



INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO
Universidade Técnica de Lisboa



Túnel Ferroviário do Rossio – Acompanhamento e Análise das Obras de Reabilitação

Carlos Filipe Guerreiro Gomes

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil

Júri

Presidente: Professor Doutor Jorge Manuel Calião Lopes de Brito
Orientador: Professor Doutor João Paulo Janeiro Gomes Ferreira
Vogal: Professor Doutor João Pedro Ramôa Ribeiro Correia

Dezembro de 2008

RESUMO

Um túnel é uma passagem subterrânea que permite a passagem de vias de comunicação (estradas, linhas de caminho de ferro, etc.) através de obstáculos naturais, como montanhas e rios.

O presente trabalho respeita aos principais métodos de construção e reabilitação de túneis, aos processos construtivos mais utilizados na reabilitação de túneis, mais propriamente no Túnel Ferroviário do Rossio, incluindo as funções e o contributo que a Fiscalização pode dar nas empreitadas de obras públicas.

Nesta tese descrevem-se os métodos de construção mais usuais na execução de túneis, tais como: a metodologia de NATM (*New Austrian Tunneling Method*), de TBM (*Tunnel Boring Machine*), de construção a fogo, a céu aberto e com pré-corte. Descrevem-se também técnicas de reabilitação de túneis, quer a nível estrutural (pregagens, *jet grouting*, congelação, injeção, entre outras), quer não estrutural (limpeza, tratamento de juntas, processos químicos, etc.).

O trabalho desenvolvido na presente dissertação teve como principal objectivo abordar os principais processos construtivos do Túnel Ferroviário do Rossio, designadamente, as metodologias de execução de pregagens, enfilagens, montagem de cambotas com a respectiva aplicação de betão projectado, microestacas, soleiras e betonagem dos hasteais e abóbadas com moldes metálicos pré-fabricados.

Neste trabalho, é dada especial atenção às funções da Fiscalização e ao modo como esta pode contribuir para aumentar os padrões de qualidade da obra e os rendimentos das actividades.

ABSTRACT

A tunnel is an underground route (road, railway, etc.) through a natural barrier, such as mountains or rivers.

The current *study* focuses on the main construction methods most used in tunnel *reconstruction*, more specifically at the *Rossio Railroad Tunnel*, as well as on the role and contributions of *Inspections* to public works' contracts.

In this thesis it will be described the most common construction methods in the excavation of tunnels, such as: the NATM procedure (*New Austrian Tunneling Method*), the TBM (*Tunnel Boring Machine*), construction through fire, open cut excavation and pre-cutting. It is also described several rehabilitation techniques, in both a structural perspective (soil nails, jet grouting, freezing, injection, among others) and a non structural perspective (cleaning, joint treatment, chemical methods, etc).

The covered areas are the main methods of construction of the Rossio Railroad Tunnel, in particular, the methodology of making soil nails, forepoling, steelarchs and the respective use of shotcrete with steel fibre, micropiles, inverts and concrete pouring of the poles and vaults with pre-fabricated metallic formwork.

Special attention is paid to the role of inspections and how they may contribute to an increase in quality and productivity.

PALAVRAS-CHAVE

Túnel

Reabilitação

Túnel Ferroviário do Rossio

Fiscalização

KEY WORDS

Tunnel

Rehabilitation

Tunnel of the Rossio

Inspection Services

AGRADECIMENTOS

A presente dissertação resultou de um trabalho em que intervieram várias pessoas, de diferentes níveis, às quais agradeço a sua colaboração e disponibilidade demonstrada. Não sendo possível citar todos os nomes dos intervenientes, começo por lhes dirigir os meus sinceros agradecimentos.

- Aos meus pais e à minha irmã, agradeço de uma forma muito especial, o amor e o carinho que incondicionalmente me dedicam, a compreensão que sempre demonstraram e o permanente incentivo nos momentos mais difíceis.
- Ao meu orientador, Prof. João Ferreira, agradeço com amizade, os constantes ensinamentos que me deu na licenciatura, e a confiança que depositou neste trabalho, bem como as sugestões que tanto contribuíram para uma orientação adequada do meu estudo.
- Ao Eng.º José Marreiros Leite (Director da Fiscalização), manifesto os meus agradecimentos pela forma como me transmitiu os conhecimentos técnicos e pessoais, necessários para desempenhar as funções, e pela oportunidade que me deu de fazer um estudo sobre a obra.
- À entidade Rede Ferroviária Nacional - REFER *EP*, com particular agradecimento à Eng.ª Fernanda Pinto pela disponibilidade e abertura demonstrada no desenrolar do estudo, e pelos dados fornecidos.
- À entidade *DHV FBO Consultores S.A.*, uma palavra de apreço pelo apoio que me concedeu na integração na equipa de Fiscalização e pela colaboração no estudo.
- Aos fiscais da minha equipa, Sr. Fernando Bastos, Sr. José Valadas e Sr. Fernando Branco, um especial agradecimento pela forma como me receberam, incentivaram e ajudaram no desenrolar da obra, pelos ensinamentos práticos de vários processos construtivos, e pelo companheirismo nos momentos mais difíceis da obra.
- Aos colegas de trabalho, Eng.º Luís Jorge, Eng.º Carlos Pedro, manifesto o meu agradecimento pela ajuda facultada no decorrer do estudo, bem como pela amizade construída ao longo destes anos.
- Ao meu amigo, Rui Fragoso, o meu especial agradecimento, pelo constante apoio e incentivo no desenrolar da tese, como também pela sua amizade em todos nos momentos mais delicados.

- À Carla Figueira, manifesto o meu agradecimento, pelo apoio e motivação que me tem dedicado ao longo destes anos.
- Aos meus colegas de curso e actualmente amigos engenheiros: Mário Arruda, Miguel Branco, Miguel Lopes, Nuno Colaço, Pedro Bispo, Pedro Peniche, Daniel Luís, Carlos Bhatt e Marcos Esteves agradeço o apoio demonstrado na realização deste estudo, e pela amizade depositada na minha pessoa.

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	Preâmbulo.....	1
1.2	Conteúdo do Trabalho.....	3
2	TÚNEIS – ESTADO DA ARTE.....	5
2.1	Métodos construtivos.....	5
2.1.1	Introdução.....	5
2.1.2	Construção sequencial (NATM - <i>New Austrian Tunneling Method</i>).....	6
2.1.3	Construção com escudo (TBM - <i>Tunnel Boring Machines</i>).....	8
2.1.4	Construção a fogo.....	14
2.1.5	Construção a céu aberto (<i>cut-and-cover</i>).....	15
2.1.6	Pré-corte mecânico.....	16
2.1.7	Análise comparativa.....	17
2.2	Técnicas de reabilitação.....	17
2.2.1	Reabilitação não estrutural.....	17
2.2.2	Reabilitação estrutural (reforço e consolidação).....	19
3	INFORMAÇÃO GERAL SOBRE A OBRA REALIZADA.....	25
3.1	Informação geral sobre a obra existente.....	25
3.1.1	Características da Obra.....	25
3.1.2	Caracterização física da obra – zonamento.....	27
3.2	Descrição do problema.....	28
3.3	Descrição das soluções de reabilitação.....	31
3.4	Zona de Secção Nova.....	33
3.4.1	Escoramento provisório do revestimento de alvenaria.....	33
3.4.2	Demolição da alvenaria existente.....	34
3.4.3	Suporte Primário.....	34
3.4.4	Revestimento Definitivo.....	41
3.5	Zona de Alvenaria a Manter.....	43
4	DESCRIÇÃO DOS PROCESSOS CONTRUTIVOS.....	45
4.1	Zona de Secção Nova.....	45
4.1.1	Colocação do suporte provisório (cambotas metálicas provisórias).....	47
4.1.2	Pregagens.....	51
4.1.3	Enfilagens.....	56
4.1.4	Desmontagem do Suporte Provisório.....	61
4.1.5	Escavação, Demolição, Cambotas Definitivas e Betão Projectado.....	61
4.1.6	Microestacas e Vigas de Reacção.....	65
4.1.7	Soleiras.....	69
4.1.8	Revestimento Definitivo da Abóbada.....	79

4.2	Zona de Alvenaria a Manter	89
4.2.1	Soleiras	89
4.2.2	Limpeza da alvenaria	89
4.3	Síntese dos Processos Construtivos	91
5	FISCALIZAÇÃO DA EMPREITADA	95
5.1	Introdução.....	95
5.2	Funções da Fiscalização.....	95
5.2.1	Arranque, Planeamento e Controlo da Empreitada	95
5.2.2	Gestão de Informação da Empreitada	101
5.2.3	Controlo de Quantidades e Custos	102
5.2.4	Controlo de Planeamento e Avanços dos Trabalhos	104
5.2.5	Gestão da Qualidade em Obra.....	107
5.2.6	Gestão da Segurança em Obra.....	109
5.2.7	Gestão Ambiental em Obra	113
5.3	Fiscalização da obra do Túnel Ferroviário do Rossio	114
5.3.1	Introdução.....	114
5.3.2	Controlo de parâmetros geométricos	115
5.3.3	Análise dos processos construtivos	119
6	CONCLUSÕES.....	125
7	BIBLIOGRAFIA	129
ANEXOS.....		135
	Anexo I - Execução de Soleira – Faseamento	137
	Anexo II - Plano de Betonagem de Abóbadas	139
	Anexo III - Glossário de definições relativas à área da fiscalização	141

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Princípios de escavação do método NATM	7
Figura 2.2 – Esquema dos diversos métodos de escavação com escudo	10
Figura 2.3 – Tuneladora com escudo aberto	11
Figura 2.4 – Funcionamento teórico do escudo com confinamento a líquidos	12
Figura 2.5 – Tuneladora com escudo de confinamento líquido	13
Figura 2.6 – Funcionamento teórico do escudo com confinamento por contra-pressão	13
Figura 2.7 – Esquema de tuneladora com escudo com confinamento por contra-pressão	14
Figura 2.8 – Tuneladora de escudo com confinamento contra-pressão	14
Figura 2.9 – Consolidação vertical de abóbadas de túneis	22
Figura 2.10 – Consolidação sub-horizontal de abóbadas de túneis	22
Figura 2.11 – Contenção lateral de escavações e combate à sub-pressão de água	23
Figura 3.1 – Representação em planta do traçado do Túnel	25
Figura 3.2 – Tipo de Intervenção	27
Figura 3.3 – Abóbada entre o Pk [1+064 ; 1+135]	29
Figura 3.4 – Abóbada entre o Pk [1+324 ; 1+344]	30
Figura 3.5 – Abóbada entre o Pk [1+494 ; 1+534]	30
Figura 3.6 – Deformação na abóbada entre o Pk [1+564 ; 1+594]	30
Figura 3.7 – Outra vista da deformação na abóbada entre o Pk [1+564 ; 1+594]	31
Figura 3.8 – Desplacamento de blocos de alvenaria com o martelo de geólogo	31
Figura 3.9 – Esquema sequencial da solução de reabilitação da Secção Fechada	32
Figura 3.10 – Secção com Escoramento Provisório (cambotas) entre os Pk [0+194 ; 0+221]	33
Figura 3.11 – HEB de geometria variável	34
Figura 3.12 – Suporte Primário entre os Pk [0+197 ; 0+305]	35
Figura 3.13 – Suporte Primário entre os Pk [0+360 ; 0+610]	36
Figura 3.14 – Pregagens fibra de vidro	36
Figura 3.15 – Outra representação de pregagens de fibra de vidro	36
Figura 3.16 – Suporte Primário entre os Pk [0+305 ; 0+317]	37
Figura 3.17 – Pregagem de fibra de vidro FLY35	38
Figura 3.18 – Suporte Primário entre os Pk [0+869 ; 0+934]	38
Figura 3.19 – Pregagens do tipo Swellex	39
Figura 3.20 – Suporte Primário entre os Pk [1+294 ; 1+454]	39
Figura 3.21 – Esquema de funcionamento das pregagens do tipo Swellex	40
Figura 3.22 – Suporte Primário entre os Pk [2+050 ; 2+124]	40
Figura 3.23 – Secção TIPO S1	42
Figura 3.24 – Secção TIPO S2	42
Figura 4.1 – Corte longitudinal de uma secção do túnel	48

Figura 4.2 – Segmentos da montagem de uma cambota	48
Figura 4.3 – Contraventamento das Cambotas	49
Figura 4.4 – Pormenor do contraventamento das Cambotas	49
Figura 4.5 – Pormenor dos calços (de madeira) entre as cambotas e o revestimento	50
Figura 4.6 – Calços de betão sob os pés das cambotas para posicionamento destas	50
Figura 4.7 – Pormenor dos calços de betão sob os pés das cambotas para posicionamento	51
Figura 4.8 – Trialeta	52
Figura 4.9 – Furação com a <i>TAMROCK</i>	53
Figura 4.10 – Sistema de injeção (armadura, tubo de PVC e 2 tubos de polietileno)	53
Figura 4.11 – Centralizador.....	54
Figura 4.12 – Colocação da armadura no furo.....	54
Figura 4.13 – Injeção da pregagem.....	55
Figura 4.14 – Reinjeção das manchetes	55
Figura 4.15 – Pregagem de fibra de vidro depois da injeção.....	56
Figura 4.16 – Esquema da sequência de execução das enfilagens	57
Figura 4.17 – Vista da execução de vários lances de enfilagens	58
Figura 4.18 – Furação de enfilagens com Posicionador	58
Figura 4.19 – Coroa de furação	59
Figura 4.20 – Furação de enfilagens.....	60
Figura 4.21 – Válvula de injeção da enfilagem	60
Figura 4.22 – Roçadora.....	62
Figura 4.23 – Escavação da alvenaria de tijolo	62
Figura 4.24 – Martelo Pneumático acoplado à Giratória.....	63
Figura 4.25 – Jacto de água para evitar a excessiva propagação de poeiras.....	63
Figura 4.26 – Multifunções	64
Figura 4.27 – Posicionamento da cambota com a Multifunções.....	64
Figura 4.28 – Betão projectado com fibras metálicas	65
Figura 4.29 – Furação das microestacas a trado contínuo.....	66
Figura 4.30 – Colocação da armadura.....	67
Figura 4.31 – Viga de reacção com as microestacas	67
Figura 4.32 – Sequência de vigas de reacção soldadas, com as microestacas	68
Figura 4.33 – Central de bombagem.....	68
Figura 4.34 – Fluxograma da execução de soleiras	70
Figura 4.35 – Escavação do troço de soleira	71
Figura 4.36 – Retirada das terras provenientes da escavação do troço de soleira.....	71
Figura 4.37 – Limpeza após a escavação e aplicação de bitolas.....	72
Figura 4.38 – Gunitagem da soleira	72
Figura 4.39 – Manta geotêxtil	73
Figura 4.40 – Geomembrana impermeabilizante.....	74
Figura 4.41 – Manta em polipropileno	74

Figura 4.42 – Cofragem em aço-nervurado perpendicular ao eixo do túnel.....	75
Figura 4.43 – Montagem de armadura.....	75
Figura 4.44 – Vista geral da malha de armadura executada.....	76
Figura 4.45 – Aplicação de betão estrutural (descarga directa).....	76
Figura 4.46 – Aplicação de betão estrutural (conclusão da betonagem).....	77
Figura 4.47 – Montagem da cofragem e do tubo colector.....	77
Figura 4.48 – Montagem da cofragem e do tubo colector (vista final).....	78
Figura 4.49 – Aplicação de betão de enchimento C12/15.....	78
Figura 4.50 – Finalização da betonagem com betão de enchimento C12/15.....	79
Figura 4.51 – Fixação do geotêxtil com pregos de disparo.....	81
Figura 4.52 – Soldadura da geomembrana às arandelas.....	81
Figura 4.53 – Soldadura de sobreposição da geomembrana.....	82
Figura 4.54 – Trompete no sistema de impermeabilização.....	82
Figura 4.55 – Vista do sistema de impermeabilização executado.....	83
Figura 4.56 – Montagem de armaduras nos hasteais e abóbada realizada em andaimes.....	83
Figura 4.57 – Finalização da montagem de armaduras nos hasteais e abóbada.....	84
Figura 4.58 – Cofragem dos arranques.....	85
Figura 4.59 – Betonagem dos arranques dos hasteais.....	85
Figura 4.60 – Esquema das várias fases (revestimento definitivo) da secção do túnel.....	86
Figura 4.61 – Montagem de cofragem nos topos do molde.....	87
Figura 4.62 – Betonagem do molde.....	87
Figura 4.63 – Descofragem do molde (picagem dos topos).....	88
Figura 4.64 – Descofragem do molde (abertura das abas).....	88
Figura 4.65 – Betonagem (C12/15) do troço de soleira da secção de alvenaria a manter.....	89
Figura 4.66 – Limpeza de alvenaria a jacto por via húmida.....	90
Figura 5.1 – Articulação entre as diversas entidades.....	112
Figura 5.2 – Assentamentos verticais das réguas topográficas entre os Pk [0+250;0+260].....	116
Figura 5.3 – Assentamentos verticais das réguas topográficas entre os Pk [0+320;0+360].....	116
Figura 5.4 – Localização dos alvos topográficos.....	117
Figura 5.5 – Convergências dos alvos ao Pk 0+325.....	117
Figura 5.6 – Convergências dos alvos ao Pk 0+345.....	118
Figura 5.7 – Perfis UNP duplos solidarizados às pregagens – 1.....	118
Figura 5.8 – Perfis UNP duplos solidarizados às pregagens – 2.....	118

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 – Vantagens e desvantagens do método NATM.....	8
Tabela 3.1– Tabela com as diferentes secções (S1 e S2).....	41

1 INTRODUÇÃO

1.1 *Preâmbulo*

Um túnel é uma passagem subterrânea que tem como objectivo facilitar a passagem de algo para outro lugar. Os túneis podem ser artificiais ou naturais. Os túneis artificiais são feitos pelo homem para transportar algo, os naturais são feitos obviamente pela natureza através de acções naturais.

Com esta simples definição de túnel, apercebemo-nos que a construção destes, hoje em dia, é extremamente útil, limitando a construção de infra-estruturas à superfície em meio urbano (neste caso particular), minimizando o impacto visual na paisagem, como também minorando os impactes que estas têm no quotidiano da sociedade no decorrer da obra. Assim, este tipo de obras nas grandes cidades é bastante vantajoso, fazendo face às necessidades impostas pelos altos índices demográficos, que gera e precisa de diversos meios, serviços e equipamentos.

De acordo com o descrito no ponto anterior, e pelo facto de o autor ter trabalhado numa obra como a de Consolidação, Reforço e Reabilitação do Túnel Ferroviário do Rossio, influenciou peremptoriamente a escolha do tema do trabalho, devidamente enquadrado na temática do mestrado. A obra em estudo possui características muito singulares, nomeadamente por ser o primeiro túnel em Portugal a sofrer uma reabilitação tão profunda, tendo um impacto muito mediático na comunicação social e na sociedade ao nível das dificuldades impostas à população que frequentava a Linha de Sintra.

É importante deixar claro desde já que, com este trabalho, se pretende dar apenas um pequeno contributo no esclarecimento dos processos construtivos e na reflexão sobre o papel da fiscalização numa obra desta envergadura, com base num conjunto de ideias, recolha de informação e análises, reflectidas e perfeitamente exequíveis, na área da Fiscalização.

Pretende-se justificar a importância desta obra, que contribuiu decisivamente para a defesa, protecção, conservação, restauro e valorização do património cultural que, até aos dias de hoje, ainda não tem sido convenientemente explorado e dinamizado.

Esta empreitada consistiu:

- Na intervenção estrutural por construção de uma secção fechada no interior do túnel, numa extensão de cerca de 1.226 metros, em quatro frentes, mantendo o actual gabarito de circulação;
- Construção em toda a extensão (2.613 metros) de uma plataforma de via contínua em betão, com via embebida, viabilizando um acesso rodoviário em caso de necessidade, constituindo igualmente um elemento de rigidez importante para a estabilidade estrutural do Túnel;
- Instalação de um sistema de monitorização automática com transmissão remota de dados, permitindo o controlo permanente de medição das deformações e aberturas de fendas do Túnel;
- E instalação de novos equipamentos de segurança passiva: coluna seca em toda a extensão do Túnel, sistemas de ventilação e desenfumagem verticais e longitudinais e uma escapatória vertical situada a meio do Túnel.

Na Prestação de Serviços na Assessoria Técnica e Fiscalização das Empreitadas desta obra, o autor da dissertação, desempenhou inicialmente as funções de Técnico de Planeamento e Controlo de Custo, passando posteriormente a Engenheiro de Infra-estruturas e Construção Civil (como chefe de equipa) e acabei a obra como Engenheiro de Infra-estruturas e Construção Civil (como responsável de gabinete).

Na Área do Planeamento e Controlo de Custo, as principais funções recaíram sobre o levantamento e registo das quantidades de trabalho realizadas em obra; Controlo do plano de trabalhos através de monitorizações das actividades realizadas, com base na determinação dos rendimentos efectivos obtidos; Controlo das actividades inerentes à Empreitada, incluindo o controlo dos materiais e equipamentos a aplicar para a realização dos autos de medição mensais, efectuando um acompanhamento diário da obra; Aplicação dos conhecimentos adquiridos de modo a verificar o cumprimento do Projecto de Execução (faseamento construtivo).

Mais tarde, aquando da mudança de funções, estas vieram incidir sobre a análise do projecto e do caderno de encargos, com o seu cumprimento na frente de obra; métodos de execução e materiais utilizados. Outras das tarefas, incidiu sobre o acompanhamento diário da obra em colaboração estreita com os fiscais e encarregados, nomeadamente no controlo e fiscalização da execução do projecto, análise da qualidade dos trabalhos e dos materiais, bem como no controlo do plano de trabalhos. Foi também realizado um estreito contributo no controlo do plano de trabalhos através de monitorizações das actividades realizadas. Similarmente, na fase final da obra, contribuiu-se por analisar e dar conhecimento de toda a documentação aos restantes Engenheiros Chefes de Equipa/Turno, e fazer a interligação com o Director da Fiscalização e o Engenheiro Coordenador.

1.2 Conteúdo do Trabalho

A dissertação apresentada, além deste primeiro capítulo introdutório, encontra-se estruturada em mais seis capítulos, num total de sete.

O segundo capítulo aborda e descreve os processos construtivos mais utilizados na execução de túneis, bem como técnicas de reabilitação dos mesmos, tanto a nível estrutural, como não estrutural.

O terceiro capítulo descreve as características e localização da obra, relacionando o zonamento do túnel, com as características geológicas do terreno e as dimensões dos recobrimentos. Neste capítulo descreve-se ainda o comportamento e os problemas verificados ao longo dos anos, que conduziram a esta intervenção, e as soluções adoptadas na intervenção, quer na zona da secção nova, quer na zona da secção a manter, e em que critérios se basearam estas soluções.

O quarto capítulo descreve minuciosamente os processos construtivos das secções a intervir. Na zona de secção nova, a descrição incide sobre a execução de: colocação do suporte provisório; pregagens; enfilagens; desmontagem do suporte provisório; escavação, demolição, montagem de cambotas e aplicação de betão projectado; microestacas e respectivas vigas de reacção; soleiras e revestimento definitivo da abóbada. Na zona de alvenaria a manter descrevem-se os processos da execução das soleiras e da limpeza da alvenaria.

No quinto capítulo apresenta-se uma descrição das funções da Fiscalização, particularmente em obras públicas, a sua influência no andamento da obra, mencionando-se alguns exemplos desta influência ao nível da análise das técnicas construtivas, da avaliação dos materiais e equipamentos utilizados; na análise e controlo do planeamento, na ponte de interligação entre o Empreiteiro, o Dono de Obra e o Projectista.

No sexto capítulo são apresentadas as principais conclusões do trabalho realizado.

2 TÚNEIS – ESTADO DA ARTE

Os túneis são um dos mais antigos tipos de construção exercidos pelo homem, existindo registos que indicam a existência há milhares de anos.

Desde o antigo Egipto, são conhecidos túneis com cerca de 150 metros de comprimentos. A sua técnica consistia em realizar escavações, simultaneamente, nos dois extremos, encontrando-se no meio da montanha.

Os romanos tal como os gregos usaram os túneis, para ligar as suas redes de aquedutos. Estas civilizações, criaram técnicas de trabalho, tal como a aplicação de calor, baseado no princípio de que uma rocha aquecida, quando arrefecida rapidamente, se fissa numa certa extensão, tornando-se mais fácil de ser escavado.

Hoje em dia, com a evolução do conhecimento e da tecnologia, os meios ao nosso dispor são efectivamente mais rentáveis e seguros, despontando assim diversas técnicas construtivas de obras subterrâneas, nomeadamente os túneis.

Assim sendo, descrevem-se de seguida, os métodos construtivos mais usuais na construção de túneis, bem como técnicas de reabilitação dos mesmos.

2.1 Métodos construtivos

2.1.1 Introdução

A escolha do método de construção de um túnel é baseada, essencialmente, em estudos geológicos e geotécnicos, de modo a ser possível adequar a definição do traçado, a escolha dos processos construtivos e o cálculo de dimensionamento às características do maciço.

Enumeram-se alguns dos principais aspectos que podem condicionar a escolha do método na fase de projecto e construção:

- Espessura reduzida de recobrimento de solo e rocha;
- Nível freático, e zonas de elevadas pressões;
- Tensões naturais instaladas no maciço;
- Maciços constituídos por materiais heterogéneos, com propriedades mecânicas variáveis;
- Maciços constituídos por rochas facilmente deterioráveis e expansivas;

- Estruturas geológicas, nomeadamente: dobras, estratificações, contactos litológicos, entre outros.

Os métodos construtivos dependem naturalmente do maciço em que o túnel é aberto. Quando o maciço é rochoso, a decisão fica entre a escavação a fogo ou TBM (*Tunnel Boring Machines*). Já para maciços de solos (predominante em meios urbanos), a decisão fica entre a escavação sequencial (*New Austrian Tunneling Method*) e a escavação mecanizada (TBM).

Nos próximos subcapítulos descrevem-se os métodos construtivos mais usuais:

2.1.2 Construção sequencial (NATM - *New Austrian Tunneling Method*)

O NATM, *New Austrian Tunneling Method*, é um método que se baseia na escavação terreno, conduzindo este a uma deliberada estabilização/deformação, de modo a adaptar o maciço ao contorno escavado, redistribuindo e reduzindo as tensões máximas induzidas, evitando-se assim a sua desagregação. Este alívio de tensão é controlado através da monitorização das deformações e convergências do terreno.

Este método assenta nos seguintes princípios:

- O principal suporte de um túnel é o maciço que o circunda;
- As deformações controladas do maciço e dos suportes devem ser rigorosamente observadas (plano de instrumentação e monitorização);
- Os suportes, que interagem com o maciço devem ser aplicados no tempo correcto, ou seja, respeitando as características geomecânicas do maciço;
- A extensão do túnel a ser deixada em aberto (sem suporte) durante a construção deverá ser a menor possível;
- A rigidez dos suportes deve ser compatível com o maciço (estado inicial de tensões e características geomecânicas do mesmo), de modo a restringir dentro de limites seguros, as deformações; e
- A geometria da escavação deve ser adequada ao maciço, por forma a evitar descontinuidades acentuadas, as quais podem induzir elevados esforços de flexão.

Uma das vantagens deste método é a adaptabilidade da secção de escavação, que pode ser modificada em qualquer ponto, de acordo com as necessidades geométricas e de segmentação da escavação. Devido à sua versatilidade, tem uma óptima resposta para a construção de túneis curtos, túneis com mudanças de secção ou inclinados, poços, estações, entre outros.

È um método que inicialmente era aplicado em túneis abertos em maciços rochosos submetidos a elevadas tensões *in situ*. No entanto, na década de 70, começou-se a ter resultados satisfatórios na construção de túneis em solos e rochas brandas. Vista esta versatilidade e os princípios em que este método se baseia, ilustram-se de seguida, diferentes sequências de escavação em secção parcial (Figura 2.1).

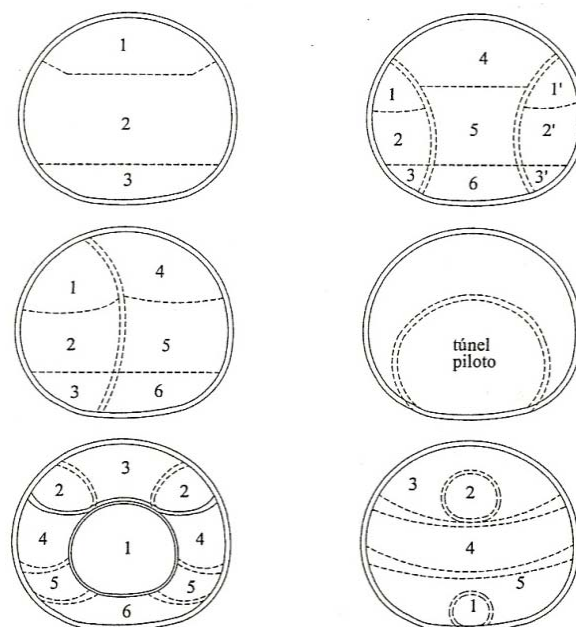


Figura 2.1 – Princípios de escavação do método NATM [1]

O faseamento deste método baseia-se, como já anteriormente foi referido, na deformação do maciço após a escavação, redistribuindo parte das tensões. Assim, e apesar de existir obrigatoriamente o plano de instrumentação e monitorização (acompanhamento e análise das deformações), após a escavação é executado um suporte, que normalmente assenta na aplicação de betão projectado (com fibras metálicas ou rede electrossoldada). No entanto, nas situações em que a aplicação deste suporte não seja suficiente, de modo a cumprir com os requisitos de segurança, são realizados tratamentos de melhoria ou de reforço do maciço, nomeadamente, pregagens, enfilagens, *jet grouting*, cambotas metálicas, injeções, etc.).

Assim sendo, após a análise do faseamento, verifica-se que este método tem uma vantagem económica face aos outros métodos, pois para além de não requerer equipamentos muito sofisticados, também apresenta flexibilidade em termos de geometria e de condições do maciço.

Para melhor percepção, resumem-se de seguida as vantagens e desvantagens deste método (Tabela 2.1):

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> • Versatilidade do método, atendendo às variações de secção, alinhamentos e inclinações, sem perdas significativas de rendimentos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Necessidade de tratamento do terreno circundante, para consolidação do mesmo.
<ul style="list-style-type: none"> • Escavação parcial da secção, conferindo maior estabilidade à frente de escavação. 	<ul style="list-style-type: none"> • As etapas de escavação manual, estabilização e revestimento conferem índices de baixa produtividade.
<ul style="list-style-type: none"> • Várias frentes de ataque, em simultâneo. 	<ul style="list-style-type: none"> • A instalação imediata e contínua de <i>suporte</i> no perímetro da escavação, de modo a minimizar a movimentação do solo circundante.
<ul style="list-style-type: none"> • Os poços de ataque são de pequenas dimensões. 	<ul style="list-style-type: none"> • A frente de escavação não permite tempos alargados de exposição, requerendo colocação imediata do suporte primário.
<ul style="list-style-type: none"> • Revestimento monolítico. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mão-de-obra especializada, bem como técnicos com larga experiência em obras geotécnicas.
<ul style="list-style-type: none"> • Facilidade de remoção dos materiais resultantes da escavação. 	<ul style="list-style-type: none"> • Necessidade de controlar o nível freático, para evitar a ocorrência de recalques.
<ul style="list-style-type: none"> • Adaptável da secção do túnel, e podendo a geometria ser alterada a qualquer momento. 	<ul style="list-style-type: none"> • A instalação imediata e contínua de <i>suporte</i> no perímetro da escavação, de modo a minimizar a movimentação do solo circundante.
<ul style="list-style-type: none"> • Versatilidade em mudanças de alinhamentos e inclinações. 	<ul style="list-style-type: none"> • A frente de escavação não permite tempos alargados de exposição, requerendo colocação imediata do suporte primário.
<ul style="list-style-type: none"> • Baixos custos de investimentos, por não exigir meios mecânicos sofisticados. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mão-de-obra especializada, bem como técnicos com larga experiência em obras geotécnicas.

Tabela 2.1 – Vantagens e desvantagens do método NATM

2.1.3 Construção com escudo (TBM - *Tunnel Boring Machines*)

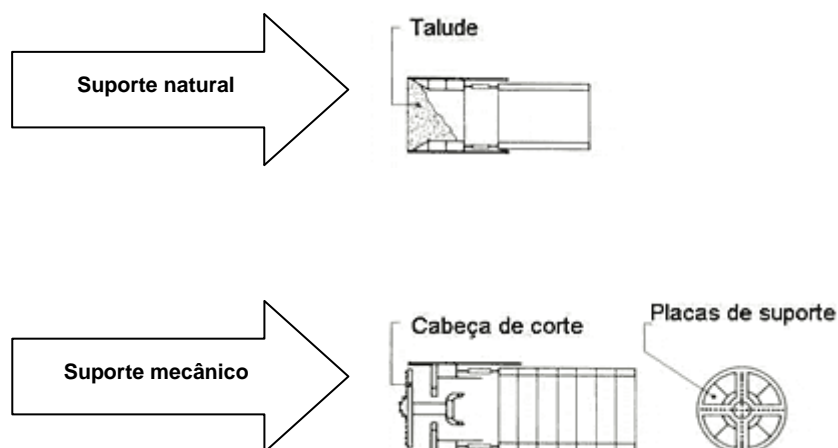
A construção mecanizada é uma técnica que consiste em efectuar a escavação com um escudo perfurador (equipamento mecânico metálico de forma cilíndrica com bordos cortantes - tuneladora),

possuidor de frente aberta ou fechada, para evitar o colapso do maciço até à colocação do suporte definitivo, garantindo a protecção de homens e máquinas. Imediatamente atrás, é montado o revestimento segmentado, em aduelas pré-fabricadas em betão, encaixadas umas nas outras. O avanço da tuneladora é realizado pela reacção dos macacos contra os anéis de revestimento já executados.

Esta técnica, devido ao seu elevado custo, para ter viabilidade económica, deve ser utilizada em túneis com extensão superior a 1000 metros.

Devido à diferença dos diâmetros de escavação face ao diâmetro exterior do suporte, originada pela espessura da cauda do escudo e pela folga interior, que terá que existir entre esta e os anéis, de modo a facilitar a instalação destes e possibilitar correcção de alinhamento, é gerado um vazio atrás do escudo durante o seu avanço. A criação destes vazios pode desencadear assentamentos à superfície, sendo necessário recorrer a injeções de consolidação do maciço à medida que o escudo avança, com o intuito, de limitar a curto prazos estes assentamentos, e a longo prazo, garantir a transmissão de esforços entre o maciço e o suporte. De salientar que, para menores recobrimentos torna-se maior a dificuldade em controlar os assentamentos [1].

Como referido anteriormente, a frente de escavação com escudo, pode ser aberta ou fechada, consoante as condições do maciço. O escudo aberto é um método que é utilizado quando os fluxos de água são quase inexistentes e quando a frente de escavação não precisa de suporte, uma vez que o terreno na frente somente está sujeito à pressão atmosférica. Na situação do escudo fechado, o facto de se verificarem fluxos de água capazes de criar a instabilidade do maciço, é necessário recorrer a técnicas de confinamento com ar comprimido, mecânico, líquido ou por contra-pressão de terras (*Figura 2.2*).



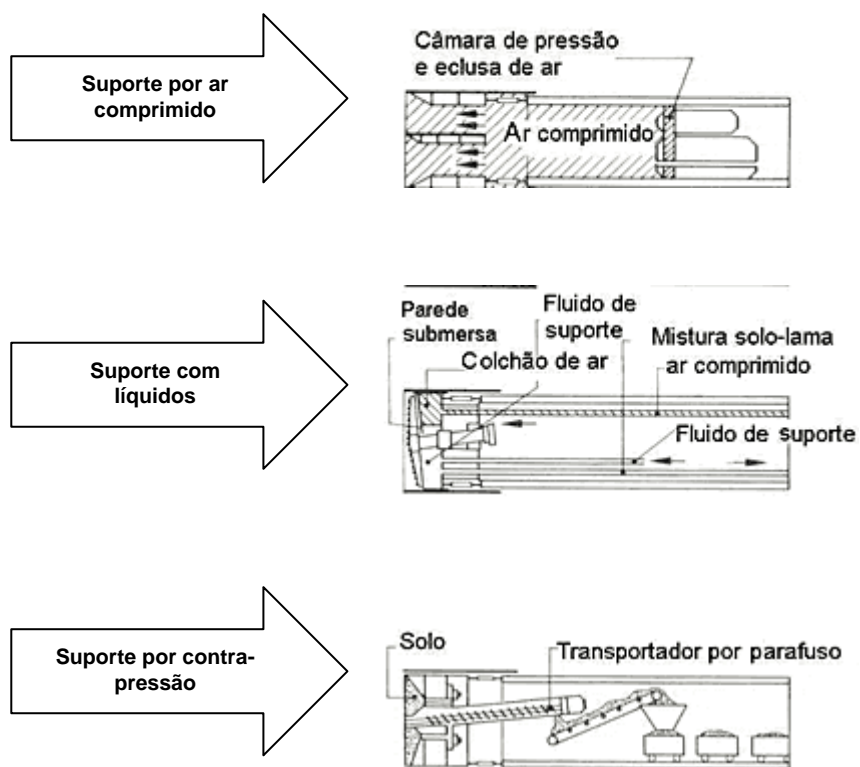


Figura 2.2 – Esquema dos diversos métodos de escavação com escudo [2]

O recurso às TBM na execução de túneis tem as seguintes vantagens:

- Largos avanços de execução, devido aos elevados rendimentos das tuneladoras;
- Automatização dos processos, dispensando mão-de-obra especializada;
- Controlo da estabilização do terreno da frente de trabalho;
- Segurança dos trabalhadores, que se encontram protegidos pelo escudo;
- Maior independência dos terrenos a escavar;
- Menor necessidade de realização de tratamentos do terreno, uma vez que a própria máquina possibilita o avanço em qualquer tipo de situação;
- Os problemas com a água são minimizados.

Da utilização deste método, salientam-se os seguintes inconvenientes:

- Elevado investimento inicial, derivado do custo dos equipamentos;
- Dificil amortização, pelo que a execução de pequenos túneis é desaconselhada;
- Dificuldades no transporte e colocação da tuneladora na frente de ataque;
- A existência de apenas uma frente de trabalho implica a paragem da obra, aquando da avaria do equipamento, ou de problemas com o terreno;

- A variedade e mistura de materiais (duros e brandos) obriga a desenhar e a dimensionar o equipamento para cortar ambos os materiais, originando problemas de maior desgaste das peças cortantes;
- Dificuldades na análise do material escavado, e por conseguinte, possíveis problemas de destruição de restos arqueológicos e/ou de serviços afectados;
- Necessidade de ocupação de grandes estaleiros, para armazenamento de aduelas.

ESCUDOS ABERTOS

Nesta técnica, a frente de escavação processa-se manualmente ou por meio de escavadoras mecânicas, que desprendem e removem o solo da face (*Figura 2.3*). É preferencialmente utilizada em solos coerentes rijos sem grande gradiente hidráulico ou em rochas brandas.

A sua utilização em terrenos com aquíferos também é possível, embora exija que se façam intervenções para rebaixamento do nível freático, injeções, congelação, etc.



Figura 2.3 – Tuneladora com escudo aberto [3]

ESCUDOS COM CONFINAMENTO A AR COMPRIMIDO

A execução de túneis com escudos com confinamento a ar comprimido é uma técnica que tem vindo a ser abandonada, por colocar em risco a saúde dos trabalhadores que nela actuam, devido às elevadas pressões a que estão sujeitos, bem como pelos custos associados às câmaras de descompressão. Outro dos factores que provoca o seu abandono está relacionado com as perdas de ar, uma vez que a permeabilidade dos solos ao ar é de cerca 100 vezes mais elevada do que a permeabilidade à água, sendo assim somente aplicável a solos finos com permeabilidade inferior a 10^{-5} m/s e não apresentando heterogeneidades.

Hoje em dia, este método de execução de obras subterrâneas é utilizado, embora raramente em túneis com diâmetros inferiores a 3-4 metros.

Este método recorre à aplicação de ar comprimido no sentido de estabilizar a frente de trabalho ou de prevenir fluxos de água e/ou de solos através da face. A utilização do ar comprimido proporciona também uma pressão uniforme de suporte na frente de escavação, equilibrando a pressão imposta pela água, e também, melhorando as características resistentes dos solos que se encontram adiante da face [1].

ESCUDOS COM CONFINAMENTO MECÂNICO

Esta técnica é utilizada em solos muito moles e com resistências drenadas inferiores a 20-30 kPa, utilizando, para tal, um escudo munido de uma placa com uma abertura, pela qual, parte do solo entra dentro do túnel já escavado de onde é posteriormente removido.

Como o campo de aplicação deste tipo de escudos é muito limitado, faz com que seja muito pouco utilizado.

ESCUDOS COM CONFINAMENTO LÍQUIDO

Esta tecnologia permite a execução de túneis com variados diâmetros, e num vasto campo de aplicação, sobretudo em solos (desde argilas moles, a solos granulares muito permeáveis sujeitos a elevadas pressões hidráulicas).

A técnica de escudos com confinamento líquido consiste em colocar sob pressão, um fluído numa câmara, atrás do elemento cortante. Este líquido, que pode ser água (em solos finos) ou bentonite (solos grossos ou argilas naturais), infiltra-se e/ou deposita-se na zona a escavar, formando uma película (*cake*), conferindo uma resistência adequada à frente de trabalho com a redução da permeabilidade, permitindo que a escavação se realize em condições seguras (*Figura 2.4*). A espessura deste cake, depende da permeabilidade do solo, da densidade e da resistência do fluído, bem como da diferença de pressões entre o fluído, o solo e a água.

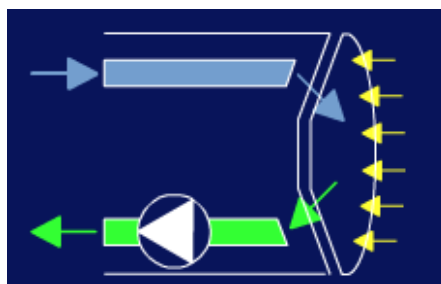


Figura 2.4 – Funcionamento teórico do escudo com confinamento a líquidos [3]

À medida que se realiza a escavação, os materiais resultantes são extraídos, recorrendo-se para tal, a bombas centrífugas, que encaminham e separam os fluidos dos materiais resultantes da escavação. No entanto, devido às limitações das estações de tratamento, este processo ainda é pouco recorrente (*Figura 2.5*).



Figura 2.5 – Tuneladora com escudo de confinamento líquido [3]

ESCUDOS COM CONFINAMENTO POR CONTRA-PRESSÃO DE TERRAS

Esta técnica, juntamente com a construção sequencial (NATM), é a mais utilizada em Portugal. A técnica consiste, essencialmente, em utilizar o solo escavado como elemento estabilizador da frente de escavação. Este solo que está sob pressão, é colocado na câmara que se encontra atrás do escudo cortante (*Figura 2.6*).

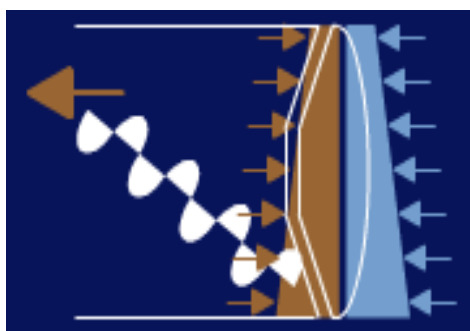


Figura 2.6 – Funcionamento teórico do escudo com confinamento por contra-pressão [3]

À medida que o avanço dos trabalhos é realizado hidráulicamente, é executado o desmonte do solo com o escudo cortante, fazendo penetrar os materiais resultantes na câmara, onde posteriormente, serão encaminhados através de um tubo para a parte traseira da tuneladora (*Figura 2.7 e 2.8*). O tubo contém um dispositivo mecânico que regula o volume de massa extraída, bem como a pressão aplicada na frente de escavação.

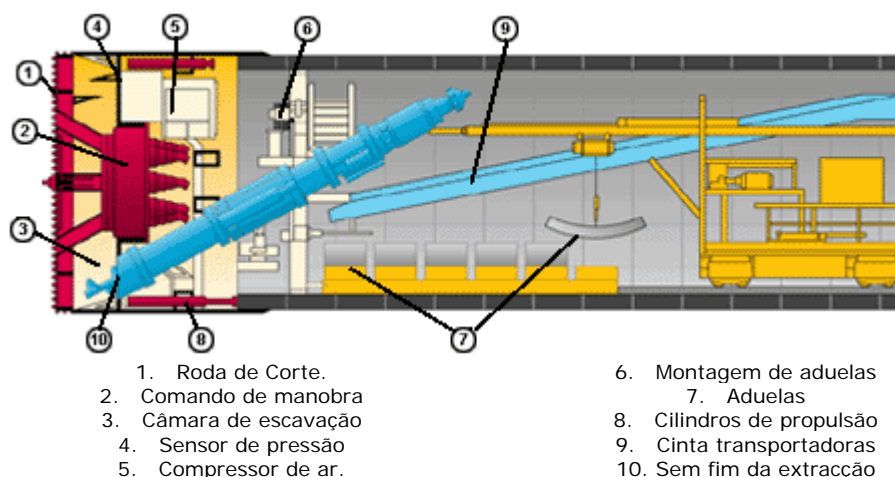


Figura 2.7 – Esquema de tuneladora com escudo com confinamento por contra-pressão [4]

Aquando da execução deste processo em solos não plásticos, como areias e seixos, podem ser injectados aditivos, nomeadamente lamas densas, que se misturam com os materiais da escavação, formando uma pasta impermeável na frente de trabalho, evitando-se assim assentamentos por consolidação do terreno, garantindo uma maior consistência e homogeneidade do mesmo.



Figura 2.8 – Tuneladora de escudo com confinamento contra-pressão [3]

2.1.4 Construção a fogo

Quando as zonas subterrâneas a escavar são essencialmente rochas, um método muito utilizado é a escavação a fogo. Este processo depende da velocidade de perfuração bem como da potência do explosivo.

A escavação a fogo consiste em abrir um certo número de furos na frente de escavação, carregando-os com explosivos, consoante uma determinada área de detonação. Os furos são dimensionados segundo a localização, direcção, quantidade e sequência de detonação.

Após a detonação dos explosivos, são retirados os entulhos da secção escavada, estabilizando a cavidade aberta com betão projectado, de modo a estabilizar a superfície a mesma.

Esta metodologia ainda hoje, é utilizada com profusão, podendo-se enumerar diversas vantagens:

Vantagens:

- Versatilidade quanto ao tipo de rochas;
- Flexibilidade na geometria da secção a escavar;
- Baixos investimentos iniciais, comparativamente com o método TBM;
- Mobilidade das equipas;
- Arranque da rocha, facilitando a sua remoção e transporte.

Desvantagens:

- Irregularidade na secção de escavação;
- Vibrações geradas pela denotação podem colocar em risco a integridade das edificações vizinhas (caso de meios urbanos);
- Vibrações induzidas, os ruídos, os gases, as poeiras, a projecção de material (partículas e/ou blocos) e a deterioração do maciço remanescente, traduzido em fenómenos de sobrefracturação e sobreescavação.

2.1.5 Construção a céu aberto (*cut-and-cover*)

Este método é aplicado quando não há interferência com o sistema viário, ou quando é possível desviar o tráfego sem causar grandes transtornos. Pode ser utilizado nas diversas condições geotécnicas e geológicas, podendo ser economicamente vantajoso para recobrimentos até 20 m.

A técnica de construção a céu aberto consiste em abrir valas de grandes dimensões, executando-se paredes de contenção laterais, escoradas ou em talude. Segue-se o rebaixamento do nível freático, caso se justifique, passando-se depois para a execução do suporte definitivo. Este processo termina com a realização de um aterro sobre o suporte definitivo.

A construção a céu aberto primazia pelos seguintes aspectos:

- O tipo de terrenos é pouco relevante para a execução do método;
- Permite a execução do túnel com pequenos recobrimentos de terreno;
- Os custos envolvidos, bem como o prazo de execução da obra são conhecidos;
- Dispensa mão-de-obra especializada;

- Maior segurança dos operários nas frentes de trabalho;
- Permite a abertura de várias frentes de trabalho;

Como inconvenientes, podem-se destacar:

- Desvio do nível freático e de serviços afectados;
- Pode ter uma incidência clara sobre árvores, elementos arquitectónicos históricos e/ou a superfície;
- Maior incómodo para a população.

2.1.6 Pré-corte mecânico

O pré-corte mecânico consiste em cortar o terreno apenas na parte da abóbada do túnel, com equipamentos robustos e com a forma da secção do túnel, dotados de sistemas de translação longitudinais autónomos. Após o corte, aplica-se betão projectado para consolidação da abóbada e posterior escavação da secção interior do túnel. Terminada a escavação da secção interior, executa-se um anel concêntrico com a anterior aplicação de betão projectado. Os avanços são limitados de 3 a 3,5 m. Com a estabilização da abóbada, procedem-se os trabalhos de escavação dos hasteais e da soleira, finalizando-se a metodologia com a execução do revestimento final.

Este método tem as seguintes vantagens:

- Limitação as deformações, devido à execução do pré-suporte;
- O acabamento do revestimento inicial é regular, reduzindo o consumo de betão no revestimento definitivo;
- Sujeito a menores erros humanos, maximizando as condições de segurança de trabalho;
- Quando o terreno coesivo e em rochas brandas, é de simples execução;
- Elimina a necessidade de injeções de consolidação no terreno.

Como desvantagens, salientam-se as seguintes:

- É um método limitado em terrenos arenosos, e com níveis freáticos elevados, podendo originar problemas de estabilidade durante a escavação, limitando o comprimento dos avanços;
- Requer um sistema de drenagem eficaz;
- O alto custo dos equipamentos, inviabiliza haver várias frentes de trabalho, salvo para túneis de grandes secções.

2.1.7 Análise comparativa

O aumento da população urbana tem contribuído para um aumento significativo da construção de túneis, com especial incidência em obras para vias rodoviárias e ferroviárias. No entanto, o elevado custo associado à sua construção, aliado a aspectos de natureza ambiental e aos custos de manutenção, tem sido um impedimento para que se tornem mais generalizados.

O cabal conhecimento de todas as variáveis que possam afectar o comportamento dos túneis e das estruturas vizinhas, é essencial para que as obras se desenvolvam em segurança, atendendo aos critérios de danos e aos deslocamentos admissíveis.

Comparando a aplicabilidade dos processos construtivos descritos ao longo deste capítulo, constata-se que o método TBM, apesar de não ser o mais recorrente, é o que possui uma maior margem de progressão. Possui também a vantagem de ser um método expedito quer em solos quer em maciços rochosos, com grandes rendimentos de escavação e de colocação do suporte. No entanto, a falta de flexibilidade ao nível da variação da geometria, converge no sentido de outros métodos, serem actualmente ainda os mais utilizados (NATM e escavação a fogo).

2.2 Técnicas de reabilitação

2.2.1 Reabilitação não estrutural

A reabilitação não estrutural inclui trabalhos de reparação de anomalias associadas à humidade, sem cariz relevante para o contributo da instabilidade do suporte.

Destinam-se a eliminar o que seja prejudicial à alvenaria, ou ao betão, minimizando o seu potencial de degradação. Como técnicas de limpeza e protecção, salientam-se as seguintes:

- Limpeza de alvenaria (pedra ou tijolo);
- Técnicas de protecção e reparação;

LIMPEZA DE ALVENARIA

- Limpeza mecânica: Este processo é moroso e minucioso, que consiste na remoção de detritos e na limpeza manual da alvenaria (pedra ou tijolo), recorrendo para a tal a utensílios como, fresas, escovas mecânicas ou outros equipamentos de pequena potência. Esta técnica é indicada para zonas pontuais e de pequenas dimensões;

- Limpeza com água à pressão: Esta metodologia baseia-se na projecção de água (com adição ou não de soluções) à pressão, definindo-se 3 tipos de pressão: *i)* baixa: 700 a 2100 kPa; *ii)* média: 2100 a 4850 kPa; *iii)* e alta: mais de 4850 kPa. A pressão a usar neste tem que ser criteriosamente estudada, de modo a não remover o acabamento areado ou superficial existente, resultando numa aparência diferente;
- Jacto de areia por via húmida: Este método de limpeza é particularmente eficiente em superfícies com ondulações, e consiste na projecção de partículas abrasivas muito finas por via húmida, controladas por um operador especializado. Face à limpeza com água à pressão, este processo tem a vantagem de eliminar o problema da reacção química com os sais de vanádio (no caso de alvenaria de tijolo);
- Vapor pressurizado: Este método consiste em aplicar água vaporizada a baixa pressão (entre 0,30 e 0,40 MPa), tendo a vantagem de não ser um sistema abrasivo para a alvenaria. No entanto, não deve ser aplicado a alvenarias permeáveis/porosas, ou a superfícies pouco resistentes à acção solvente da água. O procedimento desta actividade, invoca que os trabalhos devem ser realizados inicialmente pelos níveis superiores e em bandas verticais, de modo a proteger-se sempre as aberturas, evitando infiltrações para o interior;
- Químicos: A utilização de produtos químicos na limpeza de alvenaria (quer de pedra, quer de tijolo) é bastante variável, consoante o tipo de patologia a tratar. Na desinfestação de bolores, fungos, algas e líquenes, o tratamento baseia-se na limpeza com biocidas solúveis em água, enquanto a utilização de pastas argilosas absorventes é indicada para o tratamento e remoção de manchas e sais [5].

TÉCNICAS DE PROTECÇÃO E REPARAÇÃO

- Hidrofugação: Esta técnica consiste na aplicação de uma camada superficial de produtos acrílicos, silicões ou produtos de protecção aos agentes biológicos, na alvenaria;
- Manutenção: A manutenção periódica é uma técnica de protecção muito eficaz ao nível da identificação de patologias e anomalias, que possam agravar a vida útil do suporte. Para o desenrolar destas tarefas, além das inspecções visuais, também a realização de ensaios e de pequenas tarefas (tais como: tratamento de juntas, tratamentos de protecção, etc.), contribuem significativamente para a conservação do suporte;
- Tratamento de juntas: Esta solução divide-se em 3 fases: *i)* remoção de materiais não funcionais com ferramentas manuais, escopros ou martelos pneumáticos de baixa potência; *ii)* limpeza da juntas com ar comprimido ou escovas, e enchimento parcial dos vazios

existentes com argamassa adequada (idêntica à de assentamento) ao suporte; iii) refechamento superficial, e limpeza do paramento.

2.2.2 Reabilitação estrutural (reforço e consolidação)

A reabilitação estrutural consiste em melhorar, as características mecânicas e a coesão dos elementos existentes (suportes), bem como dos terrenos circundantes, evitando e/ou controlando os fenómenos de instabilidade ou deformações excessivas.

REFECHAMENTO DE JUNTAS

Esta técnica pode ser realizada através da colocação de argamassa ou de armadura. O *refechamento com argamassa* consiste na remoção parcial e substituição da argamassa degradada por outra de melhores propriedades mecânicas e de maior durabilidade. Este processo encadeia várias etapas: remoção parcial da argamassa das juntas; lavagem das juntas com água a baixa pressão; reposição e compactação da argamassa.

O *refechamento com armadura* consiste na remoção parcial da argamassa das juntas, seguindo-se a colocação de armaduras de reforço, do tipo de aço laminado ou barras FRP (*Fiber Reinforced Polymer*). As argamassas utilizadas são à base de cal hidráulica ou de resinas orgânicas (epóxi ou de poliéster). Esta técnica, por vezes combina-se com a execução de pregagens (adiante descrito o processo).

DRENAGEM – REBAIXAMENTO DO NÍVEL FREÁTICO

Quando o nível freático sobe, originando um aumento das pressões hidrostáticas não previstas, a drenagem por gravidade é o método mais expedito para a resolução. Esta técnica consiste em realizar furos no maciço, colocando geodrenos sub-horizontais, diminuindo as pressões hidráulicas actuantes. Estes drenos devem ser executados de forma radial, e em quincôncio.

Este tratamento inicia-se com a execução de uma malha primária, procedendo-se à leitura de pressão em alguns dos geodrenos (através de manómetros). Caso se verifiquem pressões indesejáveis, executam-se novos drenos (designados de secundários), nos intervalos dos já executados, até se atingir a pressão desejada.

INJEÇÕES DE CONSOLIDAÇÃO NO EXTRADORSO DO SUPORTE

A aplicação de injeções de consolidação é uma técnica que se aplica nas zonas onde existem vestígios de infiltração, e têm por objectivo o preenchimento dos vazios entre o terreno e o revestimento, melhorando as condições de impermeabilização do próprio revestimento.

A execução das injeções deverá ser iniciada dos hasteais para a abóbada, a pressões de ordem de 0,10 a 0,20 MPa. Nas situações em que se verifique dificuldade em atingir a pressão correcta, devem-se criar sectores estanques no sentido longitudinal, de maneira que a calda preencha todo o espaço entre o revestimento e o terreno. A criação destes sectores estanques poderá ser realizada através da injeção de uma argamassa mais espessa, ou da criação de um tampão betonado através de um rasgo perimetral no suporte.

A injeção pode ser de suspensões, soluções ou emulsões, sendo compostas à base de cimento, bentonite, areia, aditivos, cinzas ou cal. Um parâmetro a ter em conta na constituição da calda de injeção, é a viscosidade, sendo determinada pela dimensão dos vazios ou das fracturas existentes no maciço, e/ou a sua permeabilidade.

INJEÇÕES DE CONSOLIDAÇÃO NA ALVENARIA

Esta técnica consiste em injectar caldas a baixas pressões (0,1 a 0,2 MPa), através de furos previamente realizados na superfície da alvenaria, para preenchimento de fissuras, vazios, ou esmagamentos localizados, melhorando as características físicas e mecânicas do material da alvenaria. As caldas utilizadas são tipicamente à base de cimento estabilizadas por bentonite, cal, resinas epóxicas ou caldas de silicatos de potássio ou sódio.

BETÃO PROJECTADO

Esta técnica é aplicada em na reparação de estruturas de betão armado, ou a consolidação e reforço de alvenaria. A aplicação de betão projectado dispensa o uso de cofragens e permite a sua aplicação nas situações de difícil acesso, garantindo uma excelente aderência e durabilidade. De salientar ainda, que projecção confere ao betão a capacidade de se auto-compactar em sucessivas camadas.

Para conferir uma melhor resistência à tracção ao betão, destacam-se duas soluções:

- Adição de fibras metálicas ao betão;
- Fixação ao suporte de rede electrossoldada ou rede de fibra de vidro.

Esta técnica combina-se frequentemente com a de pregagens.

PREGAGENS

As pregagens têm por objectivo reforçar o maciço por duas vias: através da inclusão constituída pela própria pregagem solidária com o terreno, e também da injeção das zonas fissuradas e dos vazios do maciço. Este método é maioritariamente utilizado, quando se verificam fenómenos de extrusão e de pré-convergência.

ENFILAGENS

Esta técnica de reforço, embora mais direccionada para a construção de túneis, também se utiliza na reabilitação dos mesmos. Consiste em colocar tubos metálicos ou varões de aço na abóbada, em forma de guarda-chuva, de maneira a criar o efeito de arco. As perfurações do maciço são de pequeno diâmetro, e com um afastamento na ordem dos 20 a 30 cm. As injeções são executadas com caldas de cimento ou resinas.

PRÉ-ESFORÇO

A técnica de pré-esforço consiste na colocação de cabos de aço de alta resistência, efectuando o seu esticamento, de forma a introduzir na estrutura um novo sistema de forças. Este reforço permite melhorar o comportamento das paredes, sob acções no seu próprio plano e sob acções exteriores e melhorar o comportamento em serviço, ao nível do controle de deformação e fendilhação.

CONGELAÇÃO ARTIFICIAL DE TERRENOS

Este método consiste no congelamento artificial do terreno, convertendo a água intersticial *in situ* em gelo (através da injeção de nitrogénio), aumentando as propriedades mecânicas do solo e tornando-o impermeável. Esta metodologia aplica-se a qualquer tipo de solo, desde que este possua um alto teor em água (solos não saturados). Tem a particularidade de ser, de rápida execução, sem induzir perturbações nas infra-estruturas vizinhas (vibrações e ruídos quase inexistentes). No entanto, devido aos elevados custos, e à necessidade de utilização de equipamentos especializados, esta técnica é muito pouco utilizada [6].

MICROESTACAS

A execução de microestacas consiste no reforço das fundações face a novas cargas, e/ou no controlo dos assentamentos das mesmas. Estas são de estacas de pequeno diâmetro, com armadura

metálica, com ou sem bolbo de selagem. Estas têm a particularidade de poderem ser executadas em zonas confinadas, zonas com o com pé direito reduzido, e com baixos níveis de ruído e vibrações.

JET GROUTING

O *jet grouting* consiste na execução de solo melhorado com aglutinante *in situ*, mediante a introdução de caldas a grande velocidade (na ordem dos 250 m/s) no terreno, por dispositivos especiais, formando cilindros de solo-cimento. Os cilindros podem ser verticais, horizontais ou inclinados (*Figura 9 e 10*). As altas velocidades da injeção promovem o atravessamento das caldas nos orifícios de pequena abertura, aplicando uma elevada energia cinética na desagregação da estrutura do terreno natural e na mistura de calda de cimento com as partículas de solo desagregado. Estas injeções conferem um aumento das características mecânicas do material, diminuindo também a sua permeabilidade.

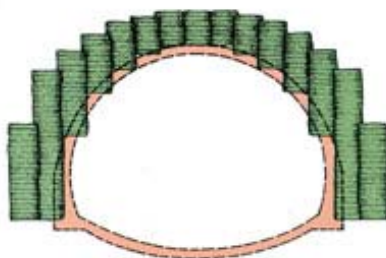


Figura 2.9 – Consolidação vertical de abóbadas de túneis [7]

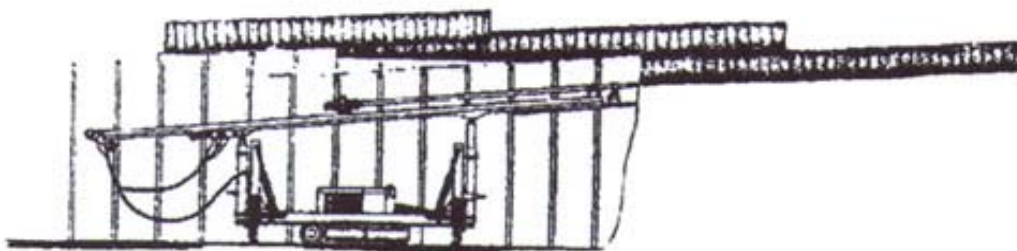


Figura 2.10 – Consolidação sub-horizontal de abóbadas de túneis [7]

Dos vários campos de aplicação, destacam-se os seguintes:

- Consolidação de abóbadas de túneis a partir do seu interior ou a partir da superfície (para profundidades inferiores a 20 m);

- Tratamento de camadas muito permeáveis com níveis de água confinados, intersectadas pelo traçado do túnel e que podem originar carregamentos de solo devido às suas elevadas pressões;
- Consolidação de frentes de túneis em terrenos constituídos por solos moles e saturados;
- Consolidação da entrada e saída de tuneladoras com escudo;
- Criação de lajes estanques na soleira, e impermeabilização de hasteais e da abóbada (*Figura 11*);
- Construção de colunas sub-horizontais, em túneis de reduzido recobrimento, em zonas urbanas.

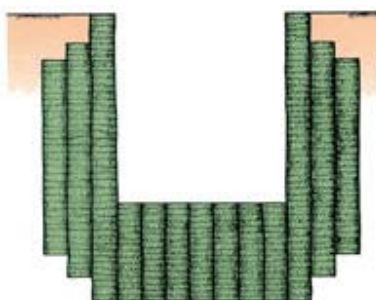


Figura 2.11 – Contenção lateral de escavações e combate à sub-pressão de água [7]

3 INFORMAÇÃO GERAL SOBRE A OBRA REALIZADA

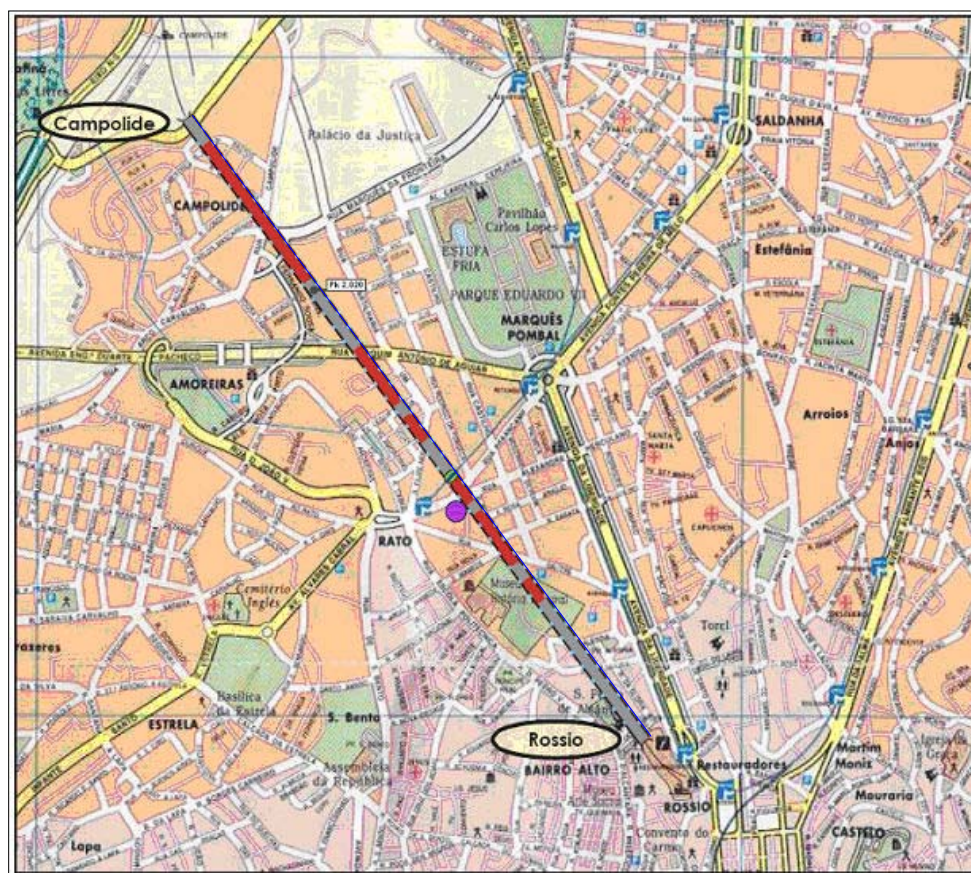
3.1 Informação geral sobre a obra existente

3.1.1 Características da Obra

A obra em estudo é a Reabilitação do Túnel Ferroviário do Rossio, construído há mais de cem anos, e que constitui um elemento essencial do eixo ferroviário Lisboa-Sintra, proporcionando a ligação de uma área suburbana densamente povoada ao centro de Lisboa.

O Túnel do Rossio foi construído no século XIX, entre 1887 e 1890, tendo custado 730 mil réis (moeda da época). A inauguração da obra foi no dia 21 de Maio de 1890, pela Companhia Real dos Caminhos de Ferro Portugueses, tendo sido considerada a maior obra de engenharia do século XIX.

O túnel tem uma extensão de 2613,00 metros, com início no Pk 0+194 do lado do Rossio e fim no Pk 2+807 do lado de Campolide. Este possui um traçado em alinhamento recto em planta, vencendo um desnível total de 25 metros (*Figura 3.1*).



Escala:

100 m

Figura 3.1 – Representação em planta do traçado do Túnel [8]

O túnel é de via dupla, com uma entrevia de 3,60 metros. A via assenta sobre balastro, à excepção dos primeiros metros até ao Pk 0+780, onde as travessas assentam sobre a soleira.

A secção interior do túnel foi projectada com um vão de 8,00 m, constituída por uma abóbada circular de 4,00 m de raio. O revestimento (secção estrutural) é constituído por alvenaria de tijolo maciço com espessura de 0,80 m, e pontualmente com 1,00 m. A argamassa utilizada no revestimento foi cal hidráulica.

Os hasteais são verticais, com 0,80 m de espessura, construídos na sua maioria por alvenaria de pedra.

Ao longo dos anos, o túnel sofreu diversas intervenções, quer de manutenção, quer de reforço da estrutura, tais como [8]:

- **1952** – Construção de uma soleira de betão desde a boca do lado da Estação do Rossio até ao Pk 0+700;
- **1955** – Rebaixamento da plataforma, em 30 a 50 cm, com vista à electrificação;
- **1995** – Reparação da cedência do hasteal direito da via descendente, entre os Pk 1+920 e 1+960, através da reconstrução em betão, do pé-direito, com a espessura necessária para colmatar a cavidade no terreno;
- **1967** – Construção de um novo dreno, para rebaixamento das águas existentes ao nível da plataforma;
- **1983** – Reforço do hasteal, lado esquerdo, ao Pk 0+900, com a aplicação de duas fiadas de ancoragem pré-esforçadas a 200 kN;
- **1987** – Reforço do hasteal, lado direito, ao Pk 0+900, com a aplicação de duas fiadas de ancoragem pré-esforçadas a 245 kN;
- **1990** – Reforço do hasteal, lado direito, ao Pk 0+900;
- **1991** – Reparação de dois troços experimentais de 200 m, entre os Pk 0+220 e 0+420 respeitante a trabalhos de impermeabilização da abóbada do túnel e entre os Pk 0+780 e Pk 0+980 relativo à execução da soleira em betão;
- **1993 a 1995** – Impermeabilização e reforço, em 200 m, na zona da boca de entrada (lado da Estação do Rossio);
- **1995** – Reforço do Túnel na zona do atravessamento do Túnel do Metropolitano (Linha Amarela) com recurso a pregagens, betão projectado, malha metálica e injeção do maciço;

- **2001** – Ao Pk 0,900 houve a necessidade da demolição das alvenarias dos pés-direitos de ambos os hasteais, para a execução de contrafortes e instalação de ancoragens com 540 kN e comprimento total de 15 m.

A 22 de Outubro de 2004, deu-se o encerramento da circulação ferroviária no Túnel do Rossio, devido a um abatimento de 25 cm na abóbada. Deste modo, foi necessário estudar soluções de reabilitação, para que se retomasse a circulação, num ponto vital da ligação ferroviária na zona de Lisboa.

A intervenção no Túnel do Rossio foi dividida em dois tipos:

- Zona de intervenção na plataforma: execução de uma soleira de betão, submetendo os hasteais e abóbada existentes, somente a uma limpeza da alvenaria;
- Zona de intervenção estrutural: execução de uma nova secção em betão armado (soleira, hasteais e abóbada).

Apresenta-se na figura seguinte, os tipos de intervenção a realizar na obra de reabilitação do Túnel Ferroviário do Rossio (*Figura 3.2*).

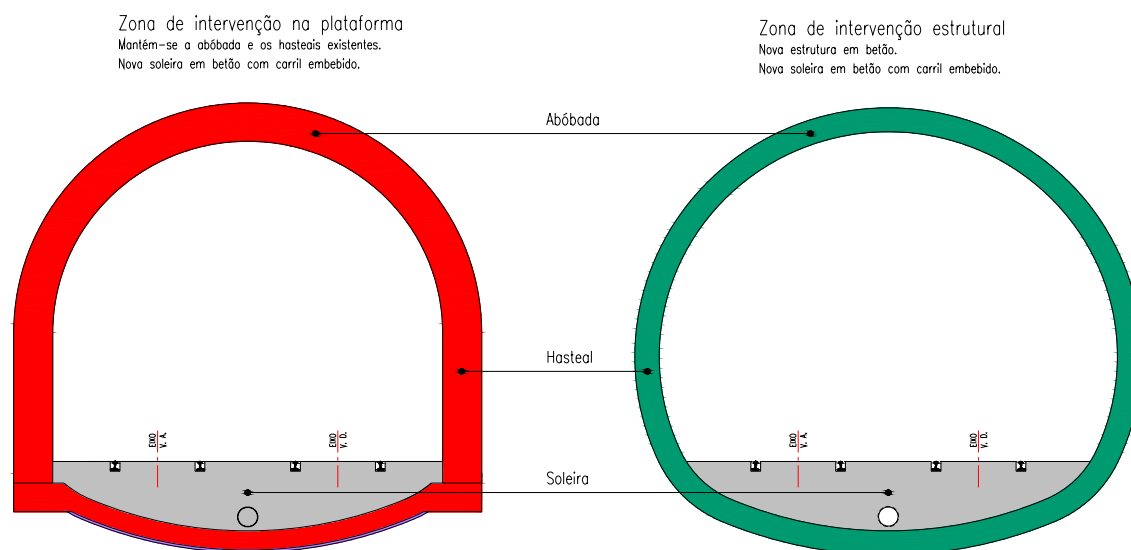


Figura 3.2 – Tipo de Intervenção [8]

3.1.2 Caracterização física da obra – zonamento

O túnel apresenta duas zonas distintas, devido às interligações entre o zonamento geotécnico, perfil longitudinal e a implantação do mesmo nas plantas da cidade.

A primeira zona caracteriza-se por possuir recobrimentos entre os 2,5 e os 25 metros, numa extensão de aproximadamente 700,00 m, entre a boca do Rossio, ao Pk 0+194, e o Pk 0+900,00. A superfície é densamente urbanizada, enquanto que ao nível geotécnico apresenta terrenos brandos a rijos do Miocénico, constituídos por argilas e aréolas com intercalações de calcários fossilíferos [9].

A outra zona (segunda) desenvolve-se a partir do Pk 0+900 até ao Pk 2+807 (fim do túnel). Nesta zona o recobrimento chega aos 60,00 m, apresentando terrenos calcários e margosos do Cenomaniano (rochas brandas a rijas).

3.2 Descrição do problema

O Túnel do Rossio é uma obra com mais de cem anos e, não obstante ainda se ter mantido até hoje sem grandes reparações, têm-se verificado algumas ocorrências que demonstram o comportamento menos adequado da estrutura [9], tais como:

- Abatimento, de 25 cm, da abóbada ao Pk 2+020. Este foi o factor primordial, que determinou o fecho do túnel devido à eminente rotura do revestimento, levando à necessidade de reabilitar o mesmo;
- Abatimento do terreno da soleira na entrevia, dando origem a uma rotura no aqueduto de alvenaria (1926);
- Problemas de instabilidade da plataforma em consequência da contaminação do balastro com lamas argilosas e infiltrações de água (a partir, pelo menos, de 1926);
- Abaixamento de 50 cm do plano das vias e recalçamento dos hasteais com uma espessura de valor idêntico;
- Execução de uma soleira em betão simples entre os Pk [0+194;0+780], devido à convergência dos hasteais;
- Assentamento do hasteal do lado da via cescendente entre os Pk [1+920;1+960 (lado direito no sentido Rossio-Campolide) quando se procedia ao recalçamento do mesmo;

Devido a estes comportamentos, foram feitos vários diagnósticos à obra, por construtores (nomeadamente a Teixeira Duarte S.A.) e pelo LNEC (Laboratório Nacional de Engenharia Civil) a pedido do Dono de Obra (Rede Ferroviária Nacional - REFER EP). Após o levantamento *in situ*, apresentam-se de seguida as principais patologias [10]:

- Infiltrações de água através do revestimento;
- Deformações significativas no revestimento existente;
- Instabilidade da plataforma, devido à existência de terrenos brandos amolecidos pelas águas superficiais;
- Alteração superficial da alvenaria de tijolo e de pedra dos hasteais e da respectiva argamassa;
- Redução do gabarito, devido a defeitos construtivos ou em consequência das deformações sofridas pelo revestimento;
- Vazios e degradação dos terrenos envolventes.

As patologias apresentadas anteriormente foram alvo de vários estudos e análises, onde a metodologia utilizada foi baseada em 2 factores:

- No levantamento estrutural: caracterização do tipo de revestimento existente no túnel, a natureza e a forma dos blocos de alvenaria, sendo ainda descritos os equipamentos existentes;
- Na cartografia de anomalias: foram analisadas todas as fissuras e correspondentes aberturas, o estado de alteração e de erosão das alvenarias e suas juntas, a queda de elementos do revestimento ou do maciço e as infiltrações existentes.

Após mencionada a metodologia utilizada na análise do comportamento do túnel, apresentam-se alguns exemplos dos inúmeros problemas detectados:

- Alteração e erosão da superfície da alvenaria, com evidência de quedas de alvenaria em zonas específicas (*Figuras 3.3 e 3.4*). As juntas da alvenaria denotam ausência de argamassa (*Figura 3.5*).



Figura 3.3 – Abóbada entre o Pk [1+064 ; 1+135] [10]



Figura 3.4 – Abóbada entre o Pk [1+324 ; 1+344] [10]



Figura 3.5 – Abóbada entre o Pk [1+494 ; 1+534] [10]

- Deformações bastante evidentes na zona da abóbada (*Figuras 3.6 e 3.7*).



Figura 3.6 – Deformação na abóbada entre o Pk [1+564 ; 1+594] [10]



Figura 3.7 – Outra vista da deformação na abóbada entre o Pk [1+564 ; 1+594] [10]

- Degradação avançada das juntas, evidenciada pela facilidade de abertura com um martelo de geólogo, devido a vestígios de infiltrações de água na área afectada (*Figura 3.8*).



Figura 3.8 – Deslocamento de blocos de alvenaria com martelo de geólogo

3.3 Descrição das soluções de reabilitação

Após o encerramento à circulação ferroviária no túnel, a 22 de Outubro de 2004, foi feito o levantamento das condições existentes ao longo deste e avaliados os diferentes tipos de intervenções possíveis para a sua reabertura em segurança, foram decididas quais as acções de reabilitação e beneficiação a executar. Assim, nas zonas mais degradadas, perfazendo cerca de 1283 metros, foi decidido executar uma secção fechada em betão armado, mantendo o gabarito de circulação. Nas zonas que apresentavam um estado considerado de boa conservação decidiu-se pela realização de uma limpeza do material desagregado. Nos troços onde a intervenção foi executar uma secção fechada em betão armado procedeu-se à demolição da alvenaria existente, de modo a manter o gabarito de circulação. Assim, a solução incidiu pela montagem de um escoramento provisório,

demolição da alvenaria existente, execução do suporte primário e, finalmente, a realização do revestimento definitivo em betão armado (*ver Figura 3.9*).

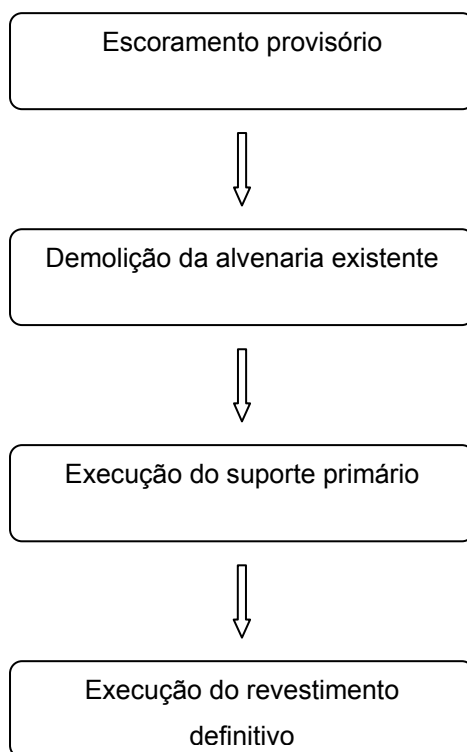


Figura 3.9 – Esquema sequencial da solução de reabilitação da Secção Fechada

O suporte primário tem como função garantir a estabilidade do maciço, aquando da execução dos trabalhos para a secção definitiva (secção fechada). A prossecução do suporte primário focalizou-se nas características de cada troço do túnel, de modo a fazer face às condições geotécnicas, à espessura do recobrimento e às interferências localizadas sobre o túnel. Assim, a obtenção da segurança em obra, limitando ao mínimo as deformações do maciço, e a conseqüente redução dos assentamentos à superfície, baseou-se na montagem de cambotas provisórias (perfis metálicos HEB), na execução de enfilagens e pregagens, montagem de cambotas definitivas com a respectiva aplicação de betão projectado.

3.4 Zona de Secção Nova

3.4.1 Escoramento provisório do revestimento de alvenaria

Tendo como objecto o estudo realizado das condições existentes na zona inicial do túnel (devido ao reduzido recobrimento) e na vizinhança do Pk 2+000, devido às deformações evidenciadas, e às condições geotécnicas, optou-se por realizar chapéus de enfilagens, pelo contorno exterior do suporte primário de betão projectado de modo a impedir deformações do terreno envolvente, [9].

O contorno exterior do suporte primário de betão projectado não é mais do que a “testa” existente para se iniciar a execução de enfilagens, de modo a permitir a colocação do bit de furação. Primeiramente executa-se a escavação, seguindo-se a aplicação de betão projectado para permitir que se trabalhe em segurança, e que não se verifiquem deslocamentos e assentamentos relevantes.

Deste modo, as cambotas de escoramento foram ajustadas ao contorno interior da alvenaria e foram aplicados entre os Pk 0+194 e Pk 0+221 em HEB 180 com geometria variável (*Figura 3.10 e 3.11*); entre os Pk 0+221 e Pk 0+247 em HEB 200 com geometria variável; entre os Pk 0+247 e Pk 0+769, Pk 1+571 e 1+601 em HEB 200; e entre os Pk 1+860 e Pk 1+970, Pk 1+990 e Pk 2+050 em HEB 200 de geometria variável, (perfis com raio de curvatura variável).

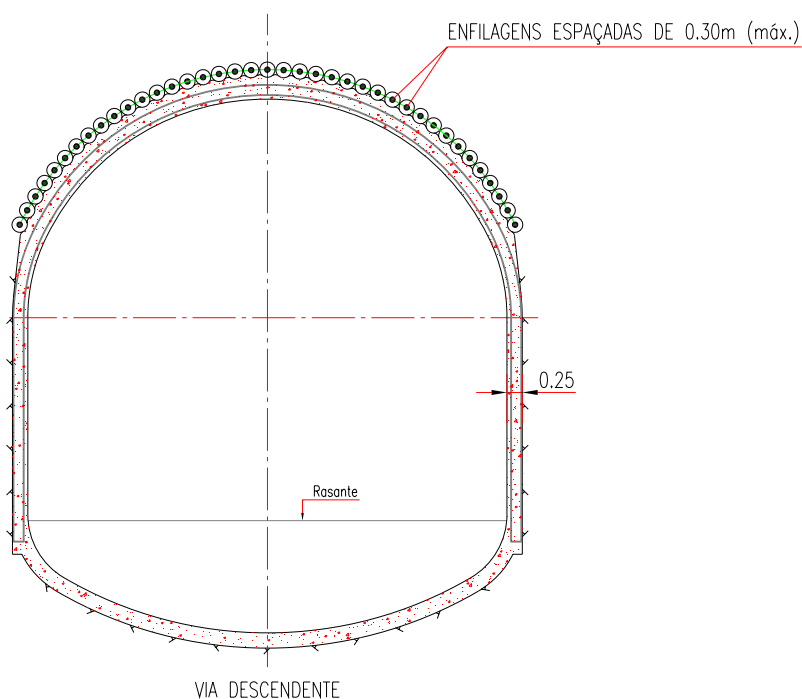


Figura 3.10 – Secção com Escoramento Provisório (cambotas) entre os Pk [0+194 ; 0+221]

Uma vez que existia a impossibilidade de tratamento do maciço nas zonas de pior qualidade, considerou-se que as enfilagens desempenhavam uma função similar, uma vez que funcionaram como um pré-suporte suficientemente rígido, que limita o desconfinamento do maciço, aquando da realização da demolição do revestimento e da escavação.

Deste modo, e de acordo com a caracterização geotécnica apresentada no zonamento, consideraram-se os seguintes tipos de suporte, [9]:

- Entre os Pk 0+194 e Pk 0+305, Pk 0+317 e Pk 0+360, Pk 0+610 e Pk 0+767; os Pk 1+571 e Pk 1+598; os Pk 1+860 e Pk 1+970, e Pk 1+990 e Pk 2+050; e os Pk 2+764 e Pk 2+773 – suporte primário constituído por enfilagens em chapéu simples, cambotas metálicas e betão projectado com fibras metálicas (*Figura 3.12*);

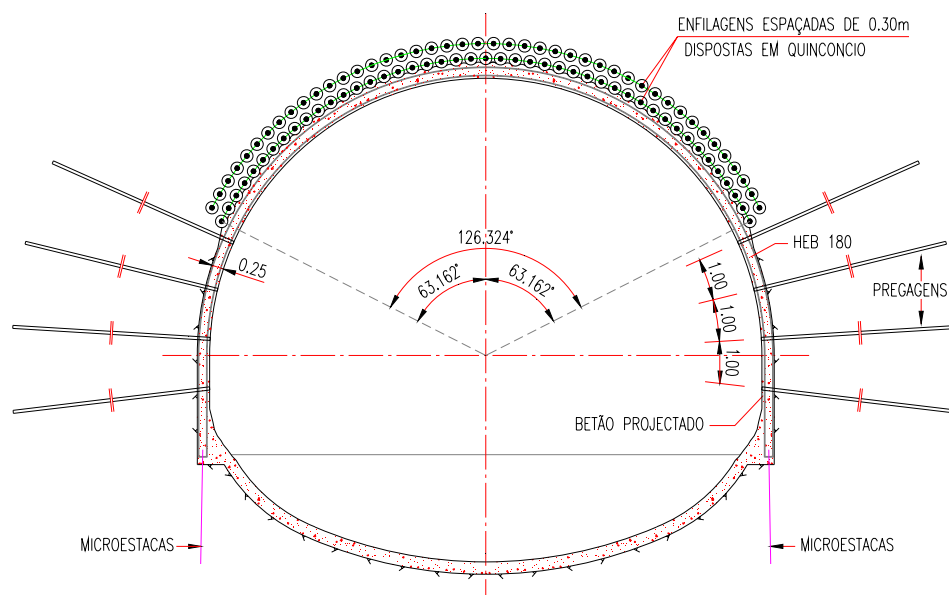


CONSTITUIÇÃO DO SUPORTE

- ENFILAGENS (TUBOS METÁLICOS)
- CMBOTAS METÁLICAS (HEB)
- BETÃO PROJECTADO COM FIBRAS METÁLICAS

Figura 3.12 – Suporte Primário entre os Pk [0+197 ; 0+305] [12]

- Entre os Pk 0+360 e Pk 0+610 - suporte primário constituído por enfilagens em chapéu duplo, pregagens de fibra de vidro FLP20 (elemento de secção rectangular revestido a quartzo, constituído por um compósito de fibras de vidro, polímeros, aditivos e material de enchimento, revestido a quartzo), cambotas metálicas e betão projectado com fibras metálicas (*Figura 3.13*);



CONSTITUIÇÃO DO SUPORTE

- ENFILAGENS "GUARDA CHUVA" DUPLO, TUBOS 114.3x8.6mm
- 4 FIADAS DE PREGAGENS FIBRA DE VIDRO TIPO DURGLASS FLP20
- CAMBOTAS HEB180 af. 0,80m
- BETÃO PROJECTADO COM FIBRAS METÁLICAS
- FUNDAÇÕES COM MICROESTACAS AUTOPERFURANTES/INJECTADAS, TUBOS 52/26 c/4,00m

Figura 3.13 – Suporte Primário entre os Pk [0+360 ; 0+610] [12]

- Entre os Pk 0+305 e Pk 0+317, Pk 0+767 e Pk 0+779 – suporte primário constituído por pregagens de fibra de vidro FLP20, cambotas metálicas e betão projectado com fibras metálicas (*Figuras 3.14, 3.15 e 3.16*);



Figura 3.14 – Pregagens de fibra de vidro [13]

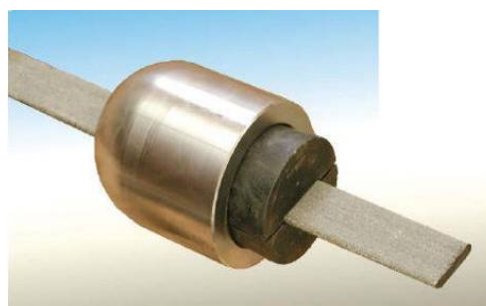


Figura 3.15 – Outra representação de pregagens de fibra de vidro [13]

Nota: As pregagens fibra de vidro usadas eram do tipo GFRP (*Glass Fibre Reinforced Polymer*). O GFRP é um compósito formado por polímeros, fibras de vidro, material de enchimento e aditivos. A utilização de fibras de vidro no composto, são responsáveis por grande parte das características mecânicas do material, conferindo uma maior resistência e rigidez ao material. Já os polímeros têm a função de agregar os constituintes do compósito, garantindo a transferência de cargas entre as fibras

e o compósito e entre as cargas aplicadas. A utilização dos aditivos, permite melhorar algumas propriedades específicas, nomeadamente, a resistência ao fogo.

Enumeram-se de seguida algumas das suas vantagens:

- Características mecânicas excepcionais, fácil e completamente adaptável a inúmeras finalidades;
- Resistências específicas superiores a quase todos os metais e aos demais materiais de construção (altíssima resistência mecânica).
- Grande flexibilidade de desenho de construção, que permite qualquer forma;
- Boa resistência às acções dos produtos químicos e das intempéries, não sendo atacado por agentes atmosféricos e por micro organismos;
- Elevadas propriedades eléctricas, valorizadas por uma boa estabilidade dimensional, baixa absorção de água e uma elevada resistência às variações de temperatura;
- Possibilita a obtenção de produtos translúcidos ou em cor;
- Baixo custo de transporte, devido ao seu reduzido peso;
- Em situações de reforço de alvenaria para posterior escavação, possibilitam a sua demolição por meio de equipamentos de baixa potência;

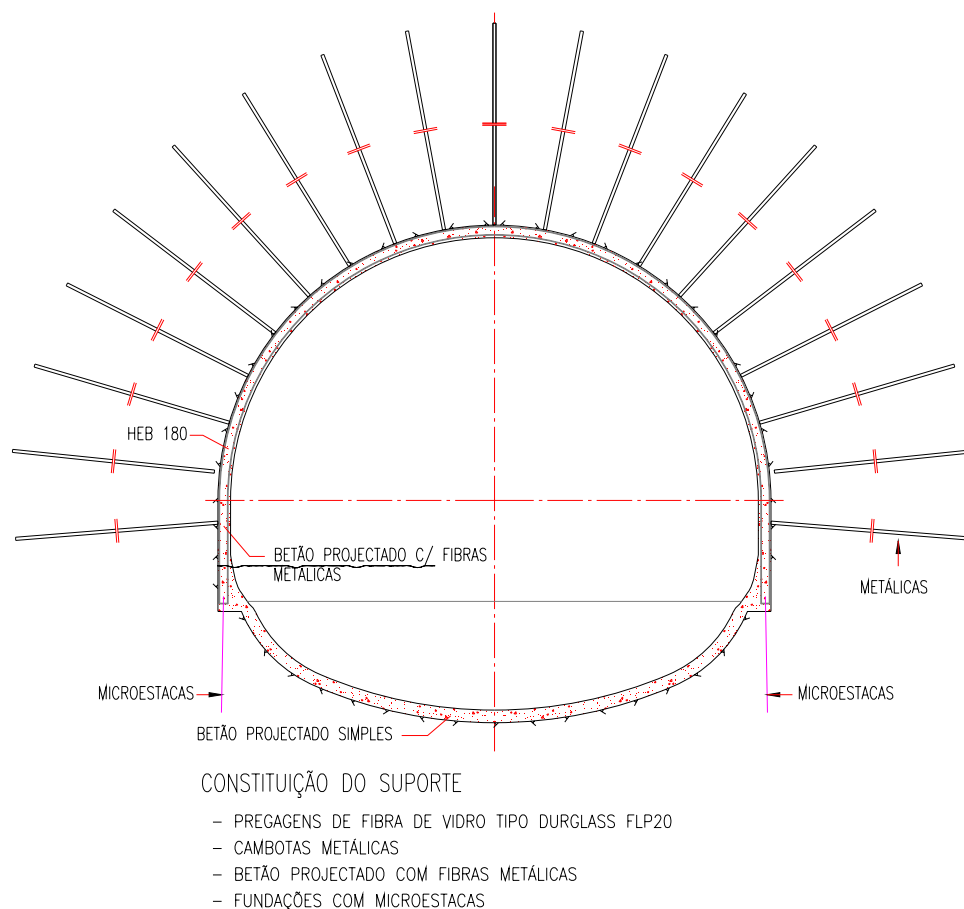


Figura 3.16 – Suporte Primário entre os Pk [0+305 ; 0+317] [12]

- Entre os Pk 0+869 e Pk 0+934 e entre os Pk 1+172 e Pk 1+212 - suporte primário constituído por pregagens de fibra de vidro FLY35, cambotas metálicas e betão projectado com fibras metálicas (*Figuras 3.17 e 3.18*);

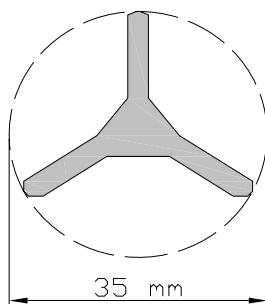
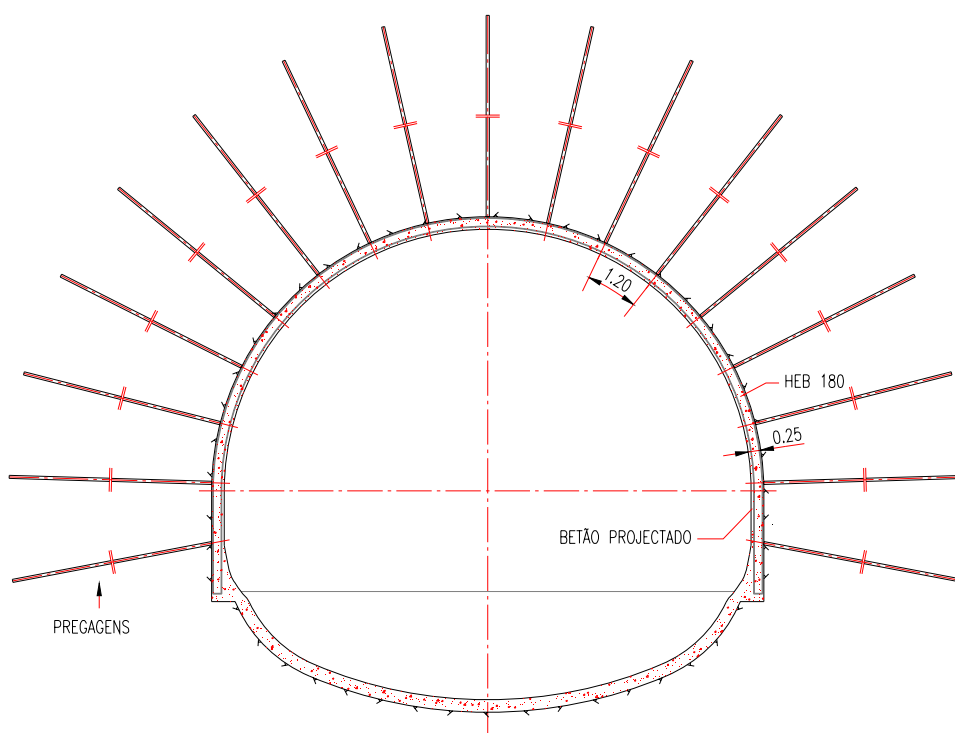


Figura 3.17 – Pregagem de fibra de vidro FLY35



CONSTITUIÇÃO DO SUPORTE

- PREGAGENS DE FIBRA DE VIDRO TIPO DURGLASS FLY35
- CAMBOTAS METÁLICAS
- BETÃO PROJECTADO COM FIBRAS METÁLICAS

Figura 3.18 – Suporte Primário entre os Pk [0+869 ; 0+934] [12]

- Entre os Pk 1+294 e Pk 1+454, Pk 2+702 e Pk 2+764, e Pk 2+773 e Pk 2+792 – suporte primário constituído por pregagens de aço do tipo Swellex (*Figura 3.19*) e betão projectado com fibras metálicas (*Figura 3.20*);



Figura 3.19 – Pregagens do tipo Swellex [14]

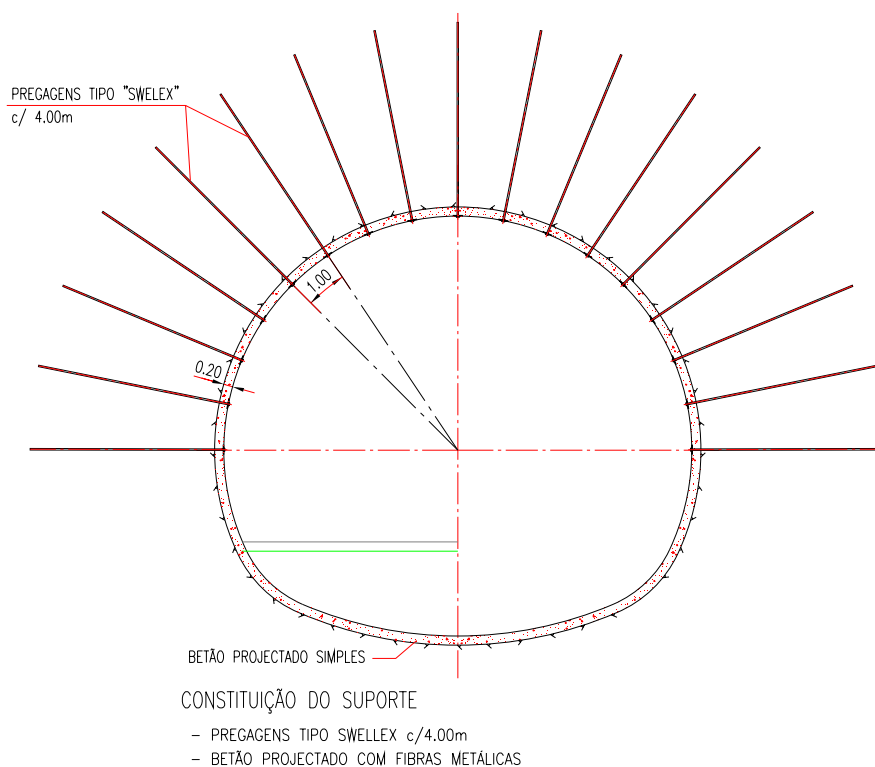


Figura 3.20 – Suporte Primário entre os Pk [1+294 ; 1+454] [12]

Nota: O Swellex é um tipo de varão que reforça o maciço rochoso através de uma combinação de atrito e encravamento mecânico contínuo. O uso do sistema Swellex tem crescido rapidamente em todo o mundo, tendo uma vasta aplicação, não só em rochas duras (alta resistência mecânica, e elevado módulo de deformação - relação entre a carga aplicada e as conseqüentes tensões), mas também em rochas macias (baixa resistência mecânica e baixo módulo de deformação). As pregagens Swellex são feitas a partir de um tubo de aço de fina espessura, dobrado em forma de "rim". Em cada extremidade do varão é colocada sobre pressão, uma buchas, e posteriormente

soldada ao mesmo. A bucha de menores dimensões tem um orifício por onde é injectada água a alta pressão, originando a expansão do varão. Este processo promove a compressão do terreno em torno da pregagem, adaptando-se o varão às irregularidades do terreno (*Figura 3.21*).

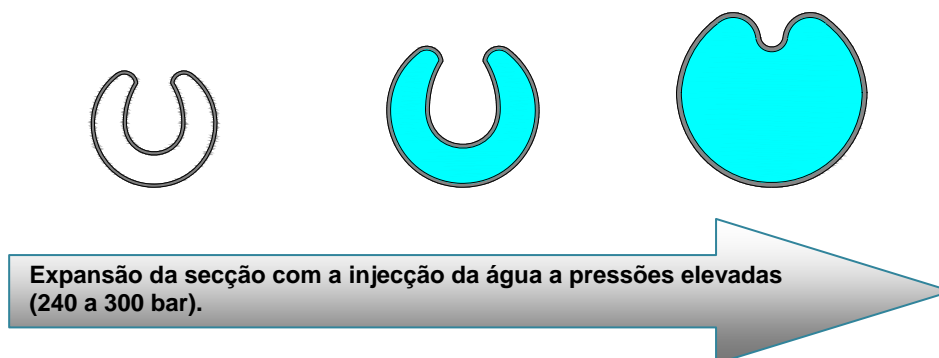
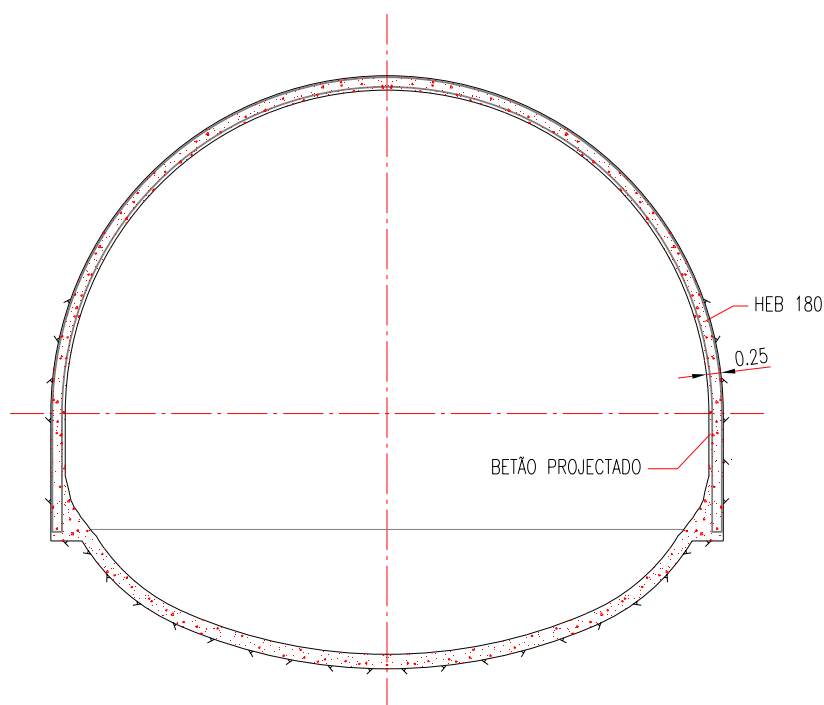


Figura 3.21 – Esquema de funcionamento das pregagens do tipo Swellex

- Entre os Pk 1+559 e Pk 1+571, Pk 1+598 e Pk 1+609; Pk 1+844 e Pk 1+860, Pk 1+970 e Pk 1+990, Pk 2+050 e 2+124; e Pk 2+792 e 2+807 – suporte primário constituído por cambotas metálicas e betão projectado com fibras metálicas (*Figura 3.22*);



CONSTITUIÇÃO DO SUPORTE

- CAMBOTAS METÁLICAS
- BETÃO PROJECTADO COM FIBRAS METÁLICAS

Figura 3.22 – Suporte Primário entre os Pk [2+050 ; 2+124] [12]

As diferentes soluções foram adoptadas consoante as necessidades de garantir a estabilidade do maciço (devido ao estado de degradação do mesmo), os recobrimentos existentes e os deslocamentos verificados através de monitorizações. Quanto menores as evidências ao nível de instabilidade, “menores e menos resistentes” (menores intervenções) foram as constituições do suporte primário.

Assim, da análise aos suportes primários mencionados, constata-se os seguintes aspectos:

- Nas zonas com baixos recobrimentos, e deslocamentos do maciço na zona da abóbada: execução de enfilagens;
- Nas zonas de instabilidade do maciço (hasteais e/ou abóbada): execução de pregagens;
- Nas zonas em que era possível trabalhar em segurança, ao nível da escavação: cambotas;
- Nas zonas que as fundações tinha evidências de abatimento: microestacas.

Nas situações, em que os problemas se conjugavam, as técnicas de reforço também se combinavam, de maneira a garantir a estabilidade do maciço, aquando da execução do revestimento definitivo.

Deste modo, verifica-se que nas zonas onde a instabilidade do maciço era maior e o recobrimento menor, a intervenção realizada foi mais reforçada, o que levou conjugação de enfilagens com pregagens, para além das cambotas metálicas.

3.4.4 Revestimento Definitivo

Dada a geometria do contorno interior e a espessura do revestimento, uma vez que esta é variável, foi necessário considerar secções distintas de revestimento (*Tabela 3.1*):

Troço		Secção
Pk Inicial	Pk Final	
0+194	1+294	S1
1+294	1+454	S2
1+454	2+702	S1
2+702	2+769	S2
2+769	2+778	S1
2+778	2+792	S2
2+792	2+807	S1

Tabela 3.1– Tabela com as diferentes secções (S1 e S2)

- Secção Tipo S1: quando a geometria do contorno interior varia de forma contínua com espessuras de 0,50 m (*Figura 3.23*);

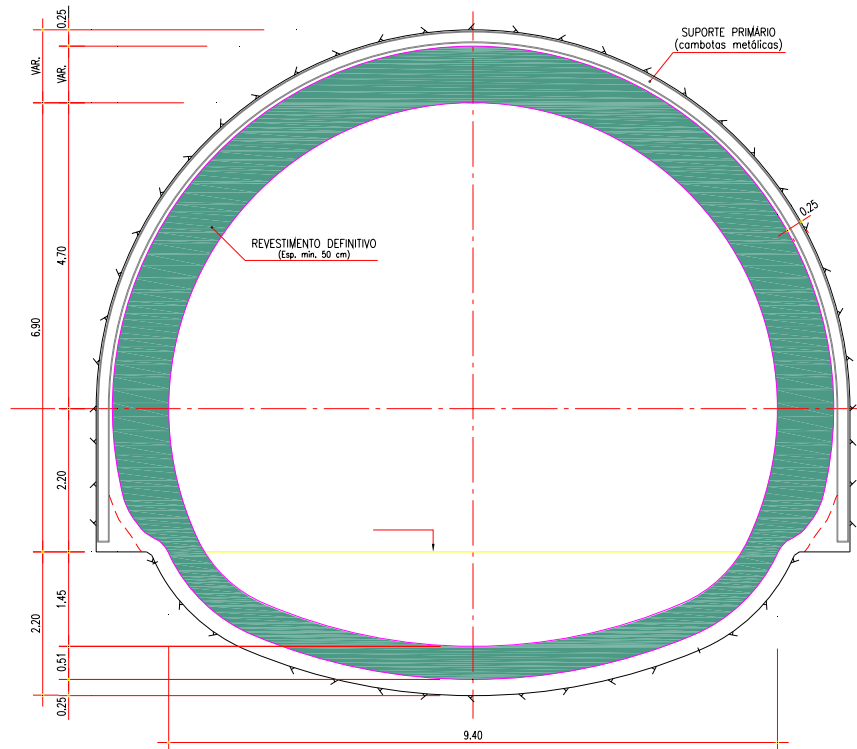


Figura 3.23 – Secção TIPO S1 [15]

- Secção Tipo S2: quando a geometria do contorno interior varia de forma contínua com espessuras de 0,40 m (Figura 3.24);

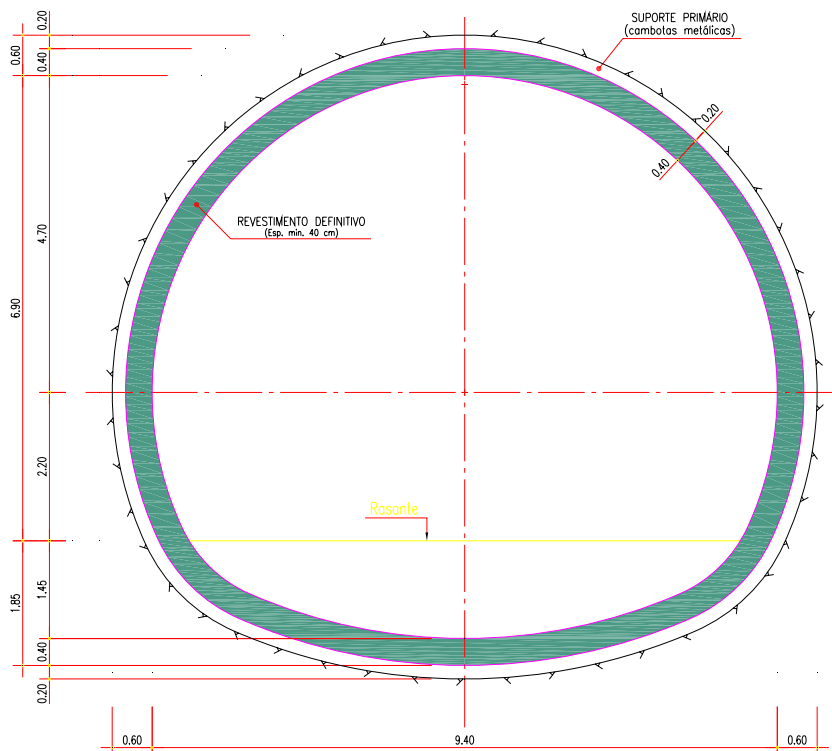


Figura 3.24 – Secção TIPO S2 [16]

- Secção S1 de espessura variável: secção onde a geometria do contorno se mantém constante, variando a espessura por razões construtivas (nomeadamente, no caso das zonas com enfilagens);
- Secção Tipo S2 de espessura constante: secção onde a geometria do contorno se mantém constante, variando a espessura, somente num pequeno trecho sobre o poço VI (poço de ventilação situado ao Pk 2+655, para extracção e ventilação do ar do túnel);

Ao suporte primário, para efeitos de cálculo do revestimento definitivo, foi-lhe atribuído uma contribuição nula, na resistência às cargas impostas pelo maciço. Este suporte primário foi objecto de dimensionamento para a fase construtiva face às características do maciço constituído por solos ou rochas brandas.

3.5 Zona de Alvenaria a Manter

Na zona de alvenaria a manter, os trabalhos realizados foram os seguintes:

- Recalçamento dos hasteais e execução da soleira em betão;
- Injecções de impermeabilização nas zonas com vestígios de infiltrações e aplicação de geodrenos na base dos hasteais;
- Tratamento dos elementos cerâmicos e de pedra do revestimento a manter.

4 DESCRIÇÃO DOS PROCESSOS CONTRUTIVOS

Este capítulo pretende, tal como o nome indica, descrever os processos construtivos da intervenção a que o túnel está sujeito. A definição dos processos construtivos e da ordem em que são realizados surgem após uma análise cuidada das características da obra e do maciço, do tipo de equipamento a utilizar e também dos prazos de execução.

4.1 Zona de Secção Nova

De uma forma genérica a sequência construtiva do revestimento definitivo é a que a seguir se apresenta. Nas secções seguintes, os processos construtivos são descritos de forma pormenorizada [9].

- Suporte Primário constituído por enfilagens, cambotas e betão projectado:
 1. Aplicação de cambotas metálicas HEB de escoramento provisório do revestimento existente;
 2. Execução de um ou dois chapéus (chapéu simples ou duplo) de enfilagens (conforme o projecto e a zona a intervir);
 3. Demolição do revestimento de alvenaria e escavação pelo novo contorno até à rasante;
 4. Aplicação de microestacas de fundação (para fundação das cambotas);
 5. Aplicação de cambotas metálicas HEB revestidas com betão projectado;
 6. Aplicação de camadas de betão projectado com fibras metálicas até completar a espessura de projecto;
 7. Execução da soleira;
 8. Aplicação do sistema de impermeabilização;
 9. Betonagem do revestimento definitivo;
 10. Execução de caleiras;
 11. Assentamento da via, de montagem de equipamentos e acabamentos.

Nota: As actividades 1 a 6 repetem-se até execução do suporte primário da abóbada e hasteais, numa extensão definida em projecto.

- Suporte Primário constituído por enfilagens, pregagens fibra de vidro, cambotas e betão projectado:
 1. Aplicação de cambotas metálicas HEB de escoramento provisório do revestimento existente;

2. Execução de pregagens de fibra de vidro, em avanço;
3. Execução de um chapéu duplo de enfilagens;
4. Demolição do revestimento de alvenaria e escavação pelo novo contorno até à rasante;
5. Aplicação de microestacas de fundação;
6. Aplicação de cambotas metálicas HEB revestidas com betão projectado;
7. Aplicação de camadas de betão projectado com fibras metálicas até completar a espessura de projecto;
8. Execução da soleira;
9. Aplicação do sistema de impermeabilização;
10. Betonagem do revestimento definitivo;
11. Execução de caleiras;
12. Assentamento da via de montagem, de equipamentos e acabamentos.

Nota: As actividades 1 a 7 repetem-se até execução do suporte primário da abóbada e hasteais, numa extensão definida em projecto.

- Suporte Primário constituído por pregagens de fibra de vidro, cambotas e betão projectado:
 1. Execução de pregagens de fibra de vidro, em avanço;
 2. Demolição do revestimento de alvenaria e escavação pelo novo contorno até à rasante;
 3. Aplicação de microestacas de fundação;
 4. Aplicação de cambotas metálicas HEB a revestidas com betão projectado;
 5. Aplicação de camadas de betão projectado com fibras metálicas até completar a espessura de projecto;
 6. Execução da soleira;
 7. Aplicação do sistema de impermeabilização;
 8. Betonagem do revestimento definitivo;
 9. Execução de caleiras;
 10. Assentamento da via de montagem, de equipamentos e acabamentos.

- Suporte Primário constituído por cambotas e betão projectado com fibras metálicas:
 1. Aplicação de cambotas metálicas HEB de escoramento provisório do revestimento existente;
 2. Demolição do revestimento de alvenaria e escavação pelo novo contorno até à rasante;
 3. Aplicação de cambotas metálicas HEB a revestidas com betão projectado;
 4. Aplicação de camadas de betão projectado com fibras metálicas até completar a espessura de projecto;
 5. Execução da soleira;

6. Aplicação do sistema de impermeabilização;
 7. Betonagem do revestimento definitivo;
 8. Execução de caleiras;
 9. Assentamento da via de montagem, de equipamentos e acabamentos.
- Suporte Primário constituído por pregagens Swellex, cambotas e betão projectado:
 1. Aplicação de cambotas metálicas HEB de escoramento provisório do revestimento existente;
 2. Demolição do revestimento de alvenaria e escavação pelo novo contorno até à rasante;
 3. Execução de pregagens Swellex;
 4. Aplicação de cambotas metálicas HEB a revestidas com betão projectado;
 5. Aplicação de camadas de betão projectado com fibras metálicas até completar a espessura de projecto;
 6. Execução da soleira;
 7. Aplicação do sistema de impermeabilização;
 8. Betonagem do revestimento definitivo;
 9. Execução de caleiras;
 10. Assentamento da via de montagem, de equipamentos e acabamentos.

Após este resumo elaborado por tópicos, descrever-se de seguida, e de uma forma detalhada cada actividade em particular.

4.1.1 Colocação do suporte provisório (cambotas metálicas provisórias)

A colocação do suporte provisório (sempre que mencionado no projecto) foi a metodologia encontrada para executar a obra em condições de segurança, tendo o objectivo de limitar ao mínimo as deformações do maciço e os danos nas construções existente sobre o túnel, antes de se proceder à realização do reforço do chapéu da abóbada do terreno (execução de enfilagens, com as respectivas operações: perfuração e injeção), e da escavação da nova secção. Este suporte consiste em colocar perfis HEB 180 ou HEB 200, espaçados entre si 0,80 ou 1,00 m consoante a zona afectada, ver *Figura 4.1*.

LOCALIZAÇÃO DAS CAMBOTAS DO ESCORAMENTO PROVISÓRIO

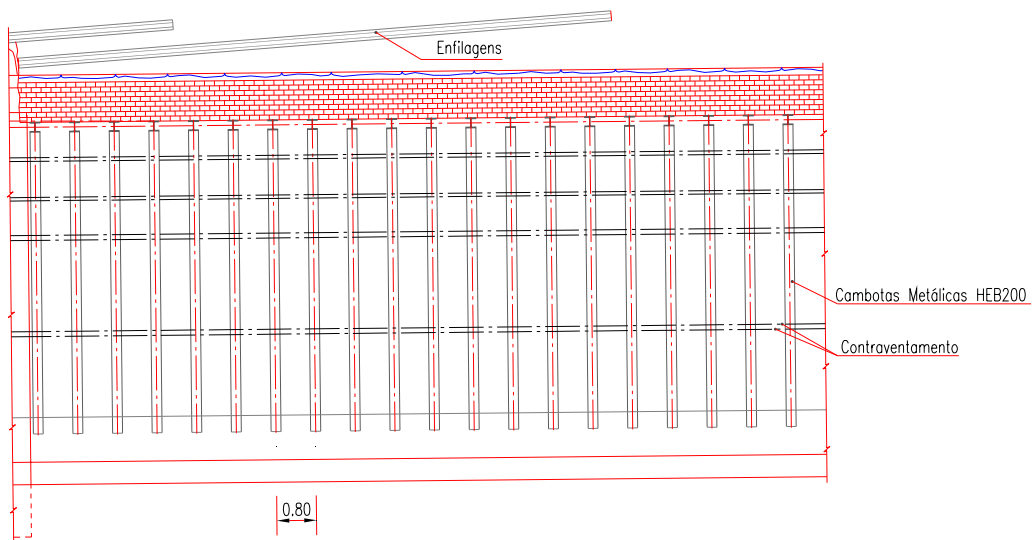


Figura 4.1 – Corte longitudinal de uma secção do túnel [17]

As cambotas são segmentos de perfis metálicos HEB aparafusados entre si, de modo a perfazer a o contorno da secção do túnel (Figura 4.2).

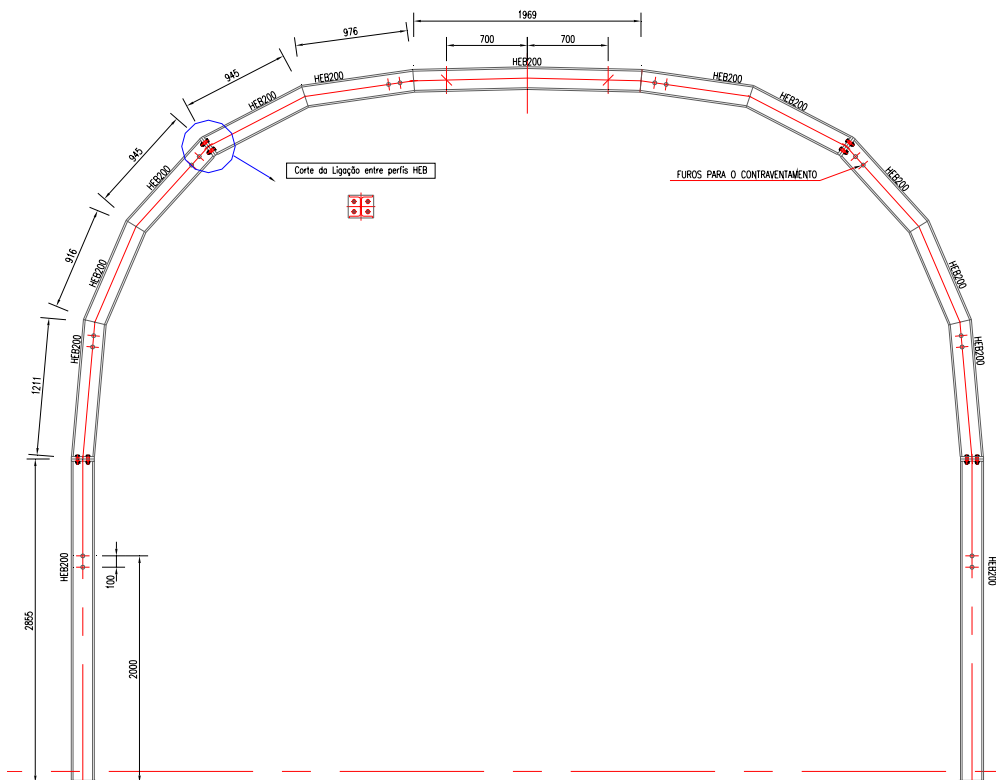


Figura 4.2 – Segmentos da montagem de uma cambota [18]

Entre as cambotas são colocados varões de contraventamento, de modo a permitir que o conjunto de cambotas funcione como um bloco (Figura 4.3).



Figura 4.3 – Contraventamento das Cambotas

Apresenta-se de seguida um pormenor do travamento das cambotas metálicas (Figura 4.4).

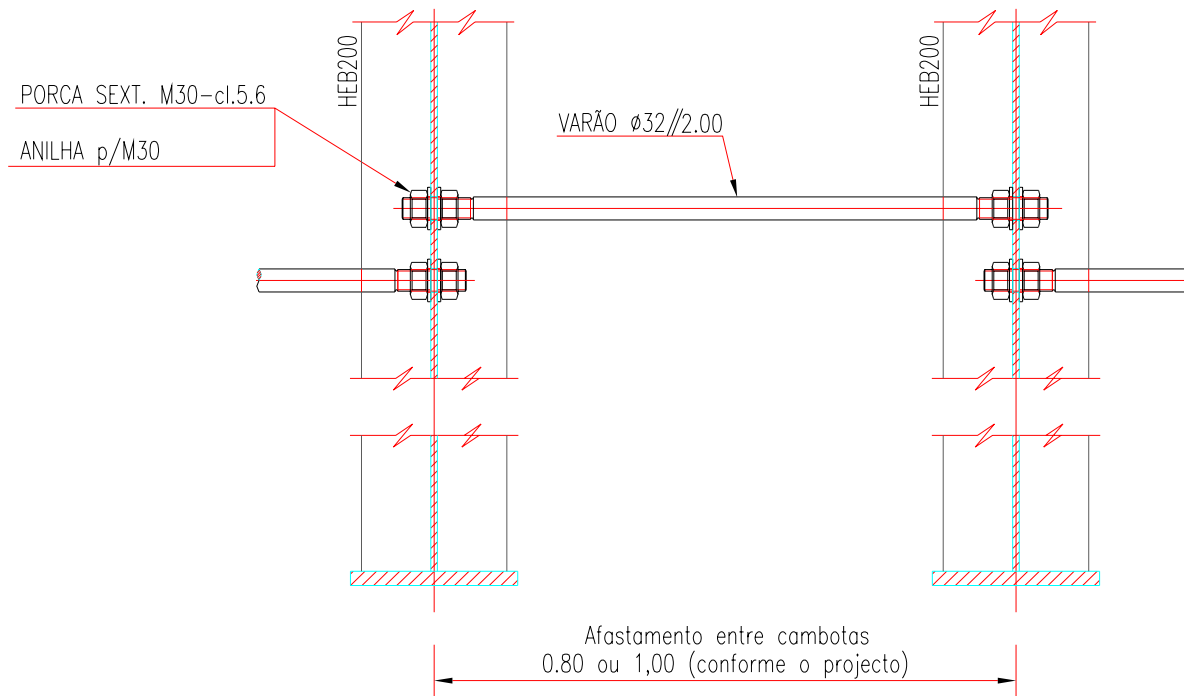


Figura 4.4 – Pormenor do contraventamento das Cambotas [19]

Como a superfície do túnel não é regular, são aplicados calços de madeira entre a cambota e o contorno interior, de modo a que os esforços existentes possam ser transferidos (Figura 4.5).

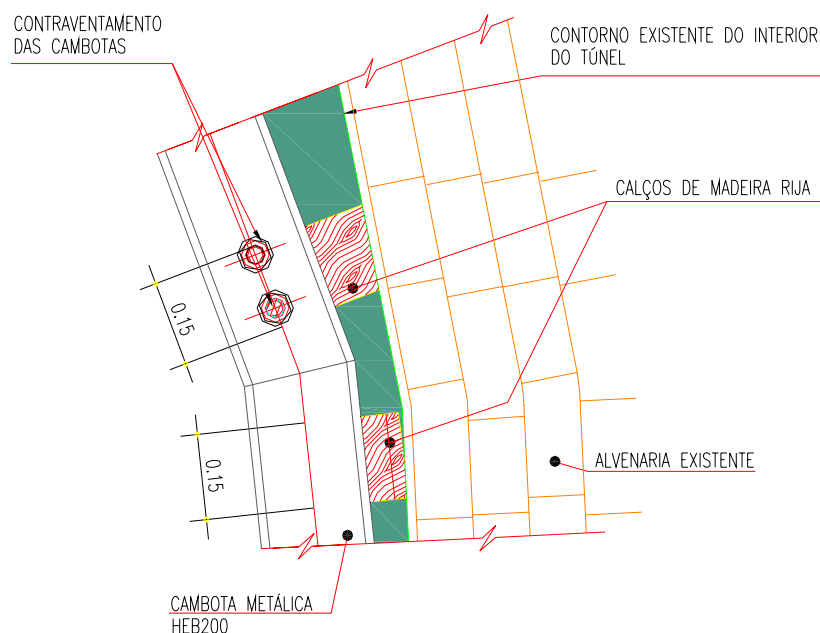


Figura 4.5 – Pormenor dos calços (de madeira) entre as cambotas e o revestimento [19]

Sob os pés das cambotas são colocados calços de betão C20/25 ou superior, de modo a que o banzo exterior dos perfis encoste à abóbada, com o intuito de os esforços serem distribuídos directamente da estrutura a demolir, às cambotas (*Figura 4.6 e 4.7*). No entanto, face às eventuais diferenças entre a posição do contorno interior existente e teórico do túnel, o projecto prevê, para as zonas com folga, a colocação de calços de madeira rija entre a alvenaria e o banzo exterior do perfil e, para as zonas de invasão, um pequeno desbaste da alvenaria a fim de encaixar o banzo exterior do perfil.



Figura 4.6 – Calços de betão sob os pés das cambotas para posicionamento destas [19]

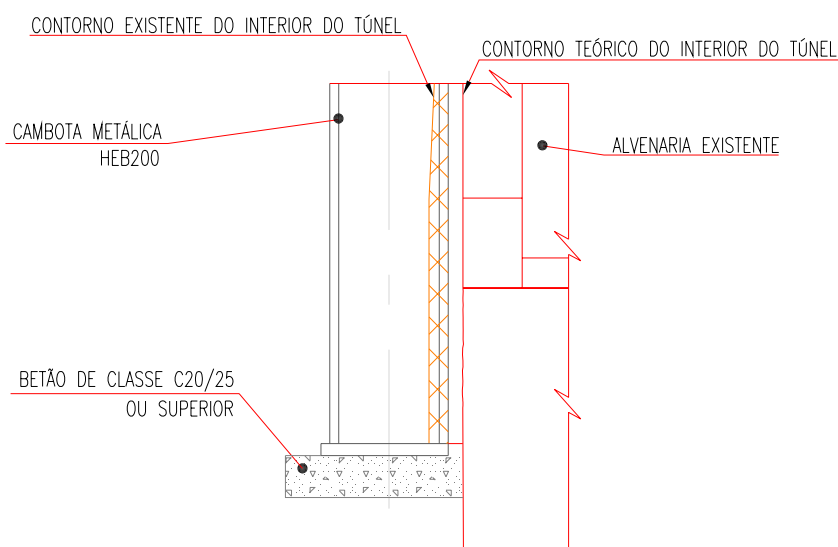


Figura 4.7 – Pormenor dos calços de betão sob os pés das cambotas para posicionamento [19]

4.1.2 Pregagens

Pregagens são elementos estruturais utilizados para melhoramento das ligações estruturais e para reforço da alvenaria, através de 2 vias: inclusão constituída pela própria pregagem solidária com o terreno e também através da injeção das zonas fissuradas e dos vazios do maciço.

As pregagens em fibra vidro reforçam essencialmente o terreno, tendo um efeito mínimo a desprezável na alvenaria. Este reforço actua de modo a impedir eventuais descompressões e movimentos do terreno na envolvente do túnel, mobilizando o maciço à pregagem e contrariando essas forças. Assim, se houver uma descompressão, esta irá ocorrer em primeiro lugar junto aos hasteais do túnel, propagando-se à posteriori para o interior do maciço. Deste modo, a pregagem transferirá a carga das zonas propícias à descompressão, para aquelas em que o terreno ainda está intacto e com capacidade resistente.

A aderência ao terreno é feita pela calda cimentícia, e como são realizadas com relativa pressão, irão também preencher eventuais fissuras e vazios do maciço, na envolvente da pregagem, constituindo assim um pequeno tratamento nessa envolvente.

Neste caso específico, as pregagens serão passivas e serão constituídas por varões de aço (Swellex) ou barras de fibra de vidro (FLP20 e FLY35) com as características indicadas no projecto, seladas em todo o comprimento com calda de cimento através de tubos com manchetes acoplados à própria fibra de vidro, introduzidos em furos previamente abertos no maciço.

Neste estudo, irá apenas se abordar a execução das pregagens de fibra de vidro (FLP20 e FLY35), em detrimento da execução das pregagens em aço (Swellex – ver figura 3.21), em virtude dos métodos de execução ao nível da furação e colocação de pregagem serem semelhantes.

A execução de pregagens pode ser em 3 fases distintas:

- **Furação:** A furação para as pregagens, no caso em estudo, pregagens de fibra de vidro (tipo Sireg FLP20 e FLY35), foi executada com o diâmetro de 102 mm. Para a execução do furo correspondente ao comprimento da pregagem, torna-se necessário escolher o método de furação mais adequado às características dos terrenos a atravessar e, deste modo, adequar os meios para a execução desses furos. Assim sendo, neste caso, foi utilizado o método de furação à rotação com recurso a trialetas (*Figura 4.8*).



Figura 4.8 – Trialeta

Esta técnica é utilizada em diversos tipos de solos, podendo a sua aplicação ser alargada a maciços constituídos por rochas brandas ou muito alteradas e fracturadas. Após a implantação topográfica do furo, a estabilização do equipamento e o seu posicionamento, segundo a orientação de projecto, inicia-se a perfuração através da acção rotativa transmitida pela cabeça do equipamento de perfuração (TAMROCK, ver *Figura 4.9*) à coluna de perfuração (conjunto constituído pelas varas e trialetas). A progressão do furo faz-se à medida que o material desagregado pelas trialetas é expulso para o exterior. Isto consegue-se introduzindo água (neste caso; em outros tipos de terrenos opta-se por outros fluidos de circulação) no sistema e com uma dupla funcionalidade: para além da limpeza do furo, também o arrefecimento da coluna de perfuração, [20]. O furo executado à rotação com recurso a trialetas é considerado terminado e aceite quando é garantida a profundidade prevista em projecto (8 metros), após garantida a limpeza do furo de modo a conseguir-se introduzir a armadura.



Figura 4.9 – Furação com a TAMROCK

- **Preparação e colocação da armadura:** A preparação da armadura consiste na solidarização, através de acopladores, do sistema de injeção à fibra de vidro (Figura 4.10). Os varões de fibra de vidro FLP20 apresentam dimensões da secção transversal de 20 mm x 5 mm e as FLY35 um diâmetro de 35 mm, tendo ambos um comprimento de 8 metros. O sistema de injeção é constituído por um tubo de PVC com válvulas manchete, para injeções selectivas e repetitivas, e dois tubos de polietileno (ver injeção), sendo um curto (aplicação de argamassa para vedar o furo) e outro com o comprimento total da furação, solidarizados à armadura através de fita adesiva. Com a montagem de centralizadores, a cada 2 m da pregagem, com o propósito da armadura se manter coaxial relativamente ao furo, garantindo-se um recobrimento homogéneo e uniforme pela calda, termina a preparação da armadura passando-se, agora, à introdução desta no furo, o que deverá ser feito a ritmo lento e constante evitando encurvaduras da armadura que possam danificar o sistema de injeção (Figuras 4.11 e 4.12), [20].



Figura 4.10 – Sistema de injeção (armadura, tubo de PVC e 2 tubos de polietileno)



Figura 4.11 – Centralizador



Figura 4.12 – Colocação da armadura no furo

- **Injecção:** A tarefa de injeção inicia-se com o fabrico da calda de cimento (*Figura 4.13*). A água, o cimento e os aditivos químicos, quando for o caso, após doseados, conforme o projecto, são introduzidos numa misturadora de alta turbulência, sendo misturados durante 3 ou 4 minutos, [20]. Após a mistura, a calda passa para o misturador-agitador no qual é mantida em agitação até ser injectada. A quantidade de calda fabricada deve ser compatibilizada com o ritmo de injeção de modo que esta não fique no agitador por um período superior a uma hora.



Figura 4.13 – Injecção da pregagem

A *injecção de selagem* será executada através de um dos dois tubos de polietileno, servindo o outro de purga. No caso dos furos ascendentes, a injecção será realizada através do tubo mais curto, servindo o mais comprido de purga. No caso do furo descendente o procedimento será o inverso (esta relação é somente para identificação dos tubos). A injecção de selagem dá-se por concluída quando após o aparecimento de calda no tubo de purga, este é fechado, e continuando a injecção, se obtém uma pressão constante de 2 bar durante 30 segundos. Nos casos em que a calda não apareça no tubo de purga, ou mesmo que aparecendo, não se consiga estabilizar a pressão nos valores definidos em projecto, após se gastar mais do que 30% da quantidade de calda do volume teórico, faz-se a *injecção às manchetes* (Figura 4.14).

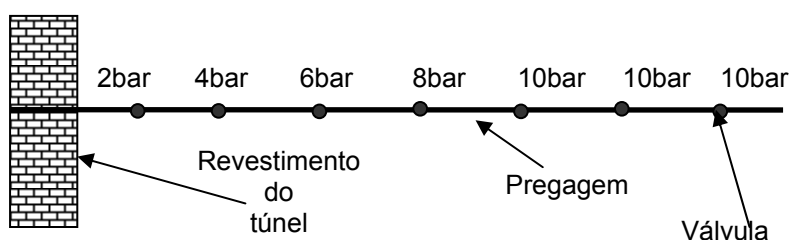


Figura 4.14 – Reinjecção das manchetes [20]

A injecção das manchetes deve ser executada entre 1 hora e 24 horas após a conclusão da injecção de selagem, de modo a que a calda obtenha resistência suficiente para consolidação do maciço, permitindo no entanto a abertura das manchetes. Se passadas 5 horas da injecção de selagem não for possível injectar as manchetes, estas deverão ser abertas com recurso a água de forma a possibilitar a reinjecção com calda de

cimento. A injeção das manchetes será executada, uma a uma, com obturador duplo (com excepção da primeira, lado oposto ao emboquilhamento) que será injectada com obturador simples, visto ser) do tipo bimbar (insuflável), com a pressão mínima de 2 bar e máxima de 10 bar (pressão definida em projecto), acima da pressão necessária para abrir a respectiva manchete. A injeção será iniciada da manchete mais próxima do revestimento para a mais afastada, de modo a formar um “escudo” à volta do revestimento, garantindo a segurança para o acréscimo de tensões originado pela injeção das manchetes seguintes, a pressões mais elevadas. O aumento das pressões de injeção com o afastamento do revestimento está relacionado com a necessidade de preenchimento das fissuras mais pequenas, sendo essencial forçar a abertura das mesmas. A injeção de cada manchete é dada por terminada após se atingir a pressão definida.

De seguida apresenta-se uma pregagem fibra de vidro após todo o processo de furação, colocação da armadura e injeção (*Figura 4.15*)



Figura 4.15 – Pregagem de fibra de vidro depois da injeção

4.1.3 Enfilagens

As enfilagens funcionam como suporte primário do túnel na travessia de zonas de fraca cobertura ou de zonas do maciço de má qualidade. Serão constituídas por tubos de aço da classe S355JO com um diâmetro de 114,3 mm com válvulas espaçadas no máximo de 1,0 metro.

As enfilagens são realizadas em leque, de modo a permitir que a execução seja um arco, permitindo trabalhar em segurança na frente de trabalho, garantindo a estabilidade do maciço, com a ausência de assentamentos e deformações acentuados. De projecto, o espaçamento das enfilagens é de 30 cm (*Figura 4.16*). O espaço entre a parede do furo e o diâmetro exterior da enfilagem é preenchido com a calda injectada.

O objectivo da injeção é solidarizar as enfilagens ao maciço, e fazer com que elas trabalhem em conjunto. Este sistema, é semelhante ao das pregagens, no que concerne à realização das injeções a pressões elevadas, de modo a preencher eventuais fissuras e vazios na envolvente da armadura, constituindo um tratamento do maciço nessa envolvente.

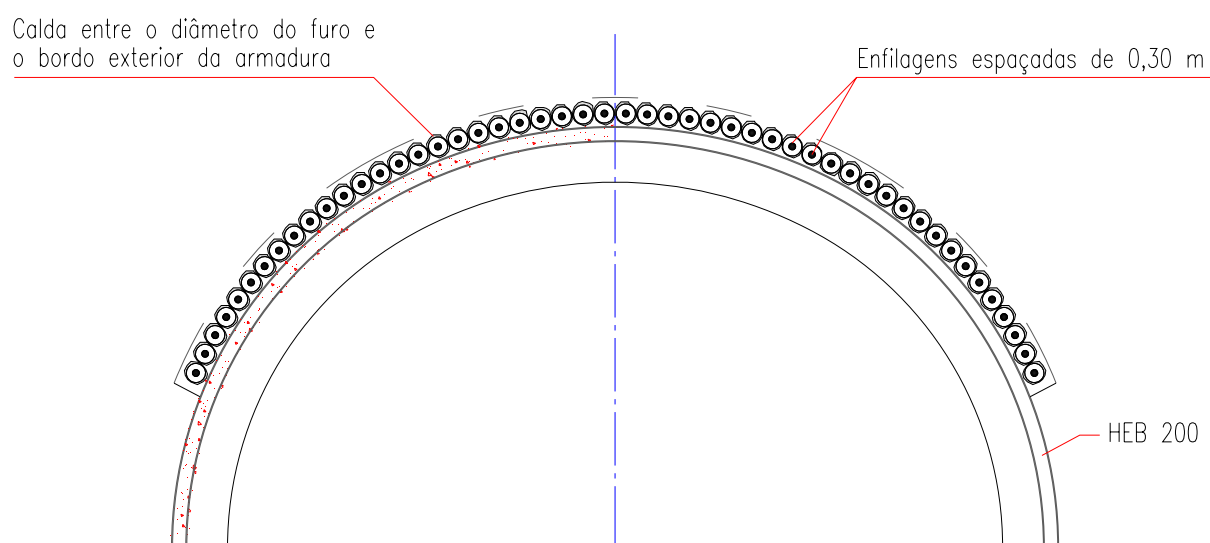


Figura 4.16 – Esquema da sequência de execução das enfilagens - [21] adaptado para o trabalho

Nota: A calda injectada irá preencher os vazios entre as enfilagens, se houver fissuras (quase sempre se verifica), vazios ou comunicação entre furos.

Para uma melhor percepção da execução dos vários lances de enfilagens, apresenta-se de seguida uma figura que ilustra esse pormenor (*Figura 4.17*).

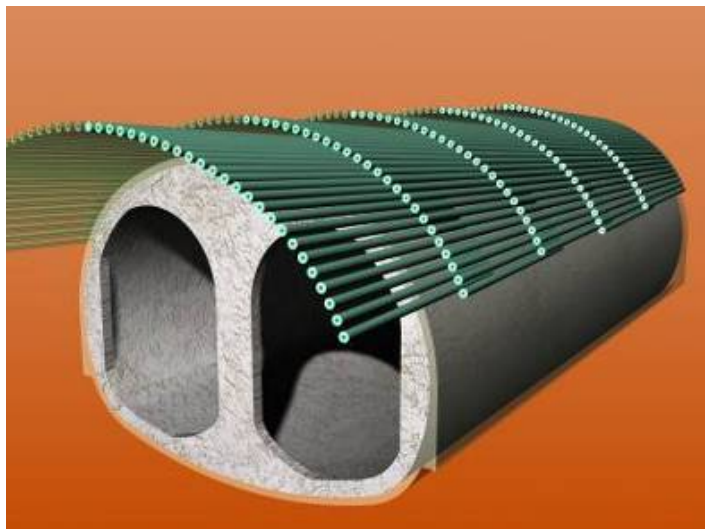


Figura 4.17 – Vista da execução de vários lances de enfilagens [22]

A execução de enfilagens compreende duas fases:

- **Furação:** Na actividade de furação há que definir em primeiro lugar, o tipo de método a adoptar e o tipo de fluido de limpeza a aplicar, isto em função dos terrenos a atravessar. Na furação pode, então, optar-se pela furação à rotação com o recurso a trialetas (em terrenos brandos) ou furação à rotopercussão sem revestimento (em terrenos rijos). No caso em estudo foram aplicados os dois métodos alternadamente consoante o terreno a atravessar. Para realização da furação, foi utilizado um Posicionador (*Figura 4.18*).



Figura 4.18 – Furação de enfilagens com Posicionador

Na generalidade dos casos foi utilizado o próprio tubo metálico da enfilagem como vara de perfuração (sistema auto-perfurante), em outros o furo foi executado com recurso a varas e

bit de perfuração até ao comprimento desejado e depois introduzido o tubo metálico após a conclusão da limpeza do furo. No procedimento do sistema auto-perfurante, os tubos de enfilagem que constituem a armadura, servem também de varas de furação, uma vez que a armadura vai sendo introduzida no furo à medida que a furação vai sendo executada. À ponta dos tubos de enfilagem está acoplada uma trialeta, que fica perdida com a aplicação da armadura (*Figura 4.19*).



Figura 4.19 – Coroa de furação

Em um e outro caso, e após a marcação topográfica dos furos na secção, inicia-se a actividade com o posicionamento do equipamento e orientação da coluna de perfuração através de um sistema de gabarito composto por uma régua com a projecção em planta de cada enfilagem (direcção), e a altura relativamente a essa régua a que a coluna de furação se deverá encontrar para cada enfilagem do chapéu (inclinação). Após se ter verificado o correcto posicionamento da coluna de perfuração, inicia-se a furação até atingir o comprimento desejado e o furo se encontrar limpo, isto obtido através da introdução do fluido de circulação, que tem a dupla acção de limpeza e arrefecimento do bit de perfuração. Concluído este ciclo reinicia-se o processo para a aplicação de outra enfilagem, obedecendo a uma esquema predefinido de furação/injecção, uma vez que a actividade de injecção não é executada de imediato. Deve-se assim, executar a furação da enfilagem seguinte com um certo afastamento de modo a que os furos tenham a menor probabilidade possível de contacto, o que iria colocar em causa o sucesso de um bom envolvimento da injecção (ver *Figura 4.20*). O faseamento de execução é efectuado por sequências de furos: primários (1 sim, 3 não); secundários (1 sim, 1 não); e terciários (restantes furos). O objectivo desta sequência é não interferir com a furação dos furos vizinhos, realizando-se assim, um tratamento progressivo.



Figura 4.20 – Furação de enfilagens

- **Injecção:** Terminada a furação, a boca do furo será munida de duas pontas de tubo de polietileno e devidamente selada. A injeção será executada pelo interior da armadura, através de uma válvula colocada na extremidade do tubo de enfilagem que fica de fora do maciço (Figura 4.21).



Figura 4.21 – Válvula de injeção da enfilagem

A calda de cimento é baseada na junção da água, cimento e eventualmente aditivos químicos numa misturadora de alta turbulência na proporção em peso água / cimento predefinida no projecto, sendo misturados durante 3 a 4 minutos. O controlo do cimento é executado pelo doseamento do número de sacos com peso conhecido. A quantidade de água utilizada é controlada através de um depósito de dimensões conhecidas. Os aditivos químicos são doseados através de um recipiente graduado. Feita a mistura, a calda passa para o misturador-agitador, no qual é mantida em agitação até ser injectada. A calda a injectar é fabricada em quantidades que permitem a sua rápida injeção, de modo a evitar que se mantenha no agitador por períodos inferiores a uma hora. Quando a calda de injeção chegar aos tubos de polietileno, com boa qualidade, fecham-se os mesmos e injecta-se mais alguma calda a baixa pressão de modo a garantir o perfeito preenchimento do espaço anelar.

4.1.4 Desmontagem do Suporte Provisório

Esta operação consiste em desmontar uma cambota de cada vez, para permitir um avanço de escavação até ao contorno exterior teórico da nova secção. Solta-se a cambota através da remoção dos calços e dos distanciadores, escora-se a mesma e se necessário, desapertam-se os seus parafusos de ligação antes de a transferir, desmontada, para o futuro troço a proteger.

4.1.5 Escavação, Demolição, Cambotas Definitivas e Betão Projectado

Esta actividade, que se pode subdividir em subactividades, consiste em executar por avanços sucessivos a escavação do maciço segundo o contorno teórico, montar a cambota definitiva, finalizando-se com a aplicação de betão projectado.

- **Escavação/Demolição:** A escavação é realizada com uma roçadora (equipamento giratório de lagartas, que na lança tem acoplado uma cabeça com bits de corte de tungsténio, que através do seu movimento rotativo, desbasta o terreno) pelo contorno teórico ou até ao limite do chapéu de enfilagens (*Figuras 4.22 e 4.23*). Em alguns casos, tal como a demolição de lajes de betão ou de contrafortes, foi necessário recorrer ao auxílio de uma giratória com martelo pneumático acoplado (*Figura 4.24*). A escavação é realizada por avanços sucessivos compreendidos entre 0,80 m ou 1,00 consoante a localização definida por projecto. À medida que se executa a escavação, carregam-se para vazadouro licenciado todos os escombros dela provenientes com camiões.



Figura 4.22 – Roçadora



Figura 4.23 – Escavação da alvenaria de tijolo



Figura 4.24 – Martelo Pneumático acoplado à Giratória

A escavação com roçadora é um processo que gera muitas poeiras, sendo necessário mitigar a sua propagação, recorrendo-se a uma rega (Figura 4.25).



Figura 4.25 – Jacto de água para evitar a excessiva propagação de poeiras

- **Montagem de Cambotas Definitivas:** A montagem de cambotas é executada com o auxílio de uma giratória ou de uma multifunções (*Figura 4.26*), de maneira a se poder interligar os perfis que são aparafusados entre si. Este processo inicia-se com a sua montagem no solo, sendo depois içada a cambota e colocada na posição correcta, recorrendo-se aos serviços topográficos, (*Figura 4.27*). Os pés das cambotas são apoiados sobre placas de betão pré-fabricado, e procede-se também à colocação de varões de travamento entre cambotas, através de soldadura.



Figura 4.26 – Multifunções



Figura 4.27 – Posicionamento da cambota com a Multifunções

- **Betão Projectado:** Esta subactividade consiste em projectar por via húmida, betão C25/30 com fibras metálicas contra o contorno da escavação, embebendo a cambota anteriormente montada (*Figura 4.28*). A aplicação do betão projectado é executada faseadamente em camadas de 5 cm (no máximo), até atingir a 25 cm de espessura, completando o enchimento da alma das cambotas. Para a execução desta tarefa o betão aplicado provém de uma central de betão industrial localizada fora da obra. Em obra, depois de executado o ensaio de abaixamento do betão, são adicionadas as fibras metálicas (em quantidades controladas). Seguidamente, o betão com fibras metálicas é descarregado lentamente na central de bombagem, para se dar início à projecção por via húmida. Durante esta operação geram-se muitas poeiras (partículas em suspensão), sendo necessário o bom funcionamento da ventilação de modo a assegurar a protecção dos trabalhadores.



Figura 4.28 – Betão projectado com fibras metálicas

4.1.6 Microestacas e Vigas de Reacção

As microestacas são elementos de fundação de elevada esbelteza que fazem parte da estrutura e que transmitem ao solo, fundamentalmente por efeito de ponta mas também por atrito lateral, as solicitações que lhe são impostas.

Em relação ao túnel, esta solução foi bastante vantajosa uma vez que as microestacas são excelentes no controlo de assentamentos, com perturbações mínimas no terreno e onde puderam ser executadas em espaços exíguos.

Neste caso particular, serviram essencialmente como recalce e reforço da fundação, transmitindo os esforços provenientes das cambotas ao solo.

A execução das microestacas é constituída por 3 fases: furação, injeção e colocação da viga de reacção.

- **Furação:** A execução da furação de diâmetro 110 mm é realizada por um processo de rotação com trado contínuo, até se atingir a profundidade definida em projecto. Posteriormente à execução do furo, procede-se à colocação da armadura (varão de aço roscado em todo o seu comprimento, 4,0 m, com furo central de diâmetro exterior de 52 mm e interior de 26 mm) seguindo-se a montagem da viga de reacção (*Figuras 4.29, 4.30, 4.31 e 4.32*). Esta viga é metálica sendo soldada contra o banzo interior dos pés das cambotas.



Figura 4.29 – Furação das microestacas a trado contínuo



Figura 4.30 – Colocação da armadura

A viga de reacção tem como objectivo interligar as sucessivas microestacas às respectivas cambotas, funcionando assim como um bloco.



Figura 4.31 – Viga de reacção com as microestacas



Figura 4.32 – Sequência de vigas de reacção soldadas, com as microestacas

- **Injecção:** Primeiramente, inicia-se o fabrico da calda de cimento na central de bombagem (Figura 4.33). Após a colocação da mangueira da central de bombagem na extremidade da armadura, inicia-se a injeção pelo interior da armadura a uma baixa pressão (6 bar), dando-se como concluída quando aparece à superfície, pelo espaço entre a parede do furo e o bordo exterior da microestaca, calda de cimento com características idênticas à bombada.



Figura 4.33 – Central de bombagem

4.1.7 Soleiras

A escavação das soleiras é uma actividade complexa que assenta nos pressupostos do estudo geotécnico e tem enormes repercussões na eficiência do desenrolar da obra. Esta eficiência está relacionada com o facto de a soleira ser o contraventamento dos hasteais. Assim, uma sobreescavação, poderá “descalçar” as cambotas, perdendo estas, os seus apoios. Assim, os possíveis atrasos nesta frente estão directamente ligados com o tempo da duração da escavação.

O processo construtivo varia das secções de alvenaria a manter, para as secções de betão armado, podendo ainda existir uma variação da geometria da soleira (comprimento) de cada troço a escavar, decorrendo da zona geotécnica onde se desenrola a escavação.

O processo construtivo da soleira na nova secção fechada de betão é mais complexo e demorado, devido à quantidade de subactividades e às condicionantes inerentes a cada uma delas.

A execução da soleira numa secção de betão armado é realizada da seguinte forma, como se pode ver no seguinte fluxograma (*Figura 4.34*):

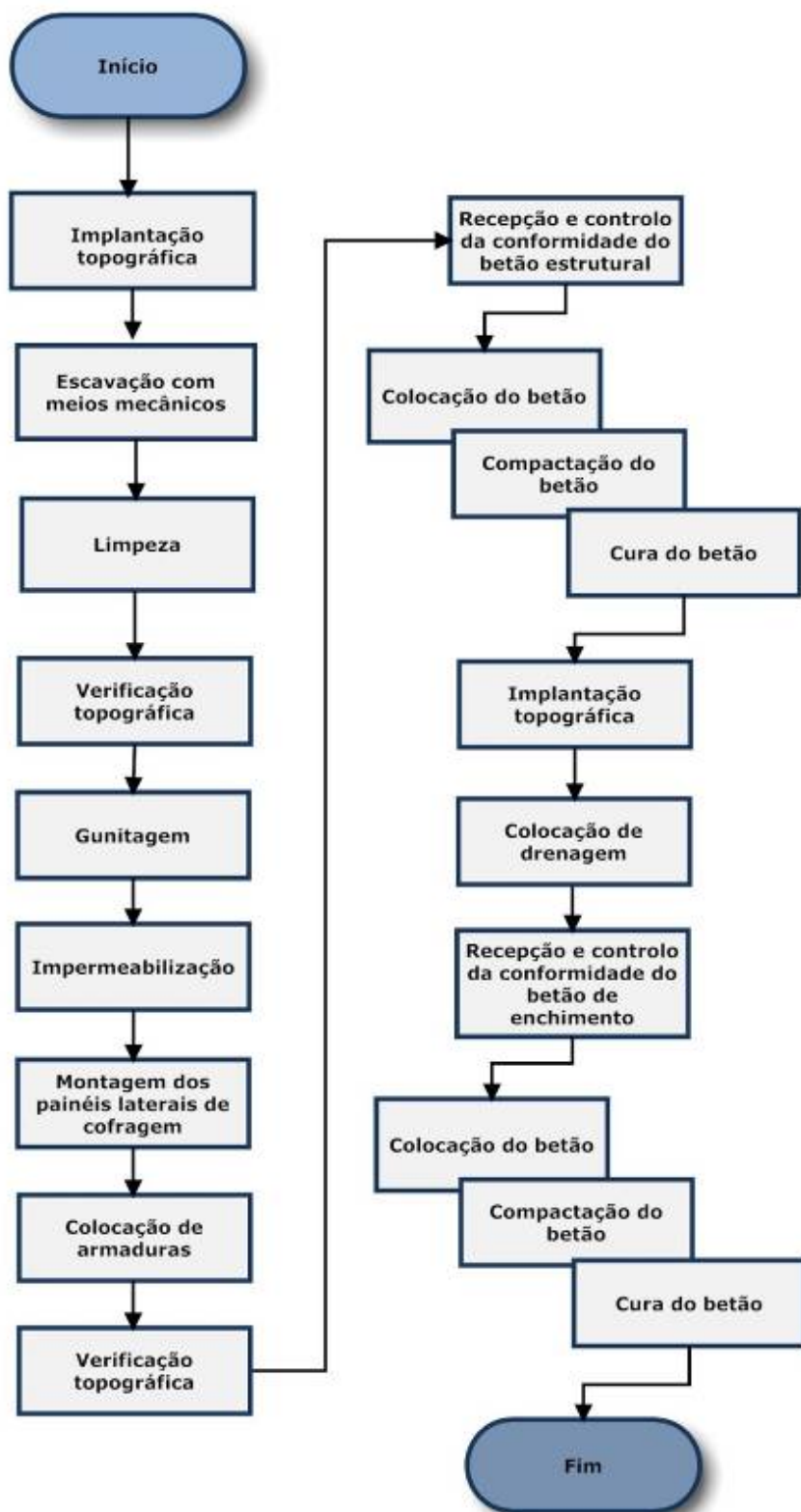


Figura 4.34 – Fluxograma da execução de soleiras

Dividindo esta actividade em subactividades, descrevem-se as seguintes:

- **Escavação:** A execução da soleira inicia-se com a escavação na vertical do terreno numa primeira fase, seguindo-se uma ligeira pendente nas laterais de modo a permitir a colocação dos painéis de cofragem, para as futuras betonagens (*Figura 4.35*). A escavação é realizada até à profundidade e comprimento definido em projecto, consoante a zona em acção. Esta execução é realizada primeiramente por metade da largura do túnel, sendo depois mudado o passadiço metálico de maneira a escavar a outra metade do troço de soleira.



Figura 4.35 – Escavação do troço de soleira

As terras e os escombros resultantes da escavação são levados a vazadouro através de camiões (*Figura 4.36*). Nesta subactividade (escavação) recorre-se ao auxílio de uma retroescavadora, munida por vezes de um martelo pneumático. De salientar a extrema importância dos passadiços metálicos na escavação da soleira, uma vez que permitem que se faça sempre a circulação dos mais diversos equipamentos e veículos ao longo do túnel.



Figura 4.36 – Retirada das terras provenientes da escavação do troço de soleira

Depois de retiradas as terras e os escombros executa-se a aplicação de bitolas, que consiste na aplicação de varões ao longo da escavação da soleira, delimitando a cota máxima de betonagem (*Figura 4.37*).



Figura 4.37 – Limpeza após a escavação e aplicação de bitolas

- **Gunitagem (C25/30 – S4):** Este processo consiste na aplicação de betão projectado (da classe C25/30) por via húmida. A projecção é realizada a alta velocidade e com a ponta da ponteira de projecção a uma distância entre 1,0 a 1,5 m da superfície. A sua execução é feita em sucessivas camadas até se atingir a espessura definida em projecto, sendo posteriormente regularizada de forma a permitir o assentamento do sistema de impermeabilização (*Figura 4.38*).



Figura 4.38 – Gunitagem da soleira

A aplicação de betão projectado tem como objectivo, à semelhança das cambotas, sustentar o terreno impedindo deformações e trabalhar em condições de segurança.

- **Sistema de impermeabilização:** Estando a superfície do troço de soleira bem regularizada, após a gunitagem, dá-se início à aplicação do sistema de impermeabilização (3 fases). A 1ª fase consiste em aplicar uma manta geotêxtil em toda a largura (para proteger a membrana impermeabilizante, posteriormente colocada, do punçoamento e do rasgo), de forma contínua e com uma sobreposição mínima de 0,5 m. Esta manta é fixada por anilhas (arandelas) e pregos de disparo ao suporte (ver *Figura 4.39*), [23].



Figura 4.39 – Manta geotêxtil

Prossegue-se com a colocação de uma geomembrana impermeabilizante de PVC (2ª fase), em que realizam termosoldaduras duplas com uma máquina de cunha quente entre panos com uma sobreposição mínima de 8 cm (*Figura 4.40*).

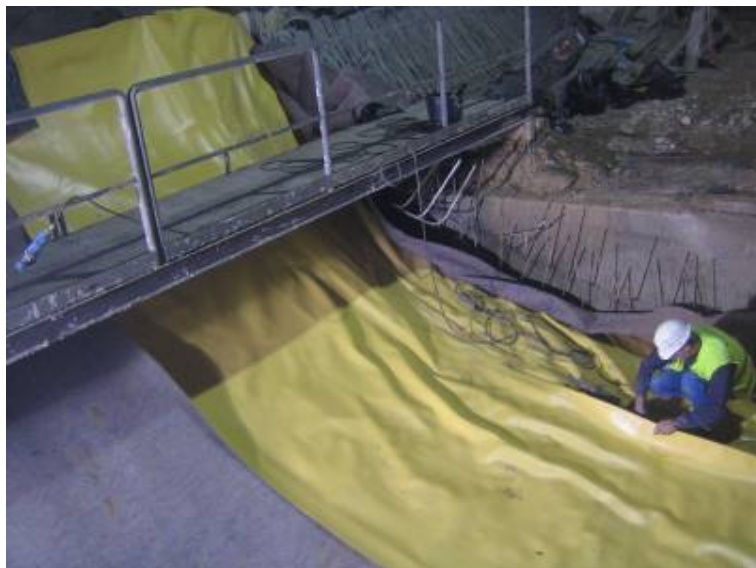


Figura 4.40 – Geomembrana impermeabilizante

A 3ª fase consiste em revestir a geomembrana com uma manta, que é de polipropileno numa face e geotêxtil na outra, de protecção à anterior (*Figura 4.41*).



Figura 4.41 – Manta em polipropileno

- **Montagem de painéis de cofragem:** A cofragem aplicada é de nervometal (*Figura 4.42*) até à cota da betonagem estrutural. O nervometal, é uma malha de aço, que permite executar com maior rapidez a cofragem, diminuindo os desperdícios, uma vez que as suas características facilitam a dobragem, o corte e a adaptação a qualquer tipo de forma. Esta estrutura, apesar de flexível, é rígida o suficiente, para não necessitar de meios auxiliares de travamento, garantindo uma superfície rugosa de aderência, ao betão da próxima betonagem.



Figura 4.42 – Cofragem em aço-nervurado perpendicular ao eixo do túnel

- **Montagem de armadura:** A montagem de armadura é realizada garantido os comprimentos de amarração e empalmes definidos em projecto. São colocados calços na armadura inferior para garantir o recobrimento previsto, e os varões são posicionados com “arame de atar” para evitar que se desloquem aquando da betonagem (Figuras 4.43 e 4.44).



Figura 4.43 – Montagem de armadura



Figura 4.44 – Vista geral da malha de armadura executada

- **Betão Estrutural (C25/30 – S2):** Antes da betonagem, procede-se a uma verificação topográfica para confirmar se a montagem de armaduras foi executada à cota correcta. A betonagem é realizada por descarga directa, de forma contínua e por camadas de espessuras distribuídas uniformemente (Figura 4.45). O betão não pode ser descarregado em queda livre a uma altura superior a 1,5 m. À medida que é feita a descarga, posiciona-se a agulha vibratória de modo vertical de forma a expulsar o ar existente no betão, por tempo limitado, de modo a não provocar a sua segregação. A vibração é realizada de forma uniforme até que a água da amassadura reflua à superfície, e o betão fique homogéneo (Figura 4.46).



11

Figura 4.45 – Aplicação de betão estrutural (descarga directa)



Figura 4.46 – Aplicação de betão estrutural (conclusão da betonagem)

- **Montagem dos painéis de cofragem e do tubo colector:** Os painéis laterais de cofragem (perpendicularmente ao eixo do túnel) para a aplicação do betão de enchimento (betão este para nivelamento da soleira) são executados com madeiras lisas e desempenadas, munidas de óleo descofrante (Figura 4.47). O tubo colector que é inserido nesta camada de betão é constituído por PVC e tem, de diâmetro, 400 mm, sendo assegurado as pendentes de projecto (Figuras 4.47 e 4.48). Quando necessário, procede-se à montagem de negativos em zonas de execução de caixas de visita.



Figura 4.47 – Montagem da cofragem e do tubo colector



Figura 4.48 – Montagem da cofragem e do tubo colector (vista final)

- **Betão de Enchimento (C12/15 – S2):** Antes da betonagem procede-se a uma verificação topográfica. A betonagem é realizada por descarga directa, de forma contínua e por camadas de espessuras (menores de 50 cm) distribuídas uniformemente (*Figura 4.49*).



Figura 4.49 – Aplicação de betão de enchimento C12/15

O método de aplicação é idêntico ao referido na página 74, ver *Betão estrutural*, (Figura 4.50).



Figura 4.50 – Finalização da betonagem com betão de enchimento C12/15

Para um melhor entendimento do que foi referido anteriormente, apresenta-se em anexo, *Anexo A*, uma ilustração de todo este processo.

4.1.8 Revestimento Definitivo da Abóbada

O sistema do revestimento final é implementado para permitir a utilização segura e funcional do túnel, atendendo aos requisitos de resistência, durabilidade e funcionalidade ao longo da sua vida útil.

Segundo *Puebla* [24], o revestimento definitivo assenta em quatro objectivos:

- Função Resistente – para assegurar a estabilidade a longo prazo;
- Impermeabilização – impedir fluxo de água para o interior do túnel;
- Estética – conferir ao túnel um aspecto regular e uniforme de acabamento final;
- Funcional – conferir as necessárias características de serviço/utilização para que foi concebido.

Este revestimento definitivo é efectuado em betão armado (após a execução do sistema impermeabilizante), localizando-se directamente sobre o suporte primário. As betonagens são realizadas recorrendo-se a moldes metálicos (cofragem) que se deslocam sobre carris. Esta cofragem permite um avanço máximo de 6 metros lineares por betonagem.

As betonagens destes moldes são realizadas de acordo com os procedimentos cedidos pela empresa fornecedora dos mesmos, CIFA, para que as betonagens se realizassem de uma forma rigorosa, tanto a nível do fornecimento de betão e a sua cadência entre cada aplicação, como também a nível de alturas de betonagem. A cadência entre cada aplicação por metro linear de betão em altura é de 30 minutos, perfazendo-se em média, um total de 15 aplicações. Para melhor compreensão deste ciclo, apresenta-se em *Anexo B* o Plano de Betonagem das Abóbadas. De forma a existir um maior rendimento dos moldes, foi posto em execução um plano que permitiu ter 4 moldes metálicos em obra com 4 equipas de trabalho.

O rendimento com as 4 frentes de trabalho foi bastante superior, mas não de uma forma linear, devido à limitação do espaço de circulação dentro do túnel. A dificuldade de circulação era bastante acentuada, devido às inúmeras frentes de trabalho ao longo do túnel, não possibilitando a circulação do número de camiões-betoneira necessários às 4 betonagens, em consequência do tempo de espera do betão dentro da betoneira, como da cadência de aplicação do mesmo. Assim, o rendimento máximo que se atingiu foi de 3 betonagens em simultâneo, sendo uma delas com um volume razoavelmente inferior (cerca de 40 m³) às outras (aproximadamente 100 m³).

Sendo este processo, *execução do revestimento definitivo*, complexo, moroso e até mesmo meticuloso, devido às quantidades de subactividades e às condicionantes inerentes a cada uma delas, passa-se a descrever de seguida, de uma forma mais detalhada, a sequência de cada uma das suas subactividades:

Impermeabilização: a impermeabilização na abóbada e nos hasteais tem como objectivo garantir a estanquidade, dando continuidade à impermeabilização da soleira. O seu processo de execução estabelece-se nos seguintes pontos:

- Limpeza do sistema de impermeabilização proveniente das soleiras;
- Montagem da plataforma de trabalho, nomeadamente andaimes, de modo a permitir a sua aplicação nos hasteais e abóbada;
- Limpeza da superfície de trabalho, designadamente dos hasteais e abóbada, em betão projectado, de modo a não existirem irregularidades pontiagudas;
- Aplicação da camada de protecção (geotêxtil de 800 g/m²), fixada à superfície de contacto por meio de pregos de disparo, de maneira a permitir o correcto posicionamento; A fixação desta camada é reforçada, posteriormente com a aplicação de arandelas (anilhas geotêxtil), posicionadas 2 a 4 por metro quadrado. Os rolos de geotêxtil que constituem esta camada de protecção são sobrepostos entre si em 50 cm (*Figura 4.51*);



Figura 4.51 – Fixação do geotêxtil com pregos de disparo

- Aplicação da geomembrana impermeabilizante (de material PVC-P), que é solidarizada à camada de protecção por termossoldadura (com a utilização de aparelhos manuais de ar quente) às arandelas (Figura 4.52); As diversas geomembranas têm uma sobreposição de cerca de 10 cm sendo a sua execução efectuada com aparelhos automáticos de dupla soldadura a jacto de ar quente (Figura 4.53);



Figura 4.52 – Soldadura da geomembrana às arandelas



Figura 4.53 – Soldadura de sobreposição da geomembrana

- As soldaduras são submetidas a ensaios de pressão de ar a 2 bar, sendo aprovada se durante cinco minutos o abaixamento da pressão não ultrapassar os 20 %. Para a realização são colocados manómetros na soldadura, através de agulhas, onde se mede a pressão instalada na mesma;
- Colocação de peças do tipo trompete, para futura suspensão de armaduras (*Figura 4.54*);



Figura 4.54 – Trompette no sistema de impermeabilização

Apresenta-se de seguida uma figura que ilustra um troço do túnel com a execução do sistema de impermeabilização (*Figura 4.55*).



Figura 4.55 – Vista do sistema de impermeabilização executado

Armadura: A continuidade da armadura das soleiras é garantida através de empalme regulamentar à dos hasteais. O processo da montagem de armaduras consiste em:

- Montagem de uma plataforma de trabalho (andaimas), para que o trabalho em altura seja realizado em segurança (Figura 4.56);



Figura 4.56 – Montagem de armaduras nos hasteais e abóbada realizada em andaimes

- Ligação da armadura dos hasteais à da soleira, dando-lhe continuidade através do empalme. O posicionamento dos varões é efectuado com “arame de atar” para evitar que se desloquem aquando da betonagem;
- Colocação de calços na armadura para garantir o recobrimento (no extradorso de 4 cm e no intradorso de 3 cm);
- Finalização da montagem de armaduras nos hasteais e abóbada (*Figura 4.57*).



Figura 4.57 – Finalização da montagem de armaduras nos hasteais e abóbada

Arranque dos Hasteais: esta subactividade é executada com betão C25/30 (S3), e tem como objectivo garantir o correcto posicionamento dos moldes de cofragem, da seguinte forma:

- Limpeza da superfície a betonar;
- Montagem e posicionamento (verificação topográfica) do molde para os arranques dos hasteais (*Figura 4.58*);



Figura 4.58 – Cofragem dos arranques

- Rega da superfície a betonar, para que esta não absorva em demasia, a água do betão;
- Betonagem dos arranques dos hasteais (*Figura 459*);



Figura 4.59 – Betonagem dos arranques dos hasteais

Apresenta-se de seguida, uma figura que ilustra as várias fases de execução da secção do túnel (*Figura 4.60*).

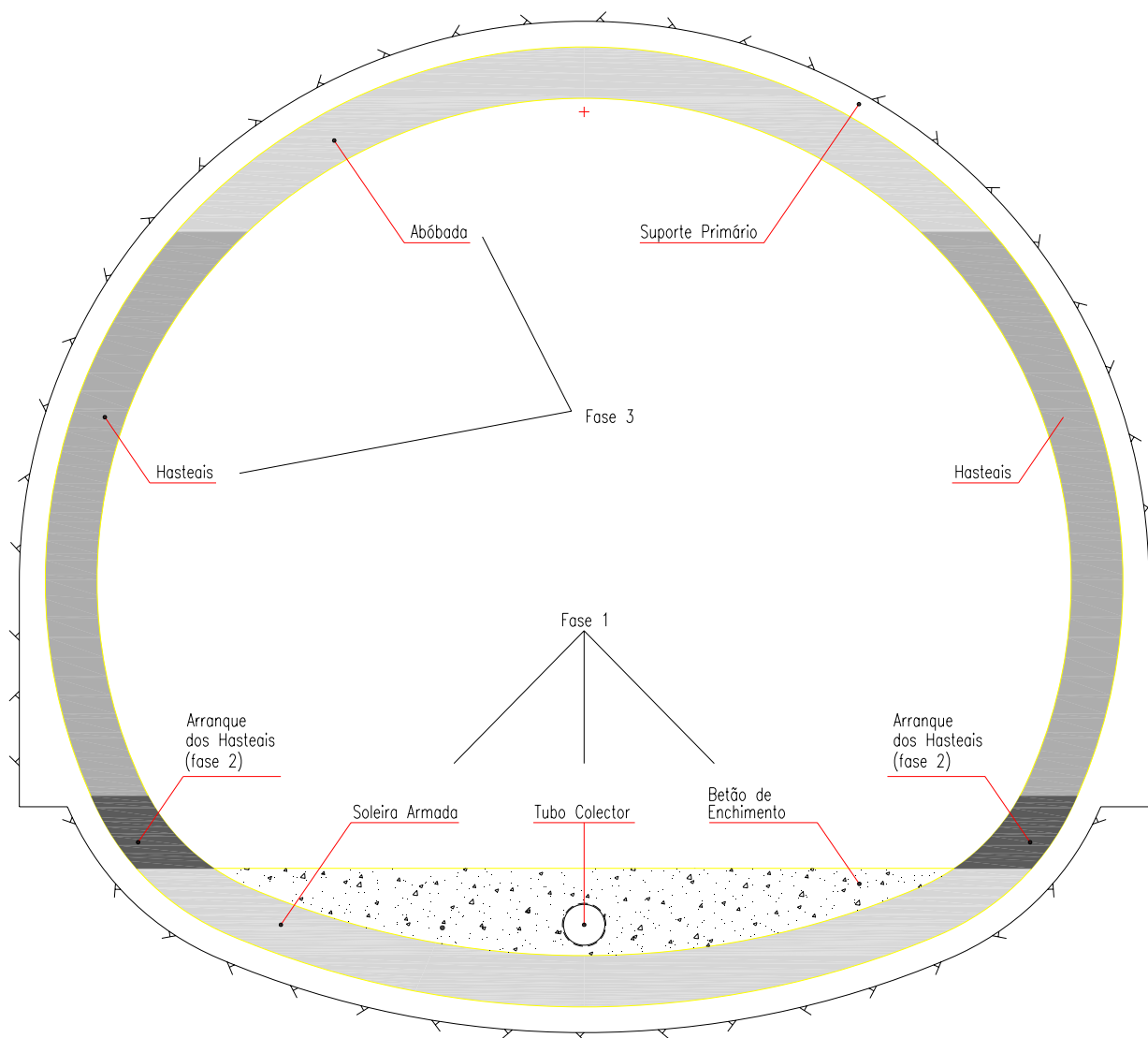


Figura 4.60 – Esquema das várias fases (revestimento definitivo) da secção do túnel [22] - adaptado.

Abóbada: A betonagem da abóbada é executada com betão C25/30 (S4). Este processo é realizado da seguinte forma:

- Colocação do molde do molde através do seu arrasto sobre carris, por intermédio de multifunções. O seu posicionamento transversal é efectuado pelas abas, munidas de um sistema hidráulico. Todo este processo de colocação e posicionamento do molde, é auxiliado por uma equipa de topografia;
- Montagem dos elementos de cofragem em madeira nos topos do molde (*Figura 4.61*);



Figura 4.61 – Montagem de cofragem nos topos do molde

- Betonagem do molde com recurso a um sistema de bombagem (Figura 4.62). O sistema de bombagem é constituído por um compressor munido de mangueiras, que transportam o betão, desde a central de bombagem até ao molde. O betão bombeado pelas mangueiras é introduzido no molde pelas janelas existentes na cofragem metálica (tanto ao nível dos hasteais como da abóbada). A vibração é realizada através dos vibradores instalados na cofragem metálica;



Figura 4.62 – Betonagem do molde

- Descofragem do molde, com a picagem dos topos e abertura das abas do mesmo (*Figuras 4.63 e 4.64*);



Figura 4.63 – Descofragem do molde (picagem dos topos)



Figura 4.64 – Descofragem do molde (abertura das abas)

Nota: As intervenções no revestimento do túnel são realizadas em simultâneo com outras actividades. Porém, só podem ser efectuadas caso já tenha sido realizada a respectiva soleira.

4.2 Zona de Alvenaria a Manter

4.2.1 Soleiras

Nas secções de Alvenaria a manter realiza-se a escavação da soleira, seguindo-se a colocação do betão estrutural C25/30 (S3) e por fim executa-se o enchimento com betão C12/15 (S3), sendo um processo pouco moroso, ao contrário das soleiras nas secções de betão, dado que não são efectuadas as subactividades da montagem do sistema de impermeabilização e das armaduras (Figura 4.65).

A montagem de impermeabilização na zona de alvenaria a manter não é realizada, uma vez que se admitem que a abóbada e os hasteais estão consolidados e por conseguinte, estanques. Assim, a drenagem da água seria conduzida para a zona de secção nova, em virtude da execução de injecções de consolidação, tanto nos hasteais como na abóbada.



Figura 4.65 – Betonagem (C12/15) do troço de soleira da secção de alvenaria a manter

4.2.2 Limpeza da alvenaria

A limpeza de alvenaria, quer de tijolo quer de pedra, é um tratamento que se realiza de uma forma exaustiva com a projecção por via húmida de uma mistura, cujo raio de acção e distância de projecção é variável em função do estado de sujidade da secção (Figura 4.66).

A mistura é obtida numa cuba de pressão com a junção de dois componentes, na proporção de 80% de abrasivo (*Areia SP 49*) e 20% água. A esta mistura são adicionados 3 l de água por minuto, de modo a obter uma mistura de 47% de água e de 53% de abrasivo, [25]. Esta mistura é então direccionada para a mangueira de jacto de ar comprimido.

Uma vez que cada partícula de abrasivo é encapsulada com uma película de água, denota-se um menor desenvolvimento de poeiras no momento do impacto com a alvenaria a limpar/decapar, visto formar-se uma névoa de água na zona a trabalhar. O abrasivo, que fica depositado no local, pode vir a ser reciclado, no entanto, nesta obra não o foi.

A distância de projecção à superfície a tratar, conforme já foi referido, é variável de acordo com a sujidade e relevo da mesma, situando-se entre 30 a 50 cm. Deste modo, constata-se que quanto menor a distância de projecção, menor é a superfície a tratar e maior a intensidade do tratamento. A pressão da projecção nunca é inferior a 4 bar, nem superior a 7 bar, com o intuito de não se danificar a superfície em tratamento, garantindo no entanto que as crostas negras, eflorescências e incrustações, sejam removidas com eficácia e controlo.

A projecção é executada de forma circular e formando um ângulo de 20° a 45° com a superfície.



Figura 4.66 – Limpeza de alvenaria a jacto por via húmida

4.3 Síntese dos Processos Construtivos

Neste subcapítulo descrevem-se sucintamente os processos construtivos:

- **Suporte Provisório:** Este suporte, que tem como objectivo limitar ao mínimo as deformações do maciço e os danos nas construções existentes à superfície, consiste em colocar perfis metálicos HEB 180 ou HEB 200, com um espaçamento de 80 a 100 cm consoante a zona afectada, e travados entre si com varões Ø32 mm, tanto nos hasteais como na abóbada. Os pés das cambotas provisórias (perfis metálicos) estão assentes em calços de betão, de modo a facilitar o posicionamento destas ao limite interior do túnel;
- **Pregagens:** São elementos estruturais utilizados para melhoramento das ligações estruturais e para reforço da alvenaria. Nesta obra, foram utilizadas pregagens Swellex, FLP20 e FLY35. Nos 3 casos, os métodos de execução são semelhantes só variando a fase da injeção, onde nas Swellex é injectada água, a uma pressão elevada, de modo à armadura se expandir. Nos outros 2 casos, a injeção é efectuada com calda de cimento. No entanto, descrevem-se as 3 fases de execução das pregagens FLP e FLY: a) A *Furação* é efectuada com o recurso a trialetas, através da acção rotativa pela cabeça do equipamento de perfuração. A progressão da furação, faz-se à medida que o material desagregado é expulso para o exterior através da introdução de água; b) A segunda fase consiste na *preparação e colocação da armadura* no interior do furo. À armadura é acoplado o sistema de injeção constituído um tubo de PVC com válvulas manete, ou por dois tubos de polietileno para injeções selectivas e repetitivas. c) Por fim, a *injecção* inicia-se com o fabrico da calda de cimento, onde é posteriormente injectada por um dos tubos de polietileno (o mais curto), servindo o mais comprido como tubo de purga (se o furo for descendente, será o inverso). A injeção de selagem dá-se como concluída quando se atingir uma pressão constante de 2 bar durante 30 segundos;
- **Enfilagens:** São elementos que funcionam como suporte primário do túnel na travessia de zonas de fraca cobertura ou de zonas do maciço de má qualidade. As enfilagens são realizadas em leque, de modo a permitir que a execução seja um arco, permitindo trabalhar em segurança na frente de trabalho, garantindo a estabilidade do maciço, com a ausência de assentamentos e deformações acentuados. A execução de enfilagens compreende duas fases: a) A *Furação* é realizada à rotação com o recurso a trialetas ou furação à rotoperfuração sem revestimento. Na generalidade dos casos foi utilizado o próprio tubo metálico (armadura) da enfilagem como vara de perfuração (sistema auto-perfurante), onde à ponta dos tubos de enfilagem está acoplada uma trialeta, que fica perdida com a aplicação da armadura. b) A outra fase, *Injecção*, é executada pelo interior da armadura, através de uma válvula colocada na extremidade do tubo de enfilagem que fica de fora do maciço.

- **Desmontagem do Suporte Provisório:** Consiste em desmontar uma cambota de cada vez, para permitir um avanço de escavação até ao contorno exterior teórico da nova secção. Solta-se a cambota através da remoção dos calços e dos distanciadores, escora-se a mesma e se necessário, desapertam-se os seus parafusos de ligação antes de a transferir, desmontada, para o futuro troço a proteger;
- **Escavação, demolição, cambotas definitivas e betão projectado:** Esta actividade consiste em executar por avanços sucessivos a escavação do maciço segundo o contorno teórico, montar a cambota definitiva, finalizando-se com a aplicação de betão projectado. a) A *Escavação/Demolição*, é realizada com uma roçadora pelo contorno teórico ou até ao limite do chapéu de enfilagens. A escavação é realizada por avanços sucessivos compreendidos entre 0,80 m ou 1,00 consoante a localização definida por projecto. À medida que se executa a escavação, carregam-se para vazadouro licenciado todos os escombros dela provenientes com camiões. b) A *Montagem de Cambotas Definitivas*, é executada com o auxílio de uma giratória e de uma multifunções, de maneira a se poder interligar os perfis que são aparafusados entre si. Este processo inicia-se com a sua montagem no solo, sendo depois içada a cambota e colocada na posição correcta, recorrendo-se aos serviços topográficos. Os pés das cambotas são apoiados sobre placas de betão pré-fabricado, e procede-se também à colocação de varões de travamento entre cambotas, através de soldadura. c) A *aplicação do betão projectado* consiste em gunitar por via húmida betão C25/30 com fibras metálicas contra o contorno da escavação, embebendo a cambota anteriormente montada. A gunitagem é executada faseadamente em camadas de 5 cm, até completar o enchimento da alma das cambotas.
- **Microestacas e Vigas de Reacção:** São elementos de elevada esbelteza que fazem parte da estrutura e que transmitem ao solo, fundamentalmente por atrito lateral mas também por ponta, as solicitações que lhe são impostas. Esta actividade divide-se em 3 fases: a) A *Furação*, consistiu na furação à rotação com trado contínuo, com diâmetro de 110 mm, até se atingir a profundidade definida em projecto. b) Posteriormente à execução do furo, procede-se à *colocação da armadura seguindo-se a montagem da viga de reacção*. c) A *Injecção*, inicia-se com o fabrico da calda de cimento na central de bombagem, iniciando-se a injecção após a colocação da mangueira da central na extremidade da armadura. A injecção fica concluída quando à superfície, aparece calda de cimento com características idênticas à bombada.
- **Soleiras:** A execução de soleiras inicia-se pela Escavação do terreno com o recurso a uma retroescavadora, munida por vezes de um martelo pneumático. De seguida retiram-se as terras para vazadouro autorizado, seguindo a aplicação de betão projectado, C25/30-S4, até se atingir a espessura definida em projecto. Segue-se a aplicação do sistema de impermeabilização, constituído por 3 camadas: manta geotêxtil (com o objectivo de proteger a

membrana impermeabilizante, do punçoamento e do rasgo); geomembrana impermeabilizante de PVC; e por último o revestimento da geomembrana com uma manta de polipropileno. De seguida, executam-se os painéis de cofragem em nervometal para se dar início à montagem da armadura. Após a malha de armadura estar devidamente colocada, realiza-se a betonagem com um betão C25/30-S2 por descarga directa. Posteriormente, faz-se a montagem do tubo colector e dos painéis de cofragem, finalizando-se esta actividade com a betonagem de enchimento, aplicação de C12/15-S2.

- **Revestimento Definitivo da Abóbada:** O sistema do revestimento final é implementado para permitir a utilização segura e funcional do túnel, atendendo aos requisitos de resistência, durabilidade e funcionalidade ao longo da sua vida útil. Esta actividade divide-se em 4 fases:
a) *Impermeabilização* – o sistema de impermeabilização é constituída por 3 camadas: manta geotêxtil (com o objectivo de proteger a membrana impermeabilizante, do punçoamento e do rasgo); geomembrana impermeabilizante de PVC; e por último o revestimento da geomembrana com uma manta de polipropileno; b) *Armadura* – ligação da armadura dos hasteais à da soleira, dando-lhe continuidade através do empalme. De seguida, procede-se à montagem da armadura dos hasteais e abóbada. Para o correcto posicionamento dos varões é efectuado com “arame de atar” para evitar que se desloquem aquando da betonagem; c) *Arranque dos hasteais* – esta subactividade, inicia-se com a limpeza da superfície a betonar, seguindo-se da montagem dos painéis de cofragem. Após a cofragem, realiza-se a betonagem da peça com C25/30; d) *Betonagem dos hasteais e abóbada* – colocação e posicionamento do molde metálico com o auxílio da topografia, seguindo-se da betonagem com C25/30-S4.
- **Limpeza de alvenaria:** este tratamento da alvenaria, quer de tijolo, quer de pedra, realiza-se de uma forma exaustiva com a projecção por via húmida de uma mistura, cujo raio de acção e distância de projecção é variável em função do estado de sujidade da secção.

5 FISCALIZAÇÃO DA EMPREITADA

5.1 Introdução

Pode-se definir **Fiscalização** como uma prestação de serviços que tem como objectivos assegurar a gestão e a supervisão das actividades relativas à realização de uma obra, de acordo com os projectos de arquitectura, de engenharia e das especialidades e do Caderno de Encargos, até à recepção provisória, garantindo a *Qualidade* e a *Segurança* dos trabalhos, e proceder ao Fecho Administrativo das empreitadas.

Nesta prestação de serviços por vezes inclui-se a Assessoria Técnico-Jurídica das empreitadas previstas no empreendimento, a partir da fase de adjudicação. A Fiscalização também poderá incluir o acompanhamento da obra no período de garantia até à sua recepção definitiva.

Assim, para uma empreitada ou um conjunto de empreitadas de obras, a fiscalização consiste numa prestação de serviços contratada pelo Dono de Obra, com o objectivo de garantir o cumprimento do estipulado no contrato entre o Dono de Obra e o Empreiteiro, devendo, nestes serviços, a fiscalização desempenhar as seguintes funções:

- Arranque, Planeamento e Controlo da Empreitada;
- Gestão de Informação da Empreitada;
- Controlo de Quantidades e Custos;
- Controlo de Planeamento e Avanço dos Trabalhos;
- Gestão da Qualidade em Obra;
- Gestão da Segurança em Obra;
- Gestão Ambiental em Obra.

No *Anexo III* indicam-se algumas das definições mais relevantes para a interpretação deste capítulo relativamente à área da Fiscalização, [26], [27] e [28].

5.2 Funções da Fiscalização

5.2.1 Arranque, Planeamento e Controlo da Empreitada

Este subcapítulo tem como objectivo descrever o processo de arranque, planeamento e controlo das actividades, [28].

5.2.1.1 Procedimento

Antes da consignação e após a adjudicação do Contrato (da Fiscalização) deverão ser controladas as actividades que dizem respeito a fases anteriores ao início dos trabalhos de Fiscalização, bem como preparar as actividades que antecedem o início dos trabalhos da empreitada.

Análise Contratual:

Nesta fase, o director da fiscalização deverá analisar os processos de concurso, propostas e contratos, quer entre a Fiscalização e o Dono de Obra, quer entre o Empreiteiro e o Dono de Obra.

Consignação e Auto de Consignação:

A consignação do espaço referente ao local onde deverão ser realizados os trabalhos por parte do Empreiteiro deverá estar de acordo com a legislação em vigor (art.º 152 do DL 59/99 de 2 de Março). Deverão marcar presença nesse local, um representante do Dono de Obra e do Empreiteiro. Assim, nesta altura será produzido e assinado o Auto de Consignação de acordo com o art.º 155 do DL 59/99.

Reunião de Arranque com o Dono de Obra:

A Reunião de Arranque com o Dono de Obra baseia-se nos esclarecimentos de projecto por parte do Dono de Obra face ao Director da Fiscalização, referindo as responsabilidades que o Dono de Obra terá no decorrer das actividades.

Reunião de Arranque da Empreitada:

A Reunião de Arranque da Empreitada, após análise do projecto por parte do Director da Fiscalização e após esclarecimentos do Dono de Obra, servirá para discutir todos os aspectos que antecedem as actividades. Nesta reunião estão presentes, o Director da Fiscalização, o Dono de Obra e o Empreiteiro.

5.2.1.2 Pré-desenvolvimento

O pré-desenvolvimento induz ao controlo das questões que se relacionam com a produção, por parte do Empreiteiro, tais como:

Documentos do Empreiteiro:

O Empreiteiro deverá entregar à Fiscalização os seguintes documentos:

- Plano de Gestão da Qualidade;
- Complementos (caso existam) sobre os processos construtivos e o Plano de Segurança e Saúde patenteado a concurso e elaborado na fase de projecto, incluindo o respectivo projecto de estaleiro, de acordo com o Anexo II do Dec. Lei 273/2003 de 29 de Outubro;
- Procedimento do Sistema de Gestão Ambiental;
- Projectos, incluindo Plano de Segurança e Saúde de projecto (no caso de concepção/construção);
- Outros, que o Dono de Obra e a Fiscalização julguem necessários;

Após a entrega da documentação por parte do Empreiteiro, a Fiscalização, dentro dos prazos contratuais, analisará e emitirá um parecer sobre a mesma.

Erros e Omissões:

O Empreiteiro deverá entregar, no prazo estabelecido no caderno de encargos e na legislação em vigor, a lista de erros e omissões para análise da Fiscalização.

Plano de Trabalhos/Cronograma Financeiro:

Elaboração e entrega (após a consignação) do Plano de Trabalhos e do Cronograma Financeiro pelo Empreiteiro, no prazo vigente no Caderno de Encargos, ou na legislação em vigor.

Plano de Gestão da Qualidade:

Elaboração do Plano de Gestão da Qualidade da empreitada pelo Director da Fiscalização. Caso, exista um Técnico de Gestão da Qualidade contratado pela Fiscalização, poderá ser este o responsável pela sua elaboração, ficando no entanto sujeito à aprovação do Director da Fiscalização.

5.2.1.3 Desenvolvimento dos trabalhos

Com o desenrolar da execução das actividades do Empreiteiro, há que controlar os trabalhos, elaborando um relatório mensal com o registo dos mesmos.

Gestão da Informação da Empreitada:

A informação concebida na Obra deverá ser tratada de acordo com o estabelecido no Procedimento de Gestão de Informação da Empreitada (ver CAP. 7.2.2).

O Controlo de Alterações ao Projecto é da responsabilidade da Fiscalização, quer no caso do projecto ser do Dono de Obra ou do Empreiteiro.

No caso do projecto ser da responsabilidade do Empreiteiro, o Controlo de Alterações ao Projecto deverá estar previsto no Sistema de Qualidade do Empreiteiro.

Controlo de Quantidades e Custos:

O procedimento relativo ao Controlo de Quantidades e Custos deverá ser implementado pelo Director da Fiscalização, de acordo com o Procedimento de Controlo de Quantidades e Custos (ver CAP. 7.2.3).

Controlo de Planeamento e Avanço dos trabalhos:

O procedimento relativo ao Controlo de Planeamento e Avanço dos Trabalhos deverá ser implementado pelo Director da Fiscalização, de acordo com o Procedimento de Controlo de Planeamento e Avanço dos Trabalhos (ver CAP. 7.2.4).

Gestão de Qualidade em Obra:

O Director da Fiscalização deve, em acordo com o Empreiteiro, estabelecer as rotinas e métodos adequados no âmbito do Controlo da Qualidade. Estes métodos deverão estar de acordo com os Procedimentos de Gestão da Qualidade, quer da Fiscalização (ver CAP. 7.2.5), quer do Empreiteiro.

Gestão da Segurança em Obra:

A implementação do processo da Gestão da Segurança em Obra estará a cargo do Director da Fiscalização de acordo com o Procedimento de Gestão de Segurança em Obra (ver CAP. 7.2.6).

Gestão Ambiental em Obra:

A implementação do processo da Gestão Ambiental em Obra estará ao cargo do Director da Fiscalização de acordo com o Procedimento de Gestão Ambiental em Obra (ver CAP. 7.2.7).

Reuniões de Obra:

No decurso do desenvolvimento da empreitada serão efectuadas reuniões entre o Dono de Obra, a Fiscalização e o Empreiteiro. A periodicidade destas reuniões deverá ser semanal em qualquer obra, tendo que ser acordado o dia da semana, a hora e o local da sua realização, no início dos trabalhos.

5.2.1.4 Encerramento Administrativo das Empreitadas

Recepção Provisória:

Quando o Empreiteiro completar todos os trabalhos constantes no contrato e de acordo com o estabelecido no caderno de encargos e/ou no regime jurídico de Empreitadas de obras públicas, procede-se à recepção provisória da obra.

Nesta altura, será realizada uma vistoria e, à posteriori, elaborado um Auto, onde irão constar as deficiências detectadas, sendo dado um prazo ao Empreiteiro para as suas rectificações. De salientar o facto que, aquando da existência de recepções provisórias parciais serão elaborados, nos mesmos moldes, Autos para cada uma das recepções.

A recepção provisória só será efectuada após acordo formal do Dono de Obra.

Telas Finais de Projecto:

Nas telas finais elaboradas pelo Empreiteiro deverão constar os seguintes elementos:

- Peças desenhadas "as built";
- Lista de materiais aplicados em Obra, com a identificação do local de aplicação e nome do fabricante/fornecedor, etc.;
- Manuais de instruções/Operação/Manutenção de equipamentos electromecânicos fornecidos e instalados no âmbito da Empreitada.

Estes elementos serão elaborados antes da recepção provisória ou nos prazos definidos no Caderno de Encargos.

Relatório da Conta Final da Empreitada:

A Fiscalização, de acordo com a legislação e após a recepção provisória, emitirá a Conta Final da Empreitada. Este documento consiste em:

- Criar uma conta na qual deverão constar as verbas globais referentes aos valores de todas as medições, revisões, eventuais acertos de reclamações, prémios e multas contratuais aplicadas;
- Elaborar um mapa de todos os trabalhos executados, quer a mais quer a menos do que os previstos no contrato, indicando os valores dos preços unitários pelos quais se procederá à sua liquidação;
- Elaborar um mapa de todos os trabalhos e valores sobre os quais haja reclamações.

Inquérito Administrativo:

Após a recepção provisória, é da responsabilidade da Fiscalização a preparação da documentação necessária para que o Dono de Obra possa comunicar à Câmara Municipal do Concelho (em que foi executada a obra), a conclusão da empreitada, dando início ao Inquérito Administrativo (processo em que o Presidente da Câmara, estabelece um prazo, para que sejam apresentadas, por escrito e devidamente fundamentadas, quaisquer reclamações por falta de pagamento de ordenados, salários e materiais, ou indemnizações a que se julguem com direito e, bem assim, do preço de quaisquer trabalhos que o empreiteiro referido haja mandado executar por terceiros e naquela empreitada). Também concerne à Fiscalização auxiliar o Dono de Obra na análise de eventuais reclamações por parte do Empreiteiro de acordo com o previsto na legislação.

Recepção Definitiva:

Ainda no período de garantia dos trabalhos, deverá ser solicitada pelo Empreiteiro uma vistoria, de modo a ser feito o levantamento das correcções a realizar, dentro do prazo acordado entre o Dono de Obra e o Empreiteiro.

Após a correcção das anomalias identificadas e caso não exista qualquer assunto pendente relativo a reclamações de parte a parte, deverá ser elaborado o Auto de Recepção Definitiva.

Certificado de Desempenho:

O Certificado de Desempenho, como normalmente é designado, consiste numa declaração, elaborada pelo Dono de Obra, perante o tipo e a qualidade do trabalho produzido, o montante do contrato e o prazo de duração.

5.2.1.5 Responsabilidade

A responsabilidade pela implementação deste procedimento (Processo de Arranque, Planeamento e Controlo das Actividades) é do Director da Fiscalização.

5.2.2 Gestão de Informação da Empreitada

Este subcapítulo tem como objectivo descrever o circuito de recepção, produção, expedição e arquivo de correspondência, [28].

Também é neste subcapítulo que se descrevem os processos de controlo e registo de alterações ao projecto, o controlo do sistema informático em estaleiro de obra e tratamento da documentação técnica do empreiteiro.

5.2.2.1 Procedimento

Recepção de correspondência:

Toda a documentação recebida estará inicialmente a cargo da secretaria, que após registar a recepção, entrega ao Director da Fiscalização com o objectivo deste analisar, indicar a pasta de arquivo e mencionar os destinatários da informação. Deste modo, passarão a existir cópias de circulação, de maneira a que os destinatários as possam analisar e agir conforme instruções. Após as acções tomadas, e as folhas rubricadas, estas regressam à secretaria, que dará como finalizada a acção das mesmas no arquivo.

Expedição de correspondência:

Para a expedição de correspondência, qualquer colaborador da fiscalização poderá dar início à criação de um documento (memorando de obra; não conformidade em obra; aprovação de materiais; actas de reunião; etc.) que, por sua vez, terá que ser sempre sujeito a aprovação do director da fiscalização.

Este documento poderá ser emitido via e-mail, fax, carta ou até mesmo guia de remessa. No entanto, terão sempre que ficar registados os dados do documento, bem como a referência do mesmo.

5.2.2.2 Controlo da documentação produzida pela fiscalização

Todos os colaboradores têm a possibilidade de produzir e assinar/rubricar qualquer documento, desde que no âmbito das suas funções.

A documentação produzida por um Colaborador deverá ser sempre dirigida ao respectivo superior hierárquico directo, e toda a documentação deverá ser validada pelo Director da Fiscalização.

5.2.2.3 Arquivo da documentação

A estrutura de codificação do arquivo da documentação encontrar-se-á inserida no Sistema Informático em vigor no estaleiro da Fiscalização.

Toda a documentação deverá ser arquivada (arquivo físico e/ou informático) de um modo sequencial, e de acordo com a codificação previamente estabelecida para cada documento.

5.2.2.4 Responsabilidade

A responsabilidade da implementação desta instrução é do Director da Fiscalização e do Secretariado.

5.2.3 Controlo de Quantidades e Custos

O presente subcapítulo estabelece o processo de controlo de quantidades, custos e facturação dos trabalhos executados pelo adjudicatário da(s) empreitada(s), [28].

5.2.3.1 Procedimento

De modo a se efectuar o controlo das actividades em causa, a Fiscalização deverá:

- Analisar, verificar e dar parecer conclusivo, dentro dos prazos legais, sobre o processo de erros e omissões ao Projecto apresentado pelo empreiteiro;
- Controlar as Quantidades e Custos;
- Proceder mensalmente às medições dos trabalhos executados (contratuais e trabalhos a mais) e elaborar os respectivos Autos de Medição e o Certificado de Pagamento;

- Analisar todos os Processos de Trabalhos a Mais submetidos pelo Empreiteiro e emitir parecer para aprovação pelo Dono da Obra;
- Proceder à revisão de preços, e elaborar a conta-corrente;
- Elaborar o quadro e gráfico do Cronograma Financeiro aprovado, da situação prevista e real, mensal e acumulada.

Erros e Omissões do Projecto

O Empreiteiro deverá apresentar as reclamações quanto a erros e omissões de Projecto, dentro dos prazos previstos por lei ou nos prazos mencionados no Caderno de Encargos, e a Fiscalização terá como missão analisar e emitir um parecer ao Dono de Obra sobre as reclamações, dentro dos prazos legais.

Controlo de Quantidades e Custos

A Fiscalização deverá produzir um mapa, por capítulo, com base na Lista de Medições e Preços Unitários do contrato, com o registo de todos os artigos e respectivas quantidades, preço unitário e valor total, previstos. O mapa será utilizado para a elaboração dos Autos de Medição Mensais.

Medição dos Trabalhos Executados

A medição dos trabalhos executados, que é habitualmente realizada mensalmente, deverá ser efectuada no local da obra por elementos da Fiscalização juntamente com elementos do Empreiteiro. Os métodos e critérios a adoptar para a realização das medições serão os estabelecidos no Caderno de Encargos.

Após a realização das medições, é produzido um Auto de Medição para cada actividade, onde deverão constar os seguintes elementos:

- As quantidades de trabalho de contrato e respectivo preço unitário;
- As quantidades de trabalho executadas no mês e acumuladas;
- Valor de trabalhos realizados por actividade no mês e acumuladas;
- Valor total de trabalhos realizados no mês e acumulados.

Trabalhos a Mais

Estará a cargo da Fiscalização analisar todas as propostas de Trabalhos a Mais apresentadas pelo Empreiteiro, nas quais deverão constar:

- As justificações para a realização dos Trabalhos a Mais;

- A lista de quantidades e consequentes medições e as justificações dos novos preços propostos.

A Fiscalização, na análise das propostas do Empreiteiro, deve verificar:

- A necessidade de realização destes trabalhos;
- Se as quantidades apresentadas se coadunam com os trabalhos;
- Se os novos preços estão de acordo com o mercado em vigor;
- Se a execução dos novos trabalhos irá afectar (no aumento ou na diminuição) os futuros trabalhos;
- O diferencial no prazo da empreitada.

Quaisquer que sejam os Trabalhos a Mais, será sempre da responsabilidade do Dono de Obra a decisão final, não obstante o parecer da Fiscalização.

5.2.3.2 Revisão de Preços

A Revisão de Preços é uma tarefa da Fiscalização, que permite formular e analisar as propostas baseadas nas condições existentes à data do concurso, remetendo para a figura da revisão a compensação a que houver lugar em função da variação dos custos inerentes à concretização do contrato (revisão contratual). A afectação da revisão é realizada através de fórmulas (previstas no Caderno de Encargos), da legislação em vigor (DL. Nº 6/2004 de 6 de Janeiro) e índices.

5.2.3.3 Responsabilidade

A responsabilidade da implementação do Processo de Controlo de Quantidades e Custos é do Director da Fiscalização e dos Responsáveis de área.

5.2.4 Controlo de Planeamento e Avanços dos Trabalhos

Neste subcapítulo descrevem-se os métodos de implementação relativos ao controlo do planeamento e do avanço dos trabalhos da Empreitada, [28].

5.2.4.1 Procedimento

A Fiscalização, para controlar o planeamento e o avanço dos trabalhos, deve:

a) Analisar e propor à aprovação do Dono de Obra, o Plano de Trabalhos Definitivo e respectivo Cronograma Financeiro e Plano de Pagamentos

O Plano de Trabalhos, que deverá ser constituído pelos documentos referidos no Caderno de Encargos, deve conter as seguintes informações:

- Gráfico de barras, distinguindo as fases que se consideram vinculativas no Caderno de Encargos;
- Definir as datas de início e de conclusão da Empreitada, bem como de todas as actividades;
- Conter uma memória descritiva e justificativa que particularize as actividades programadas e especifique quaisquer outros recursos, exigidos ou não no Caderno de Encargos;
- O caminho crítico;
- Plano de fornecimento de recursos (equipamentos e mão-de-obra com a quantidade e qualificação profissional da mão-de-obra);
- Cronograma Financeiro e respectivo Plano de Pagamentos, contendo a previsão, quantificada e escalonada por mês, dos valores simples e acumulados dos trabalhos a realizar, de acordo com o plano de trabalhos.

b) Controlar as alterações ao Plano de Trabalhos aprovado

Estará ao cargo da Fiscalização analisar e emitir o parecer sobre as alterações ao Plano de Trabalhos vigente, face a trabalhos a mais proposto pelo Empreiteiro.

c) Acompanhar o planeamento e o progresso dos trabalhos

A Fiscalização está incumbida, durante a fase de execução dos trabalhos, de fazer o acompanhamento do planeamento e do desenvolvimento da obra.

O acompanhamento do desenvolvimento da obra e a sua confrontação com o Plano de Trabalhos aprovado é feito através de:

- Implementação de um Sistema de Recolha, Tratamento e Registo de Informação:

A Equipa da Fiscalização será concebida de tal forma que a informação das frentes de obra seja obtida, tratada e reportada por forma a viabilizar a correcta integração da informação sobre Planeamento e a habilitar a Fiscalização a efectuar a análise de conjunto da situação da Empreitada e a reportá-la ao Dono da Obra. Desta forma, competirá ao Director da Fiscalização implementar um sistema de recolha, tratamento e registo de informação do progresso dos trabalhos.

Desta forma, será possível a qualquer momento disponibilizar informações sobre:

- A percentagem do trabalho realizado;
 - Desvios entre as durações (datas de início e de fim);
 - Desvios verificados entre os meios previstos e os recursos efectivamente mobilizados.
 - Repercussões, a nível de prazos contratuais e Plano Previsional de Facturação, decorrentes dos desvios mencionados.
- Identificação e caracterização dos principais desvios verificados:

A identificação dos desvios deverá ser analisada nos seguintes moldes:

- A afectação real de recursos de mão-de-obra e equipamento por actividade e a sua comparação com o previsto;
- Os rendimentos reais obtidos na execução das actividades e a sua comparação com os rendimentos previstos; e
- As condições atmosféricas e o seu impacte no progresso dos trabalhos.

Após a identificação e análise dos desvios, e a determinação das suas causas e consequências, serão propostas, nas reuniões de obra, medidas para minimizar, eliminar ou compensar os desvios verificados.

- Actualização das estimativas de duração para os trabalhos ainda por realizar:

A Fiscalização deverá proceder à actualização do Plano de Trabalhos em vigor, com base na informação recolhida na obra, nomeadamente:

- Data real de início da actividade;
- Data real de fim de actividade;
- A percentagem (%) de trabalho realizado por actividade.

Após a recolha da informação anteriormente referida, consegue-se ao longo da obra, com o decorrer das diversas actividades, obter rendimentos efectivos, de modo a poderem ser comparados com os teóricos (previstos) do Plano de Trabalhos.

- Acompanhamento da implementação de medidas correctivas:

Na eventualidade de terem sido tomadas medidas correctivas no propósito do aumento dos recursos de mão-de-obra e equipamento, a verificação da implementação destas medidas estará a cargo dos elementos da equipa de Fiscalização presentes nas frentes de obra.

No caso do Empreiteiro não implementar as medidas acordadas ou solicitadas pelo Dono da Obra e/ou Fiscalização, a Fiscalização poderá proceder ao cálculo das respectivas multas, propondo ao Dono da Obra a sua aplicação.

5.2.4.2 Responsabilidade

A responsabilidade pela implementação deste procedimento é do Engenheiro Responsável pelo planeamento e avanço dos trabalhos, que faz parte da equipa de Fiscalização.

5.2.5 Gestão da Qualidade em Obra

Este procedimento tende a descrever os deveres estabelecidos em termos de definição de responsabilidades, planeamento, gestão e melhoria da Qualidade em obra, [28].

5.2.5.1 Definição de Responsabilidades

- **Dono da Obra:** é responsável por definir os requisitos mínimos de Gestão da Qualidade que pretende que sejam implementados na Obra em causa.
- **Fiscalização (Gestão da Qualidade):** a Fiscalização deverá elaborar o Plano de Gestão da Qualidade (PGQ) para a empreitada, tendo em consideração, o âmbito da Prestação de Serviços e os requisitos do Dono da Obra, no que respeita à Gestão da Qualidade. Compete à Fiscalização a verificação da conformidade dos Planos de Controlo da Qualidade (PCQ) do Empreiteiro/Consórcio, e também, através de acções sistemáticas de inspecção, acompanhar e verificar a implementação do PCQ, Planos de Inspeção e Ensaio/Monitorização e Medição, do Empreiteiro/Consórcio e respectivos registos da qualidade.
- **Empreiteiro/Consórcio:** O Empreiteiro/Consórcio deverá elaborar o respectivo PCQ, o qual deverá ir ao encontro das exigências do Dono de Obra e do Caderno de Encargos. Este Plano será validado pela Fiscalização e aprovado pelo Dono de Obra.

5.2.5.2 Planeamento da Qualidade

O planeamento da Qualidade rege os padrões de qualidade que a obra exige, cruzando-se com os outros processos de gestão da empreitada, nomeadamente:

- Arranque, Planeamento e Controlo de Empreitada;
- Gestão de Informação da Empreitada;
- Controlo de Quantidades e Custos;
- Controlo de Planeamento e Avanço dos Trabalhos;
- Gestão da Segurança em Obra;
- Gestão Ambiental em Obra.

É nesta fase, de arranque, planeamento e preparação dos trabalhos, que a Fiscalização recebe, para aprovação, a documentação do Empreiteiro sobre o planeamento e controlo, mais precisamente:

- Plano de Trabalhos;
- Plano da Qualidade;
- Planos de Inspeção e Ensaio / Planos de Monitorização e Medição;
- Plano de Gestão Ambiental;
- Complementos ao Plano de Segurança e Saúde (que deverá ser aprovado pelo Coordenador de Segurança);
- Listagem dos Processos Construtivos e planeamento da entrega dos mesmos;
- Listagem dos materiais e planeamento da entrega dos processos de aprovação.

5.2.5.3 Gestão da Qualidade

A gestão da qualidade dos trabalhos será assegurada fundamentalmente através do controlo das seguintes actividades:

- Aprovação e recepção de materiais;
- Aprovação de processos construtivos;
- Não conformidades em obra;
- Controlo dos dispositivos de monitorização e medição (DMM's);
- Auditorias (externas e internas);
- Controlo de registos;
- Verificação topográfica;
- Controlo de planos de monitorização e medição (PMM's);
- Controlo de planos de inspeção e ensaio (PIE's);

5.2.5.4 Melhoria da qualidade

A melhoria da eficácia do sistema de gestão resultará do cumprimento dos pontos anteriormente abordados, bem como através da análise:

- De dados;
- Das acções correctivas e/ou preventivas;
- Dos relatórios de auditorias.

5.2.5.5 Recepção provisória

Aquando da Recepção Provisória é realizada uma vistoria para a identificação dos trabalhos ainda em falta, elaborando-se uma lista para vistoria preliminar da obra, entre a Fiscalização e o Empreiteiro.

5.2.5.6 Responsabilidade

A responsabilidade de implementação deste procedimento é do Director da Fiscalização e do Técnico de Gestão da Qualidade.

5.2.6 Gestão da Segurança em Obra

O procedimento de Gestão da Segurança em Obra rege-se pelo DL 273/2003, e visa descrever a metodologia das medidas de prevenção da segurança em obra a aplicar pela Entidade Executante, face aos métodos/processos construtivos.

5.2.6.1 Procedimento

As medidas preventivas a adoptar estarão de acordo com os processos construtivos, e serão implementadas pelo Empreiteiro, sendo, no entanto, sempre submetidas à aprovação do Coordenador de Segurança em Obra. À posteriori, e se estas reunirem as condições suficientes para que os trabalhos corram com normalidade, serão aprovadas pelo Dono de Obra.

Estará por conta do Empreiteiro transmitir aos trabalhadores as acções a tomar através de formações, e por conta do Coordenador de Segurança comunicar à Fiscalização as medidas a tomar, para serem implementadas.

Prevenção de acidentes de trabalho:

Para que as acções preventivas obtenham resultados positivos, deve-se ter em conta:

- Formação e sensibilização;
- Divulgação de normas e procedimentos de segurança;
- Organização da segurança no estaleiro.

Comissão de Segurança em Obra:

A Comissão de Segurança em Obra é chefiada pelo Coordenador da Segurança em Obra (CSO), designado pelo Dono de Obra, e constituída por representantes do Dono de Obra, da Fiscalização e do Empreiteiro.

Esta Comissão, através de visitas regulares às frentes de obra, irá verificar, analisar e emitir pareceres sobre a implementação das medidas preventivas e, caso se detectem falhas, tem como objectivo definir responsáveis para corrigir ou minimizar as situações de perigo/risco.

A Comissão tem o poder de, a qualquer momento, caso se justifique, suspender imediatamente os trabalhos até que se reponham as condições de segurança.

Manual de Gestão da Segurança e Saúde no Trabalho (MGSST):

O Manual de Gestão da Segurança e Saúde no Trabalho é o documento no qual se descrevem as acções a implementar com o intuito de se cumprirem as normas de segurança e os requisitos legais.

Este manual, após analisado por um Técnico de Segurança, será validado pelo Director de Segurança e submetido à aprovação do Dono de Obra.

O manual poderá ser a qualquer momento rectificado, caso haja alterações ao projecto e consequentes mudanças nos processos construtivos, e haja alterações nos documentos contratuais.

Medidas a tomar em caso de acidentes de trabalho:

Face a um acidente de trabalho, grave ou mortal, devem de imediato ser tomadas as seguintes medidas, pelo encarregado da frente de trabalhos (no caso de obras públicas):

- Suspender os trabalhos dessa frente;
- Contactar o seu técnico de segurança, que por sua vez informará o seu superior hierárquico, Director da Fiscalização e o Coordenador de Segurança em Obra;
- Vedar toda a zona do acidente, garantindo que as condições em que este ocorreu permaneçam inalteradas;
- Facilitar o acesso de meios de primeiros socorros, ou viaturas de emergência em caso de necessidade;
- Tomar todas as acções para que situações similares não se repitam;

- Participação do acidente à IGT num prazo máximo de 24 horas.

5.2.6.2 Índices de sinistralidade

O Empreiteiro, todos os meses, envia à Fiscalização os dados referentes à sinistralidade, tendo esta como missão calcular os índices de sinistralidade, apresentando-os depois ao Dono de Obra e ao Coordenador de Segurança em Obra.

5.2.6.3 Controlo diário de segurança em obra e Não Conformidades em Obra

O controlo diário de segurança em obra é da responsabilidade dos técnicos de segurança (quer do Empreiteiro, quer da Fiscalização), que efectuem visitas diárias às frentes de obra. Quando for detectada uma situação não conforme, será elaborada uma Não Conformidade em Obra por parte dos técnicos de segurança da Fiscalização.

5.2.6.4 Interfaces

Para que a segurança em obra se coadune com os níveis pretendidos pelas diversas entidades, apresenta-se, na *Figura 5.1*, um esquema representativo de articulação entre as partes envolvidas.

5.2.6.5 Plano de Emergência

O Plano de Emergência é um documento elaborado pelo Empreiteiro, e deverá identificar as situações de emergência possíveis de acontecer no decorrer da obra e que possam originar situações de perigo. Este documento também deverá possuir informação relativa a contactos de emergência, responsabilidades dos intervenientes, o modo de actuar e os equipamentos a utilizar e terá de ser do conhecimento da Protecção Civil, Bombeiros e PSP/GNR.

5.2.6.6 Responsabilidade

A responsabilidade pelo cumprimento da segurança em obra, encontra-se repartida da seguinte forma:

- A Fiscalização é responsável pela verificação e implementação das medidas preventivas, sendo a responsabilidade pelo cumprimento deste procedimento do Director da Fiscalização e dos Técnicos de Segurança da Fiscalização.
- As obrigações do Coordenador de Segurança em Obra encontram-se descritas no art. 19º do DL 273/2003 de 29 de Outubro, [69].
- As responsabilidades incumbidas ao Empreiteiro encontram-se descritas no art. 20º do DL 273/2003 de 29 de Outubro, e no art. 120º Lei 99/2003 de 27 Agosto – Código do Trabalho, [69].
- As obrigações do Dono de Obra encontram-se descritas no art. 17º do DL 273/2003 de 29 de Outubro, [69].

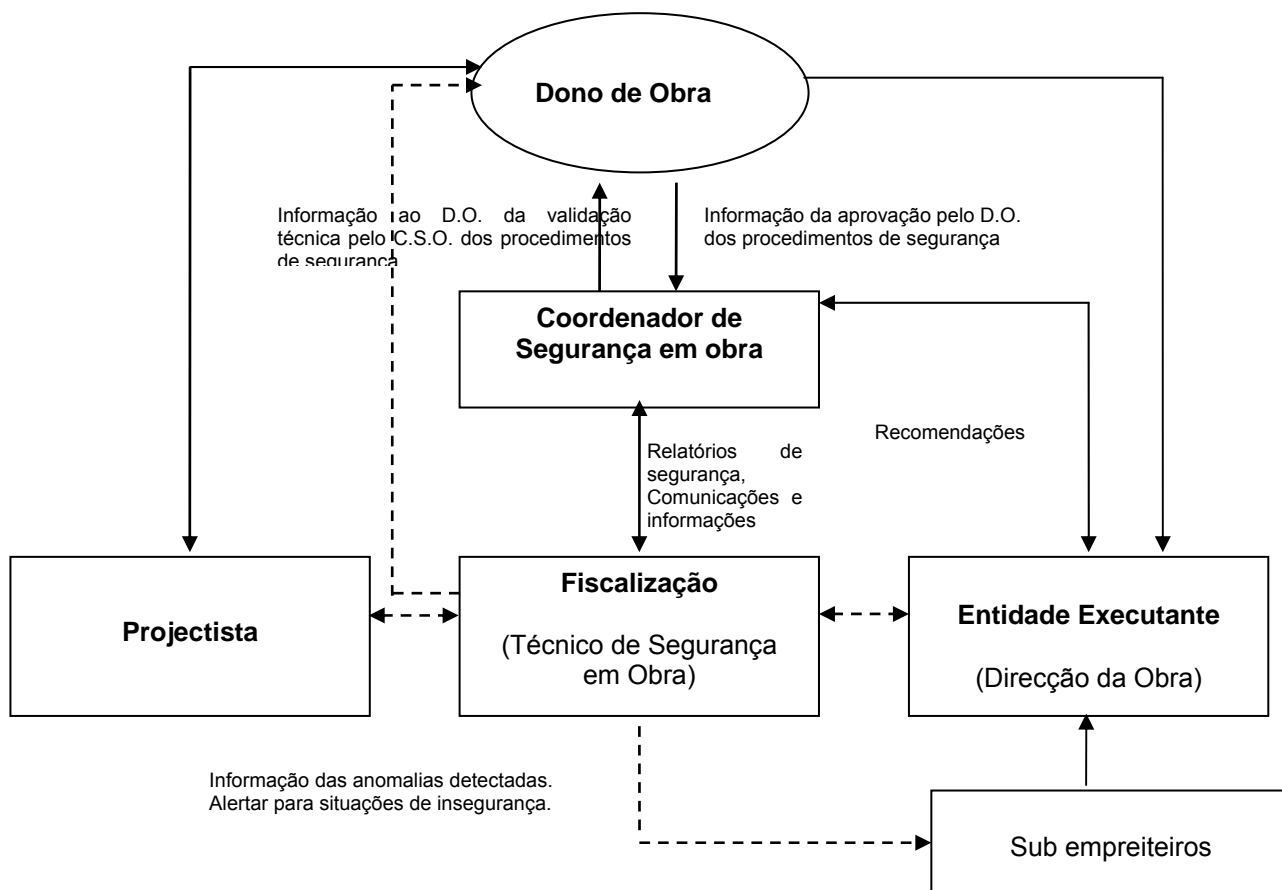


Figura 5.1 – Articulação entre as diversas entidades

5.2.7 Gestão Ambiental em Obra

A Gestão Ambiental tem como objectivo definir e implementar os processos de planeamento, execução e conclusão da obra relativamente a aspectos ambientais, [28].

5.2.7.1 Procedimento

Manual de Gestão ambiental:

O Manual de Gestão Ambiental consiste no documento que tem por base implementar na empreitada os processos adequados segundo a legislação, a Norma NP EN ISO 14001 (caso a empresa seja certificada) e os requisitos do Dono de Obra.

A elaboração deste manual estará ao cargo do Técnico Ambiental da Fiscalização (aprovado pelo Dono de Obra) e deverá ser aprovado pelo Director da Fiscalização, sendo posteriormente submetido à aprovação do Dono de Obra (de acordo com o Caderno de Encargos).

Este manual poderá ser alterado se um dos seguintes itens o exigir:

- Alteração ou adaptação dos procedimentos ou dos métodos de trabalho;
- Alteração do âmbito dos serviços a prestar;
- Alterações aos documentos contratuais;
- Alterações decorrentes da evolução do projecto.

Inspeção Ambiental:

As inspeções ambientais são da inteira responsabilidade do Técnico Ambiental, sendo sempre comunicadas ao Empreiteiro com uma antecedência mínima de 48 horas.

Após a inspeção, se forem detectadas situações não conformes, será elaborada uma Não Conformidade em Obra.

5.2.7.2 Responsabilidade

A responsabilidade pelo cumprimento deste procedimento é do Director da Fiscalização e do Técnico Ambiental.

5.3 Fiscalização da obra do Túnel Ferroviário do Rossio

5.3.1 Introdução

A Fiscalização teve um contributo bastante importante no desenrolar da obra, uma vez que permitiu melhorar e acelerar o ritmo da mesma, e otimizar a produção com altos níveis de qualidade.

A evolução positiva do controlo da qualidade observada teve por base os seguintes aspectos:

- Estudos e análises sobre as técnicas construtivas, com o intuito de serem utilizados os processos construtivos mais adequados, tendo em conta a constituição dos terrenos no sentido de se otimizarem os índices de rendimento dos trabalhos;
- Avaliação exaustiva dos materiais e equipamentos utilizados: através de uma alocação minuciosa e cuidada dos equipamentos, conseguiu-se verificar em que frentes se estavam a utilizar de um modo eficaz os mesmos, colmatando desvios ao nível do uso destes, tanto a nível de custos como a nível de má gestão dos recursos, permitindo minimizar perdas de tempo, bem como ganhar terreno para possíveis contratempos; a correcta escolha dos materiais permitiu, com a conjugação do projecto, que a execução em obra fosse bem efectuada, garantindo-se, assim, que a realização dos trabalhos fosse cumprida conforme o planeado;
- Análise e controlo do planeamento: esta ferramenta foi bastante útil, uma vez que através dela se conseguiu verificar em que frentes e em que actividades se estava a perder e ganhar tempo face ao previsto, permitindo, assim, gerir melhor o tempo, ou seja, o tempo perdido em algumas actividades pôde ser recuperado em outras actividades; esta ferramenta facilitou também a análise exaustiva e comparativa dos rendimentos teóricos e reais do desenrolar das diversas actividades nas diversas frentes de trabalho, conseguindo-se, assim, saber quais as equipas de acordo com o número de mão-de-obra, recursos de equipamentos e tipo de terreno estavam a avançar de um modo positivo, de maneira, a se tirar conclusões para se corrigir os locais com menores rendimentos;
- Ponte de interligação entre o Empreiteiro, Dono de Obra e Projectista sobre alterações ao projecto, ou modificações nos processos construtivos e alteração de materiais: este item é bastante importante, porque nem tudo em obra decorre conforme o esperado, devido às análises dos terrenos serem efectuadas em amostras e não na globalidade, e por os materiais que se julgam ser os mais adequados, por vezes, não serem os que oferecem melhores tratamentos; assim, conforme o avanço dos trabalhos e todas as análises já referidas anteriormente, a Fiscalização serviu de interligação entre o Empreiteiro e o Projectista, de modo a se chegar a acordos ao nível de possíveis alterações de materiais ou de processos construtivos, com o objectivo do cumprimento dos prazos da obra, sem que

nunca se colocasse em causa os níveis de qualidade que a obra exigia, bem como os respectivos custos. Como exemplo desta interligação, foi a alteração ao projecto ao nível da montagem e colocação das vigas de reacção (*ver página 121*).

Após os aspectos referidos anteriormente, passa-se a mencionar alguns casos práticos sucedidos na obra, que demonstram que se a Fiscalização, Empreiteiro, Projectista e Dono de Obra trabalharem em harmonia, os níveis de qualidade da obra melhoram, bem como o andamento da mesma.

5.3.2 Controlo de parâmetros geométricos

À medida do decorrer da obra, foram feitos levantamentos e efectuadas monitorizações periódicas (diárias), tanto à superfície como nos hasteais e abóbada.

Estes levantamentos permitiram estudar o comportamento do túnel ao nível das deformações e das convergências.

Com estes procedimentos, e após análises dos dados resultantes, foram tomadas medidas de prevenção, nomeadamente injeções de consolidação de terreno (assentamentos) e travamentos de soleiras através de pregagens ou aplicação de betão ao nível da soleira (convergências).

Para dar maior expressão ao referido anteriormente, apresentam-se de seguida alguns exemplos:

- Pk [0+250 ; 0+260]

Analisaram-se os assentamentos verificados à superfície nas régua topográficas, de modo a controlar os riscos para os edifícios localizados sobre o túnel, devidos aos trabalhos efectuados no seu interior.

No troço em estudo, os assentamentos verificados começaram a ter importância relevante, quando atingiram os 17 mm, no dia 12 de Abril aproximadamente, uma vez que o valor de alerta de projecto era de 20 mm [30]. Assim sendo, foi necessário recorrer a técnicas de consolidação para o maciço, de modo a inverter a tendência dos assentamentos. A solução adoptada recaiu sobre injeções de consolidação com calda de cimento. Estas injeções realizaram-se entre os dias 18 de Abril e 9 de Maio. Após a realização das injeções, o maciço continuou a movimentar-se, situação previsível, uma vez que o mesmo tem sempre um tempo de adaptação às novas condições. Uma semana depois do término deste tratamento, os assentamentos começaram a diminuir, constando-se assim, que as injeções tiveram um efeito positivo no assentamento do maciço (*Figura 5.2*).

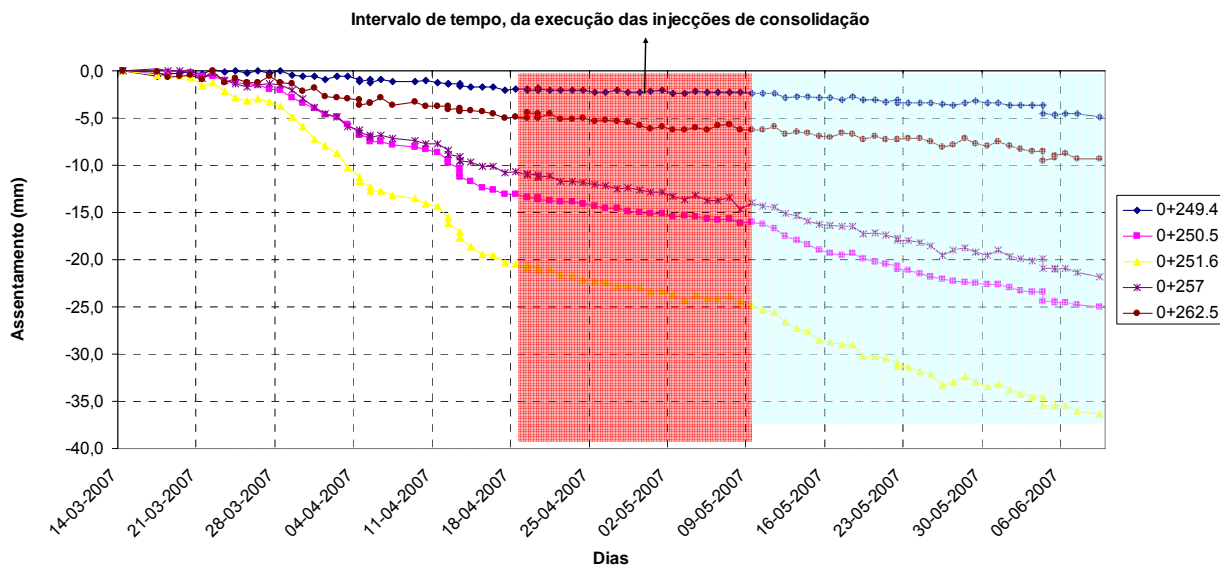


Figura 5.2 – Assentamentos verticais das réguas topográficas entre os Pk [0+250;0+260]

- Pk [0+320 ; 0+360]

Entre os dias 14 de Junho e 19 de Julho, sensivelmente, o assentamento máximo verificado foi da ordem dos 45 mm. Uma vez que o recobrimento neste troço é relativamente superior, faz com que o nível de alerta para os assentamentos seja menos conservativo (face à situação anterior - Pk [0+250 ; 0+260]), fixando-se nos 44 mm [30]. Assim sendo, apenas a 24 de Julho se deu início aos trabalhos de injeções de consolidação do maciço, terminando a 29 de Julho. Constata-se através do gráfico, *Figura 5.3*, que após o tratamento os assentamentos começaram a diminuir, embora a um ritmo lento, devido ao ajustamento do mesmo às novas condicionantes.

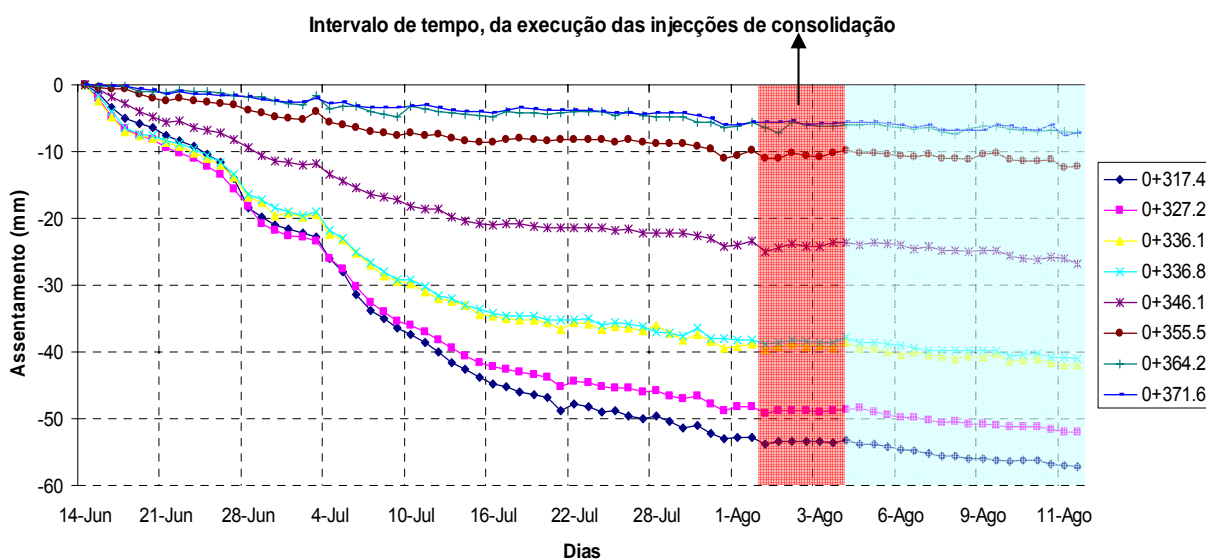


Figura 5.3 – Assentamentos verticais das réguas topográficas entre os Pk [0+320;0+360]

- Pk [0+325 ; 0+345]:

Neste troço, as leituras foram realizadas no interior do túnel, medindo-se os deslocamentos, tanto dos hasteais (alvo 0 e 1) como da abóbada (alvo 2). Deste modo, foi possível fazer um acompanhamento das convergências das paredes do interior do túnel (*Figura 5.4*).

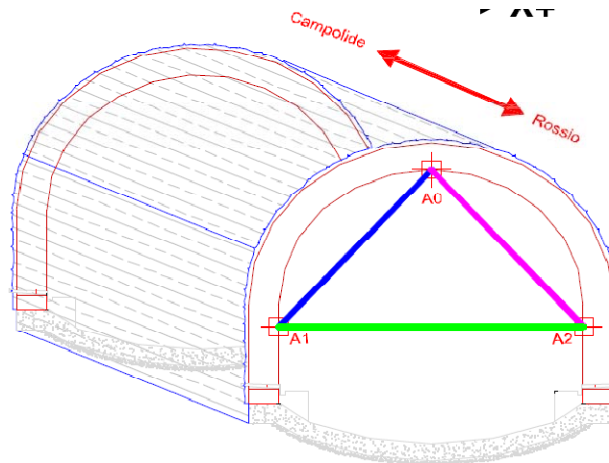


Figura 5.4 – Localização dos alvos topográficos

Nos gráficos das *Figuras 5.5 e 5.6* estão representados os deslocamentos entre os hasteais e a abóbada, juntamente com os níveis de alerta (15 mm) e de alarme (20 mm).

Como se pode verificar através dos gráficos, os deslocamentos a partir do dia 1 de Julho, aproximadamente, começaram a atingir valores próximos do nível de alerta (aumento da distância entre os hasteais, e entre a coda hasteal/abóbada), sendo necessário se solucionar este problema de modo a inverter esta tendência.

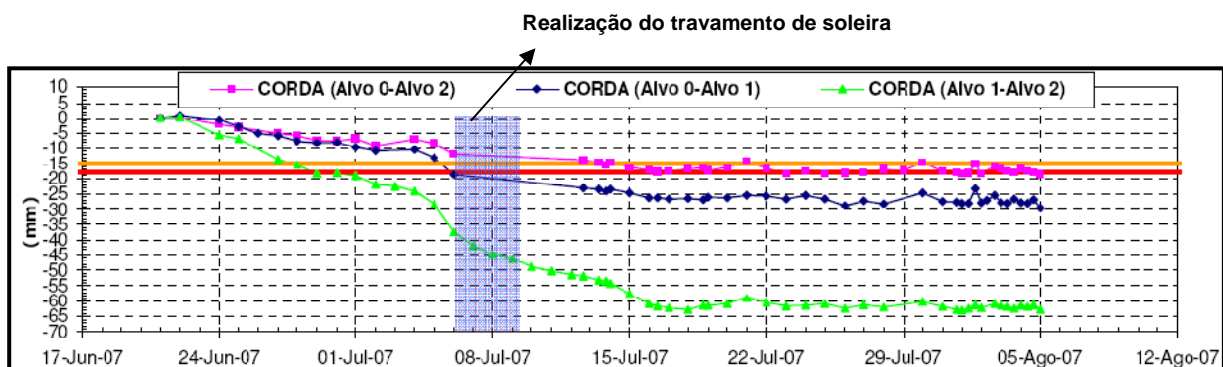


Figura 5.5 – Convergências dos alvos ao Pk 0+325 [31]

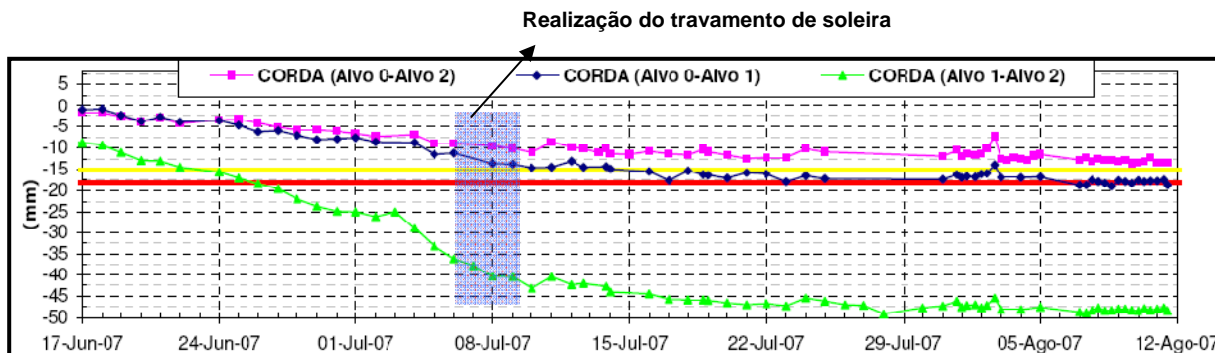


Figura 5.6 – Convergências dos alvos ao Pk 0+345 [31]

A solução preconizada incidiu sobre a realização de pregagens nos hasteais, solidarizadas através de soldadura a perfis duplos UNP, e aplicação de betão ao nível da soleira (Figura 5.7 e 5.8). A solidarização das pregagens aos perfis duplos UNP teve como função de fazer com que todos os elementos funcionassem em bloco, ou seja, como um todo.



Figura 5.7 – Perfis UNP duplos solidarizados às pregagens - 1



Figura 5.8 – Perfis UNP duplos solidarizados às pregagens - 2

Este tratamento foi efectuado entre os dias 8 e 11 de Julho, e teve um efeito bastante positivo, permitindo conter os deslocamentos, tal como se pode verificar através do gráfico a partir do dia 15 de Julho (os deslocamentos mantiveram-se praticamente constantes).

5.3.3 Análise dos processos construtivos

Com o decorrer da execução da obra, foi possível através da percepção diária do funcionamento das diversas actividades, juntamente com as análises dos rendimentos e quantidades executadas do departamento do planeamento, analisar os processos construtivos em curso.

Deste modo, foi possível realizar alterações de forma a que determinadas actividades fossem realizadas com uma maior qualidade, optimizando o tempo de execução, custos e recursos afectados às mesmas.

Para que estas observações fossem efectuadas em harmonia, o *know-how* dos empreiteiros, os equipamentos/recursos de mão-de-obra e a vigilância da fiscalização foram preponderantes.

Com base nos pressupostos referidos anteriormente, referem-se de seguida algumas situações em que considerando as condições específicas em obra, disponibilidade de equipamento e *know-how* do empreiteiro, se tentou rentabilizar ao máximo as actividades:

- Enfilagens
 - Nos avanços de enfilagens do Pk 0+350 em direcção ao Rossio, houve uma grande dificuldade na colocação do Posicionador, devido à “cabeça” deste ser muito alta, embatendo no cima da abóbada, inviabilizando a execução da furação com o ângulo correcto definido em projecto. Para resolver este problema, surgiram 2 soluções: *i*) utilizar um outro Posicionador que estava destacado noutra frente de ataque; *ii*) redefinir o ângulo de furação. A primeira solução foi claramente a mais viável, trocando os Posicionadores nas frentes de trabalho. No entanto, houve uma determinada altura, em que se encontrou este problema em duas frentes em simultâneo. Assim, foi necessário recorrer à análise da fiscalização (a nível construtivo), juntamente com o projectista (recalcular os esforços com o novo ângulo), para que o ângulo de furação fosse alterado, de modo a não haver frentes de trabalho paradas.
 - Em alguns troços, na execução da furação, verificou-se a existência de grandes vazios no terreno, o que inviabilizou a continuidade desta actividade, uma vez, que a enfilagem não ficaria na localização prevista, “*mergulhando*” então no terreno. Assim,

enquanto não fossem realizadas injeções de enchimento dos vazios não foi possível dar continuidade a este processo nesta frente de trabalho (entre os Pk 0+367 e Pk 0+573).

- Inicialmente, a injeção das enfilagens seria efectuada manchete a manchete, no entanto, devido às dificuldades encontradas foi alterado para a injeção directa (válvula na extremidade da armadura). As contrariedades encontradas foram: *i)* Em virtude da furação ter sido efectuada com o recurso ao próprio tubo metálico munido de uma trialeta na extremidade, originou menores diâmetros de furação (armadura assenta directamente no maciço), e em consequência, menores recobrimentos. Deste modo, para que se pudesse injectar às manchetes, seria necessário aplicar uma pressão relativamente maior, o que poderia provocar deformações no maciço; *ii)* A difícil centralização do obturador face a localização das manchetes no tubo metálico originou que estas nem sempre fossem abertas, impossibilitando a injeção da calda. Com a execução da solução adoptada, injeção de forma directa, o preenchimento do “cake” foi minimizado.
 - Através das análises dos mapas de balizamentos, dos rendimentos e quantidades executadas, o empreiteiro decidiu trazer para a obra mais um Posicionador de modo a aumentar o número de frentes de ataque na execução de enfilagens, e consequentemente recuperar os tempos perdidos de várias equipas nas actividades intrínsecas a esta, nomeadamente a montagem de cambotas, aplicação de betão projectado, execução de microestacas e vigas de reacção. Assim, além de recuperar os atrasos que existiam nas diversas frentes, conseguiu-se reordenar as equipas, de forma a não haver “tempos mortos” e a aumentar os rendimentos das mesmas.
- Pregagens
 - Após uma análise na frente de obra por parte do empreiteiro, este sugeriu que nas pregagens que intersectassem argilas muito compactas e onde não se conseguisse injectar as manchetes, se realizasse apenas a injeção de selagem, mas a uma pressão mais elevada, máximo de 6 bar, de maneira a que a calda não criasse grande tensão nas fendas existentes, por forma a não originar a percolação de água pelo maciço. Esta observação teve a aceitação da Fiscalização e do Projectista, desde que fosse garantida a carga de serviço prevista em projecto.
 - Em alguns troços, na execução da furação, verificou-se a existência de grandes vazios no terreno (tanto ao nível dos hasteais como da abóbada) que inviabilizou a continuidade desta actividade, uma vez que a pregagem não tomava a inclinação devida. Assim, enquanto não fossem realizadas injeções de enchimento dos vazios

não foi possível dar continuidade a este processo nesta frente de trabalho (entre os Pk 0+367 e Pk 0+573).

- O planeamento, uma vez mais, foi bastante útil para rentabilizar e otimizar os processos e os equipamentos afectos a esta actividade. Inicialmente, existiam 2 TAMROCK (equipamento de furação de pregagens), e após várias análises, constatou-se que seria necessário mais um equipamento de furação de modo a retirar a maior eficiência das equipas afectas ao processo construtivo das pregagens (*o aumento do número de equipamentos e de recursos nem sempre origina acréscimos significativos nos rendimentos e minimização de prazos*).
- Montagem de Cambotas
 - Ao longo da aplicação de betão projectado para preenchimento dos espaços entre as cambotas, o empreiteiro, pela sua experiência em outras obras e por vários problemas nos robots de projecção, sugeriu que a adição das fibras metálicas ao betão fosse realizada na central, de modo a proporcionar uma melhoria da homogeneização do betão e prevenindo o entupimento dos equipamentos de projecção. Este procedimento foi aprovado pela fiscalização, em virtude do mesmo aumentar os rendimentos (o tempo perdido na adição *in situ* seria anulado) e a qualidade do betão seria melhor. Este processo seria também proveitoso, por evitar os inúmeros casos de paragens da actividade já verificados por avarias do robot de projecção.
- Roçadora
 - O facto de a roçadora ser um equipamento bastante invulgar no mercado, tornou complicado fazer a manutenção da mesma, principalmente, quando as peças eram danificadas: correias, o turbo, etc. Esta dificuldade advinha das peças serem oriundas de Espanha, o que originava sempre um tempo de espera de 2 a 3 dias, ficando este equipamento inutilizado.
- Soleiras
 - Na montagem de armaduras, na execução das soleiras, o empreiteiro optou pela elaboração de cavaletes para delimitar a localização dos varões, à medida que o topógrafo fazia a análise. Esta solução acabou por não ser a mais eficiente a nível da qualidade da montagem da armadura (porque os varões por vezes soltavam-se dos cavaletes aquando da betonagem, além de não serem moldados convenientemente). No entanto, verificou-se que era mais viável ao nível da duração da sua montagem,

uma vez que a outra solução (moldar a armadura no estaleiro, e pintar nos varões a sua localização na soleira) seria inviabilizada através do transporte da armadura para dentro do túnel nas frentes de ataque, devido à falta de espaço de movimentação dos camiões que as transportavam.

O empreiteiro, em diversas ocasiões, optou por enviar mais equipas de trabalho e, sobretudo, mais equipamentos, para que houvesse menos tempos “mortos” nas diversas frentes de trabalho, aumentando os rendimentos e, assim, a rapidez de execução dos troços. Estas situações verificaram-se sobretudo ao nível de:

- Enfilagens: 1 Posicionador (total de 3) e uma equipa completa relacionada com a actividade;
- Pregagens: acréscimo de uma TAMROCK (total de 3) e uma central, um manobrador e uma equipa de injeção;
- Cambotas: 1 Roçadora (existia inicialmente apenas uma); as equipas mantiveram-se, uma vez que já havia 2;
- Soleira: mais equipas relacionadas com a aplicação do sistema de impermeabilização, montagem de armaduras e betonagem.

As soluções de projecto nem sempre são as mais exequíveis em obra, devido a diversos factores. Esses factores estão normalmente relacionados com os meios e equipamentos disponíveis em obra, condições do terreno, condições climatéricas e atmosféricas, bem como com as consequências e evoluções da execução dos trabalhos.

Assim, por vezes foi necessário proceder-se a alterações, algumas vezes definitivas, outras vezes pontuais, tanto a nível da execução dos processos construtivos, como ao nível dos equipamentos afectos à obra.

Deste modo, enumeram-se alguns dos problemas encontrados no desenrolar da obra, em que existiu a necessidade de alterar algumas das soluções:

- No projecto, inicialmente, estava previsto que todas as enfilagens fossem injectadas manchete a manchete após a injeção de selagem (envolvimento do tubo de enfilagem com calda), de modo a garantir que a o bolbo de injeção fosse garantido. No entanto, em virtude do longo tempo de execução de processo (dia e meio), fizeram-se ensaios prévios, com o intuito de se saber se apenas a injeção de selagem garantia as condições de segurança exigidas. Uma vez que esta alteração reunia as condições de segurança (enfilagem

totalmente envolvida em calda), o processo da injeção das enfilagens foi alterado, tornando-se assim muito menos moroso (cerca de 40 minutos).

- Em determinadas zonas do maciço (exemplo: Pk 0+573), aquando da realização de enfilagens, deparou-se com a existência de vazios na abóbada, com um grande volume. Após uma análise da fiscalização, juntamente com o projectista, ficou acordado fazerem-se injeções de enchimento dos vazios. Posteriormente à injeção do enchimento dos vazios, retomaram-se os trabalhos de execução de enfilagens, tendo sido estes, novamente suspensos, em virtude do bit de furação que vinha a ser utilizado não se adaptar à resistência da calda injectada anteriormente. Assim, foi necessário, readaptar-se o bit de furação, de modo a se obterem os rendimentos desejados.
- Na montagem de cambotas, segundo o projecto, está intrínseco que estas devem ser posicionadas de modo a encostarem às enfilagens, permitindo a transmissão dos esforços. No entanto, nem sempre as enfilagens ficaram correctamente posicionadas, devido a problemas com os desvios na furação, tanto por se encontrarem vazios, como por vezes existir erro no ângulo de furação aplicado. Como o contacto físico da enfilagem com a cambota não se podia realizar devido à cota da enfilagem estar abaixo do previsto, surgiu a necessidade de se efectuarem cortes no tubo metálico da enfilagem, de modo, a permitir que a cambota fosse devidamente posicionada.
- Como já referido anteriormente, a qualidade, a manutenção ou a existência do número de equipamentos em obra nem sempre se coaduna com as necessidades da mesma. Este tipo de problemas, sobretudo as avarias dos equipamentos, foi várias vezes verificado e alertado pela Fiscalização, com o objectivo de existirem equipamentos de reserva nas frentes de obra. Após alguma relutância por parte do empreiteiro face a estas questões, este acabou por enviar para a frente de obra equipamentos sobressalentes, diminuindo assim os tempos perdidos. Estas avarias deram-se sobretudo nos equipamentos de projecção e nos vibradores.
- A escavação dos hasteais e abóbada, consoante as zonas, tinha avanços diferentes (0,80 m e 1,00 m). Nas zonas onde o avanço fosse de 80 cm, o manobrador da roçadora tinha grandes dificuldades em escavar o avanço definido em projecto devido às dimensões da ponteira da roçadora. Deste modo, foi necessário aumentar para 1,50 metros o avanço de escavação, de modo a permitir que o equipamento operasse.
- As vigas de reacção, segundo o projecto, eram posicionadas entre as cambotas e a ligação destas às microestacas era efectuada por um sistema de porcas. Devido às dificuldades encontradas, e ao facto de o processo ser demorado, o novo posicionamento das vigas de

reação passou a ser feito na zona do banzo da cambota (na frente dos perfis metálicos HEB), e a ligação às microestacas fez-se por soldadura.

- A escavação da soleira, em termos médios, era de 3,0 metros. No entanto, isto implicava um avanço efectivo na ordem de 2,0 metros. No entanto, este pormenor não foi tido em conta, levando a que se realizassem mais ciclos de execução de soleira. Desta forma, foi necessário rectificar o avanço autorizado para 4 metros, de modo a ficarem disponíveis 50 cm para cada lado da escavação, por forma a permitir a colocação dos painéis de cofragem. Outra das vantagens desta alteração foi também facilitar a acção do manobrador da retroescavadora, que antes tinha grandes dificuldades em escavar sem danificar o sistema de impermeabilização.

6 CONCLUSÕES

O presente trabalho pretende contribuir para um melhor conhecimento dos processos construtivos utilizados na execução de túneis, nomeadamente, as metodologias aplicadas à reabilitação do Túnel Ferroviário do Rossio. Tem também como objectivo abordar as funções da Fiscalização, e o papel que esta mesma entidade teve no desenrolar desta obra.

Dado que, hoje em dia, a área da construção civil em Portugal é um dos sectores de actividade com maior peso na economia nacional, realizando-se avultados investimentos para a modernização do país, é necessário a existência de entidades que fiscalizem a qualidade das obras executados, e que procedam ao controlo dos investimentos, de modo a não existir derrapagens.

A obra de Consolidação, Reforço e Reabilitação do Túnel Ferroviário do Rossio foi alvo de um investimento muito grande, sendo essencialmente de carácter geotécnico. Assim sendo, para que a obra fosse realizada de acordo com os pressupostos do projecto, existiu uma equipa de Fiscalização que desempenhou, de um modo genérico, as seguintes funções:

- Arranque, Planeamento e Controlo da Empreitada;
- Gestão de Informação da Empreitada;
- Controlo de Quantidades e Custos;
- Controlo de Planeamento e Avanço dos Trabalhos;
- Gestão da Qualidade em Obra;
- Gestão da Segurança em Obra;
- Gestão Ambiental em Obra.

Vistas as funções da Fiscalização, salienta-se de seguida os aspectos em que esta foi importante no decorrer da obra:

- O principal papel da Fiscalização foi o de controlar os trabalhos desenvolvidos durante a obra, de modo a fazer cumprir o projecto de execução com os níveis de qualidade desejados;
- Encontrar e/ou debater soluções juntamente com o Empreiteiro para situações imprevistas, foi outro factor relevante no âmbito das funções da Fiscalização na empreitada. Conjecturas

inesperadas alvo de análise foram, por exemplo, as sobreescavações de hasteais, abóbada e soleiras; enfilagens mal posicionadas, em virtude de vazios existentes no maciço ou de terrenos diferentes dos espectáveis;

- A análise aos rendimentos das equipas (mão-de-obra e equipamentos) das várias frentes também foi um factor muito valorizado, tendo permitido cumprir os prazos da empreitada. Estes estudos dos índices de produtividade das equipas foram efectuados nas várias frentes de trabalho, comparando-se os rendimentos previstos com os reais, de modo a rectificar as cargas de pessoal e/ou equipamentos, bem como a alteração de processos construtivos menos adequados para as actividades em curso;
- A Fiscalização analisou os dados recolhidos no decorrer da obra pelo programa de instrumentação e monitorização, executado pelo Empreiteiro. Controlou-se, assim, os assentamentos e deslocamentos, por forma a que os trabalhos de reabilitação, reforço e consolidação fossem realizados com segurança, tendo também a preocupação com os edifícios existentes à superfície;
- Outro aspecto importante foi o controlo para a prevenção de acidentes de trabalho, lesões e doenças relacionadas com o mesmo. Este factor de prevenção é relevante no sentido em que, além de se reduzirem os custos, também se contribui para o aumento do desempenho e produtividade dos trabalhadores da empreitada;
- A realização de vistorias aos equipamentos e o estudo destes face ao ambiente de trabalho, foi de cariz marcante, de modo a adequar convenientemente estes às necessidades dos processos construtivos, assegurando-se assim, não só a manutenção dos equipamentos, bem como a laboração, aumentando consequentemente os rendimentos.

Durante o decorrer da obra foram evidenciadas diversas dificuldades de execução de alguns dos processos construtivos, que tiveram que ser ou corrigidos, ou precedidos de outros trabalhos de modo a poder dar o melhor seguimento aos mesmos. Das contrariedades que ocorreram destacam-se as seguintes:

- Na execução de pregagens, encontrou-se muitas vezes vazios no maciço, levando a que a inclinação das pregagens fosse alterada. Deste modo, foi necessário recorrer a injeções de consolidação no maciço, para enchimento do mesmo, por forma a se realizar as pregagens conforme preconizado no projecto;
- Inicialmente, a injeção das enfilagens seria efectuada manchete a manchete. No entanto, devido às dificuldades encontradas, o processo foi alterado para a injeção directa (válvula na extremidade da armadura). As contrariedades encontradas foram: i) Em virtude da furacão ter sido efectuada com o recurso ao próprio tubo metálico munido de uma trialeta na

extremidade, originou menores diâmetros de furação (armadura assenta directamente no maciço), e em consequência, menores recobrimentos. Deste modo, para que se pudesse injectar as manchetes, seria necessário aplicar uma pressão relativamente maior, o que poderia provocar deformações no maciço; ii) A difícil centralização do obturador face a localização das manchetes no tubo metálico originou que estas nem sempre fossem abertas, impossibilitando a injeção da calda. Com a execução da solução adoptada, injeção de forma directa, o preenchimento do “cake” foi minimizado.

- Na aplicação de betão projectado com fibras metálicas, no processo de montagem de cambotas metálicas definitivas, verificou-se, por vezes, dificuldade em se preencher a alma dos perfis com betão, bem como o espaço entre a cambota e a abóbada. Para a execução deste tipo de trabalho, a única solução seria arranjar cambotas metálicas treliçadas (varão de aço), de modo à projecção de betão poder se espalhar de um modo mais simples. No entanto, a utilização deste tipo de peças, além de ser menos económicas, exige maiores tempos de mão-de-obra para a sua materialização;
- As vigas de reacção, inicialmente, eram para ser materializadas entre as cambotas metálicas. No entanto, devido à morosidade e dificuldade do processo, foi adoptada a solução de as colocar no banzo interior do perfil HEB (virado para o centro do túnel), soldadas a este através de esquadros (*ver Figura 6.31*);
- Com a monitorização do túnel, foram detectados assentamentos verticais na abóbada, levando que se tomassem precauções. A solução preconizada foi de se realizar injeções de consolidação com calda de cimento que, posteriormente, se provou que foram eficazes;
- Outro aspecto importante do plano de instrumentação e observação, foi o facto de se poder controlar as convergências. Assim sendo, foi necessário executar pregagens nos hasteais, solidarizadas a perfis UNP de modo a funcionar como um bloco, e de aplicação betão para travamento da soleira.

Com base nos pressupostos atrás descritos, afirma-se que a existência de uma equipa de Fiscalização na coordenação e no acompanhamento dos projectos elaborados por um leque de diversos especialistas é, cada vez mais, solicitada e justificada, sobretudo em grandes obras com prazos limitados e que, de uma maneira geral, vêem as suas consequências remetidas para a fase de construção. Há, portanto, que minimizar os problemas em fases posteriores, nomeadamente através de uma coordenação prévia e eficiente dos projectos. A probabilidade de coincidência destes factores, e da ocorrência de imprevistos é ainda maior quando se trata de obras de reabilitação e/ou geotécnicas, pelo facto de se trabalhar com o material “solo”, que não é fabricado por nós, que é heterogéneo e cuja caracterização não é simples.

7 BIBLIOGRAFIA

[1] – ALMEIDA E SOUSA, Jorge N. Veiga de (1998); “*Túneis em maciços terrosos – comportamento e modelação numérica*”; Tese de doutoramento, Universidade de Coimbra, Portugal.

[2] – www.metro.sp.gov.br; Novembro de 2008.

[3] – www.eurohinca.com; Novembro de 2008.

[4] – www.microtunnel.com/63_mapa.htm; Novembro de 2008.

[5] – BRANCO, Fernando; BRITO, Jorge de; “*Curso de Inspeção e reabilitação de construções em alvenaria de pedra*”; FUNDEC – IST.

[6] – ALMEIDA, Nuno Gonçalo M. de (2003); “*Técnicas de melhoramento de solos. Parte 1, Tratamentos térmicos – congelação artificial do terreno*”; Construlink.

[7] – www.geosonda.com.br/jet.php; Novembro de 2008.

[8] – “*Projecto de Intervenção e Reabilitação*” - Caderno de Informação da Direcção de comunicação e Imagem; 2007; Refer;

[9] – BARRETO, J.; “*Projecto de Consolidação, Reforço e Reabilitação do Túnel Ferroviário do Rossio – Memória Descritiva do Túnel e Saída de Emergência, Construção Civil*”; Abril de 2005; GRID, Consultas, Estudos e Projectos de Engenharia Lda.

[10] – Inspeção detalhada ao Túnel do Rossio; Relatórios nº 1 (18 de Novembro de 2004) e nº 2 (7 de Dezembro de 2004); Refer.

[11] – BARRETO, J.; “*Projecto de Consolidação, Reforço e Reabilitação do Túnel Ferroviário do Rossio – Desenho TUN-24: Escoramento provisório – Montagem e pormenores*”; GRID, Consultas, Estudos e Projectos de Engenharia Lda.: Abril de 2005.

[12] – BARRETO, J.; “*Projecto de Consolidação, Reforço e Reabilitação do Túnel Ferroviário do Rossio – Desenho TUN-54: Suporte primário tipo – secções*”; GRID, Consultas, Estudos e Projectos de Engenharia Lda.: Abril de 2005.

[13] – Site: www.sireg.it; 22 de Fevereiro de 2008;

[14] – Site: www.swellex.com; 22 de Fevereiro de 2008;

[15] – BARRETO, J.; “*Projecto de Consolidação, Reforço e Reabilitação do Túnel Ferroviário do Rossio – Desenho TUN-56: Revestimento Definitivo – Dimensionamento*”; GRID, Consultas, Estudos e Projectos de Engenharia Lda.; Abril de 2005.

[16] – BARRETO, J.; “*Projecto de Consolidação, Reforço e Reabilitação do Túnel Ferroviário do Rossio – Desenho TUN-58A: Revestimento Definitivo – Dimensionamento Secção S2*”; GRID, Consultas, Estudos e Projectos de Engenharia Lda.; Abril de 2006.

[17] – BARRETO, J.; “*Projecto de Consolidação, Reforço e Reabilitação do Túnel Ferroviário do Rossio – Desenho TUN-30: Escoramento provisório – montagem – tipo 5*”; GRID, Consultas, Estudos e Projectos de Engenharia Lda.; Abril de 2005.

[18] – BARRETO, J.; “*Projecto de Consolidação, Reforço e Reabilitação do Túnel Ferroviário do Rossio – Desenho TUN-31: Escoramento provisório – pormenores – tipo 5*”; GRID, Consultas, Estudos e Projectos de Engenharia Lda.; Abril de 2005.

[19] – BARRETO, J.; “*Projecto de Consolidação, Reforço e Reabilitação do Túnel Ferroviário do Rossio – Desenho TUN-29A: Escoramento provisório tipo 4, 4ª, 6 e 7 – montagem e pormenores*”; GRID, Consultas, Estudos e Projectos de Engenharia Lda.; Setembro de 2005.

[20] – Procedimento específico aprovado pela Fiscalização (DHVFBO Consultores S.A.); “*Processo Executivo – Pregagens*”; Tecnasol FGE; Janeiro de 2007.

[21] – BARRETO, J.; “*Projecto de Consolidação, Reforço e Reabilitação do Túnel Ferroviário do Rossio – Desenho TUN-35: Zona de Enfilagens – “Guarda-chuva” simples – corte longitudinal e secções*”; GRID, Consultas, Estudos e Projectos de Engenharia Lda.; Abril de 2005.

[22] – BARRETO, J.; “*Projecto de Consolidação, Reforço e Reabilitação do Túnel Ferroviário do Rossio – Desenho TUN-32: Zona de Enfilagens – “Guarda-chuva” simples – perspectivas*”; GRID, Consultas, Estudos e Projectos de Engenharia Lda.; Abril de 2005.

[23] – Procedimento Operacional - Impermeabilização; Sotecnisol; Abril de 2007;

[24] – ESTAFFANÍA PUEBLA, S. (1997). “*Revestimento con hormigón y dovelas*”. Manual de túneles y obras subterráneas. Ed. C. López Jimeno. Entorno Grafico, S.L. Madrid. pp 625-652.

[25] – Procedimento Operacional - Limpeza de alvenaria por via húmida; Mota-Engil/Zagope/Ferrovias; Junho de 2007.

- [26] – Decreto-Lei Nº 59/99, de 2 de Março – Novo regime das Empreitadas de Obras Públicas.
- [27] – Decreto-lei Nº 6 / 2004, de 6 de Janeiro – Novo regime de revisão de preços das empreitadas de obras públicas e de obras particulares e de aquisição de bens e serviços.
- [28] – *Plano de Qualidade – Túnel do Rossio*, DHVFBO, Consultores SA; 2005.
- [29] - Decreto-Lei Nº 273/2003, de 29 de Outubro – Diploma de segurança e saúde no trabalho em estaleiros temporários ou móveis.
- [30] - “*Projecto de Consolidação, Reforço e Reabilitação do Túnel Ferroviário do Rossio – Projecto de Instrumentação e Observação*”; Junho de 2007; GRID, Consultas, Estudos e Projectos de Engenharia Lda.
- [31] – “*Instrumentação - Leituras diárias*”; Tecnasol FGE; Setembro de 2007.
- [32] – Procedimento específico aprovado pela Fiscalização (DHVFBO Consultores S.A.); Processo Executivo - Enfilagens; Tecnasol FGE; Janeiro de 2007.
- [33] – Procedimento Operacional - Soleiras; Mota-Engil/Zagope/Ferrovias; Maio de 2007.
- [34] – Procedimentos específicos aprovados pela Fiscalização (DHVFBO Consultores S.A.).
- [35] – Processo Executivo - Microestacas; Tecnasol FGE; Janeiro de 2007.
- [36] – Processo Executivo – Escavação, demolição, cambotas e betão projectado; Tecnasol FGE; Janeiro de 2007.
- [37] – REFER (2007). Caderno de Encargos – Cláusulas Jurídicas e Particulares – Condições Técnicas Particulares – Caixa 01 – Processo de Consulta e Anexos – Projecto de Execução “Reabilitação do Túnel do Rossio”.
- [38] – REFER (2007). Caderno de Encargos – Condições Técnicas Especiais – Caixa 06 – Construção Civil Túnel e Saída de Emergência – Projecto de Execução “Reabilitação do Túnel do Rossio”.
- [39] – *Plano de Qualidade – Projecto Barcarena-Cacém*, Ferbritas, Empreendimentos Industriais e Comerciais, SA; 2008.

- [40] – LÓPEZ JIMENO, C.; GALERA FERNANDEZ, José Miguel (1997); “*Cap. 4 - Influencia de las condiciones geológicas del terreno en el diseño y construcción de túneles*”. Manual de túneles y obras subterráneas; Ed. C. López Jimeno. Entorno Grafico, S. L. Madrid. pp143-181.
- [41] – LÓPEZ JIMENO, C.; DÍAZ MÉNDEZ, Beatriz (1997); “*Cap. 5 – Clasificación de los terrenos según su excavabilidad*”. Manual de túneles y obras subterráneas; Ed. C. López Jimeno. Entorno Grafico, S. L. Madrid. pp183-210.
- [42] – TRABADA GUIJARRO, Jesús (1997); “*Cap. 6 – Excavación en terrenos blandos*”. Manual de túneles y obras subterráneas; Ed. C. López Jimeno. Entorno Grafico, S. L. Madrid. pp239-262.
- [43] – LÓPEZ JIMENO, C.; GARCÍA BERMÚDEZ, Pilar (1997); “*Cap. 7 – Excavación con minadores*”. Manual de túneles y obras subterráneas; Ed. C. López Jimeno. Entorno Grafico, S. L. Madrid. pp239-262.
- [44] – FERNÁNDEZ GONZÁLEZ, Ramón (1997); “*Cap. 8 – Excavación con máquinas integrales: topes y escudos*”. Manual de túneles y obras subterráneas; Ed. C. López Jimeno. Entorno Grafico, S. L. Madrid. pp265-286.
- [45] – LÓPEZ JIMENO, C. (1997); “*Cap. 10 – Métodos de excavación con perforación y voladura*”. Manual de túneles y obras subterráneas; Ed. C. López Jimeno. Entorno Grafico, S. L. Madrid. pp313-375.
- [46] – “*Curso sobre Túneis em meios urbanos; Sociedade*”; Sociedade portuguesa de geotecnia; Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra; Coimbra, 5 e 6 de Abril de 2001.
- [47] – “*Seminário sobre túneis*”; CEGEO – FUNDEC; Lisboa – IST, 23 a 25 de Junho de 1998.
- [48] – “*New Austrian Tunnelig Method*”; CBPO; Figueiredo Ferraz, Consultoria e Engenharia de Projecto Lda.; (2004).
- [49] – MASCARENHAS, Jorge. (2007); “*Sistemas de construção: I – Contenções, Drenagens, Implantações, Fundações, Jet Grouting, Ancoragens, Túneis, Consolidação de Terrenos*”; Ed. Livros Horizonte; pp 199-255.
- [50] – BASTOS, M. J.(1998) – “*A Geotecnia na concepção, projecto e execução de túneis em maciços rochosos*”. Tese de mestrado – Instituto Superior Técnico; Lisboa; Portugal.

[51] – GUIZART, Moustafa Hamze (2003); “Metodologia para a interpretação do monitoramento de escavações subterrâneas”; Tese de doutoramento, Escola Politécnica Universidade de São Paulo, Brasil.

[52] – CORREIA, João P. R. R. (2004); “*Perfis pultrudidos de fibra de vidro (GFRP). Aplicação de vigas mistas GFRP-betão na construção*”; Tese de mestrado – IST; Lisboa, Portugal.

[53] – BRANCO, Fernando; BRITO, Jorge de; “*Curso de Inspeção e reabilitação de construções em alvenaria de tijolo*”; FUNDEC – IST.

[54] – www.tuneis.com.br; Novembro de 2008.

[55] – www.lovat.com; Novembro de 2008.

[56] – www.selitunnel.com; Novembro de 2008.

[57] – www.selitecnologie.com; Novembro de 2008.

[58] – www.ravrapidtransit.com; Novembro de 2008.

[59] – www.atlascopco.com; Novembro de 2008.

[60] – www.tamrock.sandvik.com; Novembro de 2008.

[61] – agaudi.wordpress.com; Novembro de 2008.

[62] – www.akkerman.com; Novembro de 2008.

[63] – <http://www.hitachi-c-m.com>; Novembro de 2008.

[64] – books.google.pt; Novembro de 2008.

[65] – www.tbmexchange.com; Novembro de 2008.

[66] – www.tgfiberglass.com.br; Novembro de 2008.

[67] – www.step.pt/especificacoes_tecnicas_1.htm; Novembro de 2008.

[68] – www.geocompany.com.br/ftp/tuneis.pdf; Novembro de 2008.

[69] - APPLETON, João A.S (2003); “*Reabilitação de Edifícios Antigos – Patologias e Tecnologias de Intervenção*”. Edições Orion, 1º Edição; Setembro de 2003.

ANEXOS

- **Anexo I** – Execução de Soleira – Faseamento.
- **Anexo II** – Plano de Betonagem de Abóbadas.
- **Anexo III** – Glossário de definições relativas à área da fiscalização.

Anexo I - Execução de Soleira – Faseamento

Anexo II - Plano de Betonagem de Abóbadas

Anexo III - Glossário de definições relativas à área da fiscalização

Acidente de trabalho: evento brusco produzido no local de trabalho, durante a realização ou preparação dos trabalhos e na deslocação de meios humanos e materiais e que produz directa ou indirectamente lesão corporal, funcional ou doença de que resulte a morte ou redução na capacidade de trabalho ou de ganho.

Adicional: o conjunto de trabalhos a realizar, da mesma natureza ou de natureza diferente, que não tenham sido previstos no contrato inicial, necessários à realização da empreitada, e que resultem da aprovação de uma alteração ao contrato.

Adjudicação: é a decisão pela qual o dono da obra aceita a proposta do concorrente preferido, escolhido, tende por base a avaliação da proposta a nível técnico, e a nível de custo da empreitada.

Ambiente: envolvente na qual uma organização opera incluindo ar, água, solo, os recursos naturais, a flora, a fauna, os seres humanos e suas inter-relações.

Aspecto ambiental: elemento das actividades, produtos ou serviços de uma organização que possa interagir com o ambiente.

Autor do projecto da obra: a pessoa singular, reconhecida como projectista, que elabora ou participa na elaboração do projecto da obra.

Caderno de Encargos: é o documento que contém, ordenadas por artigos numerados, as cláusulas jurídicas e as técnicas gerais e especiais a incluir no contrato a celebrar. Poder-se-á dizer que, enquanto o programa de concurso regulamenta a fase de concurso da obra, o caderno de encargos regulamenta a fase de execução dessa mesma obra.

Consignação: acto através do qual é formalmente entregue o espaço onde irão decorrer os trabalhos. Normalmente marca o início da contagem do prazo para a execução dos trabalhos.

Coordenador de segurança em obra (CSO): pessoa singular ou colectiva que executa, durante a realização da obra, as tarefas de coordenação em matéria de segurança e saúde, devendo estabelecer, manter, implementar, auditar o Sistema da Gestão de Segurança em obra. Em obras públicas o CSO nunca pertence ao empreiteiro.

Coordenador de segurança em projecto: a pessoa singular ou colectiva que executa, durante a elaboração do projecto, as tarefas de coordenação em matéria de segurança e saúde, podendo também participar na preparação do processo de negociação da empreitada e de outros actos preparatórios da execução da obra, na parte respeitante à segurança e saúde no trabalho.

Correspondência expedida pela fiscalização: cartas, faxes, e-mails, memorandos de obra, autorização de trabalhos, não conformidades em obra e actas de reuniões.

Correspondência Recebida pela Fiscalização: cartas, faxes, e-mails, Comunicações de Obra, guias de remessa e Documentação Técnica.

Director da Fiscalização (DF): técnico designado pelo adjudicatário referente ao concurso de Fiscalização da Empreitada aceite pelo Dono de Obra, para assegurar a execução do projecto dentro dos bons níveis de qualidade exigidos, de acordo com o prazo e o valor estabelecido na proposta de adjudicação.

Director técnico da empreitada: técnico designado pelo adjudicatário da obra pública e aceite pelo dono da obra, nos termos do regime jurídico das empreitadas de obras públicas, para assegurar a direcção técnica da empreitada.

Documentação Interna pela Fiscalização: notas internas, actas de reuniões internas e e-mails.

Documentação Técnica: documentos técnicos que se referem a aspectos de concepção e execução da Empreitada.

Dono da obra: a pessoa singular ou colectiva por conta de quem a obra é realizada, ou o concessionário relativamente a obra executada com base em contrato de concessão de obra pública.

Empregador: a pessoa singular ou colectiva que, no estaleiro, tem trabalhadores ao seu serviço, incluindo trabalhadores temporários ou em cedência ocasional, para executar a totalidade ou parte da obra; pode ser o Dono da Obra, a Entidade Executante ou sub Entidade Executante.

Entidade Executante: a pessoa singular ou colectiva que executa a totalidade ou parte da obra, de acordo com o projecto aprovado e as disposições legais ou regulamentares aplicáveis; pode ser simultaneamente o dono da obra, ou outra pessoa autorizada a exercer a actividade de Entidade Executante de obras públicas ou de industrial de construção civil, que esteja obrigada mediante contrato de empreitada com aquele a executar a totalidade ou parte da obra.

Equipa de projecto: conjunto de pessoas reconhecidas como projectistas que intervêm nas definições de projecto da obra.

Estaleiros temporários ou móveis: os locais onde se efectuam trabalhos de construção de edifícios ou trabalhos (referidos no n.º 2 do artigo 2.º do Dec. Lei 273/2003), bem como os locais onde, durante a obra, se desenvolvem actividades de apoio directo aos mesmos.

Fiscal da obra: a pessoa singular ou colectiva que exerce, por conta do dono da obra, a fiscalização da execução da obra, de acordo com o projecto aprovado, bem como do cumprimento das disposições legais e regulamentares aplicáveis; se a fiscalização for assegurada por dois ou mais representantes, o dono da obra designará um deles para chefiar.

Incidente de trabalho: evento brusco produzido no local de trabalho, e que produza directa ou indirectamente danos nos materiais ou equipamentos, afectando assim a capacidade de produção de um determinado equipamento ou instalação.

Índice de duração: factor de sinistralidade, que indica quantos dias se perdeu por acidente ocorrido.

$$ID = N^{\circ} \text{ dias perdidos} / N^{\circ} \text{ acidentes}$$

Índice de incidência: factor de sinistralidade, que indica o número de lesões com baixa por cada mil trabalhadores, traduzindo a ideia de extensão do risco, ou seja, do volume da população afectada.

$$II = N^{\circ} \text{ acidentes} \times 10^3 / N^{\circ} \text{ de trabalhadores}$$

Índice de frequência: factor de sinistralidade, que representa o número de lesões com baixa por milhão de horas trabalhadas e, por ser um padrão de medida que melhor exprime a probabilidade do risco ocorrido, permite monitorizar se a sinistralidade está ou não sob controle.

$$IF = N^{\circ} \text{ acidentes} \times 10^6 / N^{\circ} \text{ horas trabalhadas}$$

Índice de gravidade: factor de sinistralidade, que representa o número de dias perdidos por milhão de horas trabalhadas, proporciona ao impacto que a sinistralidade tem na vida da sociedade ou da empresa, designadamente na perda da capacidade produtiva, ou seja, de um padrão de medida da severidade do dano.

$$IG = N^{\circ} \text{ dias perdidos} \times 10^6 / N^{\circ} \text{ horas trabalhadas}$$

Nota: em caso de acidente mortal contabilizar 7500 dias de trabalho perdidos.

Inspeção ambiental: processo de verificação sistemático executado para obter e avaliar, de forma objectiva, evidências que determinam o desempenho de uma actividade ou conjunto de actividades em matéria de Ambiente.

Não conformidade (NC): acção escrita quando detectada uma situação não conforme o projecto ou com a qualidade exigida;

Manual de Gestão Ambiental (MGA): documento que tem por base implementar na empreitada os processos adequados sobre o ambiente, segundo a legislação, a Norma NP EN ISO 14001 (caso a empresa seja certificada) e os requisitos do Dono de Obra;

Participação de acidente: acção escrita a desenvolver no momento imediatamente a seguir à ocorrência pelo superior hierárquico do(s) acidentado(s).

Plano Global do Empreendimento: é o plano de trabalhos que inclui a fase de elaboração dos projectos, as fases de concurso e contratação e a fase de execução das Empreitadas que integram o empreendimento.

Plano de Trabalhos da Proposta: é o plano de trabalhos apresentado pelo Empreiteiro em fase de Proposta e que faz parte do contrato da Empreitada;

Plano de Trabalhos Definitivo: é o plano de trabalhos apresentado pelo Empreiteiro, após a consignação da Empreitada e no prazo previsto no Caderno de Encargos ou no Regime Jurídico das Empreitadas de Obras Públicas (RJEOP) que, após aprovação pelo Dono da Obra, fixa a sequência, prazo e ritmo de execução de cada uma das espécies de trabalho que constituem a Empreitada e os meios com que o Empreiteiro se propõe executá-los;

Recepção Provisória: acto através do qual a Obra é formalmente entregue ao Dono de Obra para o seu usufruto. Marca normalmente o fim dos trabalhos.

Recepção Definitiva: acto através do qual a Obra é entregue em definitivo ao Dono de Obra, cessando as obrigações do Empreiteiro perante o Dono de Obra, com excepção de situações devidamente salvaguardadas.

Relatório Mensal: é o relatório periódico elaborado pela Fiscalização, em que é analisado o desenvolvimento da Empreitada e a sua confrontação com o previsto no Plano de Trabalhos em vigor.

Representante dos trabalhadores: a pessoa, eleita pelos trabalhadores, que exerce as funções de representação dos trabalhadores nos domínios da segurança, higiene e saúde no trabalho.

Responsável pela direcção técnica da obra: o técnico designado pela entidade executante para assegurar a direcção efectiva do estaleiro.

Sistema de Gestão Ambiental (SGA): tem como objectivo definir e implementar os processos de planeamento, execução e conclusão da obra relativamente a aspectos ambientais.

Sub Entidade Executante: a pessoa singular ou colectiva autorizada a exercer a actividade de Entidade Executante de obras públicas ou de industrial de construção civil que executa parte da obra mediante contrato com a entidade executante.

Técnico Ambiental (TA): técnico responsável pela elaboração do Manual de Gestão Ambiental, e pela implementação do Sistema de Gestão Ambiental;

Técnico Superior de Segurança em obra: a pessoa singular que durante a realização da obra, monitoriza o Sistema de Gestão de Segurança em vigor, na empreitada.

Trabalhos Contratuais: Trabalhos cuja natureza e respectiva quantidade está prevista no contrato inicial.

Trabalho a Mais da mesma natureza: São Trabalhos cuja natureza esteja prevista no contrato da Empreitada mas cuja realização não estava prevista. A execução destes trabalhos obriga à elaboração de uma alteração ao contrato inicial.

Trabalho a Mais de natureza diferente: São Trabalhos cuja natureza não esteja prevista no contrato da Empreitada pelo que não existe preço unitário para a sua execução. A execução destes trabalhos obriga à elaboração de uma alteração ao contrato inicial.

Trabalhos a Menos: Trabalhos previstos no contrato inicial, suprimidos em consequência da implementação de uma alteração ao contrato.