

# TÚNEL FERROVIÁRIO COM BAIXA COBERTURA SOB RODOVIA

**MSc. Eng<sup>a</sup> Danielle Fernanda Morais de Melo**, engenheira civil  
GeoCompany – Tecnologia, Engenharia e Meio Ambiente

**MSc. Eng<sup>a</sup> Izabel Gomes Bastos**, gerente de projetos  
GeoCompany – Tecnologia, Engenharia e Meio Ambiente

**Eng<sup>o</sup> Thomaz Henrique Leite de Jesus**, gerente de geotecnia  
GeoCompany – Tecnologia, Engenharia e Meio Ambiente

**Eng<sup>o</sup> Habib Georges Jarrouge Neto**, gerente de projetos  
GeoCompany – Tecnologia, Engenharia e Meio Ambiente

**Prof. Dr. Roberto Kochen**, presidente e diretor-técnico  
GeoCompany – Tecnologia, Engenharia e Meio Ambiente

execução do túnel foi realizada com segurança, seguindo as mais modernas técnicas de escavação, suporte e contenção disponíveis para obras deste porte. A atuação do ATO permitiu a escavação em segurança, com ganho de tempo e economia. A obra foi executada no período de oito meses, destacando-se que neste período todas as escavações a fogo foram coordenadas com a concessionária da rodovia, para evitar riscos com o tráfego de veículos.

**Palavras-chave:** Túnel Ferroviário; Túnel em Rocha; Túnel sob Rodovia; Túnel com Baixa Cobertura.

## RESUMO

O artigo apresenta a descrição do projeto e a atuação do ATO (Acompanhamento Técnico de Obra) da empresa GeoCompany na escavação de um túnel sob a Rodovia Castelo

Branco, SP-280. O túnel foi escavado para a duplicação de um trecho da ferrovia pertencente à ALL – América Latina Logística. A obra apresentou características ímpares, sendo a mais relevante delas, a baixa cobertura. A

## INTRODUÇÃO

Este artigo apresenta os aspectos construtivos do túnel executado sob a Rodovia Castelo Branco, na região

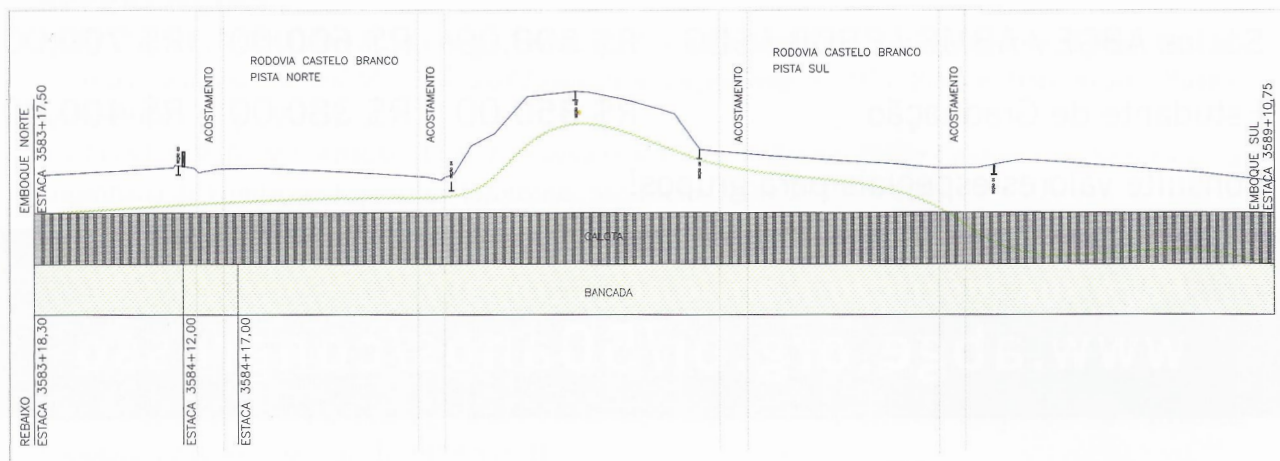


Figura 1 – Perfil longitudinal da escavação

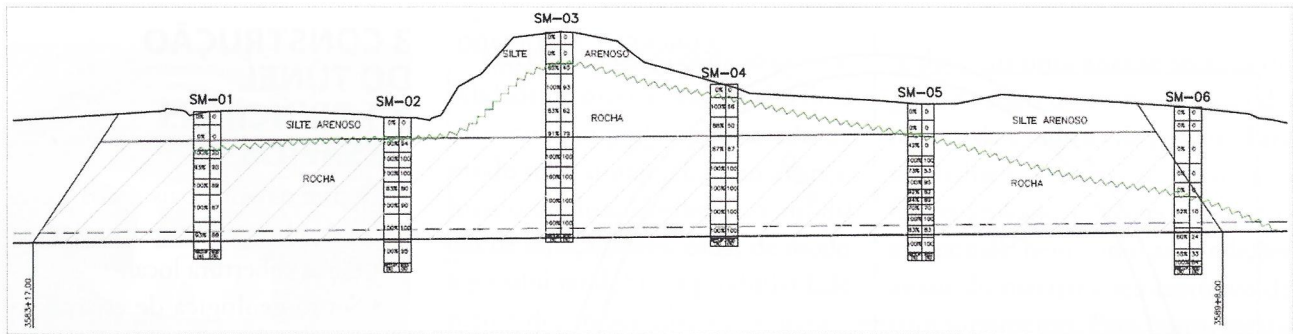


Figura 2 – Perfil geológico-geotécnico

do km 79+500, com a finalidade de duplicar a ferrovia para a ALL – América Latina Logística.

Trata-se de obra complexa e de elevada responsabilidade técnica, que foi a duplicação de um túnel ferroviário, pelo método NATM (*New Austrian Tunneling Method*), no trecho Boa Vista – Canguera (Botuxim – Dona Catarina).

O túnel apresenta extensão total de 113 m, sendo 45m escavados sob as pistas da Rodovia Castelo Branco. Foi construído ao lado de um túnel similar já existente, o período de construção foi de oito meses.

Por transpor a rodovia, a obra envolvia terceiros, como a CCR e a Polícia Militar Rodoviária, de modo que a escavação teve que ser realizada de forma controlada. Por exigência da CCR durante todas as etapas de escavação a fogo sob as pistas da rodovia houve a paralisação do tráfego na rodovia, de modo a não haver riscos aos usuários por eventual queda de fragmentos de rocha.

O perfil transversal do túnel (ver Figura 1) construído seguiu o do túnel existente no local, a escavação se iniciou com baixa cobertura, de 4m do Emboque Norte e de 3,6 m no Emboque Sul. Quando a escava-

ção do túnel passou sob a rodovia, a cobertura ainda era inferior a 1 diâmetro, caracterizando um túnel de baixa cobertura.

## 1 GEOLOGIA LOCAL

O perfil geológico-geotécnico do local da implantação do túnel é constituído, segundo os resultados das sondagens executadas no local, por uma camada superficial de silte arenoso pouco argiloso com fragmentos de rocha (solo residual), com índices de penetração variando de 8 a 40 golpes.

A seguir tem-se um granito fanerítico, leucocrático muito coerente, são fraturado a pouco fraturado. O túnel foi escavado nesta camada.

Não foi detectado o nível d'água do lençol freático nos furos de sondagens.

A Figura 2 apresenta o perfil geológico-geotécnico atravessado pelo túnel.

## 2 DADOS DO PROJETO EXECUTIVO

O projeto executivo apresentou túnel com seção de escavação de 60,40 m<sup>2</sup> e diâmetro equivalente de 8,80 m. A espessura do revestimento de concreto projetado é de 26 cm, armado com cambota treliçada, com um cobrimento de armadura de 5 cm. O concreto projetado foi espe-

cificado com resistência característica à compressão de 25 MPa. A Figura 3 ilustra a seção transversal do túnel.

O avanço da escavação ocorreu com duas frentes de ataque, denominadas por Emboque Norte e Emboque Sul, e foi realizado em calota e bancada. O passo de avanço previsto em projeto foi de 1,20 m com a instalação de cambotas a cada 0,80m. O projeto previu o desmonte da rocha através de plano de fogo cuidadoso, de modo a evitar-se danos à rodovia.

## 2.1 TRATAMENTO DO MACIÇO

O tratamento previsto em projeto é composto por enfilagens formadas por tubos de aço SCH-80 de 2 1/2" de diâmetro, espaçadas de 40 cm, instalados em perfurações de 4" de diâmetro.

A escavação do túnel foi realizada por duas frentes de ataque denominadas de Emboque Norte e Emboque Sul, sendo as enfilagens executadas em quatro lances, sendo dois lances sob cada pista e com comprimentos entre 15 m e 20 m.

O cobrimento mínimo de solo acima da calota do túnel é 3,60 m e ocorre nos emboques, sendo que o cobrimento mínimo sob a



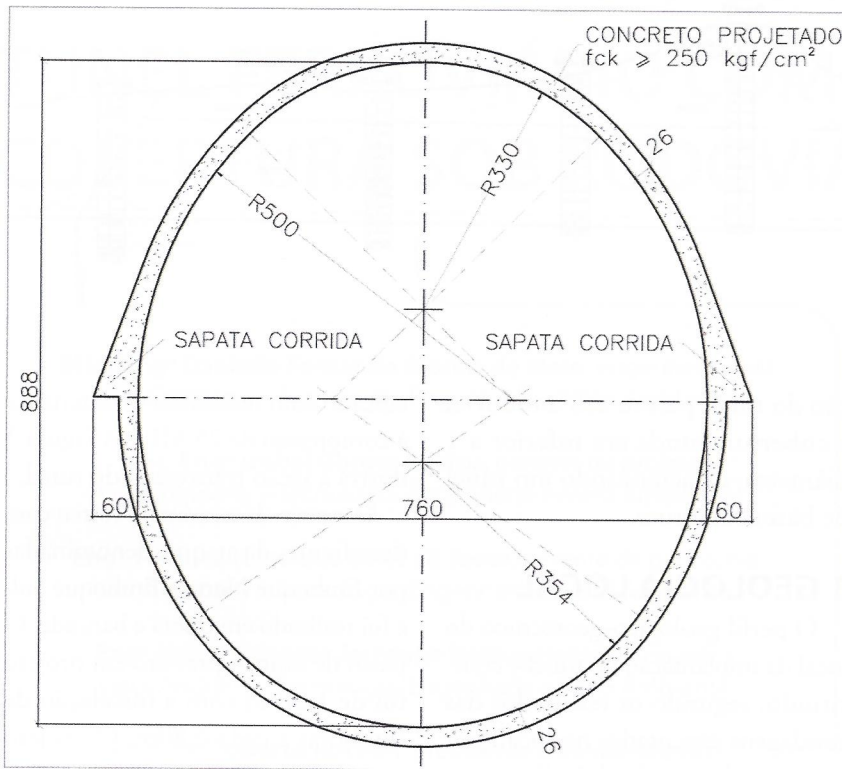


Figura 3 – Seção transversal do túnel

rodovia é menor que 1 diâmetro. Devido a baixa cobertura e da característica de não haver condição de interrupção de tráfego na rodovia é de fundamental importância que se garanta uma estabilidade total, tanto da abóbada como da frente de escavação, durante toda a construção do túnel.

A fim de se garantir uma superfície de escavação da abóbada, sem que ocorra uma sobre-escavação (“over break”) que venha reduzir ainda mais a espessura de revestimento, as enfilagens internas foram executadas a partir de nichos escavados na abóbada para permitir a acomodação da perfuratriz e a realização de perfurações praticamente coincidentes com a superfície de escavação a ser realizada.

O preenchimento das enfilagens foi realizado por meio de injeção de calda de cimento, por dentro dos tubos e até a surgência da mesma na boca, sempre sob pressões baixas e controladas para se evitar qualquer dano ao pavimento da rodovia.

## 2.2 INSTRUMENTAÇÃO

A instrumentação externa ao túnel, prevista em projeto, era de quatro seções compostas por sete pinos de recalque instalados na superfície do terreno nas laterais das pistas da Rodovia Castelo Branco, para monitoramento dos recalques superficiais.

O projeto previa os limites de 2 cm como limite de atenção e 3,6 cm como limite de alerta para o recalque superficial.

## 3 CONSTRUÇÃO DO TÚNEL

### 3.1 PRINCIPAIS DESAFIOS

Dentre os principais riscos à execução da obra podemos listar:

- Baixa cobertura local;
- Seção geológica de escavação mista;
- Ocorrência de rocha fraturada;
- Taludes junto ao emboque de elevada altura, em material de baixa coesão e sem sistema de drenagem/estabilização adequados;
- Tráfego contínuo de trens de carga no túnel paralelo à escavação; com possibilidade de vibração transmitida ao maciço de solo e rocha.

### 3.2 COBERTURA

Túneis com baixa cobertura são aqueles escavados com cobertura de solo inferior ao seu diâmetro. Na escavação de túneis em NATM, o maciço ao redor da escavação contribui significativamente com a estabilidade, através da redistribuição das tensões geradas pela formação do arqueamento do maciço circundante à escavação.

Para o túnel em questão, cuja cobertura inicial era da ordem de 4m, durante a construção o revestimento é mais solicitado nas primeiras horas, até que, com o processo de cura, o concreto atinja a resistência adequada para atender aos esforços solicitantes. Nesse tempo inicial, a cambota atua como capacidade de suporte imediata.

### 3.3 ESCAVAÇÃO

A maior parte da escavação foi realizada ao longo de um maciço rochoso classe III segundo o método





Figura 4 – Detalhe da escavação em saprólito, na frente de escavação sul

de Bieniawski. Entretanto, cerca de 20% da parte superior da escavação avançou em saprólito, o que limitava a velocidade de avanço da escavação.

Esta condição de ocorrência de saprólito, em algum grau, se estendeu pelos primeiros 20,4m de túnel, até a “subida” do topo rochoso, desde o Emboque Norte. Quanto ao Sul, esta ocorrência avançou até cerca de 44,20m desde este emboque. A Figura 4 apresenta uma imagem da escavação em saprólito.

Como medida de segurança, o ATO recomendou a utilização de cambotas a cada 40cm nesse trecho inicial da escavação para a passagem sob a rodovia.

Na região de escavação do emboque foi utilizado um abafamento, através da cobertura com 2 m a 3m de solo, para reduzir o risco de haver queda de blocos sobre a linha férrea.

Após esse início em seção mista ou com presença de saprólito, o restante da escavação, com cerca de 48 m foi desenvolvida em maciço uniforme de granito fraturado, considerado classe III através da utilização da metodologia de Bieniawski.

Devido a melhor condição de estabilidade do maciço, este trecho final de escavação pôde ser escavado de modo mais dinâmico, com avanço médio de duas cambotas, com 80 cm de espaçamento, cada, de modo a possibilitar dobrar a produtividade média dos meses anteriores, para o Emboque Sul, por exemplo.

Um dos maiores desafios durante a escavação do maciço, em termos de segurança de escavação, são as famílias de fraturas, suas direções e mergulhos em relação à frente de escavação. Devido ao maior grau de fraturamento, com preenchimento brando em alguns casos, havia risco de isolamento de capelas no teto e de blocos na frente de escavação.

Estas ocorrências, que poderiam colocar em risco as regiões lindeiras, como a rodovia, foram controladas pelo ATO durante todo o processo de escavação, sendo tomadas medidas de segurança como a redução do passo de avanço da escavação, alterações nas cambotas e nos tratamentos de projeto.

Tendo em vista os riscos associados à escavação com detonação, foi recomendada a ainda a existência de contingenciamento de materiais para a execução de chumbadores eventuais com resina de pega rápida. Tais chumbadores seriam utilizados no caso de identificação de região de risco de isolamento de blocos.

A seção de projeto do túnel é uma estrutura circular/ovalada, o projeto foi desenvolvido com base nesta modelagem. Quando ocorriam *overbreaks* ou sobre-escavação de modo a desconfigurar a seção de projeto, o ATO exigia o reforço de imediato,

realizando uma análise técnica do grau de risco de uma condição diferente da condição de projeto. Para tal análise eram levados em conta os fatores geológicos e geotécnicos locais e regionais, bem como as condições atuais do maciço e seu histórico de comportamento. Para tanto, foram necessários dados de campo e demais dados de apoio, como instrumentação, esforços solicitantes, sondagens etc.

### 3.4 TALUDES

Junto ao local do emboque existem taludes, do lado direito do emboque, o talude estava protegido com camada de concreto projetado e do lado esquerdo o talude estava descoberto, como pode ser observado na Figura 5.

Ao longo das obras de escavação da região dos emboques o ATO identificou regiões de instabilidade nos taludes, principalmente no Emboque Norte, governadas pelo fraturamento desfavorável e seção mista de solo/saprólito e maciço rochoso fraturado, graduado de brando a pouco decomposto e são.



Figura 5 – Taludes no Emboque Norte, no início das escavações



Ao longo da evolução da obra, o ATO advertiu sobre o risco dos taludes arenosos expostos em processo de erosão. Já nos meses finais da obra, constatou-se uma cunha de ruptura ativa e trincas na berma de equilíbrio deste talude. Como medida de contenção e estabilização deste trecho adicional foi realizada a ampliação da solução do projeto original de estabilização do talude, sendo executado um sistema de contenção em solo grampeado capaz de eliminar os riscos observados na obra. A Figura 6 apresenta uma vista da contenção em solo grampeado na fase final de execução.

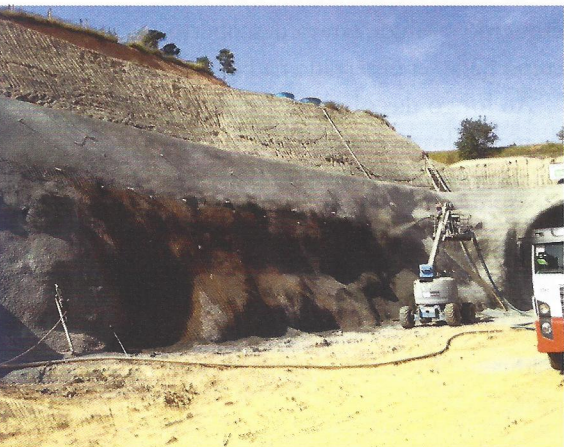


Figura 6 – Evolução do solo grampeado, na fase final de execução

### 3.5 MÉTODO CONSTRUTIVO

A Geocompany verificou o projeto e recomendou a utilização de cambotas mais robustas para as 17 primeiras cambotas do túnel, emboque sentido interior da rodovia, para aumentar a segurança do empreendimento. Isto porque neste trecho a cobertura de rocha é baixa e assimétrica, reduzindo o arquea-

mento do maciço e aumentando os esforços no revestimento do túnel, o que levou à necessidade de cambotas mais pesadas neste trecho.

Foi verificada a possibilidade de modificação do projeto do rebaixo e arco invertido. De modo que, o projeto inicial do rebaixo do túnel e arco invertido, conforme apresentado anteriormente na Figura 3, foi modificado, pela projetista, para um sistema de escavação instalando pés tipo treliça metálica verticais para o rebaixo e a execução ou não do arco invertido, em função da ocorrência de embutimento em rocha.

Esta orientação foi projetada para quando a escavação fosse embutida em rocha, onde foram executados pés verticais das cambotas, solidificados adicionalmente por 2 linhas de chumbadores, além de uma linha de chumbadores preliminar à escavação do rebaixo. Posteriormente, foi

aplicada uma tela metálica e executado o concreto projetado conforme o projeto.

Esta solução de melhoramento de projeto, em função do cenário geológico-geotécnico observado ao longo da escavação da calota do túnel, viabilizou um ganho significativo de tempo e economia, uma vez que reduziu a escavação em rocha para o arco invertido ao longo do túnel, com conseqüente consumo de concreto projetado e tela metálica.

A Figura 7 apresenta a seção final aprovada pela projetista para a escavação embutida em rocha.

O ponto de encontro das frentes foi definido em função da região de melhor capacidade de suporte do maciço, e de menor risco à rodovia. Esta região foi o canteiro central da rodovia, a Figura 8 apresenta uma imagem do encontro das frentes de escavação.

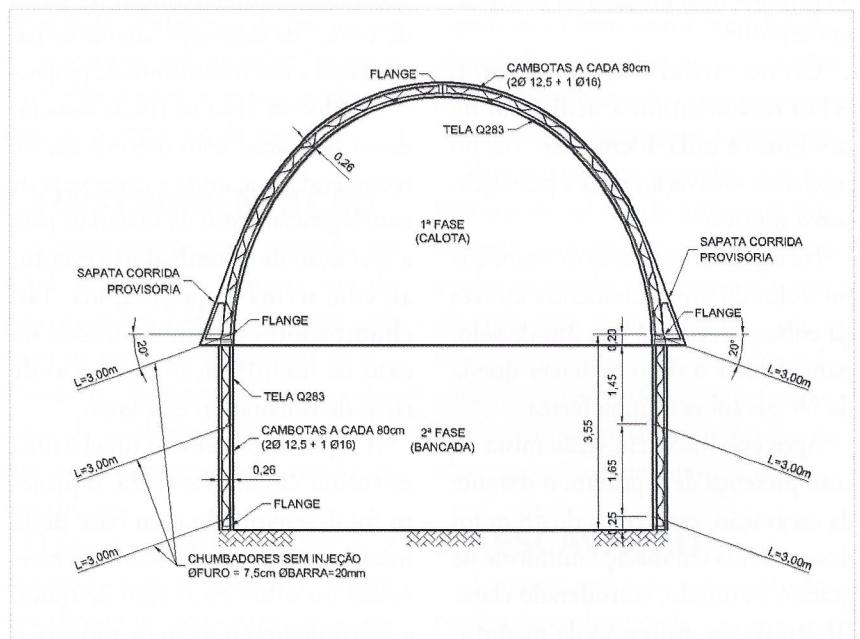


Figura 7 – Seção de escavação para trecho em rocha





Figura 8 – Frente de encontro da escavação

Neste local, a escavação pelo Emboque Sul já apresentava seção plena em um maciço rochoso classe III, de maior capacidade de suporte. Essa região era também a de maior cobertura da escavação. O procedimento do encontro das frentes foi monitorado pelo ATO, tendo sido realizado com sucesso.

### 3.6 TRATAMENTO DO MACIÇO

Durante a execução das enfilagens o ATO recomendou a permanência de um profissional na parte superior do talude, de modo a monitorar, durante a injeção, os taludes e a rodovia, para o caso de haver alguma anomalia durante a injeção, que não foi o caso da obra em questão.

O projeto original de enfilagens previa quatro lances de enfilagens com comprimento de 15m a 20m, executadas a partir de nichos executados no teto da escavação. Tal projeto foi revisado, de modo a instalar enfilagens

ao longo de todo o comprimento do túnel, para maior segurança.

A execução de enfilagens mais curtas, reduziu o efeito de abatimento potencial ao longo de seu comprimento, viabilizando sua instalação sem a necessidade de execução de nichos, que teriam cerca de 5 m de comprimento ao longo de uma seção do túnel, o que oneraria a obra, além de reduzir sua velocidade devido a necessidade de execução dos nichos e da maior área de execução de concreto projetado e de tela metálica em trecho de maior altura, incrementando potencialmente também seu risco.

As enfilagens têm a função de melhorar o confinamento da região acima da escavação, reduzindo os riscos de queda de blocos de rocha e deslocamentos de maior monta de solo no teto do túnel, durante o processo de escavação.

### 3.7 RESULTADOS DA INSTRUMENTAÇÃO

Em análise das seções de instrumentação apresentadas, por meio de marcos superficiais, observou-se que os valores apresentam variações de pico totais de cerca de 12 mm. A Figura 9 apresenta um detalhe da instalação dos marcos superficiais.

De modo geral, não se observou tendência ou anomalia, que pudessem evidenciar risco acima do normal ao empreendimento. Esta verificação foi ainda analisada por meio de comparação ao valor de 36mm de limite de alerta, recomendado pela projetista.

Constatou-se também, por meio de inspeções visuais ao longo do túnel e zonas lindeiras, que a obra foi realizada sem danos visuais ao entorno, bem como ao túnel.

Foram instaladas ao todo, 20 seções de convergência ao longo do túnel, durante a escavação da calota, que foram perdidas durante a execução do revestimento secundário. Posteriormente, durante a escavação do rebaixo, foram instaladas dez seções adicionais de convergência.



Figura 9 – Detalhe da instalação dos marcos superficiais



Analisando as seções de convergência instaladas durante a execução da calota, foram verificados valores de deslocamento médios de 3 mm a 6 mm, com picos de 8mm, durante todo o período de escavação do túnel.

Analisando ainda estes dados em conjunto com as inspeções tátil visual diárias realizadas pelo ATO, verificou-se que não houve qualquer sinal de anomalia física no túnel até a sua entrega final.

A Figura 10 apresenta uma vista geral do Emboque Norte, após a conclusão das obras do túnel e do solo grampeado, sendo possível observar



Figura 10 – Vista geral do Emboque Norte, após a conclusão das obras

as obras de instalação de sistema de drenagem e trilhos.

## CONCLUSÕES

A execução do túnel sob a Rodovia Castelo Branco foi realizada com segurança, seguindo as mais modernas técnicas de escavação, suporte e contenção disponíveis para obras deste porte.

A atuação da GeoCompany viabilizou dinâmicas alterações de projeto, reduzindo o prazo da obra, mantendo seus níveis de segurança e diminuindo prazos de execução.

A obra foi realizada ao longo de cerca de oito meses, não havendo nenhum incidente relevante.

Quanto ao monitoramento realizado pelo ATO durante toda a obra de escavação do túnel, tanto no interior deste como nas zonas lindeiras, não se observou nenhuma anomalia que viesse na integridade do túnel até o momento de sua entrega. Tal observação é confirmada pela análise das instrumentações por meio de marcos superficiais e das seções de convergência implantadas no interior do túnel, que não apresentaram sinais de instabilida-

de ao longo do tempo, além dos limites da tolerância dos aparelhos de leitura e/ou parâmetros de atenção e alerta apresentados pela projetista.

A GeoCompany participou ativamente durante todo o período de obra, tomando todas as atitudes técnicas necessárias frente aos desafios surgidos ao longo do processo de escavação e tratamento do túnel, de modo a não ter sido observado nenhuma ocorrência anômala que desabone o desempenho do empreendimento, ou a sua segurança.

## ENTIDADES PARTICIPANTES DO EMPREENDIMENTO

- Proprietária: ALL – América Latina Logística atual RUMO Logística
- Projeto: A. H. Teixeira Consultoria e Projetos S/S Ltda.
- Construção: VAD Engenharia e Empreendimentos Ltda.
- CQP (Controle de Qualidade do Projeto) e ATO (Acompanhamento Técnico de Obra): GeoCompany Tecnologia, Engenharia e Meio Ambiente Ltda. ■

## REFERÊNCIAS

RE-2906/14 – Memória de Cálculo Túnel NATM – A.H. Teixeira Consultoria e Projetos S/S Ltda. São Paulo, 13 de fevereiro de 2014.

Relatório Técnico – Controle de Instrumentações – VAD Engenharia e Empreendimentos Ltda., 21 de junho de 2014.

ALL.1301.ATO.RFO.001.0 – Relatório Final de Obra – Túnel Sob Rodovia Castelo Branco – Região km 70+500 – ATO Acompanhamento Técnico de Obra – GeoCompany Tecnologia Engenharia e Meio Ambiente Ltda., 08 de julho de 2014.