

ANÁLISE QUALITATIVA E DETERMINÍSTICA DO RISCO GEOLÓGICO DE UMA ÁREA SITUADA NO MUNICÍPIO DE PONTE NOVA - MG.

Leonardo Andrade de Souza¹; Eduardo A. G. Marques²; Luiz Vinícius de Castro Rangel³

Resumo - O município de Ponte Nova – MG localiza-se na Mesorregião da Zona da Mata mineira. A sede dista por rodovia 170 km da capital Belo Horizonte. O município integra a bacia do rio Doce, sendo banhado por um de seus principais formadores, o rio Piranga e acumula sucessivos eventos relacionados a movimentos gravitacionais de massa e inundações que o atingem severamente gerando, sistematicamente, danos econômicos e sociais. No ano de 2018, com o objetivo de iniciar a construção de um programa de gestão de risco elaborou o seu Plano Municipal de Redução de Risco Geológico (PMRR). Este trabalho detalha a caracterização geológica-geotécnica do setor 86, identificado como de risco alto no PMRR, a partir de análises qualitativas e determinísticas visando a confirmação do risco indicada pelas análises qualitativas do PMRR, bem como a elaboração de propostas conceituais para a redução do risco.

Abstract - Ponte Nova municipality is located at Zona da Mata of Minas Gerais state, 170 km from its capital, Belo Horizonte. The municipality is embed in Doce River watershed, and one of its major tributary, Piranga River, cross the urban area. Several mass movements and floods historically occur, systematically generating economical and social damages. On 2018, with the aim of beginning the construction of a risk management plan, the city hall has devised its Geological Risk Reduction Plan (PMRR). This work presents a detailed geological-geotechnical characterization of one of the high risk sector identified on PMRR, named sector 86. The qualitative and quantitative analysis performed for the present study supported the confirmation of the risk situation identified on the qualitative analysis performed on the PMRR, as well as a conceptual geotechnical project to reduce the risk situation.

Palavras-Chave - Cartografia geotécnica; risco geológico, análises qualitativas, análises determinísticas.

1 Engenheiro Geólogo, Dr., Zemlya Consultoria e Serviços LTDA, leonardo@zemlya.com.br
2 Geólogo, Dr., Universidade Federal de Viçosa, eagmarques1965@gmail.com
3 Engenheiro Civil. Rangeo Engenharia, rangeoengenharia@outlook.com

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a conceituação teórica no campo de conhecimento dos riscos ambientais (riscos naturais, geológicos, geotécnicos, geoambientais, socioambientais) vem acumulando avanços determinados, principalmente, pela interação entre o meio técnico-científico e a gestão de riscos nas administrações públicas. Foi apenas após a regulamentação do Estatuto da Cidade (Lei Federal nº 10.257, de 2001) que os municípios brasileiros, de maneira geral, começaram a incluir em suas agendas o necessário processo de conhecer em detalhe, analisar e planejar o desenvolvimento do ambiente urbano e a correção/mitigação das disfunções resultantes do crescimento rápido e caótico das cidades.

Entretanto, quando consideramos o número de desastres ocorridos nas últimas décadas e o fato de que estes certamente se repetirão, torna-se evidente a necessidade de uma maior inclusão da temática risco geológico e hidrológico na pauta da gestão pública, para a criação e execução de ações, programas e políticas voltados à identificação e redução de ameaças, vulnerabilidades e riscos, por todos os níveis e setores de governo, no sentido de buscar uma redução das perdas e danos às populações, à infraestrutura e à economia.

O cenário no município de Ponte Nova – MG não é diferente do restante do país, acumulando sucessivos eventos ora relacionados a movimentos gravitacionais de massa, ora a processos hidrológicos que atingem severamente o município. No ano de 2018, com o objetivo de atender às expectativas do executivo municipal para a formulação de estratégias, diretrizes e procedimentos que efetivamente consigam ampliar o conhecimento sobre os processos geodinâmicos, riscos e desastres, com proposição de ações estruturais e não estruturais, para reduzir os riscos e minimizar o impacto relacionado aos desastres foi elaborado, com recursos do próprio município, o Plano Municipal de Redução de Risco Geológico (PMRR).

A partir da hierarquização das intervenções proposta pelo PMRR, somada a demandas geradas pelo Ministério Público, alguns estudos de maior detalhe começaram a ser realizados visando à elaboração de projetos básicos e executivos. Este trabalho detalha a caracterização geológica-geotécnica do setor 86, identificado como de risco alto no PMRR, a partir de investigações de campo e de laboratório que subsidiaram a realização de análises determinísticas que visaram a confirmação do risco indicada pelas análises qualitativas do Plano Municipal de Risco, bem como a elaboração de propostas conceituais para a redução do risco.

2. LOCALIZAÇÃO

A área onde o estudo geológico-geotécnico foi executado está localizada no Bairro Alto do Boa Vista, no município de Ponte Nova - MG, entre as Ruas Cid Gomes de Oliveira (limite inferior da avaliação) e Barão do Pontal (limite superior da avaliação) (Figura 1). Refere-se ao setor 80 do Plano Municipal de Redução de Risco de Ponte Nova – MG (PMRR, 2018).



Figura 1. Localização e delimitação da área avaliada, a partir de uma imagem oblíqua obtida por veículo aéreo não tripulado.

3. METODOLOGIA

Na primeira etapa do trabalho a área foi reavaliada, inicialmente por meio de análises qualitativas, com o objetivo de atualizar a delimitação e classificação do risco. A mesma metodologia adotada na etapa de mapeamento do PMRR foi empregada, a partir da identificação de evidências, da análise dos condicionantes geológico-geotécnicos e ocupacionais que as determinam, da avaliação da probabilidade de ocorrência de processos associados a deslizamentos na encosta que possam afetar a segurança das edificações circundantes e de eventuais obras, e da delimitação do setor da encosta que possa ser afetado por cada um dos processos destrutivos potenciais identificados, se for o caso. Os trabalhos de campo constituíram-se, basicamente, em investigações geológico-geotécnicas de superfície, buscando identificar condicionantes dos processos de instabilização, existência de agentes potencializadores e evidências de instabilidade ou indícios do desenvolvimento de processos destrutivos (Brasil, 2007). Já para a classificação das situações de risco, foram aplicados os mesmos níveis hierárquicos propostos pela Metodologia do Ministério das Cidades/Integração Nacional, no que tange à elaboração dos planos municipais de redução de risco.

A segunda etapa do trabalho refere-se à execução de coleta de amostras indeformadas e realização de ensaios de laboratório, sondagens SPT e análises de estabilidade, para a confirmação do risco qualitativo identificado na primeira etapa e como subsídio à elaboração de uma solução de estabilização da encosta que possibilite a redução/eliminação do risco geológico, bem como a reabertura da rua Cid Gomes de Oliveira. Especificamente, as seguintes atividades foram realizadas:

- ✓ Visita em campo para avaliação da área, determinação de pontos de coleta de amostras indeformadas, determinação de pontos para a execução de ensaios à percussão do tipo SPT;
- ✓ Coleta de amostras indeformadas dos solos aflorantes nos taludes de corte da área;
- ✓ Ensaios Laboratoriais de resistência ao cisalhamento (triaxial);
- ✓ Sondagens à percussão com ensaio SPT;
- ✓ Geração das seções geológico-geotécnicas;
- ✓ Análises de estabilidade;
- ✓ Proposição de intervenções estruturais para a eliminação do risco geológico;
- ✓ Propostas de ações não-estruturais para o gerenciamento do risco até a execução das intervenções estruturais.

4. ANÁLISE QUALITATIVA DO RISCO GEOLÓGICO

4.1. Caracterização geológica

De acordo com a folha Ponte Nova, SF. 23-X-B-II, escala 1: 100.000, produzido pelo Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM e adaptado de CODEMIG (2014), a área de interesse localiza-se sobre a unidade geológica Complexo Mantiqueira.

Segundo estudos realizados por Albanez (2000), a unidade geológica Complexo da Mantiqueira (Plm) é composta por ortognaisses granítico-tonalíticos (biotita-granito-gnaiss, biotita-granodiorito-gnaiss, anfibolotita-tonalito-gnaiss) e ortofibrolitos subordinados. A região apresenta zonas de cisalhamento dúctil contracional, em que as fraturas estão na direção sudoeste-nordeste.

4.2. Contextualização histórica

A compreensão dos processos geodinâmicos, e seu condicionantes, foi iniciada a partir da coleta de informações históricas da área, repassadas por moradores antigos e usuários do entorno. Neste caso é possível ressaltar que o processo de ocupação da área e seu entorno não é recente, remontando a pelo menos a década de 80 do século passado (edificações e prédios construídos a jusante da área em avaliação). Segundo informações coletadas já ocorreram movimentos gravitacionais de massa de grande porte na região, o que já era esperado, considerando a forma semi-circular do talvegue, originada por um primeiro deslizamento que pode

estar associado ao desconfinamento da base da (escavação/corte) para fins construtivos, para a abertura da Rua Cid Gomes de Oliveira, e para o uso da área para empréstimo de material (provavelmente somado a um evento de chuva mais intenso, comum na região). Ainda em relação ao uso desta área cabe destacar, conforme informações repassadas por moradores, que por se tratar de um terreno vazio esse foi alvo, a partir das ruas Senador Fernandes Torres e Barão do Pontal a montante, de um contínuo lançamento e depósito de materiais diversos oriundos de escavações (bota-fora ou aterro descontrolado) formando uma camada de depósito de cobertura (aterro).

O segundo conjunto de dados utilizados para a contextualização do local teve por objetivo validar o primeiro e para tal foram utilizadas imagens extraídas da plataforma *Google Earth* e outras disponíveis entre os anos de 2002 e 2018. Nas imagens avaliadas foram identificados indícios de instabilidade dos terrenos relacionados, principalmente, a feições erosivas, cicatrizes de movimentos de massa e degraus de abatimento.

Os registros históricos contribuíram, entre outras informações, para o entendimento de que a ocorrência de processos geodinâmicos (movimentos gravitacionais de massa) ao longo da encosta é recorrente (pelo menos nos últimos 20 anos), com superfícies de ruptura já formadas e que condicionam os processos de deslizamento; para o fato de que a rua Cid Gomes de Oliveira já foi interditada por várias vezes em decorrência dos movimentos de massa; e que a prefeitura municipal de Ponte Nova, nas últimas décadas, e na tentativa de liberação da via, promoveu a retirada de material da base da encosta alterando o seu equilíbrio e sua estabilidade.

4.3. Contextualização atual

Para a contextualização atual e para avaliação de risco, a área foi alvo de vistoria para a caracterização do terreno e dos materiais que o compõe, dos condicionantes geológicos, geotécnicos, antrópicos, e dos indícios de movimentação mais recentes (Figuras 2 a 6).



Figura 2 – Vista frontal da encosta, com detalhe para uma das superfícies de ruptura antigas (linha tracejada em branco), para as trincas no terreno recentes (setas em vermelho) e para a edificação em construção na base da encosta (trecho estável da encosta).



Figuras 3 e 4 – Vista parcial do terreno. Trincas recentes observadas.



Figura 5 – Vista a partir da base da encosta no trecho com início de edificação em construção. Detalhe para uma superfície de ruptura antiga.



Figura 6 – Detalhe para o estrangulamento da rua Cid Gomes e para a posição do poste de energia, cuja posição foi alterada após ser atingido por movimentos de massa pretéritos. A seta retrata o eixo da direção principal dos movimentos gravitacionais de massa.

Embora tenhamos a recorrência e superposição de vários movimentos gravitacionais de massa, ao longo das últimas décadas, a tipologia do processo descrito aproxima-se ao deslizamento rotacional, que é um tipo de movimento em que a superfície da ruptura é curvada no sentido superior (em forma de colher) e o movimento de queda do pacote de solo é mais ou menos rotatório em torno de um eixo paralelo ao contorno do talude.

A massa deslocada pode, sob certas circunstâncias, mover-se de maneira relativamente coerente, ao longo da superfície de ruptura e com pouca deformação interna. O topo do material deslocado pode mover-se quase que verticalmente para baixo e a parte superior desse material pode inclinar-se para trás em direção ao talude. Pode-se afirmar, a partir das trincas observadas no terreno, que se trata de uma reativação do processo geodinâmico, e não a geração de uma nova superfície de ruptura. Esta reativação ocorreu inúmeras vezes ao longo das últimas décadas, seja pela saturação ao longo dos períodos de chuva, seja pelo desconfinamento da base, quando tentou-se restabelecer o uso veicular para a Rua Cid Gomes de Oliveira. No caso específico desta avaliação, com o desconfinamento de parte da base do talude (no trecho dentro da superfície de ruptura e não fora dela) ocorreu um alívio de tensões no maciço, cujo reflexo foram as trincas em superfície e a reativação do processo.

A reavaliação da área confirmou a delimitação e o grau de risco indicados no âmbito do Plano Municipal de Redução de Risco de Ponte Nova, elaborado no ano de 2018.

5. ANÁLISE DETERMINÍSTICA

5.1. Sondagem à percussão tipo n_{SPT}

Foram utilizados os resultados de duas campanhas de sondagem. Na primeira campanha foram realizados quatro furos de ensaio à percussão tipo N_{SPT} , em que pode-se notar uma camada superficial de argila arenosa com mica de consistência mole e baixa resistência à penetração. Essa camada superficial atinge profundidades de até 1,5m. Subsequente à camada superficial, encontra-se uma camada de silte arenoso com pedregulhos variando de fofo a compacta. Essa camada atinge profundidades de até 9,15m. Na camada mais profunda encontra-se uma camada de alteração de rocha silto arenosa, com pedregulhos, com alta resistência à penetração do amostrador de SPT, com número de golpes variando de 27 ao impenetrável, atingindo profundidades de até 13,17m. Para complementar a campanha de investigação foram executados mais 03 (três) furos à percussão do tipo N_{SPT} . Assim como na primeira campanha de investigação, foi encontrada uma camada superficial com material argilo arenoso, com baixa resistência, acompanhada de uma camada de silte arenoso variando de medianamente compacto a compacto e, na camada mais profunda, um solo de alteração de rocha silto arenoso. A localização dos furos está retratada na Figura 7.



Figura 7 – Localização furos de ensaio à percussão tipo N_{SPT} (Fonte: Prefeitura Municipal de Ponte Nova).

5.2. Ensaio de laboratório

Para obtenção dos parâmetros de resistência dos materiais que compõem o maciço realizou-se a coleta de amostras indeformadas e a realização de ensaios de laboratório (triaxiais). Executou-se ensaios de compressão triaxial do tipo consolidado e não-drenado (CU) devido à velocidade de ensaio, quando comparada com o ensaio CD e também, pelo fato do ensaio fornecer tanto parâmetros totais quanto parâmetros efetivos dos solos, favorecendo a análise da influência de propressão sobre a resistência dos materiais.

Na Figura 8 apresenta-se aspectos da coleta das amostras indeformadas, enquanto na Figura 9 apresenta-se a moldagem dos corpos de prova.



Figura 8 – Imagens da coleta de amostras indeformadas.



Figura 9 – Moldagem dos corpos de prova para realização de ensaios triaxiais.

Já na Figura 10 e na Figura 11 são apresentados os corpos de prova após ruptura da amostra 01 e amostra 02, respectivamente.



Figura 10 – Amostras 01 após ruptura.



Figura 11 – Amostra 02 após ruptura.

Da Figura 12 a Figura 19 são apresentados os resultados obtidos nos ensaios triaxiais das Amostra 01 e 02.

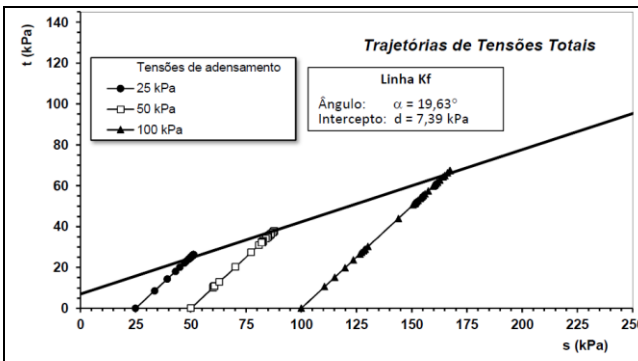


Figura 12 – Trajetória de tensões totais da Amostra 01.

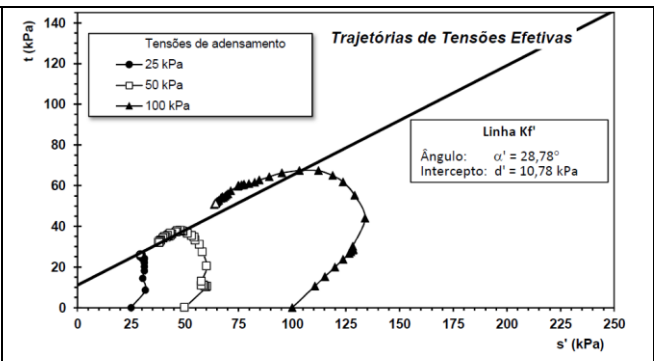


Figura 13 – Trajetória de tensões efetivas da Amostra 01.

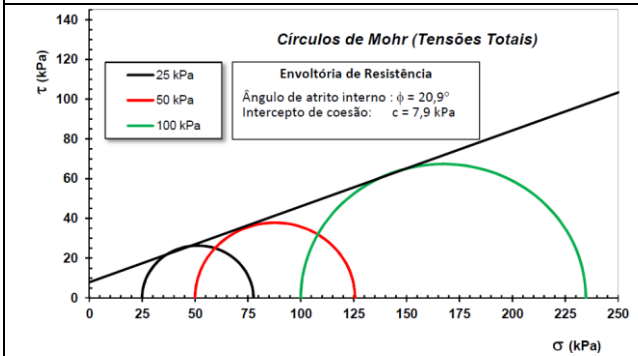


Figura 14 – Envoltórias de resistência - Amostra 01 (Tensões totais).

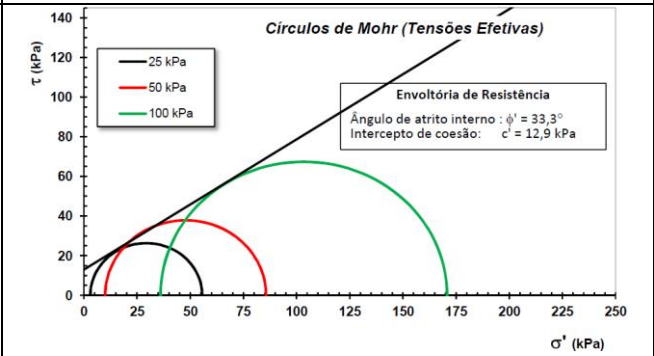


Figura 15 – Envoltórias de resistência - Amostra 01 (Tensões efetivas).

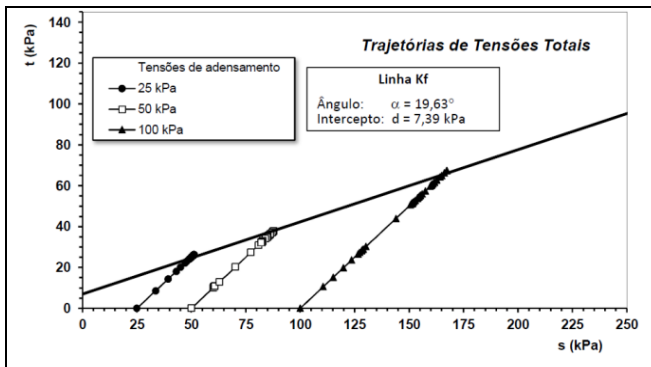


Figura 16 – Trajetória de tensões totais da Amostra 02.

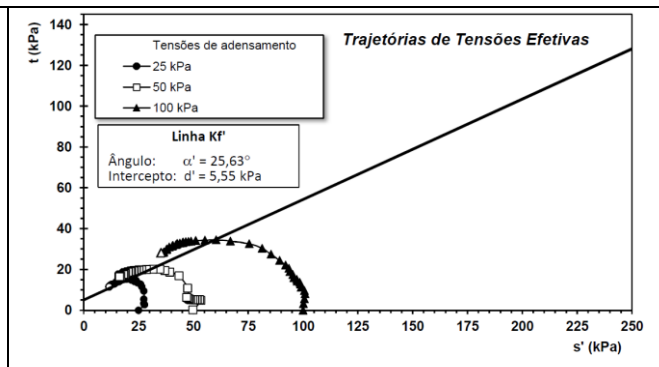


Figura 17 – Trajetória de tensões efetivas da Amostra 02.

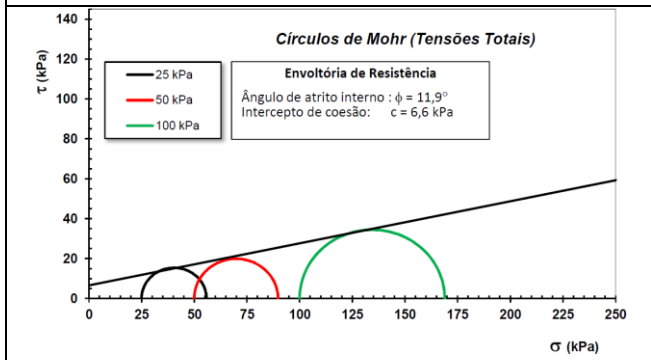


Figura 18 – Envoltórias de resistência - Amostra 02 (Tensões totais).

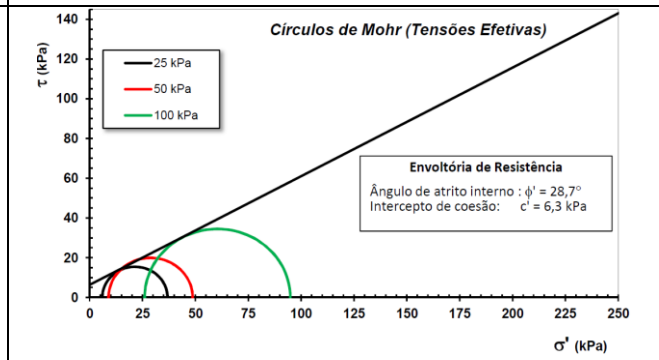


Figura 19 – Envoltórias de resistência - Amostra 02 (Tensões efetivas).

A Tabela 1 apresenta um resumo dos parâmetros geotécnicos obtidos nos ensaios.

Tabela 1 – Resumo dos resultados obtidos no ensaio triaxial.

Material	γ (kN/m ³)	c (kPa)	c' (kPa)	ϕ (°)	ϕ' (°)
AMOSTRA 01	14,55	7,9	12,9	20,9	33,3
AMOSTRA 02	13,60	6,6	6,3	11,9	28,7

Em que:

- γ – peso específico natural;
- c – coesão;
- c' – coesão efetiva;
- ϕ - ângulo de atrito interno dos materiais;
- ϕ' - ângulo de atrito interno efetivo dos materiais.

5.3. Construção de seções geológico-geotécnicas

Após a interpretação das sondagens, dos ensaios e da geologia local, foi possível gerar as seções geológico-geotécnicas que foram utilizadas nas análises de estabilidade. A modelagem das seções levou em conta a granulometria do material encontrado, a resistência à penetração de cada camada, assim como os parâmetros de resistência obtidos nos ensaios de laboratório.

A Tabela 2 resume os parâmetros totais que foram utilizados nas análises. A Figura 20 e a Figura 21 mostram as seções geológico-geotécnicas e os parâmetros de cada material.

Tabela 2 – Resumo dos parâmetros utilizados nas análises de estabilidade.

Material	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	ϕ' (°)
Colúvio	13,60	6,60	11,90
Solo Residual Maduro	14,55	7,90	20,90
Solo Residual Jovem	18,00	10,00	30,00

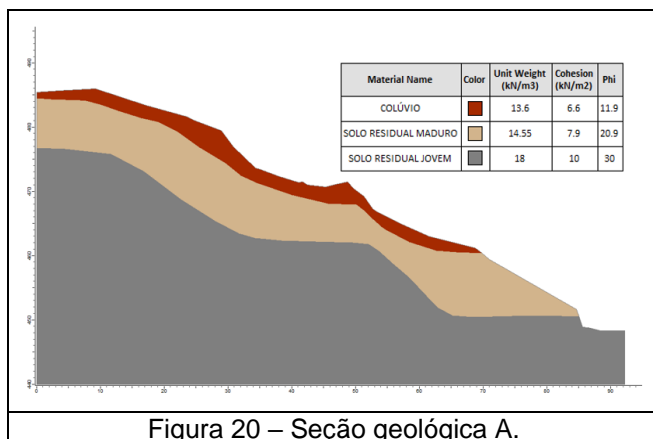


Figura 20 – Seção geológica A.

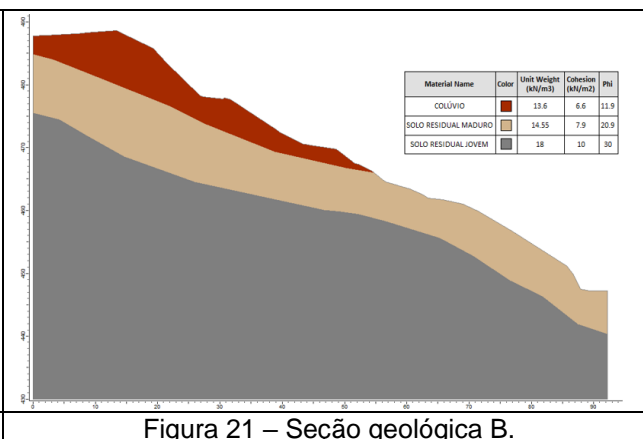


Figura 21 – Seção geológica B.

5.4. Análises de estabilidade

Nas análises de estabilidade, considerou-se o critério de ruptura de Mohr–Coulomb, com base em parâmetros totais. Nas análises de estabilidade das seções foi utilizado o método de equilíbrio limite Morgenstern-Price, para rupturas de forma circular, em que a verificação da estabilidade de uma determinada superfície de ruptura é obtida através do fator de segurança (FS). Para tal foi utilizado o software SLIDE 6.0 desenvolvido pela Rocscience.

As Figuras 22 e 23 mostram o resultado da análise de estabilidade preliminar das Seções A e B, e os respectivos fatores de segurança em cunhas locais e global.

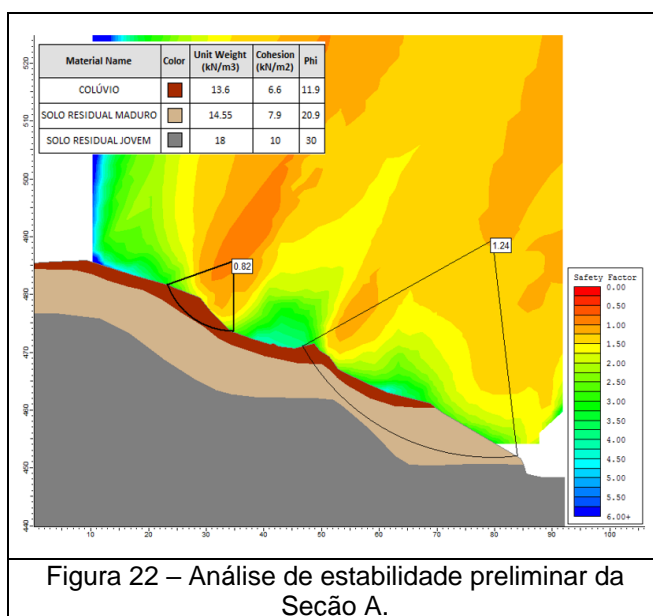


Figura 22 – Análise de estabilidade preliminar da Seção A.

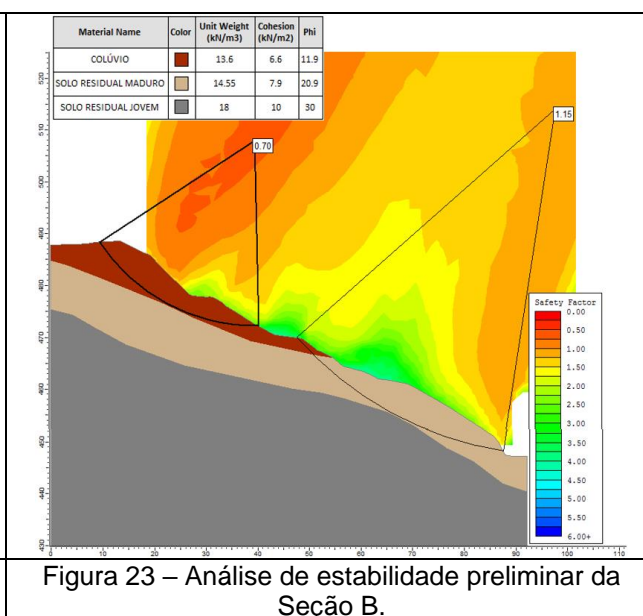


Figura 23 – Análise de estabilidade preliminar da Seção B.

Como se observa das análises de estabilidade mostradas na Figura 22 e na Figura 23, o talude encontra-se instável, pelo que foi necessário desenvolver um projeto de contenção que garantisse a estabilidade do talude de corte proposto, permitisse a reabertura da Rua Cid Gomes, bem como permitisse a ocupação dos lotes localizados a montante da cicatriz de ruptura existente na área.

Diversas opções de intervenção foram testadas, sendo que as que apresentaram maior

eficiência foram aquelas envolvendo a instalação de grampos no talude (Figura 24). Nesta solução foram modelados diversos comprimentos de grampos. A solução com grampos de 12m permitiu a obtenção de fatores de segurança atendendo à norma brasileira (acima de 1,5).

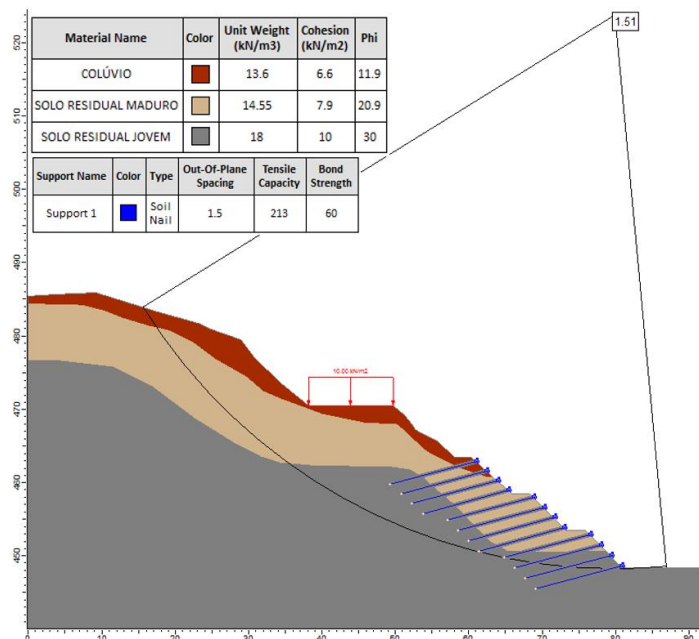


Figura 24 – Solução de engenharia utilizando-se de grampos e considerando a sobrecarga de moradias no topo do talude de corte e análise de estabilidade final com grampos de 12m de comprimento. Notar FS maior que 1,5.

6. CONCLUSÕES

As avaliações qualitativas realizadas no âmbito do Plano Municipal de Redução de Risco caracterizaram corretamente tanto a delimitação do setor de risco, quanto a classificação do grau de risco geológico. Entretanto, a campanha de investigação e os ensaios realizados em laboratório possibilitaram a interpretação da geologia local com maior acurácia, como já era esperado.

Nas análises de estabilidade finais é possível observar superfícies de ruptura com potencial de deslizamento em períodos chuvosos. Assim, as análises determinísticas realizadas, além de confirmarem o risco indicado pelas análises qualitativas permitiram a elaboração de propostas conceituais para a eliminação do risco geológico, reabertura da Rua Cid Gomes e possibilidade de uso de três lotes ainda não ocupados na crista da encosta.

Considerando o período entre a elaboração desse estudo e a execução propriamente dita das intervenções propostas faz-se necessário atentar para a manutenção da continuidade das ações de prevenção propostas no Plano Municipal de Redução de Risco de Ponte Nova, para o setor 86 de risco geológico.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Estatuto da Cidade: Lei 10.257/2001 que estabelece diretrizes gerais da política urbana. Brasília, Câmara dos Deputados, 2001, 1a Edição.

BRASIL, Ministério das Cidades / Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT. 2007. Mapeamento de Risco em Encostas e Margens de Rios / Celso Santos Carvalho, Eduardo Soares de Macedo e Agostinho Tadashi Ogura, Organizadores – Brasília: Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT. 176 P.

CODEMIG. 2014. Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais.

PLANO MUNICIPAL DE REDUÇÃO DE RISCO DE PONTE NOVA - PMRR, 2018. Prefeitura Municipal de Ponte Nova – MG.