas vai desde subhorizontal até subvertical passando pela inclinada. Essas fraturas têm superfície plana. As fraturas que estão mais próximas da superfície tendem a ter superfície sedosa. Possivelmente isso acontece por que o material mais próximo à superfície seja mais friável. Ao longo destas fraturas não há preenchimento. Em alguns casos há uma suspeita de preenchimento.

O RQD (Índice de Qualidade da Rocha) varia desde menos de 10 até quase 90%. A depender da posição dos furos os melhores valores de RQD estão próximos a superfície. Contudo, isso varia muito de um furo para o outro. Por todas essas informações pode se assegurar a variabilidade do material estudado.

5 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em conclusão, fica evidenciado que o maciço rochoso do Portão do Inferno apresenta em 03 (três) litofácies principais acima no nível estradal, compondo arenitos eólicos da Formação Botucatu, com características mecânicas rúpteis e alto grau de alteração, mostrando um maciço de rochas friáveis e com diferentes níveis de silicificação. Abaixo no nível do pontilhão são presentes os arenitos de origem fluvial deltaica da Formação Furnas, apresentando maiores graus de silicificação e coesão, com fortes fraturamentos verticalizados e acamamentos bem definidos sub-horizontalizados.

O emprego do levantamento geofísico permitiu observar estruturas não visíveis da superfície e locar de forma adequada as sondagens rotativas de modo a obter informações mais confiáveis das estruturas e delimitações das litofácies.

O mapeamento mostrou que as propriedades destas litofácies variam com clareza no que se refere à peso específico, granulometria, formato dos grãos, cimentação, mas também em características mecânicas como a resistência à compressão simples e a resistência ao cisalhamento. As direções de acamamento e os planos de fratura também estão se refletindo no comportamento do maciço. Essas fraturas e acamamentos conduzem água em diferentes direções gerando graus de alteração diferenciados em todo o maciço. Assim, é possível encontrar rocha alterada em profundidade tanto quanto em superfície. Alguns blocos de rocha tendem a rolar para o sul enquanto outros tendem a rolar para norte ou nordeste em função das diferentes estruturas presentes.

Na área deste estudo, o contato geológico entre as formações Furnas e Botucatu, segundo Lacerda Filho *et al.* (2004), são caracterizados como contatos discordantes sub-horizontalizados o que nos permite abrir a possibilidade de correlação dos níveis de matriz mais finas da litofácie intermediária deste estudo com os níveis de topo da Formação Ponta Grossa (Devoniano), composto de arenitos finos conglomeráticos que selam os pacotes pelíticos característicos desta formação. Os autores deste estudo propõem o aprofundamento das caracterizações geológicas para estes níveis com a aplicação de técnicas como microscopia, geocronologia e geoquímica, como forma de segmentar e definir os contatos geológicos locais.

AGRADECIMENTOS

Os autores são gratos à SINFRA-MT e a ECOPLAN pela disponibilização dos dados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas (1995) NBR 6502 – *Rochas e solos*. Rio de Janeiro

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (2006) *Manual de pavimentação*. Publicação IPR – 719. 3ª Ed. Rio de Janeiro.

ECOPLAN (2025) *Investigação geofísica empregando o método da eletrorresistividade visando subsidiar o estudo geológico/geotécnico - Rodovia MT - 251 – Chapada dos Guimarães – Trecho Portão do Inferno.* ECOPLAN Engenharia, Mato Grosso.

ECOPLAN (2025) *Relatório Técnico de Ensaios Geotécnicos*. Relatório Técnico Nº RTE-928-25. ECOPLAN Engenharia, Mato Grosso.

Lacerda Filho *et al.* (2004) Geologia e recursos minerais do estado de Mato Grosso: texto explicativo dos Mapas Geológico e de Recursos Minerais do Estado de Mato Grosso. CPRM; SICME-MT. Mato Grosso.

Medeiros, V.C. & Rosa Costa, L.T. (2020) Guia de Procedimentos Técnicos. Vol. 1 – Cartografia Geológica. CPRM; DGM-DF. Brasília.

Ross, J. L. S (2014) *Chapada dos Guimarães: Borda da Bacia do Paraná*. Revista do Departamento de Geografia – USP, Volume 28, p. 180-197.

Silva, M.M.F. (2018) *Análise geotécnico-estrutural da estabilidade das escarpas do Portão do Inferno-rodovia Emanuel Pinheiro, Chapada dos Guimarães-MT.* Trabalho de Conclusão de Curso, Faculdade de Geociências da Universidade Federal de Mato Grosso / UFMT, Mato Grosso.