

TÚNEL – SOLUÇÃO PARA O COMÉRCIO, MERCADO IMOBILIÁRIO E MERCADO INDUSTRIAL

Alberto Casati Zirlis¹; Cairbar Azzi Pitta¹; George Joaquim Teles de Souza¹ & Luis Ademar Peruchi¹

Resumo - Apresentam-se doze casos de obras (Caso 1 à caso 12) em que foram executados 14 túneis túneis, a partir de 1996. Todos foram construídos em áreas densamente urbanizadas, de intenso tráfego ou áreas industriais em implantação. As seções são variáveis entre 3,3 e 60,0m² e foram todos construídos pelo método NATM sem aplicação de cambotas como elemento de sustentação. São obras em que o tomador final é privado em oito casos, concessionárias ou públicas em seis. O enfoque será para alguns os aspectos do dia-a-dia e peculiaridades da execução. Serão mostrados alguns dados geométricos, fotografias, resultados de ensaios tecnológicos do concreto projetado. Não serão abordados condicionantes do projeto.

- ✓ Três obras passam sob rua pública ligando áreas do mesmo proprietário e tem alvará de uso legalizado junto à Prefeitura Municipal de São Paulo, um caso para o Hospital N.Sra de Lourdes e dois para o Supermercado Andorinha.
- ✓ Um túnel para receber a 5ª Linha Adutora de Água Bruta da SABESP.
- ✓ Um túnel para passagem de cabos da Eletropaulo na Av. Paulista.
- ✓ Dois túneis para drenagem rodoviária das Concessionárias Triângulo do Sol e Consorcio Construtor.
- ✓ Um túnel ferroviário da Valec que atravessou área de solo expansivo e sofreu colapso.
- ✓ Um caso diz respeito a obra realizada internamente a uma residência assobrada na cidade de São Paulo, visando a implantação de elevador.
- ✓ Três casos são nas indústrias da Votorantim e Renault, em que trocou-se a escavação, construção convencional de galeria de concreto armado e aterro por túnel plano e trechos inclinados para acesso à superfície com 27, 29 e 37 graus.
- ✓ Um túnel de serviço executado sob o piso da indústria TRW em operação.
- ✓ Um túnel para passagem de pedestres sob 3 linhas da CPTM em operação, em Osasco.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer às orientações e apoio recebidas durante a execução das obras pelos projetistas: Eng. Alberto Henriques Teixeira, Dr Milton de Matos, Dr Roberto Kochen, Eng.Eugenio Pabst. Especialmente ao Eng. Alberto Henriques Teixeira, que com muita paciência e sabedoria nos ajudou a enfrentar o difícil caso em que ocorreu um acidente.

Ainda mais aos nossos colaboradores diretos, especialistas de campo, *os mestres*: Elcias José de Aguiar, José Mauricio de Aguiar; *os feitores*, Anízio José da Silva, Benedito Francisco Sobrinho, Ivanilton José Jesus do Nascimento, Adegildo Bezerra, Florisvaldo Ramos Vieira, Antônio Pereira de Sousa (Codó), Egídio Rank, Francisco Nelson dos Santos; *os mangoteiros*: Luís Paulo da Silva Teixeira, Robson Ferreira Bezerra, Francisco Ferreira de Souza, João Santos de Souza, José Elizon Xavier da Costa, Joaquim Pereira de Souza, Edeval Francisco de Oliveira, Edmilson Bispo de Souza; *os frentistas*: Adelino Francisco de Souza, José Iran Bezerra, Manoel Francisco de Souza, Manoel Gomes dos Santos, Paulo Teonas de Aguiar.

¹ Diretores da Solotrat Engenharia Geot. Ltda.

Tabela 1 Resumo dos dados geométricos dos túneis

Identificação	Nº	ANO	Dimensões Úteis		Dimensões da escavação		Espessura do concreto (cm)	Cobertura (m)	Extensão (m)	Armação	tempo de exec.	Escavação (m³/turno)	
			Ø (m)	(m²)	Ø (m)	(m²)					(turnos de 12h)		
136 - Hosp. N. Sra. de Lourdes	1	ago/96	3.40	9.08	3.64	10.41	12	3.30	32.2	CPAF	25	13.4	
200 / 236 - Adutora Rio Grande SABESP / Carioca	2	jul/98	1.80	2.54	2.04	3.27	12	7,0 a 11,1	35.2	CPAF	82	1.4	
			2.00	3.14	2.24	3.94	12	7,0 a 11,1	220.0	CPAF	176	4.9	
			4.00	12.56	4.48	15.86	12		71.9	CPAF+CPAT			
277- Supermercado Andorinha	3	mai/99	7.85	48.30	8.45	56.08	30	6.70	21.0	CPAT	63	18.7	
			4	5.10	20.40	5.40	23.61	20	3.65	21.0	CPAF	26	19.1
			4a	3.00	7.07	3.24	8.24	12	3.65	10.7	CPAF		
313 - Camargo Corrêa / Av. Paulista	5	abr/00	1.50	1.77	1.74	2.37	12	4.00	60.0	CPAF	37	3.8	
335 - Triângulo do Sol / Araraquara	6	abr/00	5.40	23.00	6.00	27.80	30	7.00	81.5	CPAF	164	13.8	
357 - Cons. Construtor / Ribeirão Preto	7	abr/00	1.60	2.01	1.82	2.60	11	4.00	23.0	CPAF	21	2.8	
363 - CESBE / Estreito / MA	8	jul/00	8.15	52.00	8.75	60.00	30	3.00	69.0	CPAF+CPAT	290	14.3	
366 - R.Traipu / Pacaembu	9	jul/00	2.75	6.00	3.05	7.30	15	0.35	22.0	CPAF	21	7.6	
386 - Moraes Dantas / Renault - (Prensa)	10	jan/01	4.60	16.60	5.16	20.90	28	2.50	49.5	CPAF	92	11.2	
386 - Moraes Dantas / Renault - (Acesso ao Fosso - 37 graus)	11	jan/01	2.60	5.30	2.96	6.90	18	4.10	12.7	CPAT	30	2.9	
423 - TRW / Três Corações	12	jul/01	1.72	2.32	2.06	3.30	14	0.70	22.7	CPAF	20	3.7	
424 - SERPAL Votorantim - Os túneis 13a e 13c tem 29 graus	13a	nov/01	4.62	16.75	5.44	23.62	40	0 a 12,0	23.3	CPAT	163	3.4	
			13b	4.34	14.77	5.15	20.86	40	0 a 12,0	4.8	CPAT	24	4.2
			13c	2.68	5.64	3.48	9.62	30	0 a 12,0	20.40	CPAT	60	3.3
			13d	2.68	5.64	3.28	8.45	30	0 a 12,0	9.5	CPAT	20	4.0
			13e	9.50	4,55 (alt.útil)	5,35 (alt. escavação)			SALÃO		CPAT		
501 - Terramoto/ CPTM/ Osasco	14	jan/03	2.92	6.7	3.42	9.2	25	0 a 2,5	32.0	CPAF+CPAT	60	4.9	
OBRAS COM TRABALHO EM 2 TURNOS: 2, 6, 8, 10, 13a, 13b, 13c, 13d, 14													
Legenda : -CPAF – Concreto Projetado Armado com Fibra -CPAT – Concreto Projetado Armado com Tela													

Caso 1 - Obra 136 – Hospital Nossa Sra de Lourdes / Jabaquara-São Paulo-SP

1.1 Apresentação

O Hospital Nossa Senhora de Lourdes localiza - se na R. das Perobas, próximo da estação Jabaquara do Metro em São Paulo. Seu prédio se situa nos limites do cone de pouso e decolagem do Aeroporto de Congonhas, não podendo portanto receber ampliações no sentido vertical .

Para viabilizar a construção do Hospital da Criança, em terreno vizinho, defronte ao HNSL mas do outro lado da rua, era necessário o uso das utilidades do HNSL, tais como : cozinha , lavanderia , etc .

A solução seria ligar as duas áreas sem interferir com o trânsito da Rua das Perobas. Optou-se então pela construção de uma passagem inferior não destrutiva, um Túnel NATM. Como foi ocupada área pública, era necessário

obter a permissão da Prefeitura Municipal de São Paulo, concedida por meio do “Termo de Permissão a Título Precário e Oneroso” emitido em 30/06/1996 .

O túnel tem extensão de 32,2m , seção de escavação de 10.41m² e cobertura de 3,3m. O emboque ocorreu em talude com cerca de 70 graus de inclinação protegido por concreto projetado após a execução de enfilagens, e o desemboque foi em parede de concreto armado existente.

1.2 Alguns dados da Geologia local

Trata-se de solo sedimentar terciário, Taguá, capeado por aterro de argila que ocorria no terço superior da seção e em seu trecho final . Não se observou a presença de água do lençol freático.

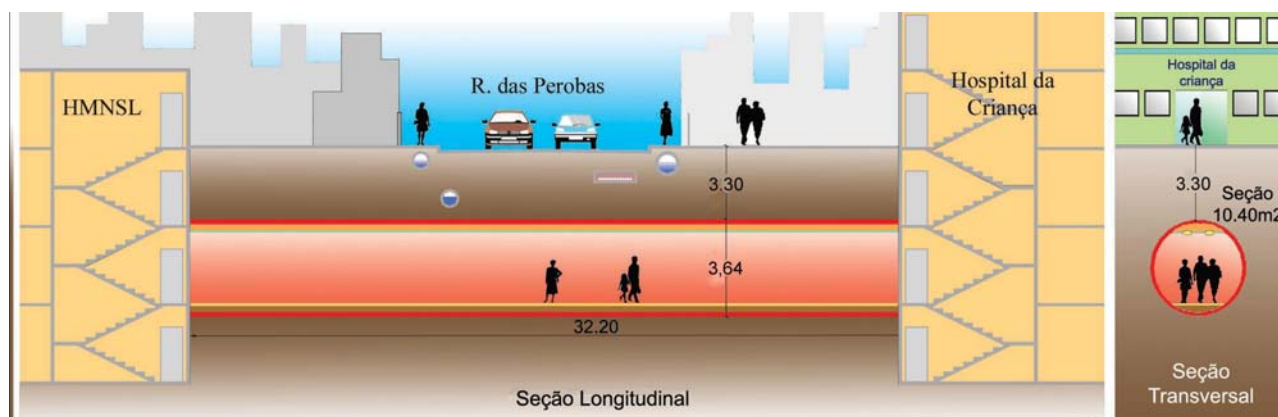


Figura 1 - Seção longitudinal e transversal do túnel

1.3 Algumas peculiaridades de execução

Para o emboque, foi executada enfilagem injetada longa, constituída por barras de aço providas de dois tubos com válvulas para injeções de fases.



Foto 1 - Detalhe parcialização da seção de escavação

Sua escavação foi parcializada em duas etapas com dama central, em que após quatro avanços de 60cm da parte superior, era executado o invert do total do avanço escavado. Por desconhecer a localização das redes subterrâneas existentes sob a rua foram tomadas medidas sistemáticas de segurança durante a escavação, com a utilização de enfilagens cravadas e injetadas. A retirada do material escavado era feita com mini escavadeira sob pneus do tipo “bob cat”. O alinhamento diário da escavação era feito através de fios de prumo e mangueira de nível. A cada semana a topografia verificava o alinhamento e geometria do túnel. Não houve nenhuma instrumentação.

O revestimento de suporte de concreto foi executado pela aplicação de concreto projetado por via seca , utilizando-se 100% de pré umidificação com “booster” colocado a 3,0 metros antes do bico , armado com fibras metálicas e sem camboteamento. Para cura mais rápida do concreto foram utilizados aditivos líquidos não alcalinos e em pó convencional.



Foto 2 - Vista Geral da obra



Foto 3 - Obra Acabada

Caso 2 - 200-236- SABESP / Carioca / São Bernardo do Campo-SP

2.1 Apresentação

Para implantação, da tubulação em aço da 5ª Linha Adutora de Água Bruta da SABESP, participante do Sistema Rio Grande, foram necessárias muitas obras em túneis, pois se estendiam por áreas densamente ocupadas na região do Grande ABCD de São Paulo. Para A Solotrat executou 255.2m de túneis e 71.93m de poços nesta obra. Os túneis tinham diâmetro de 1,8 e 2,0m e foram acessados por poços de 4,0m de diâmetro e profundidades de até 13,14 m. A cobertura variou 7,0m a 11,1m. Foram 6 trechos de túneis que ligavam 7 poços.

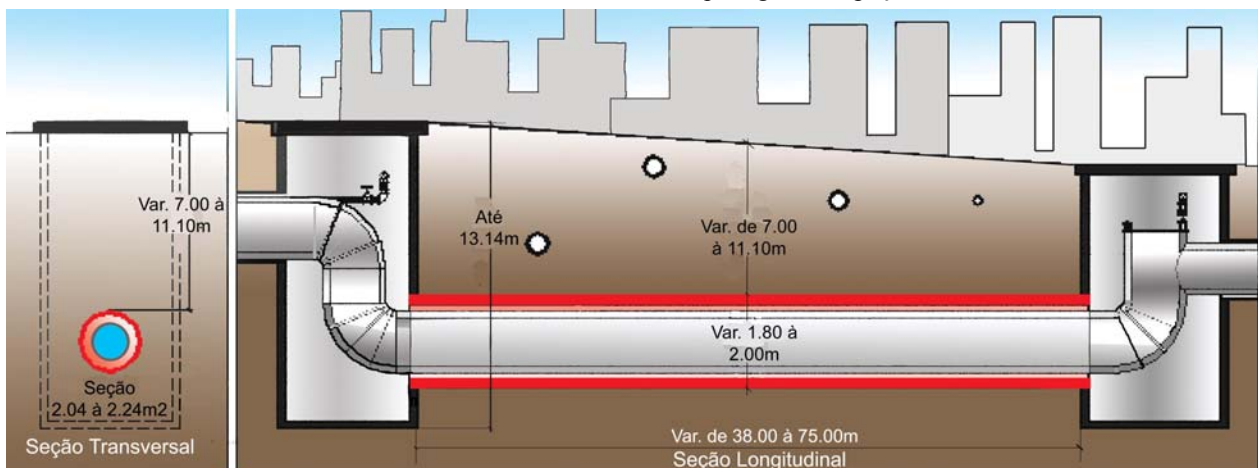


Figura 2 - Seção transversal e longitudinal

2.2 Alguns dados da Geologia local

As escavações ocorreram em dois locais distintos : uma região em argila orgânica preta, outra em silte arenoso cinza e amarelo, solo residual.

2.3 Algumas peculiaridades de execução

Na camada de argila orgânica havia presença de lençol freático e era escavado em seção plena, com avanço médio de 1,0 metro por turno. Para o início dos trabalhos nesta região, foi necessário tratamento por injeção de consolidação com solo-cimento, pois se tratava de continuidade de obra anteriormente paralisada devido a ocorrência de ruptura de frente. Quando da passagem sob galeria pluvial que distava apenas 70 cm da abóbada do túnel, foi reduzido o passo de escavação para cerca de 70 cm e aplicadas enfilagens cravadas. A maior parte da extensão dos túneis tinha cobertura em torno de 8,0 metros e os poços de acesso distavam entre si cerca de 50 metros.

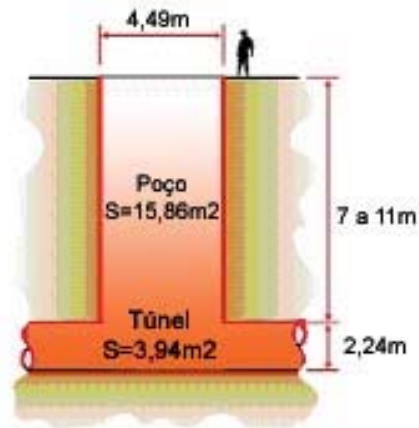


Figura 3 Seção longitudinal de túnel e poço

Devido a proximidade de 3 linhas de oleodutos da Petrobrás, que distavam 1,5 metros da abóbada dos avanços se deram a seção plena à cada 0,6 metros.

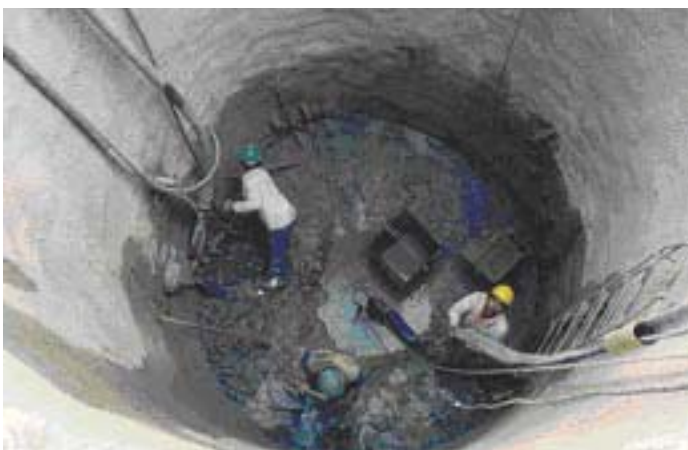


Foto 4 Detalhe do poço em execução atravessando camada de argila orgânica

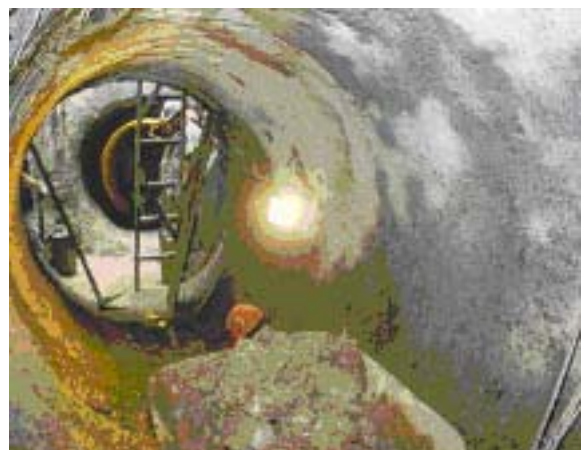


Foto 5 Detalhe de dois trechos de túnel chegando no poço

Nos locais mais instáveis foram executadas enfilagens cravadas com barras de aço CA 50 de 20mm e cerca de 2,0 m de comprimento. Onde muito saturado, instalava-se drenos tipo fibroquímico, dirigidos para a região do invert do túnel. Com estes recursos o avanço por turno atingia 1,5 metros.

Caso 3 - 277 – Supermercado Andorinha – Av. Parada Pinto

3.1 Apresentação

O novo estacionamento do Supermercado Andorinha era separado da loja e do estacionamento antigo pela R. Tavares. Era portanto necessário promover a ligação de ambos para conforto e segurança dos usuários. Foram projetadas e executadas duas passagens inferiores não destrutivas em Túneis NATM. Cada um com 21,0m de extensão e seção de escavação de 56,08m² e 23,61m². O primeiro permitia o acesso de veículos em duas mãos e o outro para acesso de pedestres diretamente na loja. Ainda foi executado um pequeno trecho provisório com 8,24m² e extensão de 10,72m. Como seria ocupada área pública, foi necessário solicitar o “Termo de Permissão a Título Precário e Oneroso” para uso da área junto à Prefeitura Municipal de São Paulo.

3.2 Alguns dados da Geologia local

A área escavada está embutida nos sedimentos terciários, Taguá, com o terço inferior do túnel em solos saprolíticos de ganisse. Não foi encontrado nível freático.

3.3 Algumas peculiaridades de execução

Podemos caracterizar as obras em 3 pontos: Túnel de veículos, Túnel de Pedestre e Túnel / Viaduto de pedestre .

- Túnel de Veículos

Seu emboque se deu após a execução de enfilagem composta de furo de 3” armado com aço CA-50 Ø20mm, e com injeção de calda de cimento em duas fases além da bainha.

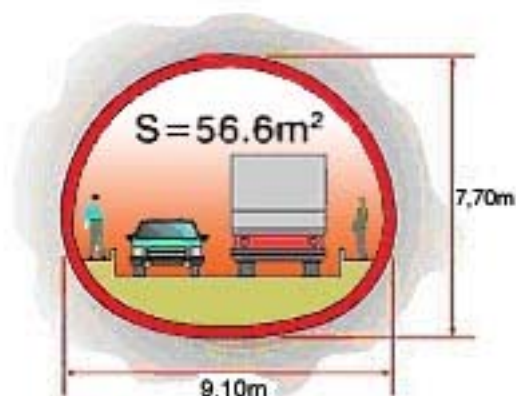


Figura 4 Seção transversal do túnel de veículos

A escavação era parcializada em duas seções de igual área com núcleo central e com dois avanços de 1,20m na parte superior e a escavação do invert em uma única etapa de 2,40m. Mantendo-se uma defasagem de 1,20 entre a escavação da abóbada e invert.

Como armação foram aplicadas duas telas Q503 e concreto projetado com fibras.

No pé da escavação da meia seção eram executadas estacas Ø3” de inclinadas, perfuradas com ar comprimido, com comprimento de 4m, armadas com uma barra de CA-50A Ø 20mm, e injetadas sob pressão. Ao longo da cabeça das estacas, era executada uma viga de concreto armado corrida, para apoio da calota. A retirada do material escavado era feita com mini escavadeira sob pneus do tipo “bob cat”. Não foram utilizadas cambotas metálicas. Como instrumentação foram executados dois tassômetros com tubos PVC de 1/2”, sendo a ancoragem do tubo interno de 1/2”, posicionada a 30cm da abóbada do túnel. Foram realizadas medidas de convergência e divergência da escavação.



Foto 6 Detalhe de parcialização da seção de escavação e emboque de túnel de veículos



Foto 7 Túnel de veículos pronto

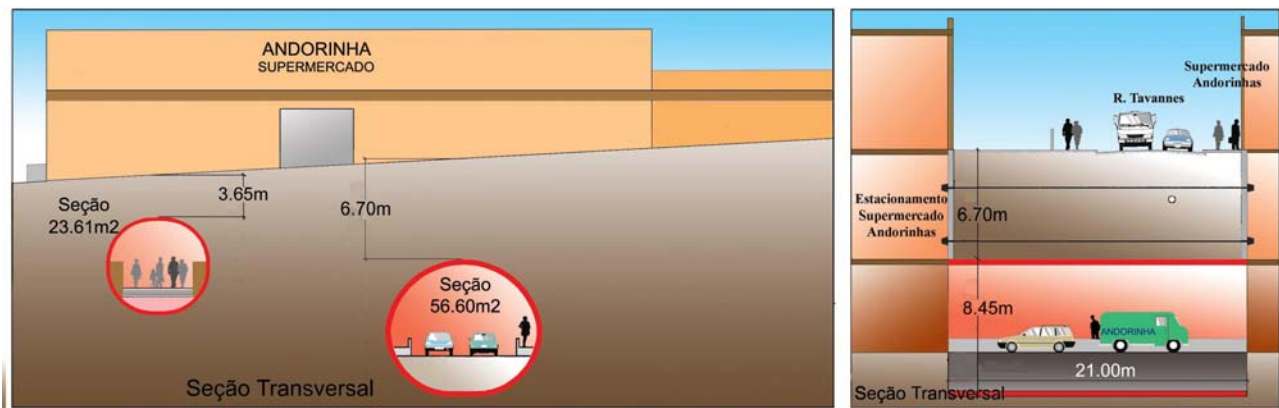


Figura 5 – Seção longitudinal e transversal

-Túnel de Pedestres

Seu emboque e escavação foram idênticos ao túnel de veículos, exceto pela armação do concreto que neste caso foi por meio de fibras de aço metálicas.



Foto 8 Detalhe da parcialização da seção de escavação e emboque do túnel de pedestres



Foto 9 Túnel de pedestres pronto

-Túnel / Viaduto

Este trecho de túnel escavado no final do túnel de pedestres, servia de ligação com o supermercado antigo e que em determinado período, durante a ampliação do mercado se comportaria como viaduto. A envoltória do mesmo seria escavada, transformando o túnel em viaduto, apoiado nos dois extremos.

Em seu emboque foram executadas estacas raiz Ø 250mm, unidas por meio de viga de concreto armado para fundação de apoio do túnel quando solicitado como viaduto.

A escavação ocorreu em duas etapas a 2/3 da altura e o restante, separados por 3 avanços. Os avanços eram de aproximadamente 1,0m.

A armação era idêntica ao Túnel de Pedestres, tendo recebido uma viga armada em concreto projetado na região do invert para que o mesmo pudesse suportar os esforços após a escavação do envoltório.

Tabela 2 Dados tecnológicos do concreto projetado extraído de placas

Data da Coleta	Ensaio	24/48 horas	7 dias	28 dias
24/03/1999	Tenacidade	5,03 Mpa	4,68 Mpa	6,25 Mpa
24/03/1999	Módulo de deformação	19,53 Gpa	21,23 Gpa	
24/03/1999	Compressão axial	37,80 MPa	37,20 Mpa	43,00 Mpa
30/03/1999	Tenacidade	3,54 Mpa		5,77 Mpa
30/03/1999	Módulo de deformação	21,58 GPa	16,95 GPa	21,37 Gpa
30/03/1999	Compressão axial	35,30 Mpa	32,60 Mpa	38,10 Mpa

Tabela 3 Traço do concreto projetado

Areia (litros)	80
Pedrisco (litros)	80
Cimento Ari - Ciminas Saco	1
Fibras Steel-Jet 38 mm (Kg)	5
Aditivo Rapidíssimo (3%) (Kg)	1,5

Tabela 4 Nivelamento interno da seção 3 de túnel de veículos

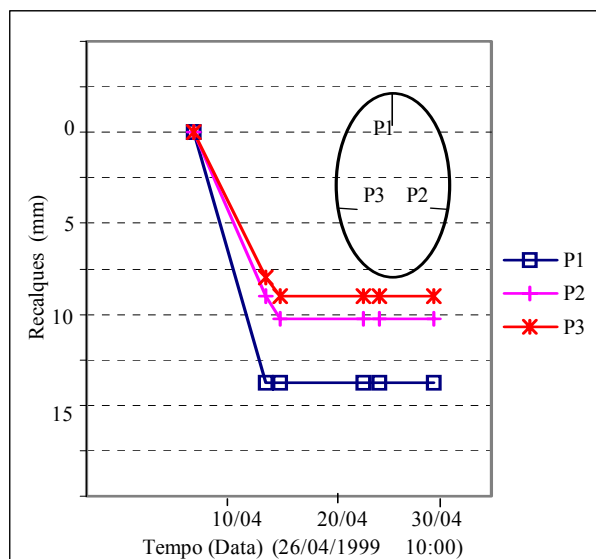
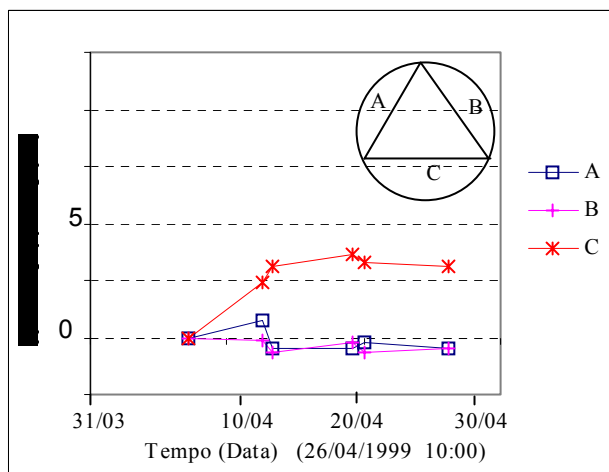


Tabela 5 Convergência da seção 3 do túnel de veículos



Caso 4 - Obra 313 –Metrô / Camargo Correa / Av. Paulista-São Paulo

4.1 Apresentação

Este túnel contratado pela Cia do Metrô de São Paulo, foi construído visando oferecer um caminho subterrâneo para passagem de cabos da Eletropaulo. Situa-se sob a calçada da Av. Paulista, no lado direito sentido centro-bairro, entre a Av. da Consolação e Rua Bela Cintra. O túnel tem trechos com extensão de 60,0m e 9,3m, seção de escavação de 2,37m² e cobertura de 2,73 e 4,0m. Também foram executadas duas caixas de serviço em Túnel NATM.

4.2 Alguns dados da Geologia local

Todo o túnel se desenvolveu através da argila vermelha porosa e laterizada, característica da região do espigão da Av. Paulista. Embora sem presença de lençol freático, haviam infiltrações de água chuva.

4.3 Algumas peculiaridades de execução

Utilizando-se um dos Poços de Ventilação existente da Linha Paulista do Metrô, foi construída plataforma de trabalho na cota da geratriz inferior do túnel. Esta plataforma de vigas metálicas e pranchas de madeira, foi fixada por chumbadores à parede de concreto do poço ao nível da base do túnel. Desta forma o emboque se iniciava pela demolição desta parede de concreto armado. Toda escavação partiu deste poço e foi separada em 3 grupos : “Alargamento lateral (CSE)”, “Túnel Consolação/Bela Cintra” e “Túnel/PV”

O trecho de alargamento lateral foi caracterizado como uma escavação lateral ao eixo do túnel, na região do Poço de Ventilação, para construção de Caixa de Serviço da Eletropaulo (CSE). Utilizou-se o sistema de contenção em Solo Grampeado, em alternativa ao método de vala a céu aberto, que iria interromper no mínimo uma faixa da Av. Paulista. A ocorrência de uma tubulação de concreto nesta região, não cadastrada, apesar de se encontrar vazia, gerou a transferência da caixa para a seção operacional do Poço de Ventilação.



Foto 10 Detalhe do emboque do túnel junto ao poço de ventilação

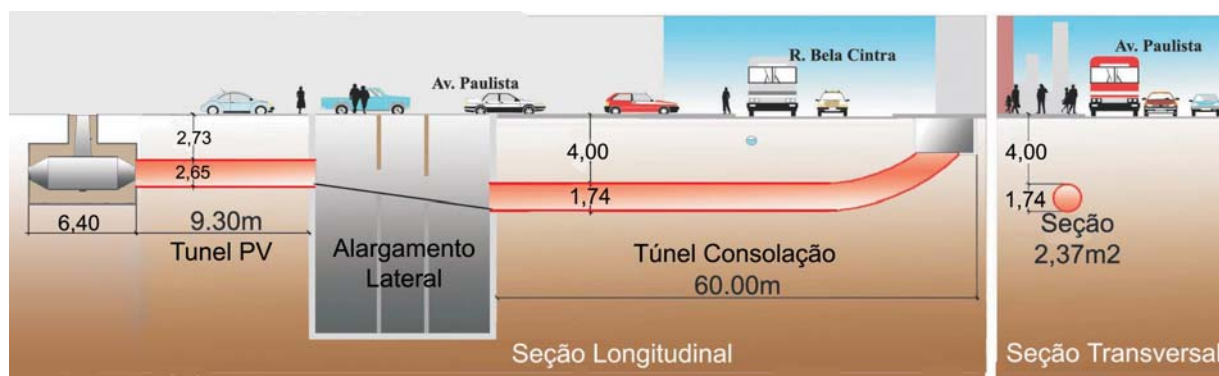


Figura 6 Seção longitudinal e transversal

O trecho chamado de “Túnel Consolação/Bela Cintra”, era o túnel propriamente dito. Partia do Poço de Ventilação em direção à R. Haddock Lobo, em linha ascendente de 0.8%, passando a 20% para acoplamento à caixa existente na chegada, após o cruzamento da rua. Passou adjacente e sob caixas e linhas de drenagem pluvial e dutos de serviço da Telesp. Foi aplicada a ventilação forçada com uso de ventilador de paletas instalado na plataforma à entrada da escavação em tubo de PVC de 150mm fixado no teto do túnel. Toda iluminação aplicada foi de 12 volts com sistema de emergência, em caso de falta da rede pública, para 30 minutos. Como haviam muitas interferências entre a abóbada e superfície, cabos óticos, telefônicos, água, e, etc, não foram realizadas instrumentações de placas de superfície ou tassômetros. O material escavado era muito inconsistente resultado dos aterros mau feitos, pelos quais percolavam as águas de drenagem de superfície que causaram algumas pequenas instabilidades locais. Nestes casos a frente era fechada com sacos de areia, e por meio da injeção de solo-cimento se reconstituía a geometria do túnel.

O trecho “Túnel/PV”, também foi executado em NATM, alternativa ao método de vala a céu aberto para um Poço de Visita (PV). Foi uma escavação do Poço de Ventilação em direção à Av. da Consolação, com diâmetro variável entre 1.5 m e 3.7 m numa extensão de 5.5m.

Desta forma , com um único acesso se executou o túnel , as escavações da CSE , e as escavações do PV sem qualquer distúrbio na superfície.



Foto 11 Detalhe de interferência junto ao “túnel/PV”

Caso 5 - Obra 335 – Concessionária Triângulo do Sol / Araraquara

5.1 Apresentação

Para melhorar o sistema de drenagem do Ribeirão do Ouro, que passa sob a Rodovia Washington Luiz junto ao quilometro 272, a Concessionária Triângulo do Sol decidiu pela execução de outro túnel paralelo e adjacente à passagem atual. Com extensão de 81,50m, sua seção de escavação era de 27,80m² e cobertura de 7,00m. Tanto o emboque como desemboque ocorreram na saia do talude de aterro da rodovia.

5.2 Alguns dados da Geologia local

O solo escavado era composto de aterro de argila arenosa pouco siltosa com índices de resistência a penetração SPT variando entre 5 e 20. Este material estava sobrejacente a camada de argila arenosa orgânica preta com resistências da ordem de 2 a 4 golpes, que se desenvolveu ao longo da seção do túnel, chegando a 60% do total.

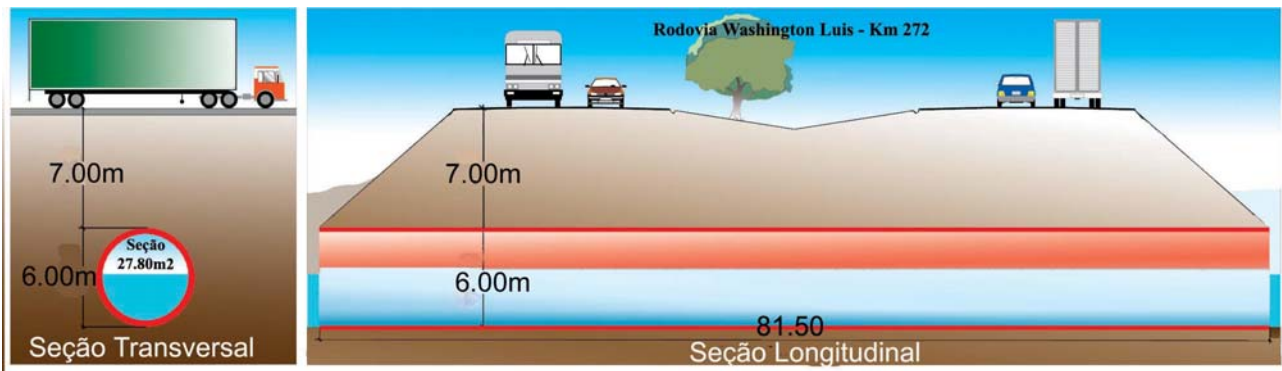


Figura 7 Seção transversal e longitudinal

5.3 Algumas peculiaridades de execução

A geratriz inferior do túnel se situava cerca de 40 cm abaixo da cota do nível d'água de um rio que passava a cerca de 5.0 metros de distância. Adotou-se porisso cuidados especiais durante a obra, como a construção de um dique de proteção cercando a entrada do túnel.

A despeito deste cuidado por duas vezes ocorreu inundação do túnel, face a elevada e atípica precipitação pluviométrica. Durante a escavação eram freqüentes os deslocamentos, apesar de terem sido executadas enfilagens injetadas de 12.0 m de comprimento em toda abóbada. No emboque foi construído um trecho de túnel falso visando facilitar seu alinhamento uma vez que era esconso com relação ao talude. Toda a escavação avançou de jusante para montante devido à presença próxima do rio. Como instrumentação foram aplicados tassômetros de 1” a 30 cm da abóbada a partir da superfície entre as pistas. O valor máximo de deformação obtido foi de 7mm. O sistema de ventilação foi por ventiladores que insuflavam ar a partir da entrada do túnel através de tubulação de 150mm.



Foto12 Detalhe do emboque do túnel

Caso 6 - Obra 363 – VALEC /Cesbe /Aguiarnópolis – TO

6.1 Apresentação

Esta passagem não destrutiva por meio de Túnel NATM, visou permitir a passagem da Ferrovia dos Carajás da VALEC, sob a BR-226-Belém-Brasília, imediatamente após a travessia do Rio Tocantins junto ao município de Aguiarnópolis em Tocantins. O túnel tem extensão de 69,0 m, seção de escavação de 60,00 m² e cobertura de 3,0 m. O emboque se deu em parede vertical escorada por cortina de estacas-raiz atirantada e o desemboque em talude inclinado estabilizado por Solo Grampeado.

6.2 Alguns dados da Geologia local

Capeando o sill de diabásio que aflora no invert do túnel, encontramos argilas pré-adensadas subjacentes a arenitos com cimentações variáveis e horizontais .

Essas argilas pré-adensadas comportam-se por vezes como solos expansivos, resultantes de argilo minerais da alteração do diabásio . Esta ocorrência era impossível de ser anteriormente identificada , pois a única obra da região era a própria rodovia Belem-Brasília , implantada na região sem cortes ou obras de infraestrutura.

6.3 Algumas peculiaridades de execução

Foram instaladas enfilagens monobarra providas de tubo com válvulas manchete para injeção em duas fases de calda , com fator água-cimento 0,5. Como revestimento superficial, usamos concreto projetado com fibras de aço. Lateralmente aos emboques, foi executado um arrimo em cortina atirantada com estacas raiz Ø 250mm secantes , viga de concreto armado e tirantes. Como acabamento foi projetado concreto capeando as mesmas.

Figura 8 – Seção transversal e longitudinal

Antes do início das atividades de escavação, foram instaladas no eixo do túnel, tassômetros, com ancoragem a 30cm da cota máxima de escavação. A escavação ocorreu em seção parcializada com dama central. Lateralmente foram executados chumbadores injetados com duas fases de injeção, e o revestimento em concreto projetado com fibras de aço.

O primeiro lance de escavação tinha raio de 3,20m. Rebaixava-se então as laterais, em 1,70m onde era executada nova linha de chumbadores atendendo ao espaçamento definido em projeto. O lençol freático ocorria 4,5 m abaixo da abóbada .

Após a execução de 20m de túnel no primeiro rebaixo e 12 metros no rebaixo das laterais, houve a ruptura da parede direita, sentido norte-sul, até o eixo e abóbada do túnel. A parede e teto à esquerda, que se encontrava sob a rodovia Belém-Brasília , nada sofreu. As medidas de recalque não haviam apresentado deformações significativas. O acidente não apresentou sinal prévio nas instrumentações instaladas, sendo que o tempo decorrido entre o surgimento de trinca horizontal longitudinal, no pé do túnel a 1,5 m da frente , e a trinca transversal inclinada na lateral em direção ao teto , foi inferior a 12 horas. Tendo em vista o acidente, o projeto foi revisto e por retroanálise obteve-se que o valor do coeficiente de empuxo horizontal atuante na parede direita era maior ou igual a 1,5.

Como seqüência de escavação tivemos:

- escavação de raio 3,20 com chumbadores e invert provisório.
- três rebaixos de 1,20 com chumbadores.
- execução de invert definitivo com dreno longitudinal de brita e tubo de 3 polegadas , executada sob o revestimento .

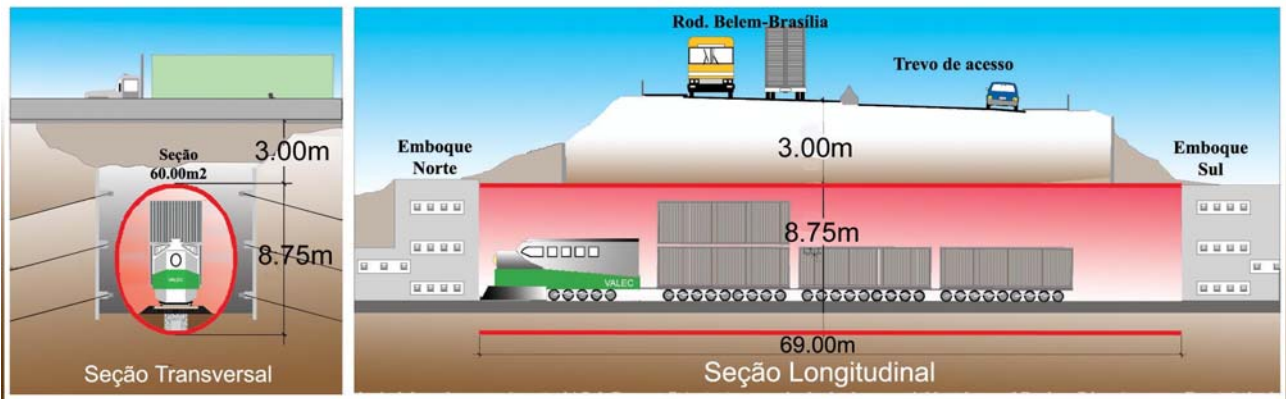


Figura 8 – Seção transversal e longitudinal



Foto 13 e Foto 14 – Aspectos das rupturas dos taludes por exemplo do solo junto ao emboque norte



Foto 15 Emboque Sul.

Caso 7 - Obra 366 -R. Traipu / Pacaembu-São Paulo-SP

7.1 Apresentação

Para atender à necessidade de implantação de elevador em residência no bairro do Pacaembu em São Paulo, foi projetado um túnel e um poço em NATM. Sua extensão era de 22,0 m, com seção de escavação de 7,30 m² e cobertura de 35 centímetros. Seu emboque ocorreu em parede vertical junto à garagem, protegida por estacas Strauss existentes e o desemboque se deu em poço ao nível do piso do imóvel.

7.2 Alguns dados da Geologia local

Trata-se de um saprólito de gnaíse com fração argilosa predominante, apresentando por vezes lentes de materiais quartzosos e bolsões de caulim, com ausência total de água do subsolo.

7.3 Algumas peculiaridades de execução

Após análise do projeto e visita ao local, a Solotrat alocou os equipamentos e equipe de 12 pessoas para o trabalho.

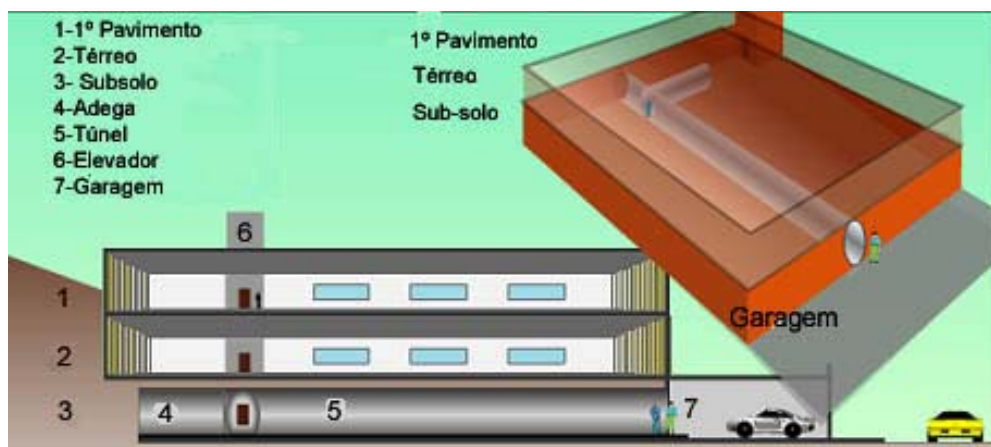


Figura 9 - Croquis ilustrativo do projeto.

Os equipamentos foram: compressor silencioso de 750 Pcm, Bomba de Concreto Projetado, Gerador de 40 KVA, Rompedores, Betoneira e Bomba d'água. Exceto o compressor e gerador, que ficaram estacionados na rua, todos os outros equipamentos e materiais foram acomodados em parte da garagem da residência, cuja área era de 24 m².



Foto 16 Vista frontal do imóvel com compressor, gerador e caçambas estacionadas na rua

Os equipamentos foram: compressor silencioso de 750 Pcm, Bomba de Concreto Projetado, Gerador de 40 KVA, Rompedores, Betoneira e Bomba d'água. Exceto o compressor e gerador, que ficaram estacionados na rua, todos os outros equipamentos e materiais foram acomodados em parte da garagem da residência, cuja área era de 24 m².

O concreto foi produzido na obra, nesta área restrita. A previsão da obra conforme o projeto básico original, considerava uso de cambotas, bem como enfilagens contínuas. A condição de trabalho era delicada, pois havia apenas cerca de 70cm de cobertura e o imóvel estava habitado. No programa inicial previa-se a abertura da seção em duas etapas, sem execução de revestimento provisório e avanços de 60 cm. O emboque de entrada previa estrutura em concreto armado para estabilizar o portal. A obra foi programada para o início do túnel junto ao térreo pela garagem, em direção aos fundos da residência até a adega. Junto à porta da adega havia curva à direita para acesso ao elevador.



Foto 17 Canteiro de obras na garagem do imóvel



Foto 18 Túnel pronto

O estrutura do portal foi alterada para viga metálica, abraçando a paliçada de estacas Strauss existentes no emboque, que somente se soube ao iniciar os trabalhos. Iniciou-se a escavação, observando imediatamente que o solo permitiria o avanço sem cambotas. Como seriam atravessados locais onde a fundação do imóvel por sapatas estava próxima à abobada do túnel, executou-se nessas regiões enfilagens cravadas. A seção passou a ser aberta em avanço pleno, sem a construção do fechamento provisório. As cambotas foram abandonadas já no início dos trabalhos. A utilização de fibra metálica em substituição à tela, propiciou a execução de avanços curtos, de 50cm, de forma a não haver qualquer manifestação de recalque junto ao piso do imóvel ou adjacências. A observação era visual, e extremamente eficiente, pois a residência em pleno uso estava densamente “mobiliada e adornada”. Aspectos de projeto não são escopo deste relato, e foram desenvolvidos e ajustados durante a obra pelo projetista.

O turno do trabalho diário era de 10 horas, tendo sido completada a obra em 20 dias úteis. O túnel ao nível do subsolo, foi conectado a um poço, que por elevador permitia o acesso ao térreo e ao primeiro pavimento. Este poço foi

escavado assim que o trecho térreo nele chegou, no sentido inverso de baixo para cima, com saída do material escavado pelo térreo. No prolongamento do túnel que dava acesso ao elevador foi construída uma adega pelo mesmo processo construtivo.

Poço Quadrado do Elevador

Como a retirada do material não poderia ser feita pelo interior da residência, escavamos o Poço a partir do túnel, de forma ascendente. Para contenção das paredes, foram executadas microestacas nas quatro cantos do Poço antes da escavação do túnel que se posicionaria na parte inferior do mesmo. Um furo partindo da superfície e rente à parede da residência saiu na abóbada do túnel e serviu como referencia topográfica para delimitar a área escavada, bem como, iniciar a escavação ascendente da abóbada do túnel até a boca do Poço. Como revestimento foi aplicado o mesmo traço de concreto com fibras usado no túnel.

Topografia, Instrumentação

O eixo do túnel foi definido a partir da parede lateral da residência transferida por linhas e mangueiras de nível, sem o auxílio de aparelho topográfico. A locação do Poço partiu do furo vertical ligado desde a superfície, até a abóbada do túnel sendo então transferida por linhas de prumo a definição da geometria do Poço quadrado. Não houve instrumentação.

Tabela 6 Resistência a Compressão de Corpos de Prova extraídos de placas

Dias	Concreto Projetado (MPa)	Concreto Projetado com reflexão como agregado (Mpa)	Aumento %
7	13	23,7	82
14	20	30	50
28	24	34	42

Tabela 7 Traço do concreto projetado

Areia Média (litros)	80
Pedrisco (litros)	80
Cimento Ari - Ciminas Saco	1
Fibras Steel-Jet 38 mm (Kg)	5
Aditivo Rapidíssimo (2%) (Kg)	1

As resistências obtidas se encontram-se nos dados da tabela 6. Tendo como premissa criar o menor volume possível de material para bota-fora, utilizou-se a reflexão do concreto como agregado, constatando pelos ensaios de resistência, que a atitude adotada deu bons resultados, pois a resistência final foi de 34MPa, 42% superior ao valor convencional que era de 24MPa. Observa-se que a armação foi toda em fibras metálicas de aço, de 38mm, Steel Jet, em taxa de 35 Kg/m³.

Caso 8 - Obra 386 – Renault / Moraes Dantas / Curitiba-PR

8.1 Apresentação

Os dois túneis aqui apresentados foram executados em alternativa técnica e economicamente vantajosa ao projeto original. Inicialmente foi prevista a escavação de vala em talude, construção de galeria em concreto armado convencional e execução de aterro compactado. Ambos visavam acesso ao Poço das Prensas escavado em parede diafragma atirantada. O túnel para o Transportador de Rebarbas, tinha seção de escavação de 20,90 m², extensão de 49,85 m e cobertura de 2,50 m. Seu emboque se deu por poço e túnel com inclinação de 40°, e seção variável de 59,0 a 20,90 m², finalizando na parede diafragma. O outro túnel para o Acesso de Pedestres, tinha seção de escavação de 6,90 m², extensão de 12,70 m e cobertura de 4,10 m. Seu emboque se deu por poço e túnel com inclinação de 37°, e seção variável de 13,3 a 6,90 m², finalizando também na parede diafragma.

8.2 Alguns dados da Geologia local

O perfil geológico apresenta camada aluvionar sobrejacente a sedimentos terciários pré-adensados que constituem a formação Guavirotuba. O lençol freático tem nível de saturação a meio metro da superfície e é empoleirado, visto que as argilas do Guavirotuba são praticamente impermeáveis.

8.3 Algumas peculiaridades de execução

Túnel de Pedestre

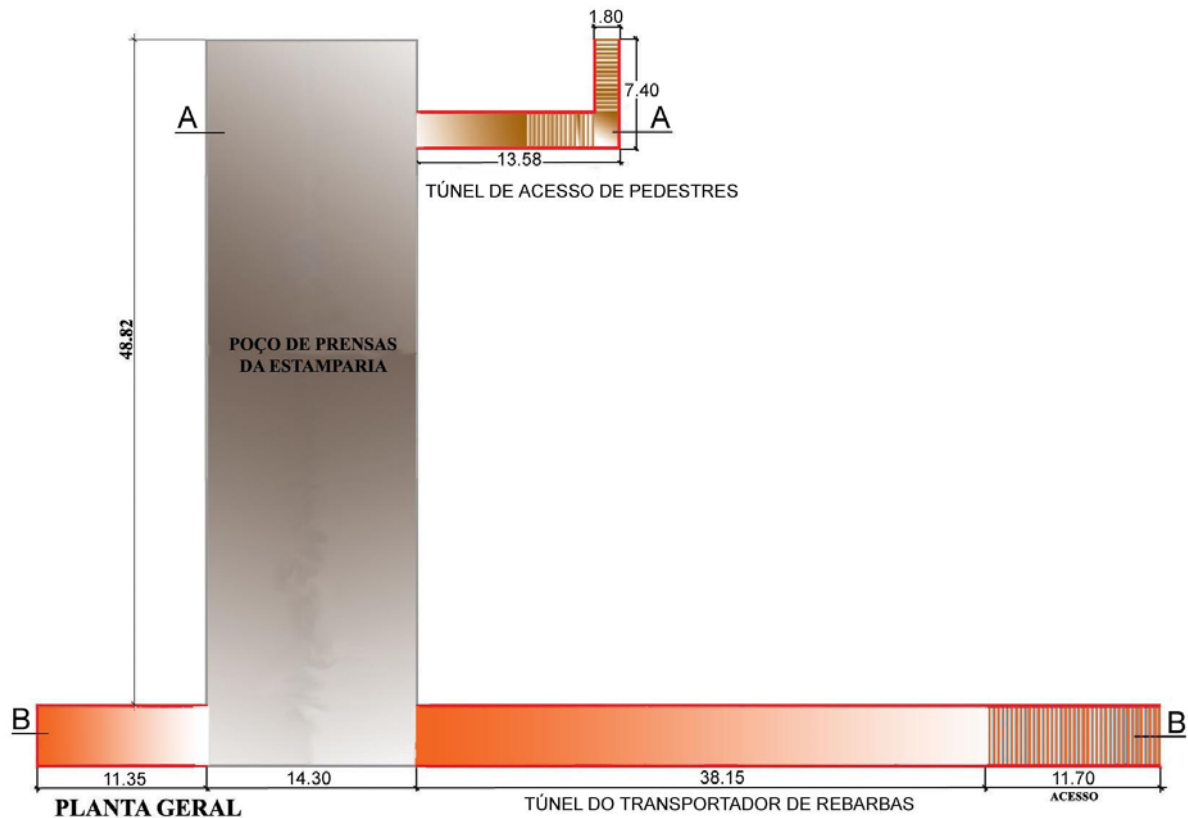
Escavou-se o primeiro lance na presença do lençol freático até entrarmos na argila impermeável. A aplicação do concreto projetado com fibra e tela impermeabilizou o poço e a partir desta cota não tivemos problemas com água. Todo o material era retirado por guincho e caçambas. Como peculiaridade podemos destacar que este poço por ser retangular e ter relação comprimento/largura elevada, as paredes maiores foram tratadas como faces de Solo Grampeado, com a aplicação de chumbadores injetados em duas fases. Sua parte inicial era em rampa, perpendicular a lateral maior do poço. Na interseção da abóbada do túnel com a lateral do poço foi instalada roldana de forma a permitir a retirada das caçambas do plano inclinado até a parede vertical do poço. Na parte horizontal o material escavado era transportado em caçambas sobre trilhos até o início do trecho inclinado onde era içado pelo guincho



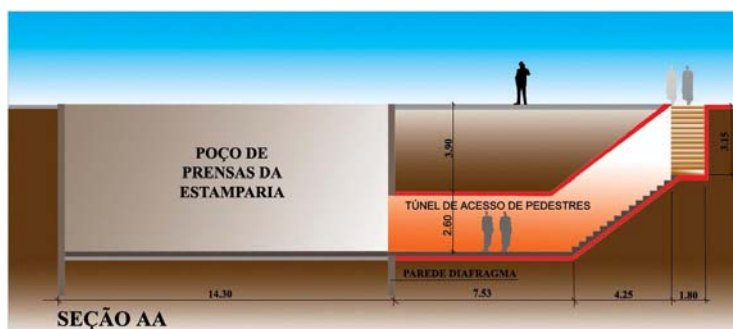
Foto 19 - Encontro da Galeria de Transporte de Rebarbas ao Poço de Acesso de 40 ° de Inclinação.

Correia Transportada

O poço de acesso foi projetado em rampa cujo final coincide com o invert do túnel. A peculiaridade desta obra é que executamos o poço circular vertical até a cota do invert do túnel. A escavação do poço ocorreu na porção inicial mecanizada, e a partir de 1,50m manualmente, com a retirada do material por meio de pórtico que removia o material escavado e descarregava diretamente no caminhão basculante. Na parte do círculo que seria escavado em rampa, não foi colocada tela e o revestimento de estabilização foi em concreto projetado. Após terminada a escavação do túnel, iniciamos a escavação da parte inclinada do poço. O material escavado era misturado com cimento formando solo cimento, que completou a parte escavada, a maior no poço circular, formando-se então a rampa. Ocorreu inicialmente a escavação manual com transporte horizontal sobre trilho e com “bob cat” no restante.



Devido à sobrecarga exercida pelos equipamentos instalados na superfície, estes túneis tiveram seu revestimento reforçado por telas além das fibras metálicas. Não foram usadas cambotas nem instrumentação. O lençol freático ficou empoleirado na argila da formação guavirotuba, de forma que toda a escavação foi executada em terreno sêco.



Como peculiaridade podemos destacar que, após a conclusão do túnel com desemboque na parede diafragma da casa de prensa, foram cravadas estacas pré moldadas em todo o entorno da casa de prensa e túnel. Como conseqüência da cravação ocorreram fissuras no túnel e deformação de parede diafragma atirantada. Mais ainda, duas estacas que passaram tangentes ao túnel, romperam-no. Estas estacas, por fissurar a formação Guavirotuba, conduziram a água do lençol freático superficial até o túnel e diafragma, percolando por meio das trincas e juntas, resultantes dos esforços criados no solo quando da cravação. Houve então a necessidade de injeção de impermeabilização tanto no túnel como nas paredes diafragma.



Foto 19 e foto 20 Túnel de acesso de pedestres ao poço com 37° de inclinação



Caso 9 - Obra 423- TRW / Três Corações-MG

9.1 Apresentação

Este túnel foi projetado para servir como passagem de cabos e outras utilidades sob o piso da indústria sem interromper a operação normal da fábrica. Sua extensão foi de 22,7 m, com seção de escavação de 3,30 m² e cobertura de 70 centímetros. Tanto o emboque como desemboque ocorreram em poços com 3,94 m² de seção de escavação.

9.2 Alguns dados da Geologia local

Toda a escavação se deu em aterro de argila silto-arenosa muito mole a mole.

9.3 Algumas peculiaridades de execução

A indústria se encontrava em operação e ocorreram muitas interferências. Estas obrigaram a muitas mudanças na seção de escavação e alinhamento, pois foram encontradas paredes de concreto e estacas das quais não se tinha prévio conhecimento. As alterações na seção escavada do túnel eram possíveis, face a seu uso como caminho de serviço, por onde passariam tubulações de processo e de eletricidade da empresa.



Foto 21 Ilustração das interferências encontradas de estacas e tubulões

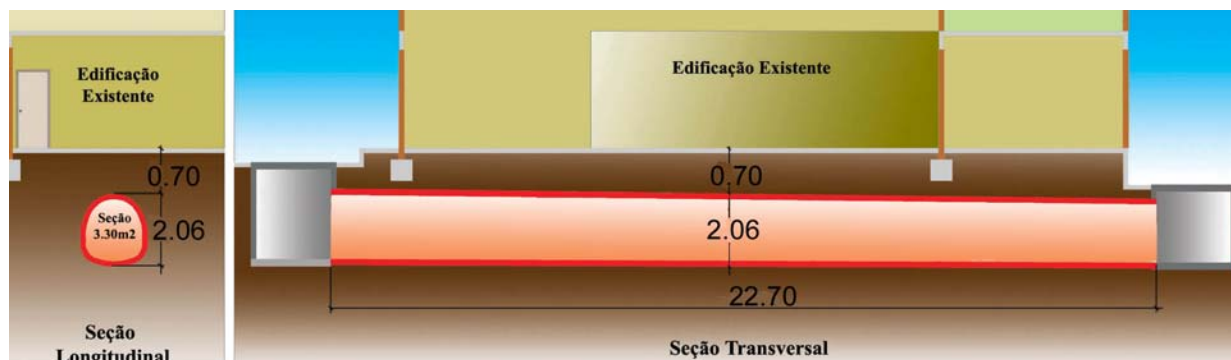


Figura 14 – Seção transversal e longitudinal

A escavação era em calota e bancada com avanços de 1.0 m sem serviços de consolidação ou enfilagens. Os dados de resistência de corpos de prova extraídos do concreto projetado aos 7 dias apresentaram valores de 31,3 e 28,9 MPa e para os 28 dias de 40,4 e 41,4 MPa.



Foto 22 Marcação da geometria de escavação

Caso 10 - 424 – Votorantim /Serpal –Votorantim-SP

10.1 Apresentação

Foram executados dois túneis e um salão para acesso ao Depósito de Clinker da Indústria Votorantim em Salto de Pirapora SP. Ambos os túneis se iniciaram na superfície e avançaram com 29° em direção ao salão à 12,0 metros de profundidade, onde está o acesso ao depósito de clínquer. Um dos túneis tem extensão de 28,10 m, seção de escavação de 23,62 e 20,86 m² construído para receber a correia transportadora. O outro tem 29,90 m de extensão, seção de escavação de 9,62 e 8,45 m² construído para acesso de pedestres. Finalmente o salão foi escavado com diâmetro de 9,50 m e altura de 5,35m.

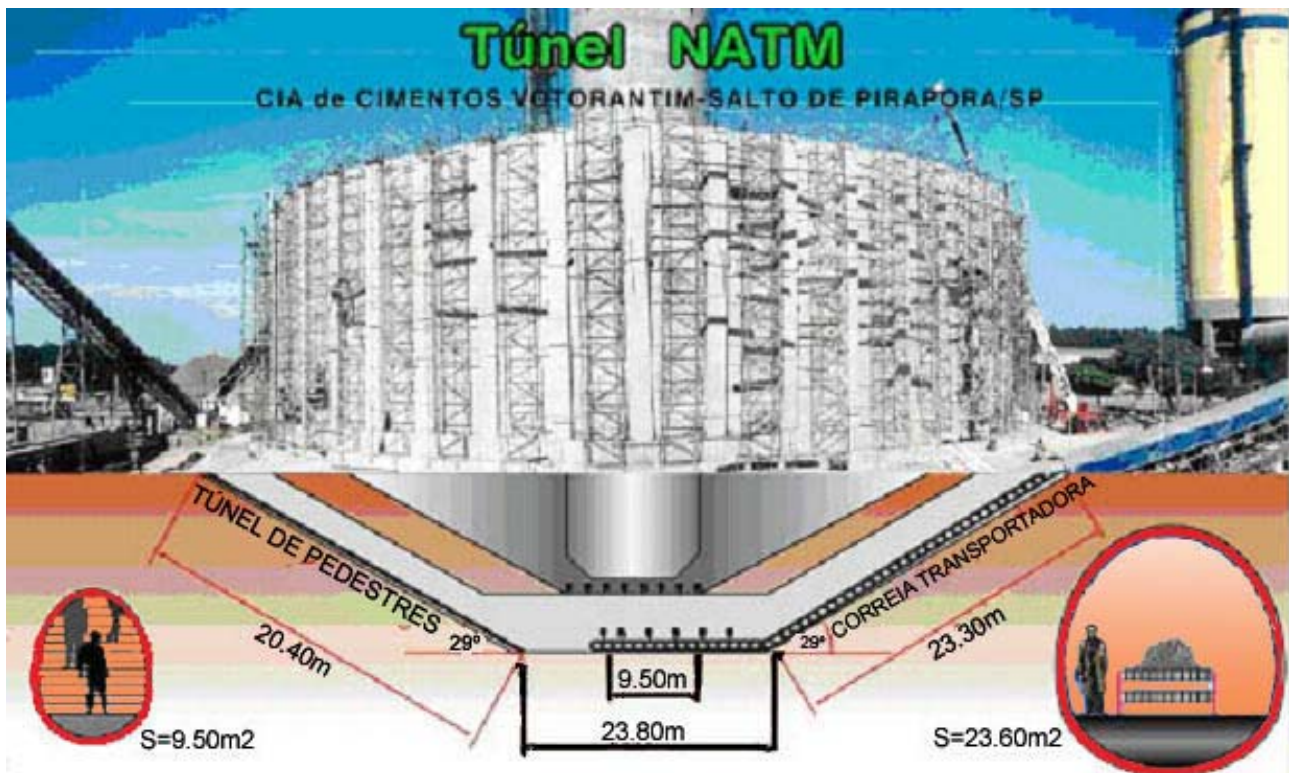


Figura 15 –Croquis ilustrativo do túnel

10.2 Alguns dados da Geologia local

O solo local era composto por solos residuais provenientes da alteração de metassiltitos nos túneis inclinados e em parte da porção superior do túnel horizontal. No invert do túnel horizontal aflorava o metassiltito com graus variados de alteração e fraturamento. Havia uma camada superficial de até 3,0m de aterro em concreto rolado.

10.3 Algumas peculiaridades de execução

Emboques

No túnel de pedestre foram executadas paredes laterais em Solo Grampeado e no túnel de equipamentos, somente escavação, pois o mesmo encontrava-se em área de concreto rolado.

Escavação

Os túneis foram escavados em duas etapas de igual área com núcleo central nos túneis horizontais e sem núcleo no trecho inclinado. A retirada de material foi feita por guinchos instalados na superfície, encima de uma estrutura metálica conduzida à superfície. No caso da correia transportadora, o solo escavado era diretamente despejado na caçamba do caminhão, por meio de um plano inclinado sob rodas que montava sobre estrutura metálica. No túnel pedestre o guincho puxava uma bob cat que fazia a escavação e remoção do solo. A escavação do salão, foi facilitada na medida em que a laje do teto já estava pronta, bem como sua fundação em tubulões previamente executados. Neste caso a estabilidade das paredes verticais foi estabelecida por laje armada de concreto projetado aplicado entre os tubulões. O piso foi construído com concreto armado convencional.



Foto 23 - Detalhe da descarga do solo escavado diretamente no caminhão para o túnel inclinado de 29°

Apesar do lençol freático se encontrar abaixo da geratriz inferior do túnel, ocorreram infiltrações de águas pluviais devido à ineficiência da impermeabilização da superfície prevista no projeto. De forma a atenuar estas infiltrações foram executadas injeções de impermeabilização no envoltório do revestimento do túnel, eliminando-se assim o problema.

Revestimento

Por se tratar de túneis que somente sofreriam esforços quando da operação do silo sobrejacente, o revestimento foi feito em duas etapas. A primeira como revestimento provisório e após a escavação total dos túneis iniciamos a fase final com aplicação da ferragem em telas eletrosoldadas e concreto projetado.



Foto 24 - Detalhe do túnel da correia transportadora com 29° de inclinação

Caso 11 - Obra 477 – Concessionária Triângulo do Sol / São Carlos-SP

11.1 Apresentação

Objetivando melhorar o sistema de drenagem próximo do trevo de acesso à São Carlos junto ao km 230 da Rodovia Washington Luiz SP-310, a Concessionária Triângulo do Sol decidiu pela execução de passagem não destrutiva. O Túnel NATM, foi construído com extensão de 23,0 m, seção de escavação de 2,60 m² e cobertura de 4,0 m. Tanto o emboque como desemboque ocorreram em talude da saia do aterro do trevo.



Foto 25 Vista do túnel pronto sob a rodovia

11.2 Alguns dados da Geologia local

A escavação se deu através de aterro de argila compactada.

11.3 Algumas peculiaridades de execução

Os avanços foram de 1.5 m por dia, em seção plena, com remoção por meio de vagonetes. O acompanhamento geométrico da escavação se deu por fios de prumo e mangueiras de nível a partir de gabarito junto à entrada do túnel.

Caso 12 - 501-Prefeitura Municipal de OSASCO -SP / CPTM / TERRAMOTO

12.1 Apresentação

Para substituição de passagem inferior em estrutura metálica, existente ao longo do Rio Bussoca em Osasco, sob as três linhas férreas da CPTM, a Prefeitura Municipal construiu um túnel. Este está localizado a 118 metros da passagem substituída em direção a Estação Osasco. Tem extensão de 32,0 m, seção de escavação de 9,20 m² e geratriz superior passando 2,50m abaixo dos trilhos da CPTM. Tanto o emboque como desemboque ocorreram em poços na calçada. Os poços tem 2,5x12,0m e profundidade de até 3,36m na calçada da R.Erasmo Braga e 2,5x16,2 com profundidade de até 4,78m na calçada da Praça Antonio Menck. Suas escavações em paredes verticais foram arrimadas pela técnica de Solo Grampeado em caráter permanente e receberam as escadarias de acesso à passagem, bem como um elevador.

12.2 Alguns dados da Geologia local

O subsolo escavado compunha-se de argila mole, pouco arenosa variegada com entulhos, provável aterro, com espessura variável de 1.6 a 2,4 metros sobrejacente a argila orgânica muito mole, siltosa preta com espessura variável de 0.5 a 4.1 metros.

12.3 Algumas peculiaridades de execução

Houveram tratamentos por injeção de consolidação de ambas extremidades, tanto verticais como horizontais.

O tratamento vertical formou um arco consolidado ao redor dos 4,0 metros iniciais da escavação. O tratamento horizontal foi por meio de enfilagens executadas ao redor da abóbada numa extensão de 15,0 m em cada emboque de tal modo que se interceptaram no meio do túnel. Na região de escavação sob as 3 linhas férreas, os avanços foram reduzidos de 0,8 para 0,6 metros. A escavação foi realizada em duas etapas, à meia seção e dama central. Observou-se que sempre que algum trem passava havia uma forte vibração transferida intensamente na parede e para pessoas que trabalhavam no túnel. Foi realizado um sistema de drenagem transversal por meio de tiras de dreno fibroquímico e longitudinal, por meio de canaleta sob o invert, que eficientemente conduziram toda a água existente. Embora todo este cuidado os avanços tiveram que ser cautelosos sendo reduzidos nalguns pontos de 1.0 m para 0.6 m.

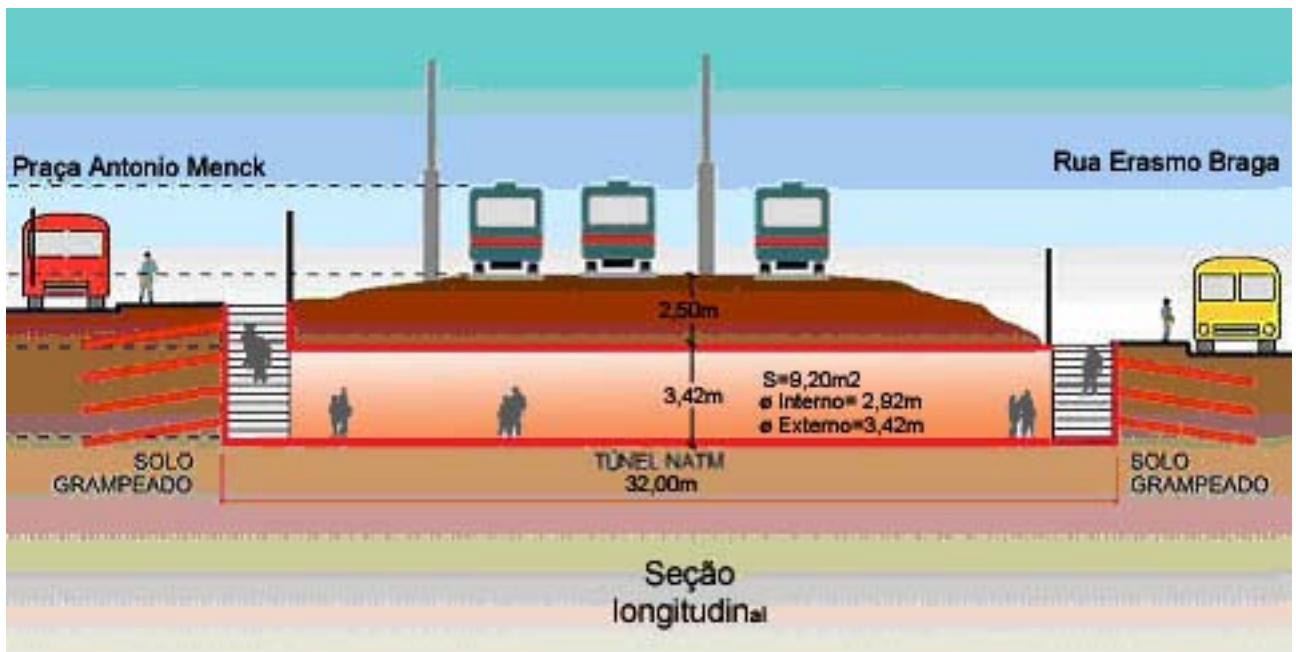


Figura 15-Túnel CPTM/Osasco



Foto 26 Detalhe da situação das cargas de superfícies Sobre o túnel



Foto 27 Vista interna do túnel acabado