

Método NATM de Execução de Túnel Aplicado em Solo Granular – Estudo de Caso Sob a BR-101/RN

Tenório José de Brito
UFRN, Natal, Brasil, tenoriobrito@gmail.com

Alexandre da Costa Pereira
IFRN, Natal, Brasil, alexandre.pereira@ifrn.edu.br

Raymison Rodrigues Cardoso
UFRN, Natal, Brasil, raymisonrc@hotmail.com

RESUMO: O trabalho apresenta um estudo de caso de construção de túnel sob a rodovia BR-101/RN, para operar como obra hidráulica cujo objeto foi a transposição do rio Pitimbu (divisa Natal/RN-Parnamirim/RN). A construção do túnel foi contratada como obra emergencial após rompimento de parte do aterro da rodovia e verificação de elevado grau de deterioração dos bueiros existentes que davam vazão ao rio. As condições à época exigia técnica construtiva por método não destrutivo. O túnel foi construído pelo Novo Método Austríaco para construção de Túnel através do Contrato 14.00403/2011 a interesse do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT sob-regime de contratação emergencial. O terreno onde o túnel foi implantado consiste em solo não coesivo com lençol freático. Dentre as principais dificuldades encontradas durante a construção foi projeto deficiente decorrente de pouca investigação das condições locais. Foram feitos ajustes para garantir o autossuporte do aterro para execução do túnel. O principal ajuste ao projeto consistiu em rebaixamento de lençol freático com ponteiros filtrantes e a cravação mais concentrada de enfilagens no avanço do túnel. O projeto embora limitado permitiu avaliar se a técnica NATM foi apropriada à construção do túnel no solo não coesivo local. A solução adotada também mostrou como a mais econômica dada às condições no momento da construção.

PALAVRAS-CHAVE: Túnel, *New Austrian Tunneling Method* – NATM, Solo não coesivo,

1 INTRODUÇÃO

Os túneis consistem em obras destinadas ao transporte e tráfego (ferroviários, rodoviários, metropolitanos, passagem de pedestres, etc.), para utilidades públicas (centrais de energia elétrica, aquedutos, esgotos, cabos elétricos, etc.). São opções frequentes porque permitem um sistema de transporte coletivo eficiente, rápido e com baixo impacto ambiental, além também de consistir na opção mais econômica face à elevada taxa de ocupação urbana associada à alta valorização dos espaços públicos e privados. Devem ser construídos e explorados com critérios de desenvolvimento

sustentável.

Por questões práticas, como manutenção, acessibilidade e economia, os túneis são construídos geralmente em profundidade rasa, onde normalmente os maciços são construídos por solos ou rochas brandas. A combinação de maciços complexos de baixa competência e túneis rasos fazem com que esses sejam geralmente construídos por tuneladoras, Tunnel Boring Machines (TBMs) ou outros métodos convencionais, tais como a metodologia denominada Novo Método Austríaco de Túneis (NATM), em conjunto com técnicas de melhoria de solos ou maciços rochosos. (HENAO-VERGARA, 2013)

O conhecimento das características do solo para a adequada aplicação das técnicas conhecidas de reforço e estabilização do terreno, adaptação das técnicas existentes ou desenvolvimento de novas técnicas são indispensáveis para o projeto e execução de obras subterrâneas. Por essa razão, a incerteza, devido à heterogeneidade do solo, exige um estudo complexo para que se possa aumentar a margem de segurança tanto para o empreendimento, como para os operários que executarão o projeto.

O artigo apresenta um estudo de caso do primeiro túnel executado no estado do Rio Grande do Norte com fins rodoviários como também executado mediante escavação em material não coesivo. A metodologia usada foi NATM associada ao condicionamento do maciço por técnica de enfilagens tubulares. A obra foi executada a altura do quilômetro 100,3 da rodovia BR-101/RN. Será avaliado o projeto do túnel e o desempenho da construção, analisando se a técnica construtiva em NATM foi adequada e mostrou-se aplicável à execução de forma segura em solo não coesivo, considerando-se o solo, o tempo, o risco, o custo e o impacto no tráfego da rodovia.

2 O ESTUDO DE CASO

2.1 Metodologias de Construção de Túneis

NATM – *New Austrian Tunneling Method* é técnica onde a escavação baseia-se na capacidade de autosustentação do material escavado à frente de escavação. Para escavação de túneis pelo método NATM, necessita-se conhecer o quadro geológico-geomecânico para, a partir daí se classificar o solo, o que permitirá definir os tratamentos específicos para cada classe de solo.

2.2 Investigações Prévias

Antes do início de qualquer obra de engenharia, antecede a fase de estudos e projetos. Na fase de estudos é indispensável a investigação do solo onde será construída a obra. Na investigação, Geraldi (2011) afirma que a partir de uma

compilação de dados e informações bibliográficas (topografia, geologia, fisiografia) regionais e da área, deverá ser feito preliminarmente um mapeamento geológico de campo para servir de orientação a uma campanha posterior de investigações geológicas compatíveis com o projeto. As investigações que poderão vir a ser executadas, a critério dos projetistas, são: sondagens à percussão e rotativas com ensaios de penetração (SPT), permeabilidade e de perda d'água; abertura de trincheiras, poços e galerias subterrâneas de investigação; e ensaios geofísicos e instrumentações com GPR (radar). Os dados obtidos das investigações serão os principais parâmetros que definirão o condicionamento das escavações subterrâneas.

Além disso, as investigações permitirão também dispor o projetista de dados para a escolha do método construtivo mais adequado com dimensionamento apropriado que evitará problemas durante execução.

Na obra do túnel sob a BR-101 foram feitas duas campanhas de sondagens tipo SPT, a primeira antes do início da obra, em 07/02/2011, que identificou um solo predominantemente arenoso com variações intermediárias gradativas iniciando em areia fina fofa com silte a areia fina compacta com silte. Os 03 (três) furos feitos sobre o aterro da rodovia não apresentaram nível d'água e foram sondados até as profundidades de SPT-01: 8,00 metros, SPT-02: 14,00 metros e SPT-03: 9,00 metros.

Quatro meses após o início da obra, em 05/10/2011, foi feita nova campanha de sondagem que confirmou o tipo de solo encontrado na primeira investigação, porém detectou nível de água nas profundidades: furo SPT-02 a 10,0 metros, SPT-03 a 10,0 metros e SPT-04 a 9,00 metros.

3 PROJETO DO TÚNEL NATM

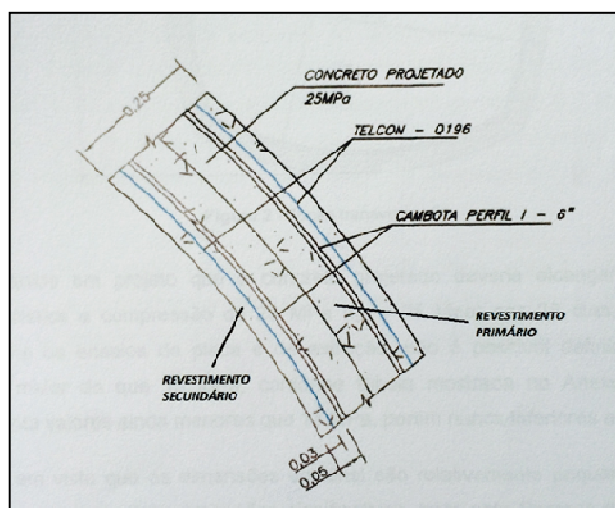
O projeto foi concebido mediante enfilagens para tratamento e condicionamento do solo antes de iniciar a escavação do túnel. As enfilagens foram definidas por tubo Schedule 40 de 02 (duas) polegadas de diâmetro com

9,00 metros de comprimento.

O projeto considerou a minimização das deformações excessivas e empastilhamento¹ do maciço com a aplicação de uma camada fina de concreto projetado imediatamente após o avanço e logo em seguida a aplicação de uma tela metálica eletrossoldada tipo Q196. A cada avanço deveria ser posicionada uma cambota² subsequente distanciada da anterior em 0,80 metros. O projeto também definiu que o maciço deveria ser monitorado com a instalação de pinos nas paredes e abóboda do túnel que formariam as seções de monitoramento.

O preenchimento da seção basal “invert”³ deveria ser executado rapidamente para que ao criar o anel suporte de carga das cambotas permitissem a distribuição das tensões no maciço terroso de forma mais branda.

Confirmada a estabilização pelo monitoramento das deformações nas paredes do túnel, esse deveria ter seu suporte primário concluído, definido em 20,0 cm de espessura de concreto projetado e tela eletrossoldada Q196, para posterior execução do suporte secundário, que consistia em mais uma camada de tela Q196 coberta por uma espessura de 5,0 cm de concreto projetado. O concreto projetado do túnel deveria atingir resistência característica a compressão de 25 MPa aos 28 dias (figura 1).



¹ Desagregação superficial, envolvendo o fendilhamento e desintegração de determinadas rochas em plaquetas ou pastilhas devido à alternância de umedecimento e secagem provocando fenômenos de expansão e contração – Prof. Dr. Fernando Ximenes T. Salomão

² Arco metálico moldado em perfil “I” de 6”

³ Seção da base do túnel executada em arco invertido

Figura 1. Seção transversal do revestimento do túnel, Projeto Túnel sob a BR-101 – PARNAMIRIM – RN, 2011.

4 EXECUÇÃO DO TÚNEL

A construção do túnel começou com o preparo do talude para início do emboque e desemboque de acordo com as definições de projeto.

Foram executados “falsos túneis” (emboque e desemboque) a céu aberto antes de iniciar a escavação do túnel efetivamente. Esses segmentos foram necessários para a construção posterior de pistas marginais à rodovia.

Concluída a etapa do “falso túnel”, cravadas as enfilagens, deu-se início a escavação do núcleo central para posicionamento e travamento da cambota nº 6. Iniciada a execução das escavações, deparou-se com um deslocamento das laterais da frente de escavação. O consultor apontou como causa do deslocamento o elevado nível de lençol freático associado ao alto gradiente hidráulico do solo (areia de duna), que contribuíram para a percolação da água carreando o solo; estabeleceu como solução o rebaixamento do lençol freático através de ponteiras filtrantes. Dada a solução para tratamento, o Consórcio executor instalou as ponteiras de acordo com orientações do consultor.

Vencida essa etapa, as escavações foram retomadas e cambotas implantadas e paralizada pelo deslocamento e demoramento no teto entre as camboras 16 e 19 de montante (figura 2) e 8 e 12 (figura 3) de jusante. No decorrer das escavações houve ainda desmoronamento entre as cambotas 18 e 21 de jusante. Novamente foram executadas as soluções dadas pelo consultor: a) Estabilização da frente com concreto projetado 25 Mpa (e = 10 cm); b) Execução do segundo lance de enfilagens; c) Instalação de 02 (duas) cambotas, aplicação de tela e concreto projetado configurando um túnel falso; d) Execução de um furo no talude a céu aberto e aplicação de concreto projetado estabilizando as paredes da capela; e) Lançamento de mistura solo-cimento (80 kg de cimento por m³ e teor de água de 7% a 9%) até

preenchimento completo da capela; f) Retomada do avanço no túnel, conforme método construtivo de projeto.

A sequência construtiva foi retomada, em alguns avanços foram instaladas enfilagens de 6,00 metros, em outros 9,00 metros além de redução de espaçamento entre si que era inicialmente de 30 cm para a situação justaposta (figura 4). Em alguns avanços foram cravadas também enfilagens no núcleo da frente de escavação (figura 4).

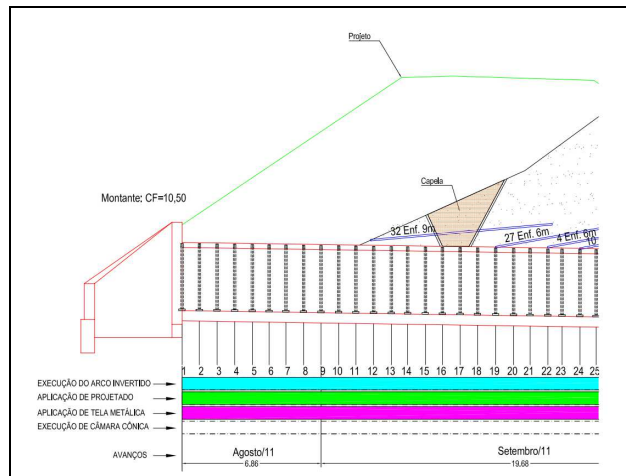


Figura 2. – Perfil da capela formada a montante da escavação do túnel, “As Built” – Túnel Sob a BR-101 Parnamirim RN, 2011.

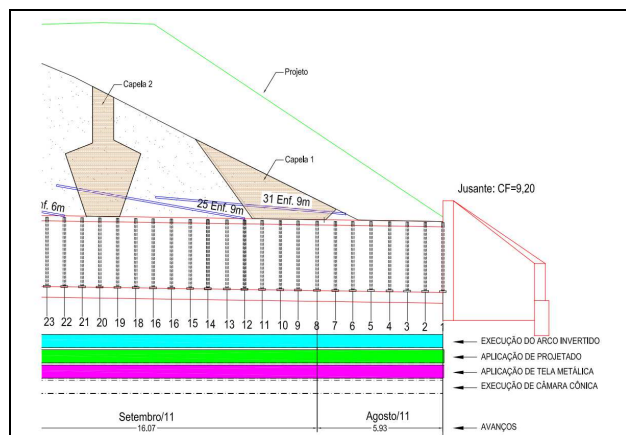


Figura 3. – Perfil da capela formada a jusante da escavação do túnel, “As Built” – Túnel Sob a BR-101 Parnamirim RN, 2011.



Figura 4. – Cravação de enfilagens justapostas, 2011.

4.1 Monitoramento da Convergência do Túnel

O Relatório de convergência apresentado pelo construtor mostra que foram feitos monitoramentos em 3 seções no avanço de montante e 3 seções no avanço de jusante totalizando 6 campanhas de leituras de convergência do túnel através de extensômetro. As seções S1 e S2 de montante foram instaladas dia 07/10/2011, S1 na estaca 0+16,43 (16,43m da boca de montante) e S2 na estaca 1+0,39 (20,39m da boca de montante) e foram feitas leituras de convergência por 32 dias, não apresentou deformação considerável.

As seções S1 e S2 de jusante foram instaladas dia 10/10/2011, S1 na estaca 3+16,70 (9,36m da boca de jusante) e S2 na estaca 3+12,44 (13,62m da boca de jusante). Essas foram monitoradas com medições durante 29 dias e não apresentaram deformação considerável. Em 20/10/2011 foi instalada a seção S3 de montante na estaca 1+16,32 (36,32m da boca de montante) com leituras de convergência feitas durante 18 dias, sendo duas leituras por dia, também não apresentou deformação considerável. A seção S3 de jusante foi instalada dia 24/10/2011 na estaca 2+17,00 (29,06m da boca de jusante) com leituras de convergência feitas por 14 dias, sendo duas leituras por dia, também não apresentou deformação significativa. O monitoramento foi encerrado dia 09/11/2011 e apresentou todas as seções estáveis nas leituras de convergência realizadas.

4.2 Monitoramento do Recalque

O monitoramento de recalque do aterro foi feito na superfície da rodovia em 03 seções transversais ao túnel (Seção S01 na estaca 1+8,20m – pista montante, Seção S02 na estaca 2+1,80m – canteiro central e Seção S03 na estaca 2+4,30m – pista jusante), cada seção com 03 pontos distintos, sendo o ponto MS1 na vertical do eixo do túnel, MS2 na vertical 3 metros a esquerda do eixo do túnel e MS3 3 metros a direita do eixo túnel (figura 4). As atividades de monitoramento foram iniciadas dia 04/10/2011, nessas seções houve deformações significativas pela fuga de material. As enfilagens foram ajustadas para combater os recalques.

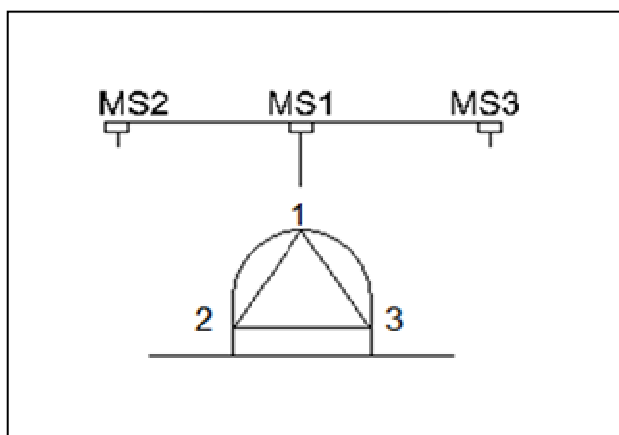


Figura 4. – Seção-tipo de monitoramento de recalque, Relatório de Instrumentação do Túnel – BR 101, 2011.

4.3 Controle Tecnológico

O concreto aplicado entre as camadas 15 e 20 não apresentou resistência de projeto ($f_{ck} = 25$ MPa) nos corpos de provas, por isso foram feitas extração de corpos de prova testemunhos (no local) que confirmam a resistência inferior. Questionado, o consórcio construtor apresentou parecer técnico que concluiu que o revestimento primário seria suficiente para equilibrar as solicitações, pois esse apresentou resistência suficiente para suportar o carregamento em até 2,66 vezes, ou seja, superior ao fator de 1,4 vezes o carregamento exigido pela Norma Brasileira NBR 6118 da Associação Brasileira de Normas Técnicas.

Após monitoramento de convergência e recalque do aterro do túnel, além da conclusão no parecer técnico quanto à resistência do concreto, foi feita a aplicação da segunda malha de tela e revestimento secundário, além dos serviços de execução das bocas do túnel, o que permitiu a conclusão do túnel, pondo-o em serviço com a retificação do rio Pitimbu.

5 PREVISÃO DE DESEMPENHO DO TÚNEL

Antes de iniciar qualquer trabalho, o planejamento é uma etapa decisiva para seu sucesso ou fracasso. Na construção de túneis, aspectos como localização do empreendimento abordando suas interferências com o meio; condições de acesso à obra e sua exequibilidade levando-se em conta as interferências previstas e ainda a investigação do solo, são pré-requisitos indispensáveis em qualquer escavação de maciço para definição da metodologia mais adequada.

A necessidade de se prever, em projetos, o comportamento de túneis, pode ser justificada pela necessidade de se avaliar a conformidade das construções com projetos. Essa previsão permite por sua vez, correções no projeto ou na construção, logo no início do processo, Zanelato (2003).

Além da correção do projeto ou da construção, permite ainda, análise e aperfeiçoamento da metodologia aplicada em cada tipo de escavação de túnel específica.

Dadas às condições conhecidas da investigação prévia do túnel estudado, o solo foi classificado na Classe VI para que fosse avaliado segundo a metodologia NATM. A metodologia considera Classe VI os solos de alteração (saprólitos) ou rocha totalmente alterada, com pouca ou nenhuma coesão, ausência de autossuporte e estabilidade quando escavados e com presença de água subterrânea.

O projeto do estudo de caso seguiu as soluções definidas para tratamento do maciço de aterro pelo método de construção NATM. Contudo, foram observadas algumas limitações nas soluções adotadas que se manifestaram durante a construção. A principal limitação foi a

desconsideração da existência de lençol freático no local. Embora os primeiros ensaios de SPT realizados não tenha apresentado nível d'água, a característica geotécnica da região e proximidade da obra ao leito de um rio é indicador de existência de local lençol freático; as investigações deveriam ter se estendido em profundidade para que pudessem identificar o nível em que o lençol freático estaria além de obter mais informações sobre o solo como coeficiente de permeabilidade dentre outros. A identificação do nível do lençol freático só foi verificada após o início das escavações manifestando-se com insurgência de água e com o carreamento do material arenoso.

A resistência ao cisalhamento dos solos arenosos é influenciada pela compactidade, forma das partículas e granulometria. Segundo Caputo (1983) “as areias densas aumentam sua resistência e as fofas diminuem. O limite entre os dois estados de compactidade, para o qual não se dará nem expansão e nem contração do material, é definido por certo índice de vazios, denominado por Casagrande, índice de vazios crítico.”

O afrouxamento de solo arenoso em presença d'água, solo saturado, pode provocar o fenômeno denominado liquefação das areias, que é o escoamento fluido da areia provocando a perda de estabilidade de maciços arenosos e consequente ruptura por cisalhamento (CAPUTO, 1983).

A segunda campanha de ensaios SPT realizados em outubro de 2011 mostrou que a principal causa dos desmoronamentos ocorridos foi a presença de água não detectada na primeira inspeção.

A instabilidade com o carreamento de solo sem coesão causou overbraek excessivo (com desmoronamento de teto). Esse aumento fica evidenciado através dos gráficos 1 e 2 que demonstram a previsão de escavação para avanço comparada à escavação realizada para avanço do túnel.

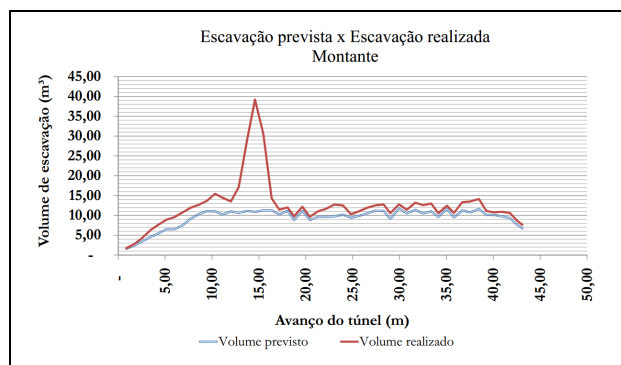


Gráfico 1. – Relação entre o volume de escavação previsto e volume de escavação realizada por avanço de túnel – montante, 2011.

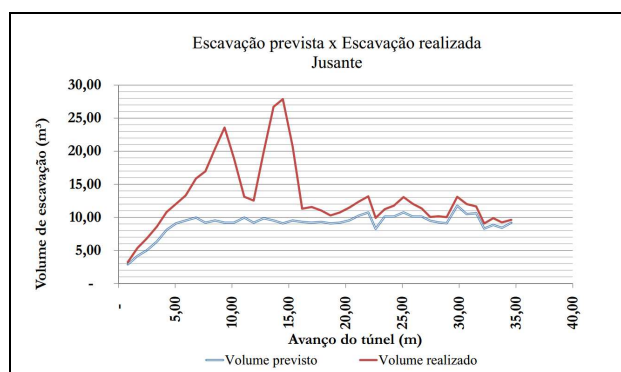


Gráfico 2. – Relação entre o volume de escavação previsto e volume de escavação realizada por avanço de túnel - jusante, 2011.

Outro aspecto observado no projeto foi o desempenho das enfilagens. Os parâmetros iniciais (enfilagens de 9,00 metros espaçadas a cada 30 cm) se mostraram insuficientes para permitir estabilidade e segurança no avanço durante a escavação do túnel, que pode ser constatada com os registros dos deslocamentos que surgiram entre as cambotas 16 e 19 de montante, 8 e 12 de jusante e 19 e 21 de jusante.

O projeto foi ajustado para combater os incidentes registrados; para tal, as enfilagens tiveram suas cravações menos espaçadas umas das outras, na maioria até justapostas evitando a fuga de solo pelo teto, além de cravações no núcleo do túnel também que com a injeção da nata de cimento permitiu uma cimentação do solo. Isso gerou uma utilização de enfilagens superior à planejada. Os gráficos 3 e 4 apresentam a extensão de enfilagens por avanço linear do túnel a montante e a jusante.

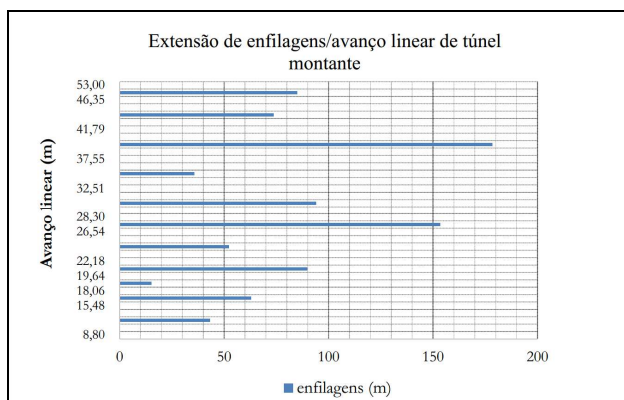


Gráfico 3. – Relação entre a extensão de enfilagens por avanço de túnel - montante, 2011

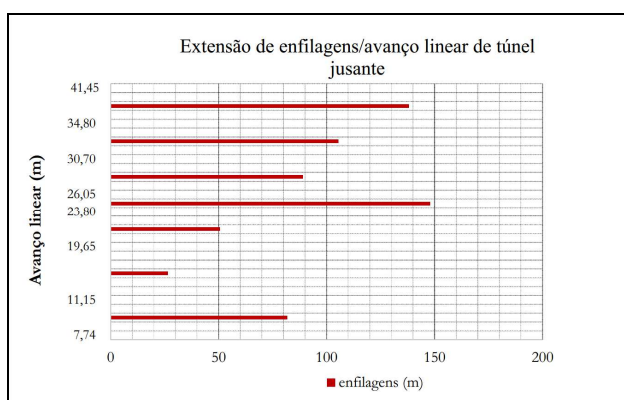


Gráfico 3. – Relação entre a extensão de enfilagens por avanço de túnel - jusante, 2011

Nos gráficos 3 e 4 verifica-se que entre os avanços 37,55 e 41,79 metros de montante, 23,80 e 26,05 metros de jusante e 34,80 e 41,45 metros de jusante os consumos de enfilagem foram bem maiores que os demais. Esses consumos refletem o comportamento do solo nesses locais onde foi preciso maior tratamento para estabilização do maciço.

Além desses incidentes, o Relatório de Instrumentação Túnel BR-101 Natal (RIT BR-101 Natal) apontou recalques consideráveis em três seções que passaram a ser monitoradas. Essas registraram um recalque máximo de 1,2 centímetros na lateral direita da Seção 03(estaca 2 + 4,30m) após o início do monitoramento. Antes do início do monitoramento o aterro sofreu recalque maior, não monitorado, mas que necessitou de correção com recapeamento de pavimento, espessura média de 10 centímetros, que apresentou desconforto aos usuários (figura 5).

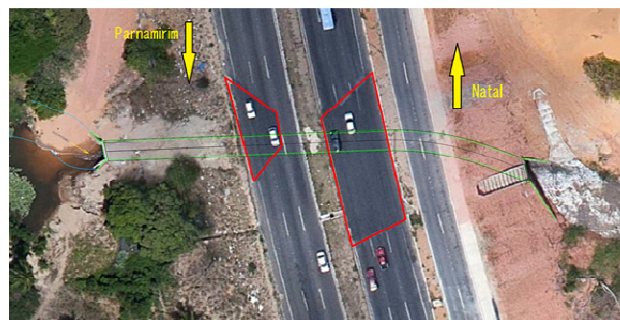


Figura 5. – Imagem com projeção do túnel implantado e área delimitada do pavimento que sofreu recalque, Google Earth, 2011 – com adaptações.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante dos incidentes registrados na obra e construção do túnel sob a BR-101/RN em Natal/Parnamirim, verifica-se que a empresa assumiu uma maior probabilidade de insucesso por não ter avaliado suficientemente as condições locais, pois “os riscos de escavação de túneis exigem um trabalho mais complexo em todas as fases da investigação do local através das fases do projeto, como planejamento da construção e conclusão deste, além do serviço subsequente” (HENA-VERGARA, 2013).

Um aspecto relevante a registrar é que segundo HERNAO-VERGARA (2013, apud Seidenfuss, 2006), em estudo realizado, verificou que 33% das rupturas em construção de túneis são devido às condições do solo e adicionando a influência da água chega a 49% dos incidentes estudados.

Barbosa (2008, p.14) afirma que a maioria dos colapsos em túneis executados pelo método NATM acontecem na fase de construção. As equipes envolvidas na execução, concepção e supervisão de uma construção com o método NATM devem compreender o funcionamento deste conceito (Barbosa, 2008).

Nesse contexto, Barbosa (2008, p. 14) registra que “grande maioria dos colapsos está associada a condições geológico-geotécnicas distintas das esperadas, o que torna as investigações prévias etapa de extrema relevância para um projeto bem sucedido”.

Relatório do Banco Mundial aponta que em média menos de 1% do custo global da obra é gasto em estudos de viabilidade e no reconhecimento das condições geológico-geotécnicas e hidrológicas antes do início do projecto (BARBOSA, 2008).

As investigações insuficientes implicaram em um consumo maior de enfilagens, que de maneira geral oneraram a obra. Em termos financeiros, os gastos com enfilagens respondem por 39,41 % do valor global do túnel.

É imprescindível esclarecer que mesmo com os incidentes registrados, o cenário em que a obra foi erigida, o carácter emergencial e a situação adversa das características do solo (areia de duna), o túnel foi concluído no período programado, dentro de 180 dias com a contínua operação da rodovia, mesmo com os recalques registrados, o que não causou maiores transtornos aos usuários da rodovia.

Analisando o custo, foi feito comparativo para implantação de dois segmentos de pista marginal no total de um quilômetro e duas Obras de Arte Especiais – OAE numa extensão de 100 metros cada uma com duas faixas de rolamento que seriam usadas para desviar o tráfego das duas pistas principais. Em seguida, simulou-se a construção de mais duas OAE nas pistas principais com reabilitação das pistas. O valor estimado para execução dos serviços foi de R\$ 29.433.115,66 (vinte e nove milhões, quatrocentos e trinta e três mil, cento e quinze reais e sessenta e seis centavos) baseados nos Custos Médios Gerenciais (maio/2011) da Coordenação Geral de Planejamento – CGPLAN da Diretoria e Planejamento e Pesquisa – DPP do DNIT, o que comparando com os valores para implantação do túnel e as pistas marginais que foram estimados em R\$ 13.435.956,28 (treze milhões, quatrocentos e trinta e cinco mil, novecentos e cinquenta e seis reais e vinte e oito centavos) ficaria muito mais oneroso.

Nesse caso, verifica-se que a metodologia além de ter sido adequada, com adaptações, à execução do túnel sob a rodovia BR-101, permitiu um menor custo considerando as opções disponíveis como a construção de duas

OAE com segmento de rodovia para desvio de tráfego descrito na simulação anterior.

REFERÊNCIAS

- ALONSO, U. R. *Sistemas para rebaixamento do nível de água*. In: ALONSO, U. Rebaixamento temporário de aquíferos. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. p. 79 – 100.
- BARBOSA, P. F. M. *Avaliação do Risco em Túneis Rodoviários Extensos em Maciços Rochosos*. 2008. 97 p. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2008.
- CAPUTO, H. P. *Mecânica dos solos e suas aplicações; fundamentos*. 5. Ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S. A., 1983
- DE ALMEIDA, J. H. *Relatório Técnico – Túnel sob a BR 101*. Sistema de Drenagem. Geotecnia. Parnamirim/RN. 2011
- DE SOUZA, T.B.B. *Tratamento de solos para execução de túneis urbanos*. 2003. 105 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil com ênfase Ambiental) – Universidade Anhembí Morumbi, São Paulo, 2003.
- GERALDI, J. L. P. *ESCAVAÇÕES SUBTERRÂNEAS*. In: GERALDI, J. L. P. O ABC das Escavações de Rocha. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. p. 169 – 263.
- HENAO-VERGARA, D.A. *Análise paramétrica da técnica de pré-suporte com enfilagens em portais de túneis*. 2013. 93 p. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2013.
- MAFFEI, C. E. M., *Parecer sobre o revestimento do túnel de desvio do rio Pitimbu sob a BR-101* – Parnamirim/RN. 2011)
- MOREIRA, M. M.; DE SOUZA, N. M.; CUELLAR, M. D. Z.; ARRAES, K. A. *Carta de Suscetibilidade e Risco a Movimentos de Massa e Eventos Destrutivos de Natureza Hidrogeológica na Região Urbana do Município de Natal* – RN. Geologia. Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, João Pessoa, 2015.