

MAPEAMENTO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO EM ESTUDOS PRELIMINARES DE ENGENHARIA RODOVIÁRIA: DEFINIÇÃO DE NORMATIVOS E APLICAÇÃO EM ESTUDO DE TRAÇADO DA BR-010/TO

Raphael de Oliveira Borges ¹
Bruno Velasco de Oliveira ²

INTRODUÇÃO

A fim de subsidiar estudos que antecedem as fases de projeto básico e executivo de obras rodoviárias, visando a integração de informações envolvendo: interpretação de mapas geológicos; delimitação de domínios geotécnicos, definidos pela frequência de fraturas e falhas geológicas; e, posteriormente, campanha expedita de campo para cancelar a definição dos domínios geológicos geotécnicos, o presente trabalho tem por objetivo apresentar metodologia de mapeamento geológico geotécnico para estudos preliminares de engenharia rodoviária, com aplicação em estudo de traçado rodoviário na BR-010/TO.

A estimativa correta de recursos empregados com os volumes de escavação é fundamental para estudos de traçados, estudos de viabilidade técnico econômico e ambientais – EVTEAs, e até as fases de projetos de obras rodoviárias, tendo em vista o impacto que geram nos custos. O estabelecimento de parâmetros e procedimentos para indicação e estudo de ocorrências minerais de emprego imediato na construção civil, com o apoio do mapeamento geológico geotécnico, auxiliam diretamente nestes estudos preliminares de engenharia.

Observou-se para uma melhor adoção dos procedimentos para realização de mapeamentos geológicos e geotécnicos expeditos, a necessidade da confecção de Instrução Normativa no Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT, para fins de melhor indicação para: estudo de ocorrências minerais de materiais (pedreiras, areais e empréstimos); definição da estimativa das categorias de material de escavação; áreas de instabilidades e delimitação de manchas de solo compressíveis (solo mole), subsidiando, assim, estudos técnicos preliminares de obras de infraestrutura.

Foi assim gerada a Instrução Normativa nº 7, de 11 de abril de 2022 (DNIT, 2022), que traz a definição metodológica para a elaboração destes mapeamentos, permitindo, também, a padronização na definição de ferramentas para a indicação de estudos de

¹Geógrafo, Analista em Infraestrutura de Transportes do DNIT, raphael.borges@dnit.gov.br;

²Geólogo, Consultor na Vila Rica Consultoria Mineral e Ambiental, brvelasco@gmail.com;

reservas minerais, que auxiliarão no desenvolvimento de planos de sondagens, traçados e estudos geotécnicos nas áreas de influência direta dos empreendimentos, permitindo a interpretação dos sítios mais favoráveis aos diversos tipos de uso do meio físico, neste caso, na implantação de obras de infraestrutura de transportes.

A aplicação aqui apresenta estudo de traçado para implantação de trechos da BR-010/TO, em dois segmentos à Leste do estado do Tocantins, nos municípios de Rio Sono/TO, Bom Jesus do Tocantins/TO e Santa Maria do Tocantins/TO, em duas diretrizes, ao Sul com 21,88 km de extensão e ao Norte com 57,22 km. Definiu-se aqui a escala de trabalho em 1:100.000, com a identificação das unidades litológicas e elaboração dos mapas e seções geológicas, estimando as espessuras e a classificação dos tipos de materiais de escavação, identificando, também, áreas requeridas na Agência Nacional de Mineração que podem apresentar conflito de interesse com a obra rodoviária.

Foram também definidos domínios geotécnicos e suas características, delimitando ocorrências minerais, permitindo a definição racional de um plano de sondagens, a partir de uma argumentação embasada em critérios geológicos e geotécnicos.

Três unidades litológicas foram identificadas e correlacionadas com o mapa geológico regional do Serviço Geológico Brasileiro. Formação Pimenteiras na base, Formação Cabeças intermediária e Formação Longá no topo da sequência. Todas com predominância de arenitos friáveis e muito friáveis, além de folhelhos, dominando assim os materiais de 1ª e 2ª categoria na região, conforme a Norma DNIT 106/2009 – ES (DNIT, 2009).

Esta norma define como material de 1ª categoria os solos em geral, residuais ou sedimentares, seixos rolados ou não, com diâmetro máximo inferior a 0,15m. Os materiais de 2ª categoria compreendem os solos de resistência ao desmonte mecânico inferior à da rocha não alterada, cuja extração se processe por combinação de métodos que obriguem a utilização do maior equipamento de escarificação, a extração eventualmente pode envolver o uso de explosivos. Estão incluídos nesta categoria os blocos de rocha de volume inferior a 2m³ e os matacões de diâmetro compreendido entre 0,15m e 1,00m.

Já os materiais de 3ª categoria compreendem os de resistência ao desmonte mecânico, equivalente à rocha não alterada e blocos de rocha com diâmetro médio superior a 1,00m, ou de volume igual ou superior a 2m³, cuja extração e redução, a fim de possibilitar o carregamento, se processem com o emprego contínuo de explosivos.

Após esta definição e mapeamento em escala de semi-detalle das unidades geológico geotécnicas, com a delimitação das profundidades das categorias de materiais,

observou-se, ao final do estudo, uma mudança significativa na estimativa de movimentação de massa, tanto para a Diretriz Sul quanto para a Norte da BR-010/TO, tornando mais precisa e embasada as estimativas de movimentação de massa, jazidas e categorização de materiais, otimizando a estimativa dos custos empregados na obra.

MATERIAIS E MÉTODOS

O presente estudo partiu da integração de informações que envolvem a interpretação de mapas geológicos preliminares, na melhor escala disponível, da delimitação dos domínios geotécnicos, definidos pela frequência de fraturas e falhas geológicas, aqui interpretadas em imagens de satélites de alta resolução espacial, especificamente do Sensor PLEIADES (0,7m) e modelos digitais de elevação com 30 metros de resolução espacial, e, posteriormente, campanha expedita de campo com análises interpretativas para cancelar a definição dos domínios geológicos geotécnicos.

Para a definição da escala de trabalho em estudos preliminares (EVTEA's e Anteprojetos), adotou-se a escala de trabalho de 1:100.000, semi-detalhe. Decisão esta que depende, também, da disponibilidade das informações de geologia, do modelo digital de elevação disponível e, principalmente, do objetivo final do estudo.

Como fonte oficial para busca de dados geológicos, utilizam-se as informações presentes no Serviço Geológico do Brasil. O SIGWeb GEOSGB reúne acervo de mapas geológicos em diversas escalas, contudo, a escala das principais informações disponíveis varia entre 1:1.000.000 e 1:250.000. Através do GEOSGB é possível realizar download dos arquivos vetoriais e dos textos explicativos dos mapas geológicos, que melhor representam a área estudada, no contexto de estudos de traçados e obras rodoviárias.

Já as feições de relevo representam, na maioria das vezes, o arcabouço tectônico e estrutural de uma região. Conforme OLIVEIRA et.al. (2017) a delineação das cristas, vales e o alinhamento de drenagens são fundamentais para o entendimento do comportamento estrutural das rochas, pois são o reflexo de estruturas planares (fraturas e falhas) existentes nas rochas, conhecidas na geologia de engenharia como descontinuidades. Para a delimitação destes lineamentos estruturais foram interpretadas imagens de relevo sombreado, obtidas dos dados de modelos digitais de elevação com resolução espacial de 30 metros. Com a criação de base georreferenciada vetorial dos lineamentos adicionou-se campo na tabela de atributos com o comprimento de cada linha.

Com o objetivo de cancelar estas informações interpretadas foi realizada campanha expedita de campo, onde foram levantados pontos geológicos distribuídos

uniformemente, com uma densidade compatível com a escala de trabalho. Para a escala de 1:100.000, admite-se uma densidade de 1 ponto por 1,5 km linear de rodovia.

Nestes pontos geológicos foram observados os seguintes parâmetros: Tipo de rocha; grau de faturamento; medidas de estruturas planares (falhas e fraturas); grau de intemperismo; tipo de solo e espessura; toponímia; coordenadas e registro fotográfico.

A partir da integração destes dados geológicos, e da análise da densidade dos lineamentos estruturais, é possível a definição dos domínios que apresentam características geotécnicas semelhantes, contribuindo na definição dos parâmetros geotécnicos de coesão e ângulo de atrito dos maciços rochosos, fornecendo informações importantes para prever problemas de estabilidade em taludes de corte.

Cortes em rochas mais resistentes permitem uma maior inclinação de talude, diminuindo o volume de material cortado e transportado. Rochas menos resistentes necessitam de taludes pouco inclinados para permanecerem estáveis ou de obras de contenção que permitam taludes mais íngremes. Dessa forma, a tomada de decisão impacta diretamente nos custos finais de terraplanagem, e com as informações obtidas, pode-se estimar inclinações de taludes específicas para cada domínio geotécnico definido, de acordo com a resistência das rochas.

Definidas e levantadas as características, procede-se ao refinamento dos estudos de traçado, os quais já haviam sido iniciados com informações gerais de geologia regional, sem delimitação dos lineamentos, e ainda sem o reconhecimento de campo. Considerando este refinamento das informações, com a caracterização das profundidades das categorias de materiais, permitindo a otimização dos custos com terraplanagem e a previsão sobre a movimentação de massa, são retomados os estudos de traçado.

Para tal, utiliza-se no DNIT a solução para estudos de traçado *Quantm*, um SIG proprietário utilizado na otimização de desenho de traçados, onde são integradas restrições complexas, aspectos sociais e ambientais, de engenharia e de custos nos processos de planejamento e seleção de alternativas. Centenas de novos traçados são gerados com condições variadas de geometria, considerando as restrições estabelecidas para cada projeto. Assim, pode-se avaliar, de forma qualitativa e quantitativa, as informações das melhores alternativas de traçado gerados pelo software.

O software busca alternativas que cumpram com as restrições de uso do solo cadastrado no cenário de projeto e a geometria desejada, além de otimizar a avaliação de custos, mantendo as demais condicionantes estipuladas, buscando custos de construção significativamente vantajosos.

Todos os traçados são apresentados em 3 dimensões com geometrias horizontais e verticais, permitindo avaliar as variações nos custos em face às mudanças nos critérios e restrições na seção tipo. Uma das grandes vantagens nestas fases preliminares de desenvolvimento e planejamento é a possibilidade de se obter uma estimativa de custos para centenas de alternativas de maneira simples, direta e automática. O grau de maturidade da estimativa de custos está ligado diretamente à precisão dos cadastros e acurácia dos custos unitários de entrada alimentados no software.

Os estudos realizados com o software *Quantm* visam auxiliar na tomada de decisão para soluções mais assertivas e econômicas para o trecho em desenvolvimento, onde são incorporados às análises os dados de custos de construção, oriundos do Sistema de Custos Rodoviários – SICRO – do DNIT, na geração dos cenários.

Assim, com o objetivo de refinar os resultados das simulações de traçados, foram inseridas as informações dos domínios geológicos geotécnicos no *Quantm*, através de polígonos no formato *shapefile*. Já as informações das características geotécnicas e as configurações de inclinação de taludes são inseridas através dos parâmetros de custos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como primeiro produto extraído na fase preliminar de identificação das características das diretrizes analisadas na BR-010/TO, foram obtidos os dados de lineamentos estruturais, interpretados sobre imagens de relevo sombreado, elaborando diagramas do tipo Roseta. Pelo diagrama, observou-se na diretriz Sul 2 direções preferenciais de frequência de fraturas nos arenitos, uma, com maior frequência na direção 55°, e outra na direção 108°. Já na diretriz Norte, o diagrama mostra 4 direções preferenciais de frequência de fraturas, uma com maior frequência na direção 25°, seguido por direções menos frequentes 65°, 102° e 174°.

Delimitados os lineamentos, e o planejamento dos pontos a serem levantados, procedeu-se ao reconhecimento de campo para a coleta dos pontos de controle geológicos, na diretriz sul no município de Rio Sono/TO, e na diretriz norte nos municípios de Santa Maria do Tocantins/TO e Pedro Afonso/TO, considerando um buffer de 4km de largura nas diretrizes como área de reconhecimento. Foram coletados 32 pontos, com densidade de 1ponto/7km² ao Sul, e 35 pontos, com densidade de 1ponto/10 km², na diretriz Norte.

O ponto geológico é a unidade básica do mapeamento geológico, foi assim associado a cada ponto as informações: coordenada UTM; tipo de rocha; unidade geológica associada; tipo de solo; características geotécnicas; descrição e material

fotográfico correspondente. Foram assim coletados em campo um total de 67 pontos, com uma densidade média de um ponto por 10 km².

As rochas que afloram na região fazem parte da Bacia do Parnaíba, bacia sedimentar paleozoica, atribuídas ao Grupo Canindé. Composta por camadas de rochas sedimentar com estruturação plano paralela e horizontais, não sofreram deformação plástica, apenas rúptil, representadas por fraturas e falhas normais.

A figura 1 apresenta as três unidades identificadas e correlacionadas ao mapa geológico regional do Serviço Geológico do Brasil: Formação Pimenteiras na base; Formação Cabeças na porção intermediária; e Formação Longá no topo da sequência.

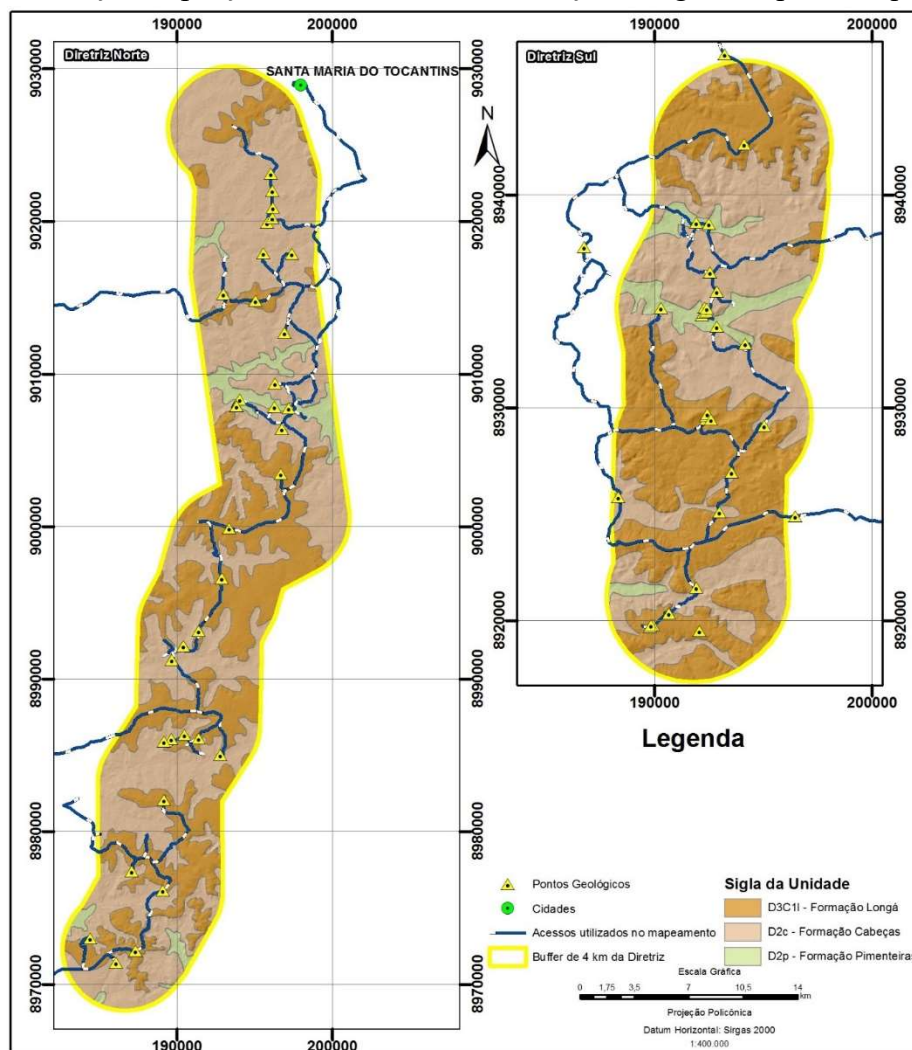


Figura 1 – Mapa das Unidades Geológicas Geotécnicas nas Diretrizes Norte (esquerda) e Sul (direita)

A Formação Pimenteiras é formada por arenitos finos com intercalações centimétricas de folhelhos, aflora em partes restritas dentro do buffer do estudo, nas cotas abaixo de 220 metros de altitude. Não foi possível estimar sua espessura devido a poucas exposições. A Formação Cabeças é representada por arenitos finos de coloração bege, e arenitos médios e cor branca, com níveis centimétricos de conglomerado fino

intercalados. Possui espessura estimada em 70 metros, aflorando entre as cotas altimétricas de 228 e 298 metros. Intensamente intemperizado, com baixa resistência e muito friável. Por fim, a Formação Longá é representada por arenitos brancos intercalados com arenitos laminados argilosos com níveis de conglomerado fino no topo da sequência. Possui espessura estimada em 100 metros, aflorando entre as cotas altimétricas de 265 e 364 metros. Apresenta-se bastante intemperizada, com baixa resistência e muito friável.

No plano de trabalho inicial foram apresentadas 19 prováveis jazidas na delimitação no perímetro, onde 4 foram descartadas, e as demais apresentaram materiais de boa qualidade para utilização na pavimentação, base e sub-base da plataforma rodoviária. Em se tratando de estudos preliminares, as características do material foram definidas em campo com análises visuais e tátil de suas propriedades físicas, nas fases de Projeto Básico serão executados ensaios de caracterização mais aprofundados.

Em relação às características geotécnicas de materiais para escavação, não foram encontrados afloramentos nem cortes de estradas que apresentassem material de 3ª categoria. Assim, foram simulados no *Quantm* os cenários com as espessuras e categorias de material de escavação de acordo com os domínios geológicos geotécnicos delimitados, com materiais de 1ª e 2ª categoria.

Para a elaboração dos novos cenários, tanto para a diretriz Sul como para a Norte, com a inclusão das informações geológicas geotécnicas de campo, e a atribuição das características dos materiais de escavação foram simulados 50 traçados.

Em geral, o desenho dos traçados simulados mantiveram semelhança bastante razoável das simulações com e sem a delimitação das unidades geológicas e geotécnicas, a mudança significativa ocorreu nas estimativas de movimentação de massa após a definição das unidades e a delimitação das profundidades das categorias de material, tanto para a Diretriz Sul quanto para a Diretriz Norte.

Na Diretriz Sul houve uma redução no transporte de massa (m^3/Km) de aproximadamente 45% e redução de volume de bota fora de 60%, que corresponde ao material de escavação dos cortes, não aproveitado nos aterros, devido à sua má qualidade, volume, ou à excessiva distância de transporte, e que é depositado fora da plataforma da rodovia, de preferência nos limites da faixa de domínio, quando possível (DNIT, 2009).

Como os parâmetros de custo de transporte de massa foram mantidos nos dois cenários, é possível interpretar que o aplicativo otimizou os custos devido apenas ao conhecimento das profundidades e tipo de material escavado. Na diretriz Norte apesar de observar aumento nos volumes de corte, empréstimo e aterro, na simulação com as

unidades geológicas e geotécnicas, houve uma diminuição substancial no volume de bota fora e no transporte de massa. Evidenciando também uma otimização da utilização do material de corte, fazendo mais uso do mesmo e diminuindo o volume de bota fora.

Dessa forma fica evidente a importância do conhecimento geológico-geotécnico e da classificação dos materiais de escavação nos estudos de traçado com o *Quantm*, que irão aproximar as simulações realizadas das características reais de uma obra rodoviária.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Observa-se, num contexto pragmático, que a adoção de melhores métodos otimizados e com a integração de plataformas de mapeamento digital, permite a interpretação das alternativas mais favoráveis ao desenvolvimento de diversas formas de uso do meio físico, aqui aplicado na implantação de obras de infraestruturas rodoviárias.

A concatenação de ações e a padronização de métodos, permitiu, também, a geração de normativo específico, visando a disseminação de melhores métodos de análise nas fases preliminares do planejamento viário, a serem adotados nos mais diversos órgãos de planejamento rodoviário do país, nos distintos entes municipais, estaduais e federais.

No estudo de caso aqui apresentado, observou-se que após o refinamento do mapeamento generalizado em grande escala, para a escala adotada de semi-detalhe das unidades geológico geotécnicas, delimitando as profundidades das categorias de material correspondentes, obteve-se, ao final do estudo, mudanças significativas na estimativa de movimentação de massa em ambas as diretrizes da BR-010/TO, tornando mais preciso o planejamento rodoviário, embasando as estimativas de movimentação de massa, definição de possíveis jazidas de materiais e a categorização destes materiais, permitindo otimizar a estimativa dos custos de engenharia a serem empregados numa obra rodoviária, já em suas fases iniciais.

Palavras-chave: Mapeamento Geológico Geotécnico; Engenharia Rodoviária; Normativos; Estudo de Traçado; BR-010/TO; Planejamento; Infraestrutura; Transportes.

REFERÊNCIAS

OLIVEIRA, B. V.; LANZA, D. S.; MORAES, A.L.; FAZAN, A.J.; BORGES, R.. **Estimativa de Volume de Escavação e de Inclinação de Taludes de Corte Utilizando Critérios Geológicos Geotécnicos e Ferramentas Computacionais para Estudos de Traçados**. In: XII Conferencia Brasileira sobre Estabilidade de Encostas COBRAE, Florianópolis, SC: ABMS, 2017.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT. **Norma DNIT 106/2009-ES - Terraplenagem - Cortes Especificação de serviço**. Rio de Janeiro, RJ: IPR, 2009.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES . **Instrução Normativa N° 7/DNIT Sede**. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Brasília, 2022.