

# REABILITAÇÃO DE TÚNEIS FERROVIÁRIOS DA LINHA DO MINHO

**YOLANDA MARTA RODRIGUES AFONSO**

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de  
**MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM GEOTECNIA**

---

António Manuel Campos e Matos

---

Pedro Pereira

JANEIRO DE 2011

## **MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2010/2011**

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ [miec@fe.up.pt](mailto:miec@fe.up.pt)

*Editado por*

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ [feup@fe.up.pt](mailto:feup@fe.up.pt)

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2009/2010 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2009.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respectivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão electrónica fornecida pelo respectivo Autor.

À minha mãe...

*Ser homem é ser responsável. É sentir que colabora na construção do mundo.*

*Antoine de Saint-Exupéry*

## AGRADECIMENTOS

Expresso aqui o meu sincero agradecimento em especial às seguintes pessoas e entidades:

Ao Eng.º Pedro Pereira pela sua disponibilidade e orientação durante a realização deste trabalho e, ao Prof. Campos e Matos pelo seu apoio e orientação.

Ao GEG pelos dados fornecidos para a escrita desta dissertação.

À REFER pela autorização de usar os dados fornecidos para este trabalho.

À minha mãe, Aldina, que sempre me apoiou e estimulou a procurar um futuro melhor por meio da educação. Ao Sr. Manuel João por todo o conforto, compreensão e paciência nos momentos difíceis. A eles muito devo e espero retribuir...

Ao Ricardo pelo apoio, incentivo, compreensão e paciência durante a realização desta dissertação. O melhor amigo que alguém pode ter! Também a ele muito devo...

Ao Prof. Anísio Andrade não só pela partilha de conhecimentos mas também pela amizade, incentivo e atenção.

À Cristina Rodrigues pela atenção, apoio e incentivo.

Gostaria ainda de agradecer ao Prof. Topa Gomes e ao Prof. Rui Calçada pela simpatia e atenção.



## RESUMO

As estruturas subterrâneas ferroviárias, assim como qualquer outro tipo de estrutura, necessitam de manutenção e, em alguns casos, de um conjunto de soluções de reparação, de beneficiação e reforço, de modo a prolongar as suas vidas úteis, evitar possíveis acidentes e ainda adequá-las às demandas actuais. A Linha do Minho é uma linha ferroviária iniciada em 1872, compreendida entre Porto/Campanhã e Valença, com uma extensão aproximada de 134 Km. Assim, os túneis construídos para a passagem desta ferrovia foram executados sem projecto, têm mais de 130 anos e são revestidos a alvenaria, embora alguns apresentem troços sem qualquer revestimento. Quanto à via, é múltipla, do Porto/Campanhã até Nine e, única, de Nine até Valença, não sendo electrificada.

Nas obras de remodelação e electrificação das ferrovias, os túneis constituem, normalmente, elementos críticos em todo o processo de obra, nomeadamente quando não está prevista a interrupção da circulação ferroviária.

A pesquisa apresentada nesta dissertação foi realizada com base em projectos de beneficiação e reforço de quatro túneis ferroviários pertencentes à Linha do Minho, sites entre o troço que liga as estações de Nine a Valença, realizados pelo GEG. Os túneis em causa são os de: São Miguel da Carreira, Tamel, Sta. Lucrecia e o de Caminha.

O ponto de partida para os projectos destas obras, assim como para qualquer outro tipo de obra, consiste em analisar os requisitos impostos pelo Dono de Obra, neste caso a REFER. Como os túneis se manterão em via única não existirá a necessidade de construção em túnel, mas será necessário apresentar um conjunto de soluções de forma a reabilitar e/ou reforçar os túneis, viabilizando eventuais obras futuras de electrificação e reestruturação da via. Os trabalhos de beneficiação, a serem efectuados no conjunto dos quatro túneis serão enquadrados num regime de interdições normais de 4 horas diárias, em período nocturno. Logo, tem de evitar-se a preconização de trabalhos demorados que afectem a circulação ferroviária, tais que, obriguem à supressão de comboios e ao transbordo de passageiros, sobrecarregando, dessa forma, o custo da respectiva obra. Também os trabalhos de inspecção e prospecção foram realizados durante estes períodos de interdição.

É de evidenciar, que o actual nível de conhecimento relativamente à aplicação de algumas soluções preconizadas para as obras de reabilitação de túneis ferroviários é escasso e o processo em si é algo impreciso. Por isso, este trabalho tem como objectivo consolidar um conjunto de meios de forma a caracterizar este tipo de infra-estrutura e suas patologias mais frequentes e, também, um conjunto de soluções de reparação e reforço, tendo em conta obras futuras de electrificação e reestruturação da via, enquadrados num regime de interdições normais de 4 horas diárias, em período nocturno. Pretende-se ainda fornecer directrizes simples e objectivas para a execução das mesmas soluções.

Assim, a abordagem deste trabalho começa pela pesquisa dos diferentes métodos de inspecção e prospecção de reconhecimento a fim de caracterizar este tipo de infra-estrutura, as suas patologias e os seus possíveis agentes causadores. Posteriormente, serão abordados os diferentes métodos e a sequência construtiva intrínseca aos mesmos com vista à reabilitação e/ou reforço dos respectivos túneis, tanto em zonas revestidas a alvenaria como não revestidas, considerando uma futura electrificação da via e a execução dos mesmos num período nocturno de 4 horas, analisando as possíveis condicionantes. Será ainda abordado um possível planeamento da obra, embora este não seja da responsabilidade do Projectista e ainda os factores que tornam este tipo de intervenção mais onerosa do que, eventualmente, a construção de um túnel novo.

PALAVRAS-CHAVE: reabilitação, túneis, ferroviários, gabari, electrificação.



## ABSTRACT

The underground railway structures, as well as any other type of structure, require maintenance and in some cases, a series of repair, improvement and reinforcement in order to prolong their life cycle, to prevent possible accidents and even to adapt them to current demands.

The *Linha do Minho* is a railway line started in 1872, between *Porto/Campanhã* and *Valença*, with an approximate length of 134 km. Thus, the tunnels built for this railroad crossing were performed without a project, have over 130 years and are coated masonry, although some sections have no coating.

As for the line, it is multiple between *Porto/Campanhã* and *Nine*, and single between *Nine* and *Valença*, not being electrified.

In the refurbishment and electrification of railways, tunnels are typically critical elements in the whole works process, especially when the interruption of rail traffic is not comprised.

The research presented in this dissertation was based on improvement and strengthening projects of four railway tunnels belonging to the *Linha do Minho*, specifically the section that connects the stations of *Nine* and *Valença*, conducted by the GEG. The tunnels are: *São Miguel da Carreira*, *Tamel*, *Sta. Lucrécia* and *Caminha*.

The starting point for these rehabilitation projects, like for any other type of construction work, is to analyze the requirements of the Work Owner, in this case the REFER. Since the tunnels will remain in a single track, there will be no need for tunnel construction, but a set of solutions must be submitted in order to rehabilitate and/or reinforce the tunnels, enabling any future works of electrification and restructuring of the line. The improvement works to be carried out in all of the four tunnels will be executed in a normal regime of daily 4-hour closures at night time. Therefore, one must avoid running lengthy works that may affect train movements and require the cancellation of trains and the transfer of passengers, overcharging the cost of the works. Also the inspection and survey works were conducted during these periods of closure.

It should be pointed out that the current state of knowledge regarding the application of some proposed solutions for the rehabilitation of railway tunnels, is scarce and the process itself is somewhat imprecise. Therefore, the objective of this paper is to cement a range of means in order to characterize this type of infrastructure and its most frequent pathologies and also a series of repair and strengthening, in view of future works of electrification and restructuring of the line, during a normal regime of daily 4-hour closures at night time. Furthermore, it aims at providing simple and objective guidelines to implement the same solutions.

Consequently, the approach of this paper begins by the search of different methods of inspection and reconnaissance prospecting in order to characterize this type of infrastructure, its pathologies and possible causative agents. Subsequently, the different methods for the rehabilitation and/or strengthening of the tunnels will be discussed, as well as the different methods and construction sequence intrinsic to those, either in areas covered with masonry or uncoated ones, considering a future electrification of the track and its execution in a night time of 4 hours, analyzing the possible constraints. A possible work planning will also be discussed, although this is not the Designer's responsibility, and also the factors that make this type of intervention more costly than possibly building a new tunnel.

KEYWORDS: rehabilitation, tunnels, rail, gauge, electrification.



## ÍNDICE GERAL

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	i
<b>RESUMO</b> .....	iii
<b>ABSTRACT</b> .....	v
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	1
1.2. OBJECTIVOS .....	4
1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO .....	5
<b>2. CARACTERIZAÇÃO DO EXISTENTE</b> .....	7
2.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	7
2.2. INSPECÇÃO E PROSPECÇÃO DE RECONHECIMENTO .....	8
2.2.1. MÉTODOS DE INSPECÇÃO E PROSPECÇÃO DE RECONHECIMENTO USADOS .....	8
2.2.2. RESULTADOS .....	18
2.2.2.1. Caracterização das infra-estruturas analisadas .....	18
2.2.2.2. Caracterização dos tipos de revestimento de suporte dos túneis .....	35
2.2.2.3. Anomalias detectadas e respectivos zonamentos .....	38
2.3. CONCLUSÕES .....	46
<b>3. MÉTODOS E TÉCNICAS DE REPARAÇÃO E REFORÇO EM TÚNEIS</b> .....	49
3.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	49
3.2. TRATAMENTOS LOCALIZADOS .....	51
3.2.1. TRATAMENTOS DE PEQUENAS SUPERFÍCIES COM EROÇÃO SUPERFICIAL .....	53
3.2.2. REPOSIÇÃO DAS PLACAS DECAMÉTRICAS .....	54
3.2.3. REPARAÇÃO DE BLOCOS PARTIDOS E FISSURAS .....	54
3.2.4. ENCHIMENTO DE CAVIDADES E LESÕES NOS HASTEAIS .....	54
3.2.5. PREENCHIMENTO E SELAGEM DE VAZIOS NO EXTRADORSO .....	55
3.2.6. REFECHAMENTO DE JUNTAS .....	57
3.3. TRATAMENTOS CONTÍNUOS .....	58
3.3.1. LIMPEZA DE TODO O REVESTIMENTO DE ALVENARIA .....	58

3.3.2. REFORÇO GERAL DO SUSTIMENTO EM ALVENARIA .....	60
3.3.2.1. Soluções para zonas revestidas (S1 e S2) .....	63
3.3.2.2. Soluções para zonas não revestidas (S3 e S4) .....	70
3.3.2.3. Notas .....	75
<b>3.4. SISTEMA DE DRENAGEM DO SUSTIMENTO E DO MACIÇO ENCAIXANTE .....</b>	<b>80</b>
3.4.1. NOTAS.....	85

## **4. ELECTRIFICAÇÃO DA LINHA DO MINHO: ESTUDO DA NOVA VIA E CONSEQUÊNCIAS..... 87**

4.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	87
4.2. REBAIXAMENTO DA VIA.....	88
4.3. REBAIXAMENTO DA PLATAFORMA .....	98
4.4. REFORÇO DA SOLEIRA DOS HASTEAIS .....	103
4.5. DRENAGEM AO NÍVEL DA PLATAFORMA .....	113

## **5. CONSTRUÇÃO DE NICHOS E CÂMARA DE SERVIÇO..... 119**

5.1. CONSTRUÇÃO DE NICHOS.....	119
5.2. CONSTRUÇÃO DE CÂMARA DE SERVIÇO.....	130

## **6. EMBOQUILHAMENTOS DOS TÚNEIS..... 135**

6.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	135
6.2. TRATAMENTO DOS EMBOQUILHAMENTOS DO TÚNEL DE SÃO MIGUEL DA CARREIRA .....	135
6.3. TRATAMENTO DOS EMBOQUILHAMENTOS DO TÚNEL DE TAMEL .....	149
6.4. TRATAMENTO DOS EMBOQUILHAMENTOS DO TÚNEL DE STA. LUCRÉCIA.....	161
6.5. TRATAMENTO DOS EMBOQUILHAMENTOS DO TÚNEL DE CAMINHA .....	171

## **7. IMPORTÂNCIA DA INSTRUMENTAÇÃO E DA MONITORIZAÇÃO..... 183**

## **8. PLANEAMENTO vs CUSTO..... 185**

8.1. PLANEAMENTO VS CUSTO.....	185
8.2. FASEAMENTO CONSTRUTIVO E EXEMPLO DE UM PLANEAMENTO DA OBRA .....	186

**9. SUGESTÕES DE PRÓXIMAS PESQUISAS.....193**



## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig.1 - Inspeções visuais das escorrências .....	9
Fig.2 - Inspeções visuais do maciço encaixante.....	9
Fig.3 - Veículo de apoio a uma das visitas de inspeção .....	9
Fig.4 - Execução de poço na via .....	9
Fig.5 - Exemplo de georadar (Esteio) .....	10
Fig.6 - Princípio do Georadar (modificado - Haack et al., 1995).....	11
Fig.7 - Sistema CART de aquisição de dados .....	12
Fig.8 - Dresine de apoio .....	13
Fig.9 - Sistema suspenso na dresine .....	13
Fig.10 e 11 - Recolhas de amostra de água.....	13
Fig.12 - Extracção de carote .....	14
Fig.13 - Tipos de amostras recolhidas.....	14
Fig.14 - Recolha de amostras.....	16
Fig.15 - Prospecção de vazios no extradorso .....	17
Fig.16 – Exemplos de perfis transversais.....	17
Fig.17 - Representação esquemática da linha ferroviária do Minho.....	19
Fig.18 - Tipo de via da Linha do Minho: única com 133.8 km, aproximadamente .....	20
Fig.19 - Tipo de bitola: via larga (1) destacada de Porto/Campanhã até Valença .....	21
Fig.20 - Patamar de velocidade praticada na Linha do Minho: [120, 160] km/h.....	21
Fig.21 - Foto aérea da implantação do túnel de São Miguel da Carreira .....	22
Fig.22 - Planta de implantação do túnel de São Miguel da Carreira (Carta Militar) .....	23
Fig.18 - Carta geológica para o túnel de São Miguel da Carreira.....	23
Fig.19 - Foto aérea da implantação do túnel de Tamel .....	25
Fig.20 - Planta de implantação do túnel de Tamel (Carta Militar).....	26
Fig.21 - Carta geológica para o túnel de Tamel.....	26
Fig.22 - Foto aérea da implantação do túnel de Sta. Lucrecia .....	29
Fig.23 - Planta de implantação do túnel de Sta. Lucrecia (Carta Militar) .....	29
Fig.24 - Carta geológica para o túnel de Sta. Lucrecia.....	30
Fig.25 - Foto aérea da implantação do túnel de Caminha .....	32
Fig.26 - Planta de implantação do túnel de Caminha (Carta Militar) .....	32
Fig.27 - Carta geológica para o túnel de Caminha .....	33

Fig.33 - Revestimento do tipo R1 .....	36
Fig.34 - Revestimento do tipo R2 .....	36
Fig.35 - Revestimento do tipo R3 .....	36
Fig.36 - Revestimento do tipo R4 .....	37
Fig.37 - Revestimento do tipo R5 .....	37
Fig.38 - Aspecto do túnel nas zonas não revestidas.....	38
Fig.39 - Rompimento do sistema de drenagem .....	41
Fig.40 - Escorrências .....	41
Fig.41 - Descalçamento na linha de nascença .....	43
Fig.42 - Escorrências esbranquiçadas .....	44
Fig.43 - Trecho revestido a alvenaria.....	45
Fig.44 - Zona fragilizada .....	45
Fig.45 - Esquema representativo da aplicação no túnel dos tratamentos localizados.....	51
Fig.46 - Injecção de caldas para preenchimentos de vazios – esquema .....	55
Fig.47 - Exemplo do estudo da sobreposição dos perfis transversais e dos gabaris mínimos .....	60
Fig.48 - Confronto entre gabaris .....	62
Fig.49 - Contorno de referência definido para a via em estudo, CRC/CPb+ .....	62
Fig.50 - Representação esquemática da solução do tipo S1 .....	64
Fig.51 - Pormenor da solução do tipo S1 .....	64
Fig.52 - Pormenor da solução do tipo S1-corte transversal .....	65
Fig.53 - Representação esquemática da solução do tipo S2.....	67
Fig.54 - Pormenor1 da solução do tipo S2 .....	68
Fig.55 - Pormenor2 da solução do tipo S2 .....	68
Fig.56 - Representação esquemática da solução do tipo S3.....	70
Fig.57 - Representação esquemática da solução do tipo S4.....	72
Fig.58 - Pormenor da solução do tipo S4 .....	73
Fig.59 - Pormenor de uma bolha de recobrimento em betão.....	75
Fig.60 e 61 - Incumprimento do GLO .....	78
Fig.62 - Incumprimento do GLO no rim esquerdo.....	79
Fig.63 - Esquema da solução de drenagem do sustimento e do maciço encaixante .....	80
Fig.64 - Selagem do tampão de recolha.....	81
Fig.65 - Aspecto geral dos canais de drenagem.....	82
Fig.66 - Pormenor1 de canais de drenagem.....	82

Fig.67 - Pormenor2 de canais de drenagem .....	82
Fig.68 - Elementos de via (1).....	88
Fig.69 - Elementos de via (2) (Eduardo Fortunato et al, Julho 2002) .....	88
Fig.70 - Exemplo do estudo do rebaixamento de via numa secção do túnel .....	91
Fig.71 - Exemplo do estudo do rebaixamento de via numa secção do túnel .....	93
Fig.72 - Maciço longitudinal pregado .....	107
Fig.73 - Escavação afastada do hasteal.....	110
Fig.74 - Maciço longitudinal pregado .....	110
Fig.75 - Maciço longitudinal pregado com dois níveis de pregagens .....	112
Fig.76 - Escavação afastada do hasteal.....	113
Fig.77 - Solução de referência para o sistema de drenagem longitudinal .....	113
Fig.78 - Monobloco pré-fabricado em betão armado para drenagem de águas e caminho de cabos..	114
Fig.79 - Monobloco pré-fabricado em betão armado para drenagem de águas e caminho de cabos (pormenor).....	115
Fig.80 - Dreno Longitudinal .....	115
Fig.81 - Esporão drenante transversal.....	117
Fig.82 - Adaptação e beneficiação da drenagem existente .....	118
Fig.83 - Distância recomendada entre nichos .....	120
Fig.84 - Perfil transversal tipo dos nichos .....	122
Fig.85 - Perfil transversal tipo dos nichos (pormenor) .....	123
Fig.86 - Pormenor da estrutura de suporte provisória .....	126
Fig.87 - Pormenor da estrutura de suporte provisória (corte).....	126
Fig.88 - Execução da parede de fundo do nicho .....	127
Fig.89 - Aspecto final do nicho.....	128
Fig.90 - Corte transversal da estrutura de suporte provisório para secções não revestidas .....	129
Fig.91 - Alçado do sistema de suporte provisório.....	132
Fig.92 - Corte transversal da estrutura de suporte provisório.....	133
Fig.93 - Armação da parede de fundo .....	134
Fig.94 - Câmara de serviço - situação final .....	134
Fig.95 - Boca de entrada .....	135
Fig.96 - Boca de saída.....	135
Fig.97 - Boca de entrada após desmatamento.....	136
Fig.98 - Boca de saída após desmatamento .....	136
Fig.99 - Aspecto geral do emboquilhamento .....	136

Fig.100 - Lado esquerdo, a 20m da entrada do túnel .....	136
Fig.101 - Lado esquerdo, a 25m da entrada do túnel .....	137
Fig.102 - Lado direito, à entrada do túnel .....	137
Fig.103 - Tratamento dos taludes (planta) .....	138
Fig.104 - Tratamento dos taludes (perspectiva 1).....	139
Fig.105 - Tratamento dos taludes (perspectiva 2).....	140
Fig.106 – Sistemas de protecção contra o desprendimento e a queda de blocos.....	141
Fig.107 – Sistema de estabilização de taludes.....	142
Fig.108 – Guarda de segurança .....	142
Fig.109 – Tratamento dos taludes (planta - pormenor).....	144
Fig.110 – Redes do tipo <i>Tecco Mesh</i> .....	145
Fig.111 – Sistemas de redes .....	146
Fig.112 – Muro de espera .....	146
Fig.113 – Distribuição das pregagens.....	148
Fig.114 – Distribuição das pregagens (corte transversal).....	148
Fig.115 – Lado esquerdo da boca de saída.....	149
Fig.116 – Lado direito da boca de entrada .....	149
Fig.117 – Boca de entrada.....	150
Fig.118 – Boca de saída .....	150
Fig.119 – Talude do emboquilhamento do lado esquerdo .....	150
Fig.120 – Recobrimento à entrada do túnel.....	150
Fig.121 – Tratamento dos taludes (planta) .....	151
Fig.122 – Muro ala do lado esquerdo .....	152
Fig.123 – Muro ala do lado direito.....	152
Fig.124 – Drenagem .....	153
Fig.125 – Zona da testa e da boca .....	153
Fig.126 – Escorregamento recente no lado esquerdo .....	154
Fig.127 – Tratamento de taludes (planta) .....	155
Fig.128 – Talude do lado direito.....	157
Fig.129 – Tratamento de taludes (planta - detalhe) .....	157
Fig.130 – Aspecto geral do emboquilhamento.....	158
Fig.131 – Talude frontal .....	158
Fig.132 – Revestimento de pedra arrumada e argamassada manualmente .....	158

Fig.133 – Paramento de betão projectado armado e pregado .....	159
Fig.134 – Paramento de betão projectado armado e pregado: dimensionamento e armaduras .....	160
Fig.135 – Valeta de pé de talude alagada .....	161
Fig.136 – Valeta obstruída.....	161
Fig.137 – Boca de entrada .....	161
Fig.138 – Boca de saída.....	161
Fig.139 – Muro ala existente do lado esquerdo.....	162
Fig.140 – Muro ala existente do lado direito .....	162
Fig.141 – Tratamento de taludes.....	162
Fig.142 – Fissura e desprendimento na arquivolta.....	163
Fig.143 – Fissura na transição para o cunhal.....	163
Fig.144 – Execução de pregagens .....	165
Fig.145 – Viga pregada (armaduras).....	165
Fig.146 – Reforço da boca do túnel.....	166
Fig.147 - Drenagem à entrada do túnel (lado esquerdo).....	166
Fig.148 – Caixa de ligação da valeta para a manilha .....	166
Fig.149 – Drenagem .....	167
Fig.150 – Tratamento dos taludes .....	168
Fig.151 – Sistema de estabilização de taludes.....	169
Fig.152 – Aspecto da caleira existente à saída do túnel .....	170
Fig.153 – Sistema de drenagem obstruído.....	170
Fig.154 – Drenagem .....	170
Fig.155 – Tratamento dos taludes .....	172
Fig.156 – Pormenor do aterro.....	173
Fig.157 – Estrutura de betão armado .....	174
Fig.158 – Tratamento do talude frontal.....	175
Fig.159 – Tratamento do talude frontal (corte transversal).....	176
Fig.160 – Drenagem (pormenor1) .....	179
Fig.161 – Drenagem (pormenor2) .....	180
Fig.162 – Tratamento dos taludes .....	181
Fig.163 – Drenagem .....	182
Fig.164 – Planeamento da obra: Diagrama de <i>Gantt</i> .....	191



## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Definição da agressividade química das águas em contacto com o betão (Quadro III do RBLH - Regulamento de Betões de Ligantes Hidráulicos) .....	14
Tabela 2 – Algumas propriedades mecânicas de rochas, solos e rochas de baixa resistência (adapt. de Rocha, 1977) .....	15
Tabela 3 – Valores médios de resistência à compressão uniaxial para rochas (adapt. e modif. de Vallejo <i>et al</i> , 2002) .....	16
Tabela 4 – Anos de construção e extensões dos túneis .....	22
Tabela 5 – Resultados obtidos da caracterização química das águas para o túnel de São Miguel da Carreira.....	24
Tabela 6 – Resultados obtidos da caracterização química das águas para o túnel de Tamel.....	28
Tabela 7 – Resultados obtidos da caracterização química das águas para o túnel de Sta. Lucrecia ..	31
Tabela 8 – Resultados obtidos da caracterização química das águas para o túnel de Caminha .....	34
Tabela 9 – Designação para os túneis em estudo.....	35
Tabela 10 – Tipos de revestimento de suporte dos túneis .....	35
Tabela 11 – Danos típicos em estruturas de túneis dependendo da sua idade (Haack, 1998) .....	46
Tabela 12 – Tipos de tratamentos localizados.....	51
Tabela 13 – Tratamentos localizados previstos para cada túnel.....	52
Tabela 14 – Tipo de tratamentos contínuos.....	58
Tabela 15 – Soluções de reforço preconizadas e tipo de revestimento para os túneis .....	63
Tabela 16 – Espessura das camadas de betão projectado para a solução do tipo S1 .....	67
Tabela 17 – Espessura das camadas de betão projectado para a solução do tipo S2 .....	70
Tabela 18 – Espessura das camadas de betão projectado para a solução do tipo S3.....	71
Tabela 19 – Espessura das camadas de betão projectado para a solução do tipo S4.....	74
Tabela 20 – Comprimentos dos varões de aço .....	74
Tabela 21 – Tipo de malhas electrossoldadas.....	75
Tabela 22 – Espessura das camadas de betão projectado para todas as soluções.....	75
Tabela 23 – Rebaixamentos mínimos necessários da via para o Túnel de São Miguel da Carreira.....	90
Tabela 24 – Rebaixamentos efectivos da via para o Túnel de São Miguel da Carreira .....	90
Tabela 25 – Rebaixamentos mínimos necessários da via para o Túnel de Tamel.....	92
Tabela 26 – Rebaixamentos efectivos da via para o Túnel de Tamel .....	93
Tabela 27 – Rebaixamentos mínimos necessários da via para o Túnel de Sta. Lucrecia.....	95
Tabela 28 – Rebaixamentos efectivos da via para o Túnel de Sta. Lucrecia .....	96
Tabela 29 – Rebaixamentos mínimos necessários da via para o Túnel de Caminha .....	96

Tabela 30 – Rebaixamentos efectivos da via para o Túnel de Caminha .....	97
Tabela 31 – Infra-estrutura da via quando constituída por travessas de madeira .....	99
Tabela 32 – Infra-estrutura da via quando constituída por travessas bi-bloco.....	99
Tabela 33 – Rebaixamentos mínimos necessários da plataforma para o Túnel de São Miguel da Carreira .....	100
Tabela 34 – Rebaixamentos mínimos necessários da plataforma para o Túnel de Tamel .....	101
Tabela 35 – Rebaixamentos mínimos necessários da plataforma para o Túnel de Sta. Lucrecia.....	102
Tabela 36 – Rebaixamentos mínimos necessários da plataforma para o Túnel de Caminha .....	103
Tabela 37 – Espaçamento de pregagens recomendado para o Túnel de São Miguel da Carreira .....	106
Tabela 38 – Espaçamento de pregagens recomendado para o túnel de Tamel .....	108
Tabela 39 – Espaçamento de pregagens recomendado para o túnel de Sta. Lucrecia .....	109
Tabela 40 – Espaçamento de pregagens recomendado para o túnel de Caminha.....	111
Tabela 41 – Indicação do faseamento construtivo.....	187

## **SÍMBOLOS E ABREVIATURAS**

GEG: Gabinete de estruturas e geotecnia.

GLO: Gabari Livre de obstáculos.

CRC/CPb+: Contorno de referência ou contorno cinemático.

GPR: GROUND PENETRATING RADAR (Georadar).

PH: Passagem Hidráulica

VCA: Valas a Céu Aberto



# 1

## INTRODUÇÃO

### 1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Há actualmente estruturas subterrâneas construídas em diferentes épocas, com técnicas e materiais distintos e em geologias muito variadas. Muitos dos túneis construídos no passado ainda estão em operação. Porém, mudanças na utilidade e carregamentos e, a deterioração gradual das estruturas principalmente devido a poluentes, têm mostrado que esses túneis necessitam de manutenção periódica ou reparação total para prolongar ainda mais suas vidas úteis, (*Mainwaring*, 2000).

A Linha do Minho é uma linha ferroviária iniciada em 1872, compreendida entre Porto/Campanhã e Valença, com uma extensão aproximada de 134 km. Os túneis construídos para a passagem desta ferrovia foram executados sem projecto, têm mais de 130 anos e são revestidos a alvenaria, embora alguns apresentem troços sem qualquer revestimento. Quanto à via, é múltipla do Porto/Campanhã até Nine e única, de Nine até Valença, não sendo electrificada.

A pesquisa apresentada nesta dissertação foi realizada com base em projectos de beneficiação e reforço de quatro túneis ferroviários pertencentes à Linha do Minho, sites entre o troço que liga as estações de Nine a Valença e realizados pelo GEG. Os túneis em causa são os de: São Miguel da Carreira, Tamel, Sta. Lucrecia e Caminha.

O ponto de partida para os projectos destas obras, assim como para qualquer outro tipo de obra, consiste em analisar os requisitos impostos pelo Dono de Obra, neste caso a REFER. Como os túneis se manterão em via única não existirá a necessidade de construção em túnel, mas será necessário apresentar um conjunto de soluções de reparação, de beneficiação e reforço, de modo a prolongar as suas vidas úteis, evitar possíveis acidentes e ainda adequá-las às demandas actuais, nomeadamente a uma eventual electrificação da via.

Nas obras de remodelação e electrificação das ferrovias, os túneis constituem, normalmente, elementos críticos em todo o processo de obra, principalmente quando não está prevista a interrupção da circulação ferroviária.

Uma condicionante fundamental de todo o processo construtivo diz respeito aos requisitos operacionais impostos pela REFER, concretamente, os trabalhos de beneficiação, a serem efectuados no conjunto dos quatro túneis, serão enquadrados num regime de interdições normais em período nocturno de 4 horas diárias (embora exista ainda alguma abertura por parte da REFER em analisar e conceder pontualmente pedidos de interdições extraordinárias). Para além disso, será necessário atribuir afrouxamentos à circulação ferroviária na proximidade do túnel, como medida de protecção colectiva, para garantir a segurança de pessoas e bens.

Assim, os projectos visam otimizar ao máximo os períodos disponibilizados, garantindo sempre a circulação no interior dos túneis, com a máxima segurança. Logo, tem de evitar-se a preconização de trabalhos demorados que afectem a circulação ferroviária e obriguem à concessão de períodos de interdição prolongados, os quais resultariam na supressão de comboios e conseqüente transbordo de passageiros, sobrecarregando, dessa forma, o custo da respectiva obra. Também os trabalhos de inspecção e prospecção no interior dos túneis terão de ser realizados durante estes períodos de interdição.

Para além dos requisitos impostos pela REFER existem outras condicionantes que estão relacionadas com a especificidade da obra em questão, nomeadamente as afectações locais, acessibilidades e os taludes de emboquilhamento dos túneis.

As duas primeiras ficarão a cargo do Adjudicatário, a quem caberá ter em atenção a existência de habitações na proximidade dos túneis, devendo acautelar-se com os eventuais danos que a obra poderá provocar em habitações e infra-estruturas existentes. Também deverá verificar os acessos aos emboquilhamentos dos túneis e arranjar soluções neste sentido, caso necessário, para a realização dos trabalhos dentro dos mesmos. A mesma responsabilidade impõe-se para as montagens dos respectivos estaleiros.

Quanto à zona exterior ao túnel e nomeadamente aos taludes de emboquilhamento, os projectos contemplam o estudo de estabilidade e de drenagem dos mesmos e também, a aplicação das respectivas medidas necessárias, evitando alterações significativas nos níveis freáticos. Impõe-se a garantia da estabilidade global dos taludes e a implementação das medidas necessárias à eliminação de eventuais desprendimentos de materiais ou blocos rochosos que possam afectar a infra-estrutura da linha-férrea e conseqüentemente a circulação ferroviária.

Face a estes requisitos e condicionantes percebe-se que, as soluções apresentadas nestes Projectos de Execução foram definidas tendo em conta vários factores e critérios, ponderados com vista à concepção do projecto de reabilitação: métodos de construção disponíveis e respectiva sequência construtiva intrínseca; riscos de obra envolvidos; interferências nas operações ferroviárias e respectivos custos e prazos para execução da obra.

A abordagem deste trabalho começa pela pesquisa dos diferentes métodos de inspecção e prospecção de reconhecimento usados para estes projectos a fim de caracterizar este tipo de infra-estrutura, as suas anomalias e os seus possíveis agentes causadores.

A supra referida caracterização da infra-estrutura inclui a respectiva geometria, os aspectos geológico-geotécnicos no qual foi construída, a configuração dos revestimentos utilizados, os materiais constituintes, a avaliação do seu estado de conservação e as eventuais debilidades e disfunções que possam comprometer os propósitos traçados e o bom desempenho da ferrovia. No que diz respeito às anomalias, é importante observar quais as predominantes nos quatro túneis ferroviários aqui estudados e aquelas que são frequentes neste tipo de estrutura. É ainda de referir a importância da elaboração de mapeamentos das anomalias e dos tipos de revestimentos encontrados em toda a extensão de cada um dos túneis.

A partir das anomalias detectadas definem-se quais as soluções a serem adoptadas. Os tipos de soluções de reparação dividem-se essencialmente em dois, localizadas e contínuas, estando, porém, todas elas interligadas e seguindo uma sequência de execução. Quanto aos tratamentos localizados estes são realizados pontualmente, tratando-se as anomalias uma a uma. A reparação geral do sustimento diz respeito ao tratamento contínuo de consolidação e reforço estrutural que será empreendido nas zonas onde se detectou uma grande concentração de anomalias. Estas, a serem tratadas uma a uma e de forma

específica, revelar-se-iam morosas e, sobretudo, onerosas. Esta solução será ainda complementada por um sistema de drenagem que terá uma distribuição de acordo com a localização e grau de incidência dos pontos de entradas de água e das superfícies húmidas.

É de evidenciar que, apesar das inspecções e prospecções realizadas, o grau de conhecimento de alguns elementos destas infra-estruturas possa ainda ser escasso. Também o actual nível de conhecimento relativamente à aplicação de algumas soluções preconizadas para as obras de reabilitação de túneis ferroviários é escasso e o processo em si é algo impreciso. Mas, em relação aos materiais de reparação e respectivas técnicas de aplicação, o cenário é bem diferente.

Uma parcela considerável dos gastos no sector da construção civil está relacionada com as reparações. Esses gastos significantes influenciaram o mercado quanto aos materiais, técnicas e serviços. O número de materiais novos e serviços especializados que respondem aos requisitos específicos do mercado tem aumentado significativamente. Esse incremento de novos materiais, entretanto, fez com que houvesse uma maior complexidade para a selecção dos materiais e aumento do potencial de ocorrência de problemas, (*Mailvaganam, 2004*).

O critério usado para a escolha, tanto das soluções como dos materiais de reparação e respectivas técnicas de aplicação utilizados nas infra-estruturas analisadas para este trabalho, está baseado na experiência e contacto com os mesmos em outros casos existentes e no caso dos materiais, ainda segundo as recomendações dos fabricantes.

Outra questão fundamental diz respeito ao estudo de adequação do túnel às obras pretendidas, a qual está directamente relacionada com uma necessidade futura em adaptar a secção interior do túnel à colocação da catenária, implicando, por isso, o cumprimento de determinados gabaritos dentro do túnel, o do limite de obstáculos (GLO) e o de electrificação. Durante a obra também se deverá garantir o cumprimento do contorno de referência CRC/CPb+. Para os casos em estudo, este procedimento implicará o rebaixamento da via e conseqüente rebaixamento ou acerto do leito da plataforma, de forma a evitar-se quaisquer interferências na abóbada do túnel. O eventual rebaixamento da plataforma, para além de ter como objectivo compensar o rebaixamento de via necessário, ainda tem de garantir determinados parâmetros da subestrutura do túnel, concretamente uma espessura de balastro mínima de 25cm. Esta operação poderá ter como inconvenientes: o desamparo da soleira dos hasteais ou mesmo o seu descalçamento, para a qual será necessário tomar medidas de reforço; a necessidade de um método construtivo exigente, nomeadamente para a contenção e a suspensão da via e, a reformulação de todo o sistema de drenagem longitudinal.

Ainda relativamente à drenagem, é da maior importância garantir o bom escoamento das águas que afectam o interior do túnel e controlar as condições de drenagem ao nível da plataforma ferroviária. Existe uma preocupação acrescida, a ter em devida conta, com a captação e encaminhamento das águas que afectam a faixa central da abóbada e com a garantia de um escoamento eficiente das águas ao longo do sistema de drenagem longitudinal instalado no túnel. A drenagem estende-se ao exterior do túnel, nomeadamente com a execução de caleiras de crista de talude, caixas de recepção e derivação e descidas para encaminhamento das águas para as valetas de pé de talude.

Devido a questões de segurança de pessoas, serão executados nichos apenas no hasteal esquerdo (por haver uma única via, no sentido dos quilómetros crescentes), distanciados entre si, no máximo, de cerca de 50m. Se o comprimento do túnel for superior a 600m, será necessário prever-se a execução de uma câmara de serviço para apoio de pequenas reparações no interior do túnel, também construída no lado esquerdo.

Assim, facilmente se percebe que as obras de beneficiação e reforço destes túneis, deixam de ser um

problema maior de estrutura geológica e passam a ser mais um problema de requisitos de desempenho para os mesmos, os quais fazem depender tanto os métodos para a sua reabilitação como também, os custos inerentes e o tempo de construção envolvido.

É imperativo prever sistemas mecanizados de trabalho, nomeadamente, beneficiando e usufruindo da própria via-férrea com vista a dotar os processos construtivos de uma maior mobilidade e de um rendimento otimizado.

Tendo em conta todas estas considerações, serão pois, as reais condições de execução dos trabalhos que irão determinar a abordagem mais eficaz para cumprir os objectivos delineados e os requisitos pretendidos. Esta obra tem por isso, particularidades nos métodos construtivos e nos prazos disponíveis que obrigarão a um acompanhamento constante das várias entidades envolvidas, uma comunicação e interacção contínuas entre o Projectista, a Fiscalização e o Adjudicatário. Deste modo, permitir-se-á ajustar e otimizar os critérios e métodos construtivos recomendados, refinar as soluções preconizadas, procedendo aos ajustes necessários no plano de trabalhos, equipamentos, materiais e dosagens. Assim, otimiza-se a prestação da obra: contribuindo-se para a sua segurança e rentabilidade, reduzindo-se os custos, melhorando-se o controlo dos prazos e minimizando-se os efeitos retardadores das circunstâncias imprevistas.

A Fiscalização deverá desempenhar um papel fundamental no que diz respeito a proceder aos devidos ajustes em obra, caso assim o entenda, e a experimentar todas as soluções a serem aplicadas, segundo um plano a estabelecer pela mesma. Esta questão terá especial relevância nos aspectos relacionados com o rebaixamento da plataforma, com a execução dos nichos e com a drenagem.

## **1.2. OBJECTIVOS**

É de evidenciar que o actual nível de conhecimento relativamente à aplicação de algumas soluções preconizadas para as obras de reabilitação de túneis ferroviários, é escasso e o processo em si é algo impreciso. Assim, apesar deste trabalho se basear em quatro casos específicos, os objectivos principais são:

- Consolidar um conjunto de meios de inspecção e de prospecção práticos e eficazes que permitam:
  - ✓ Caracterizar este tipo de infra-estrutura;
  - ✓ Caracterizar as suas anomalias mais frequentes e possíveis agentes causadores.
- Consolidar um conjunto de soluções de reparação local;
- Consolidar um conjunto de soluções de reforço geral complementado por um sistema de drenagem transversal, tendo em conta:
  - ✓ A electrificação e reestruturação das vias ferroviárias;
  - ✓ Que a execução das obras será realizada em 4 horas diárias, em período nocturno.
- Analisar as eventuais consequências resultantes das soluções de reforço geral e dos requisitos acima referidos apresentando as medidas necessárias para as empreender, nomeadamente no que diz respeito ao rebaixamento da via e da plataforma, reforço da soleira dos hasteais e reformulação da drenagem longitudinal;
- Apresentar disposições construtivas e respectivo faseamento da execução de nichos e câmara de serviço por forma a assegurar a segurança de pessoas e bens;
- Apresentar tratamentos para os emboquilhamentos dos túneis;

- Referir a importância da monitorização e instrumentação durante a execução das obras e da continuidade das mesmas na fase de exploração;

Neste trabalho ainda se irá indicar um possível planeamento das obras e abordar os factores que tornam este tipo de intervenção mais onerosa do que, eventualmente, a construção de um túnel novo.

### **1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO**

No Capítulo 2 serão apresentados os diferentes métodos de inspecção e prospecção de reconhecimento usados para a elaboração dos Projectos de Execução dos quatro túneis em estudo e as informações obtidas através dos mesmos.

Posteriormente, apresentar-se-ão no Capítulo 3 os diferentes métodos com vista à reabilitação e/ou reforço dos respectivos túneis e a sequência construtiva intrínseca aos mesmos, tanto em zonas revestidas a alvenaria como não revestidas, considerando uma futura electrificação da via.

No Capítulo 4 apresentar-se-á o estudo para a definição da nova via e o estudo da necessidade rebaixamento ou acerto da plataforma. Também serão apresentadas as soluções para o reforço da soleira dos hasteais e a reformulação do sistema de drenagem longitudinal.

No Capítulo 5 apresentar-se-ão as estruturas e as disposições construtivas dos nichos e câmara de serviço a serem construídas, descrevendo as respectivas sequências de execução.

No Capítulo 6 serão apresentados os estudos de estabilidade global e de drenagem para os taludes dos emboquilhamentos dos túneis e a implementação das medidas necessárias à eliminação de eventuais desprendimentos de materiais ou blocos rochosos que possam afectar a infra-estrutura da linha-férrea.

No Capítulo 7 será abordada a importância da monitorização, instrumentação e controlo durante a execução das obras e, posteriormente, na fase de exploração.

No Capítulo 8 será abordado um possível planeamento da obra, embora este não seja da responsabilidade do Projectista. Apresentar-se-ão os principais factores que tornam este tipo de intervenção mais onerosa do que, eventualmente, a construção de um túnel novo e, ainda, as principais diferenças entre um projecto de construção nova e um projecto de renovação de uma infra-estrutura ferroviária.

No Capítulo 9 serão apresentadas algumas sugestões para futuras pesquisas no âmbito do tema abordado neste trabalho.



# 2

## CARACTERIZAÇÃO DO EXISTENTE

### 2.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Conforme já foi referido, a abordagem deste trabalho começa pela pesquisa dos diferentes métodos de inspecção e prospecção usados a fim de caracterizar as estruturas subterrâneas ferroviárias em questão, a avaliação do seu estado de conservação, as eventuais debilidades e disfunções (anomalias) que possam comprometer os propósitos traçados e o bom desempenho da ferrovia e os seus possíveis agentes causadores. A caracterização da infra-estrutura inclui a respectiva geometria, os aspectos geológico-geotécnicos no qual foi construída, a configuração dos revestimentos utilizados e os materiais constituintes.

Assim, é fácil compreender a importância de tais métodos de diagnóstico pois, apenas com base nas informações obtidas através dos mesmos é possível escolher as soluções e as técnicas mais adequadas à reabilitação dos túneis. Para as obras subterrâneas em estudo esta questão ganha ainda maior importância e complexidade, por terem mais de 130 anos e terem sido executadas sem projecto, ou seja, as obras não foram dimensionadas e não existe qualquer informação sobre os métodos construtivos das mesmas.

Existem vários meios de inspecção e prospecção de reconhecimento, mas estes devem constituir uma forma económica, prática, fiável e directa de efectuar os levantamentos nos túneis com vista à caracterização acima referida. No caso das obras em análise, estes trabalhos no interior dos túneis tiveram de ser realizados num regime de interdições normais em período nocturno de 4 horas diárias pois, a circulação de comboios não podia ser afectada. Logo, convinha que tirassem o máximo partido da via-férrea e que não fossem demorados.

Um aspecto importante é a forma como se organiza a informação colectada. Além da elaboração de um relatório técnico convém realizar mapeamentos das anomalias. Estes não só poderão ser usados para a elaboração dos projectos de reabilitação mas também na execução da obra. A fotografia é um meio eficaz e prático de recolher informação visual, como por exemplo sobre o local; exteriores às obras; a configuração das bocas dos túneis; os revestimentos e o seu estado de conservação; fissuras mais pronunciadas ou escorrências que possam existir; etc.

Assim, a partir da informação que se pretende obter, é necessário traçar um plano de prospecção que deverá incluir a definição e localização dos trabalhos, indicações quanto à colheita de amostras e à realização de ensaios *in situ*. Este plano deverá ser flexível, adaptando-se às condições reais encontradas no terreno. O responsável pelo programa de prospecção terá de ter conhecimentos geológicos e dominar as técnicas de inspecção e de prospecção geotécnica actualmente disponíveis.

Com este capítulo pretende-se consolidar um conjunto de meios de inspecção e de prospecção que permitam caracterizar este tipo de infra-estrutura, suas anomalias mais frequentes e possíveis agentes causadores. No ponto seguinte descrever-se-ão os meios usados e qual o seu fim para os projectos em análise e no ponto 2.2.2 apresentar-se-ão os resultados obtidos através dos mesmos.

Além dos levantamentos feitos com base nas inspecções realizadas, o Projectista também analisou relatórios disponibilizados pela REFER referentes a anteriores inspecções efectuadas, pelos Serviços de Conservação de Túneis da REFER para os quatro túneis e ainda, pelo LNEC para os túneis de Sta. Lucrecia e Caminha.

A REFER também disponibilizou os elementos obtidos do levantamento de perfis transversais realizado em 2000 através do sistema de laser radar. Os elementos foram disponibilizados sob a forma de gráficos contendo as secções transversais já referidas bem como, o contorno de referência (gabarí cinematográfico, CPb+) e os gabarís limite de obstáculos (GLO) e de electrificação mínimo. Estes serviram de base para o estudo das soluções de reforço geral e para o rebaixamento da via, conforme se verá nos capítulos 3 e 4, respectivamente.

Outros dados importantes são as eventuais reparações que tenham sido efectuadas. Dos casos em estudo, apenas os túneis de Tamel e Caminha tiveram obras de reparação. O túnel de Tamel foi sujeito a obras de reparação em 1959 e 1972, que consistiram no refechamento de juntas e construção de drenos e, o túnel de Caminha foi submetido a reparação geral em 1963.

## **2.2. INSPECÇÃO E PROSPECÇÃO DE RECONHECIMENTO**

### **2.2.1. MÉTODOS DE INSPECÇÃO E PROSPECÇÃO DE RECONHECIMENTO USADOS**

Para a elaboração dos Projectos de Execução dos 4 túneis em análise, foram realizadas: visitas de inspecção, execução de poços de via, prospecção geofísica com georadar, análises químicas de águas, extracção de carotes do maciço (em zonas não revestidas) e avaliação da profundidade de alguns vazios no extradorso.

#### **Visitas de inspecção**

Para estes projectos foram realizadas várias visitas aos túneis, tanto no seu interior como às zonas exteriores adjacentes.

As visitas de inspecção aos túneis permitiram, de forma geral, tomar contacto com as diversas anomalias que afectam o revestimento e detectar as situações que pudessem condicionar os projectos de beneficiação e eventual modernização e reestruturação da linha-férrea. Algumas visitas foram efectuadas com meios de mobilização ferroviários e de elevação (Fig.2 e 3), que permitiram examinar as alvenarias com mais cuidado e outras, com meios de iluminação e métodos expeditos de prospecção ligeira, que serviram para avaliar o estado dos revestimentos.

Relativamente aos emboquilhamentos dos túneis, as visitas de inspecção permitiram analisar as acessibilidades aos mesmos, os recobrimentos, os problemas de estabilidade que afectam os taludes e a drenagem no exterior dos mesmos.

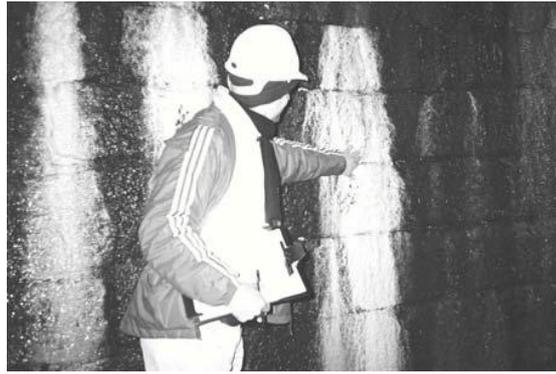


Fig.1 - Inspeções visuais das escorrências (GEG)



Fig.2 - Inspeções visuais do maciço encaixante (GEG)

Fig.3 – Veículo (ferroviário) de apoio a uma das visitas de inspeção (GEG)

### Execução de poços de via

O plano de inspeção previa a execução de alguns poços na via com vista a visualizar as condições de fundação dos hasteais, a espessura do balastro e os materiais que constituem a base da plataforma. No entanto, a existência de infra-estruturas de drenagem e cabos de fibra óptica e também, a própria morosidade associada à execução dos poços, impediram que os mesmos se efectuassem com êxito. Todavia, mesmo considerando essas condições, foram realizados alguns poços nos túneis de Tamel e de Caminha.



Fig.4 – Execução de poço na via (GEG)

### Prospecção geofísica com georadar

Face à necessidade de caracterizar as condições geométricas da base da plataforma e, dada a insuficiência da amostragem obtida pelos poços para os túneis acima referidos e a inviabilidade da execução dos mesmos para os túneis de São Miguel da Carreira e de Sta. Lucrecia, empreendeu-se uma campanha de prospecção geofísica com a execução de perfis longitudinais com georadar. Face aos resultados obtidos e recorrendo a algumas aproximações e simplificações, estimou-se o possível posicionamento do leito da plataforma existente ao longo do túnel. Este estudo servirá de base para o rebaixamento da plataforma, conforme se verá no respectivo capítulo.

A prospecção geofísica com georadar é uma técnica não destrutiva, ideal para iniciar o diagnóstico do túnel e fazer uma avaliação rápida da estrutura. É já bastante difundida e as suas aplicações em túneis é bem aceite em vários países.

Assiste-se actualmente, a uma maior utilização de ensaios de prospecção geofísica para a caracterização geotécnica. Os baixos custos da maioria dos ensaios geofísicos associados à possibilidade de medir grandezas físicas, quando incluídos num plano de prospecção com sondagens e outros ensaios *in situ*, tem provado ser de grande utilidade (Isabel Lopes *et al*, Março 2008).

O georadar é uma técnica do tipo electro-magnética e é considerada como de alto ou de muito alto potencial para aplicação em túneis. Essa classificação refere-se principalmente à rapidez na execução da inspecção e à eficiência do método em detectar anomalias no sistema de suporte (Haack *et al.*, 1995).

O GPR (*Ground Penetrating Radar*) ou Georadar, como também é conhecido, é um método geofísico de investigação que opera na faixa de radiofrequência (MHz) emitindo e recebendo ondas electromagnéticas através de antenas transmissoras e receptoras conectadas a uma unidade de controlo. Esse método baseia-se nas reflexões que as ondas electromagnéticas sofrem ao encontrarem descontinuidades, que correspondem a mudanças de propriedades dieléctricas. A dielectricidade é o fenómeno que governa a velocidade de difusão de ondas electromagnéticas em diferentes materiais. Outra propriedade que influencia a difusão de ondas electromagnéticas em um meio é a condutividade, que representa a habilidade do material para conduzir electricidade (Celestino, 1997).

O Georadar, assim como diversos equipamentos de pesquisa, foi inicialmente desenvolvido para fins militares na segunda grande guerra, onde era utilizado para localizar armas, bombas e galerias subterrâneas. Actualmente, o GPR é considerado o equipamento mais sofisticado para sondagens e investigações de baixa profundidade (Esteio).

Um exemplo de georadar é apresentado na figura seguinte.



Fig.5 – Exemplo de georadar (Esteio)

A profundidade de penetração da onda electromagnética na estrutura do túnel depende principalmente de três factores: frequência, reflexão e condutividade. Por meio desse método é possível determinar anomalias estruturais (vazios); variações de espessura e materiais constituintes do sistema de suporte do túnel (reforço, arcos etc.); vazios entre o suporte e o maciço; as condições do maciço circundante, detectando a presença de vazios no mesmo, variação na sua constituição e anomalias (Naumann et al., 2003).

A antena do aparelho de georadar tem um ângulo de reflexão de  $60^\circ$ , portanto as anomalias são identificadas antes que a antena esteja localizada directamente acima delas. À medida que a antena é guiada pela superfície da estrutura em direcção ao defeito, o tempo de transmissão do sinal se torna cada vez menor, até que a antena esteja localizada exactamente acima da anomalia. Quando a antena se vai afastando, o sinal volta a crescer, portanto, quando uma anomalia está presente, é obtida uma curva hiperbólica de tempo (Haack et al, 1995), Fig.6.

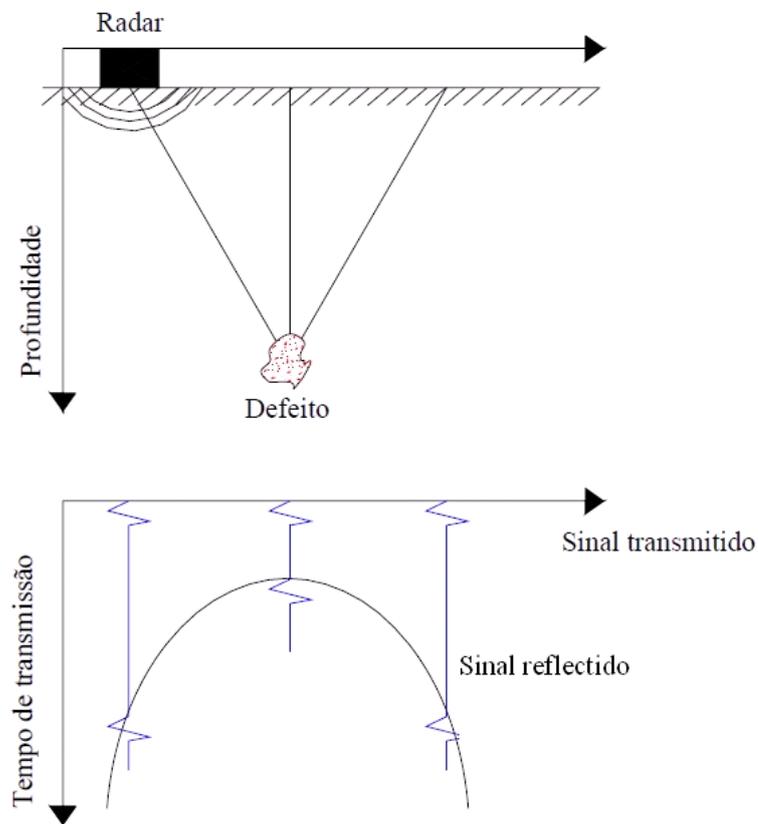


Fig.6 - Princípio do Georadar (mod. de Haack et al., 1995)

Algumas das limitações encontradas com o uso do georadar (Karoline Lemos, 2005), para o estudo em questão, entre outras, são:

- A dificuldade de determinar fissuras com espessura entre 0,3 e 3 mm em superfícies secas;
- A presença de humidade altera a constante dieléctrica do meio, influenciando assim a velocidade de propagação da onda e o tempo de reflexão da mesma;
- Geralmente requer calibração através de outros métodos.

Outra desvantagem, mas que não tem influência para o caso em estudo, é a presença de armadura no betão, o que dificulta a detecção de defeitos, por ser uma superfície reflectora.

As principais vantagens do georadar, segundo (Esteio) são:

- Possibilidade de executar perfis contínuos do suporte do túnel e do solo;
- Rapidez e baixo custo nos levantamentos comparativamente às sondagens que geralmente são estudos pontuais;
- Resultados rápidos e de alta resolução.

Para aos túneis em estudo, os trabalhos de aquisição foram feitos de duas formas. Uma delas foi usando um sistema CART com uma antena de 500 MHz, mas que após a primeira análise dos dados relativos ao primeiro túnel optou-se também por usar-se uma antena de 800MHz para os restantes, de modo a obter-se maior definição a pequena profundidade.



Fig.7 – Sistema CART de aquisição de dados (GEG)

O sistema CART permitiu que a velocidade de colheita dos dados fosse controlada pelo operador do CART. No entanto, uma vez que durante a aquisição de dados existiam trabalhos paralelos de topografia que, por vezes, impediam o avanço da do georadar, surgiu a necessidade de tornar mais célere a aquisição de dados, optando-se por outro método.

Assim, para alguns túneis optou-se por acoplar uma estrutura à dresine que transportava a antena.

---

A parte do texto apresentado relativo ao georadar, suas vantagens e limitações foram citadas e adaptadas de *Karoline Lemos, 2005*.

---

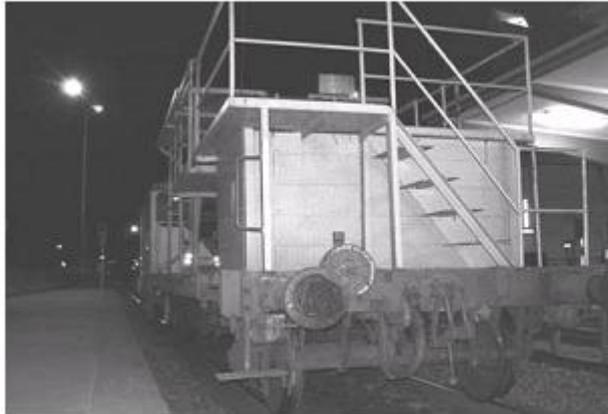


Fig.8 – Dresine de apoio (GEG)



Fig.9 – Sistema suspenso na dresine (GEG)

Em ambos os casos de aquisição foram introduzidos pontos de referência correspondentes às marcas decamétricas. A resolução espacial média foi de 0,02m, ou seja foram adquiridos dados em cada 0,02m ao longo de cada perfil. Os dados “brutos” adquiridos são alvo de uma sequência de processamento de modo a regularizar a distribuição espacial dos traços, filtrar conteúdos em frequência “indesejáveis” e melhorar a razão sinal/ruído.

#### **Análises químicas de águas**

O objectivo destas análises é conhecer a agressividade das águas, se são ou não incrustantes e a sua alcalinidade ( $\text{CaCO}_3$ ), nomeadamente em contacto com o betão, com base nos níveis de iões em sulfatos ( $\text{So}_4$ ) e magnésio (Mg). E também qual a sua contribuição para a degradação do actual revestimento.

As amostras foram retiradas de diferentes pontos do túnel, das abóbadas, dos hasteais e da drenagem.



Fig.10 e 11 – Recolhas de amostras de água (GEG)

Através destes ensaios pode determinar-se se o tipo de betão a usar tem de ser especial caso as águas sejam quimicamente agressivas para o mesmo. A tabela abaixo define a agressividade química das águas em contacto com o betão.

Tabela 1 – Definição da agressividade química das águas em contacto com o betão  
(Quadro III do RBLH - Regulamento de Betões de Ligantes Hidráulicos)

Agressividade química da água	Valor da agressividade para o carbonato de cálcio expresso apenas em $\text{CaCO}_3$ ( $\text{mg}/\text{dm}^3$ )	Teor em iões agressivos ( $\text{mg}/\text{dm}^3$ )
Elevada	$\geq 25$	-
	(água não incustrante)	
	$> 0$   $< 25$	$\geq 300$
Moderada	(água não incustrante)	$< 300$
	$> 0$   $< 25$	
	(água não incustrante)	$\geq 300$
	$= 0$	
	(água em equilíbrio)	
$< 0$	$\geq 300$	
(água incustrante)		

### Extracção de carotes do maciço

Foram retiradas carotes em zonas não revestidas dos túneis de Tamel e de Caminha. Posteriormente, foram sujeitos a ensaios de compressão com medição de deformabilidade.

As carotes são corpos-de-prova cilíndricos que foram retirados com uma máquina eléctrica extractora dotada de coroa diamantada rotativa de 105mm de diâmetro interior.



Fig.12 – Extracção de carote (GEG)



Fig.13 - Tipos de amostras recolhidas (GEG)

Mediante a rotura desses corpos-de-prova determina-se a sua resistência à compressão uniaxial, módulo de deformação e diagrama tensão-deformação. Existem alguns factores importantes a ter em

conta neste tipo de ensaios, nomeadamente no que diz respeito à preparação dos testemunhos a serem ensaiados (os topos têm de ser cortados de forma a que as superfícies fiquem perpendiculares à da placa de ensaio e bem rematadas, lisas), à forma e volume dos mesmos. Quanto às amostras retiradas, estas deverão ser intactas (ou indeformadas), ou seja, amostras que contenham todas as características que se verificam “in situ”, exceptuando-se naturalmente o estado de tensão.

Note-se que a resistência à compressão uniaxial é um parâmetro que descreve uma característica mecânica do “material-rocha” em si, mais do que propriamente do maciço rochoso, formado por “blocos” de “rocha intacta”. A resistência mecânica à compressão pode mesmo considerar-se uma propriedade-índice da maior importância. (Nunes da Costa, UNL, 2006/2007).

Assim, os parâmetros acima descritos (resistência à compressão uniaxial e módulo de deformabilidade) permitem indicar o tipo de material existente.

O valor de resistência à compressão uniaxial é um critério bastante usado para o estabelecimento dos limites entre solos e rocha, conforme se depreende da tabela seguinte.

Tabela 2 – Algumas propriedades mecânicas de rochas, solos e rochas de baixa resistência (adapt. de Rocha, 1977)

Parâmetros	Solos	Rochas	Rochas de baixa resistência
Módulo de Deformabilidade (MPa)	<50	$4 \times 10^2$ a $10^5$	$4 \times 10^2$ a $4 \times 10^3$
Resistência à Compressão Uniaxial (MPa)	<2	2 a $3 \times 10^2$	2 a 20
Coesão (MPa)	<0.25	0.4 a $3 \times 10^2$	0.4 a 50
Ângulo de atrito	<40°	<65°	<45°

Estes valores têm vindo a descer até 1,25 MPa, à medida que a investigação em rochas extremamente brandas tem vindo a desenvolver-se (Vallejo, 2002).

Para além do parâmetro de resistência à compressão uniaxial existem outros parâmetros que caracterizam mecanicamente o “material-rocha”.

As propriedades físicas, ou propriedades-índice das rochas, determinam-se normalmente em laboratório. As mais importantes a nível da influência no comportamento mecânico dos materiais rochosos são, para além da resistência à compressão, a porosidade, o peso específico e a alterabilidade, ou durabilidade (Nunes da Costa, UNL, 2006/2007).

O ideal é realizar ensaios de forma a determinar estas outras propriedades e complementar os resultados obtidos pelo ensaio de compressão uniaxial, já que existem sempre erros e dificuldades inerentes à limitação do tipo de ensaio em questão e ao facto das amostras obtidas não estarem nas perfeitas condições.

A tabela seguinte relaciona as propriedades acima citadas com tipos de rocha existentes.

Tabela 3 – Valores médios de resistência à compressão uniaxial para rochas  
(adapt. e modif. de Vallejo *et al*, 2002)

Rocha	$\sigma_c$ (MPa)	Peso específico (g/cm <sup>3</sup> )	Porosidade (%)
Andesito	210 - 320	2,2 - 2,35	10 - 15
Basalto	150 - 215	2,7 - 2,9	0,1 - 2
Calcário	80 - 140	2,3 - 2,6	5 - 20
Quartzito	200 - 320	2,6 - 2,7	0,1 - 0,5
Diorito	180 - 245	2,7 - 2,85	0,2 - 1,0
Dolomito	200 - 300	2,5 - 2,6	0,5 - 10
Gabro	210 - 280	3,0 - 3,1	0,1 - 0,2
Granito	170 - 230	2,6 - 2,7	0,5 - 1,5
Grauvaque	180	2,8	3

Para além da extracção de carotes ainda se recolheram amostras de materiais resultantes de escorrências e pequenos fragmentos rochosos.



Fig.14 – Recolha de amostras (GEG)

### Profundidade de alguns vazios no extradorso

De uma forma descontínua e apenas para efeitos de referência, foi possível aferir a profundidade de alguns vazios existentes no extradorso, com recurso a uma prospecção expedita não destrutiva. Essa aferição foi efectuada com varões de aço calibrados que foram sendo introduzidos nas diversas juntas abertas e desguarnecidas, detectadas ao longo dos túneis. Como a amostragem é pouco representativa daquilo que realmente acontece no extradorso do sustimento, este procedimento apenas pode dar

alguma informação de referência sobre a eventual lavagem de material no extradorso.



Fig.15 - Prospecção de vazios no extradorso (GEG)

### **Técnica de laser radar**

Conforme já foi referido, esta técnica foi usada em 2000 pela REFER para efectuar o levantamento da geometria de cada secção transversal do túnel. O seu princípio de funcionamento está descrito no anexo A1. Como exemplos, apresenta-se na figura seguinte dois perfis transversais resultantes do levantamento realizado com o laser radar.

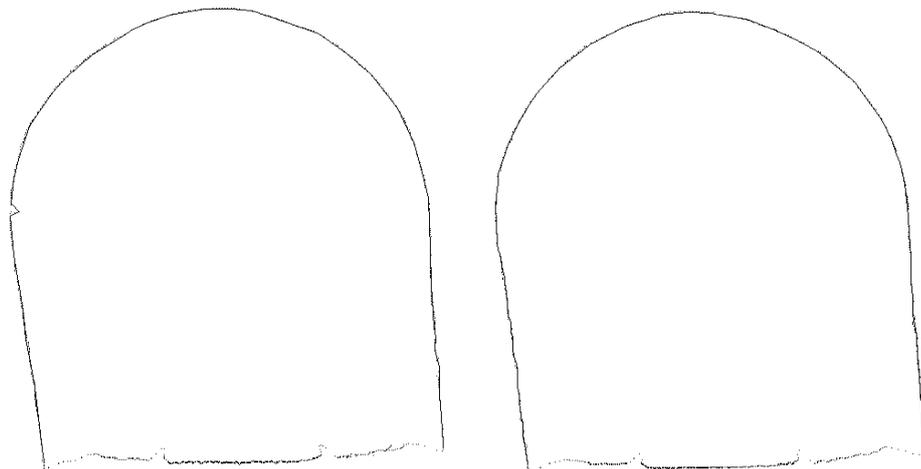


Fig.16 – Exemplos de perfis transversais (adapt. de REFER)

## 2.2.2. RESULTADOS

Neste ponto apresentar-se-ão os resultados obtidos das inspecções visuais e dos métodos de prospecção acima descritos para cada um dos quatro túneis em estudo.

No ponto 2.2.2.1 serão apresentados os seguintes elementos:

- Ano de construção e extensões dos túneis;
- Tipo de via, bitola e patamar de velocidades praticadas na linha ferroviária do Minho.
- Foto aérea e planta de implantação das infra-estruturas;
- Caracterização geológico-geotécnica e carta geológica da área de implantação das obras;
- Características geométricas dos túneis;
- Recobrimento dos túneis e as acessibilidades aos taludes de emboquilhamento;
- Resultados das análises químicas de águas, da execução de poços de via (túneis de Tamel e Caminha), da prospecção geofísica com georadar e da extracção de carotes do maciço (túneis de Tamel e Caminha);

No ponto 2.2.2.2 serão apresentados os diferentes tipos de revestimento de suporte dos túneis e no ponto 2.2.2.3 serão descritas as anomalias encontradas.

### 2.2.2.1. Caracterização das infra-estruturas analisadas

As figuras seguintes ajudam a caracterizar a linha ferroviária do Minho quanto ao seu trajecto, estações, túneis existentes ao longo da mesma, tipo de via, tipo de bitola e os patamares de velocidade praticada.



Fig.17 – Representação esquemática da linha ferroviária do Minho



Fig.18 – Tipo de via da Linha do Minho: única com 133.8 km, aproximadamente (adapt. REFER)

**LEGENDA:**

**VIA LARGA**

- 1 Linha do Minho
- 3 Conc. de S. Gemil
- 4 Ramal de Braga
- 5 Linha de Leixões
- 6 Linha do Douro
- 8 Linha do Norte
- 9 Linha de Guimarães
- 20 Linha da Beira Alta
- 22 Ramal de Alfarelos

**VIA ESTREITA**

- 12 Linha do Tâmega(1)
- 13 Linha do Corgo(1)
- 14 Linha do Tua(1)
- 16 Linha do Vouga(1)

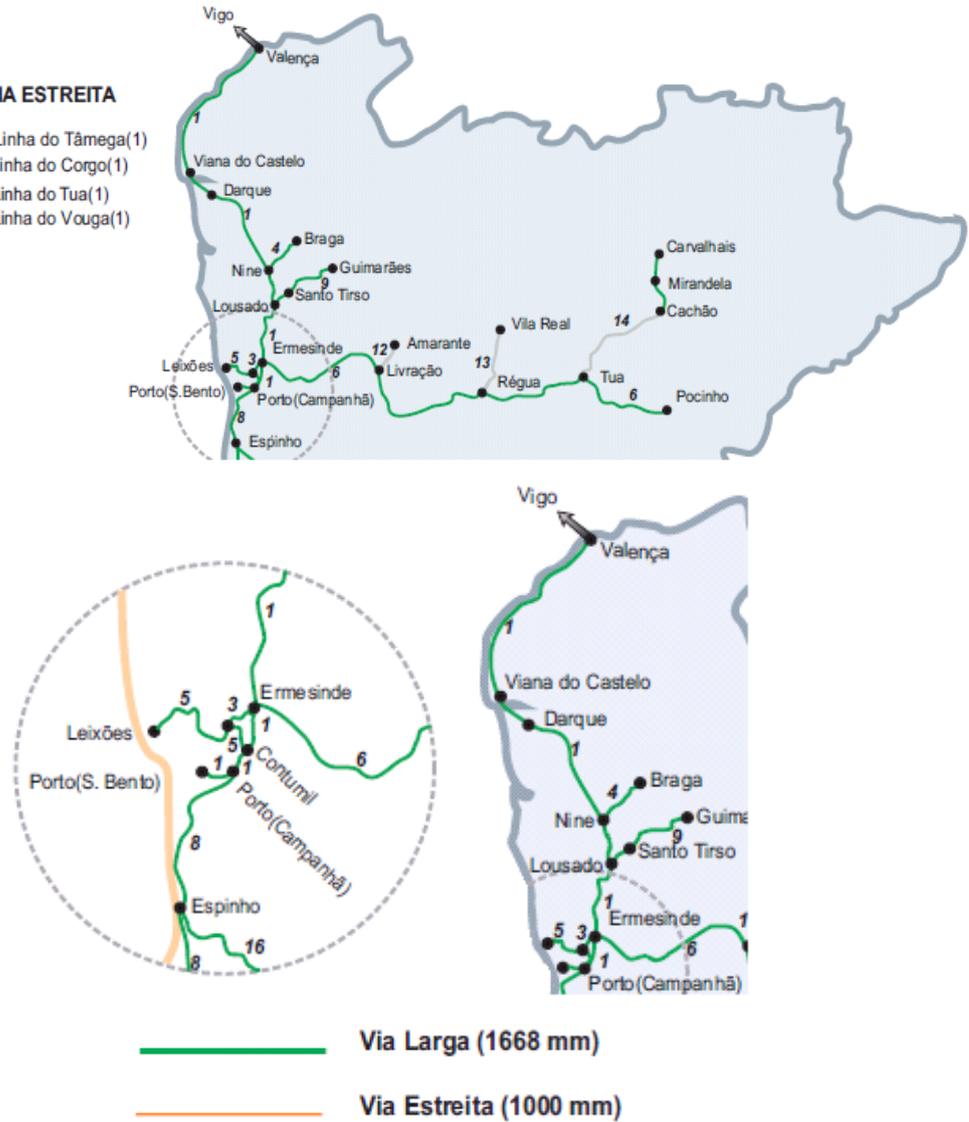


Fig.19 – Tipo de bitola: via larga (1) destacada de Porto/Campanhã até Valença (adapt. REFER)

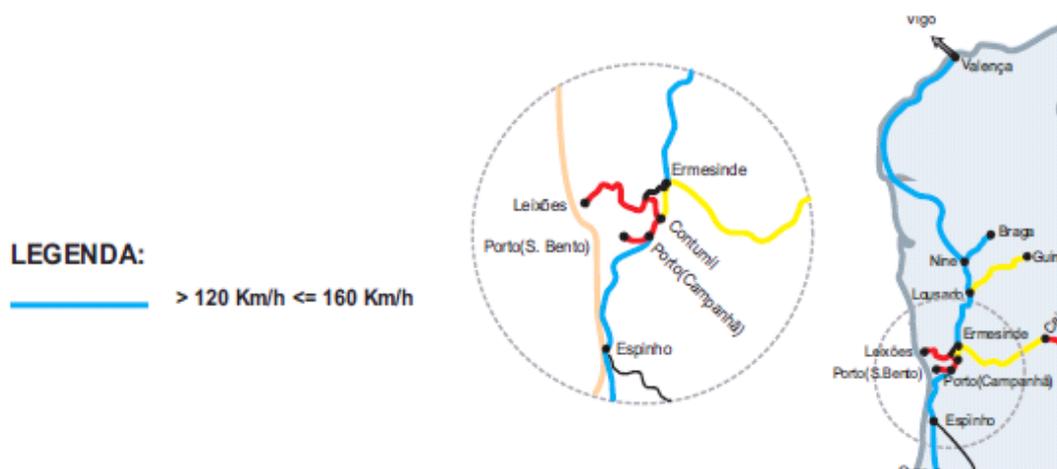


Fig.20 – Patamar de velocidade praticada na Linha do Minho: [120, 160] km/h (adapt. REFER)

Na tabela seguinte apresentam-se os anos de construção e extensões dos túneis.

Tabela 4 – Anos de construção e extensões dos túneis

Túneis:	Túnel São Miguel da Carreira	Túnel de Tamel	Túnel de Sta. Lucrécia	Túnel de Caminha
Ano de construção:	1876	1878	1878	1878
Extensão aprox. (m):	261	981	230	409

As restantes características e resultados das análises efectuadas serão descritos a seguir para cada um dos túneis.

## TÚNEL DE SÃO MIGUEL DA CARREIRA

### ➤ Implantação do túnel:



Fig.21 – Foto aérea da implantação do túnel de São Miguel da Carreira (GEG)

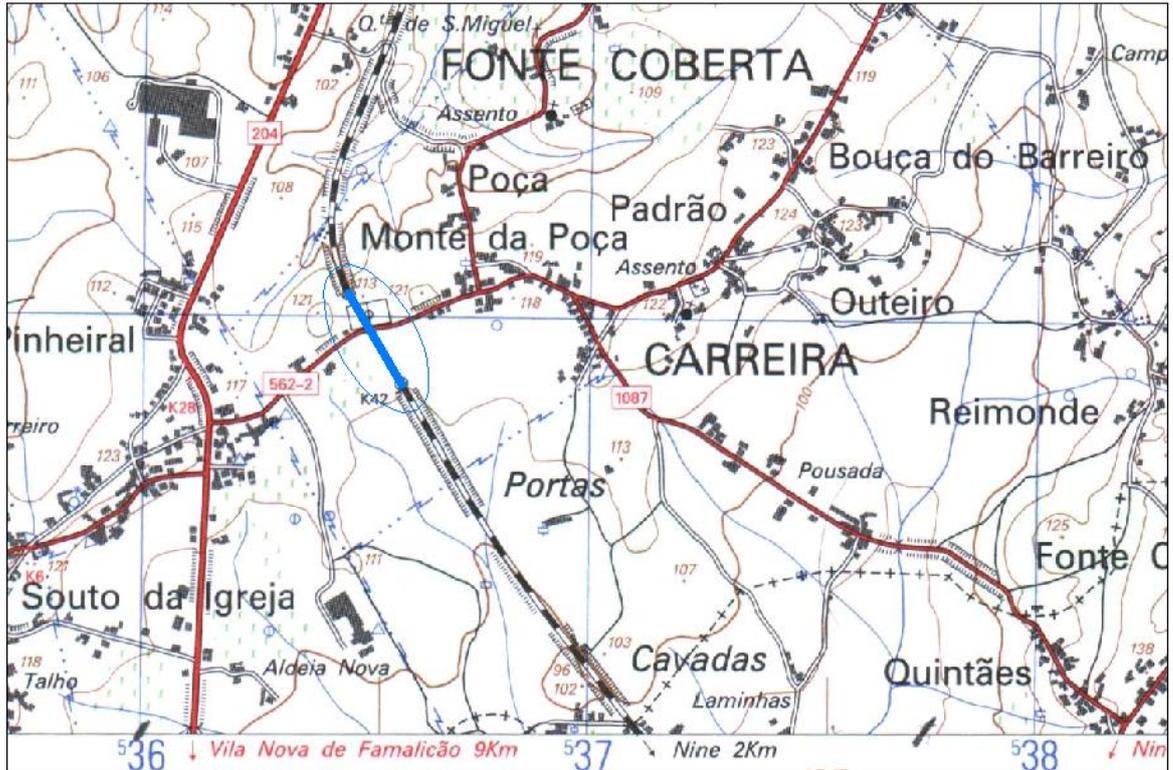


Fig.22 – Planta de implantação do túnel de São Miguel da Carreira (Carta Militar)

- **Caracterização geológico-geotécnica:** O túnel foi escavado em fácies de granito profiróide, de grão grosseiro ou grosseiro a médio (notícia explicativa da folha 5-C – Barcelos, Carta Geológica de Portugal, na escala 1:50000).



Fig.23 – Carta geológica para o túnel de São Miguel da Carreira (GEG)

- **Recobrimento de túnel:** Os taludes de emboquilhamento do túnel, com vegetação em ambos os lados da via, não permitem uma boa observação do maciço. Nas bocas de entrada e saída, o granito aflorante apresenta-se muito alterado e decomposto.
- **Acessibilidades:** Acesso de certa forma complicado. A melhor forma de se chegar à linha é por acesso viário, tanto à boca de entrada como à de saída do túnel. Para se chegar rapidamente à crista do emboquilhamento de saída é necessário atravessar um campo de futebol. Para aceder ao emboquilhamento de entrada terão de percorrer-se cerca de 200m no bosque. O acesso à via-férrea a partir da crista dos emboquilhamentos poderá ser dificultado, mas existe a possibilidade de se percorrerem os caminhos agrícolas que acompanham a crista de alguns taludes.

Estações colaterais: estações de Nine, a montante, e de Barcelos, a jusante (Fig.17).

- **Bocas de entrada e saída do túnel:** As bocas localizam-se interiormente ao maciço, com geometria em U invertido e sem muros ala.
- **Nichos (escapatórias de segurança):** Existem dois nichos, um do lado esquerdo<sup>1</sup>, ao ponto métrico 175e outro no lado direito<sup>1</sup>, ao ponto métrico 87. Ambos apresentam as molduras salientes relativamente ao revestimento do túnel, estando o seu interior totalmente revestido a cantaria.
- **Prospecção geofísica com georadar:** Para a prospecção geofísica com georadar usou-se um sistema CART com antena de 500 MHz. Os levantamentos foram efectuados numa noite.
- **Ensaio químicos das águas**

**Número de amostras retiradas:** 3

**Locais de recolha:**

- A1: ao ponto métrico 90, do lado esquerdo.
- A2 e A3: ao ponto métrico 70, na abóbada e no sistema de drenagem, respectivamente.

**Resultados dos ensaios químicos:** tabela 5.

Tabela 5 – Resultados obtidos da caracterização química das águas para o túnel de São Miguel da Carreira (GEG)

Localização	pH	SO <sub>4</sub> (ml/l)	Mg (mg/l)	NH <sub>4</sub> (mg/l)	S (mg/l)	Alcalinidade	
						Sem CaCO <sub>3</sub>	Com CaCO <sub>3</sub>
A1 - Escorrência	-	80	3210	0,05	< 0,1	-	-
A2 - Tecto	-	15	1392	0,65	< 0,1	-	-
A3 - Dreno	7,19	6,4	8	0,02	< 0,1	40	45

Através da análise das tabelas 1 e 4, concluiu-se que:

- A1 e A2 apresentam elevados níveis de iões em sulfatos e magnésio. Estes valores foram justificados devido à utilização de esponjas comerciais para auxiliar a recolha da água, contaminando as amostras. De qualquer modo, consideraram-se as amostras como tendo agressividade elevada.
- A3: A água classifica-se como não incrustante e de agressividade moderada.

De acordo com a tabela 1 (Quadro III do RBLH - Regulamento de Betões de Ligantes Hidráulicos) as águas deverão ser consideradas como tendo agressividade química moderada a elevada. Como tal, os betões a utilizar nas estruturas em contacto directo com estas águas deverão ser do tipo BD, classe 1.

## TÚNEL DE TAMEL

### ➤ Implantação do túnel:



Fig.24 – Foto aérea da implantação do túnel de Tamel (GEG)

<sup>1</sup> No sentido dos quilómetros crescentes conforme se apresenta nas fotos aéreas de implantação dos túneis.

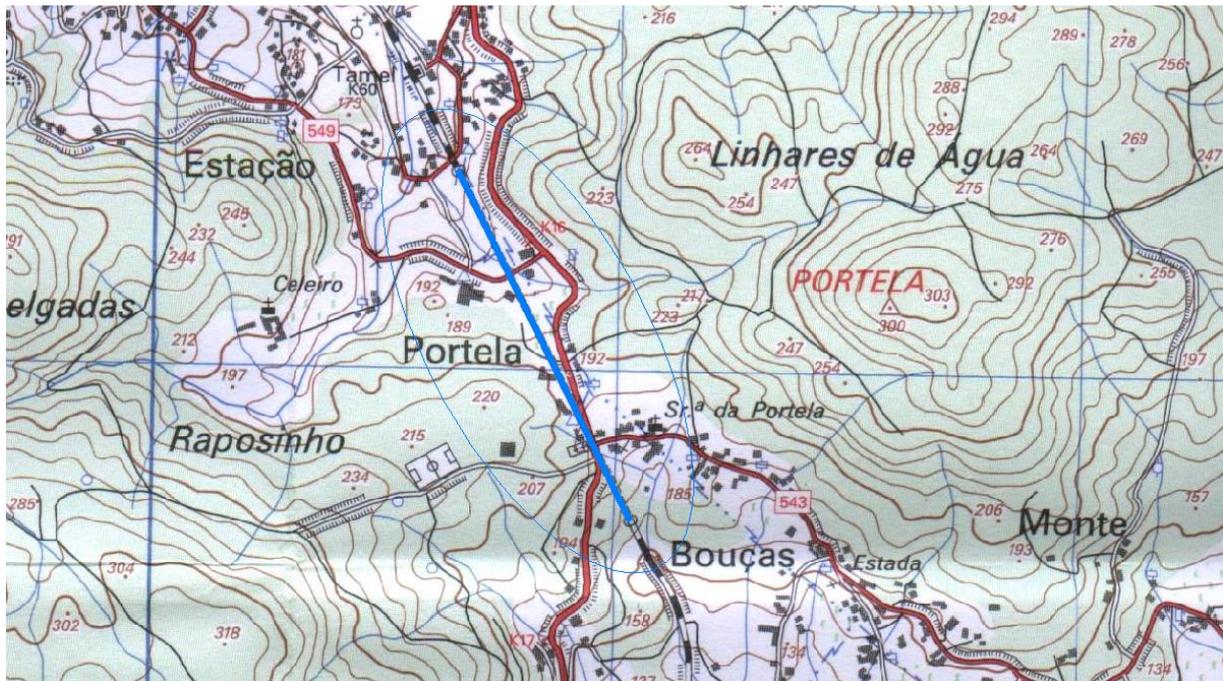


Fig.25 – Planta de implantação do túnel de Tameil (Carta Militar)

- **Caracterização geológico-geotécnica:** O túnel foi escavado num maciço de granito profiróide, de grão médio, por vezes grosseiro, em todo o seu comprimento (notícia explicativa da folha 5-C – Barcelos, Carta Geológica de Portugal, na escala 1:50000).

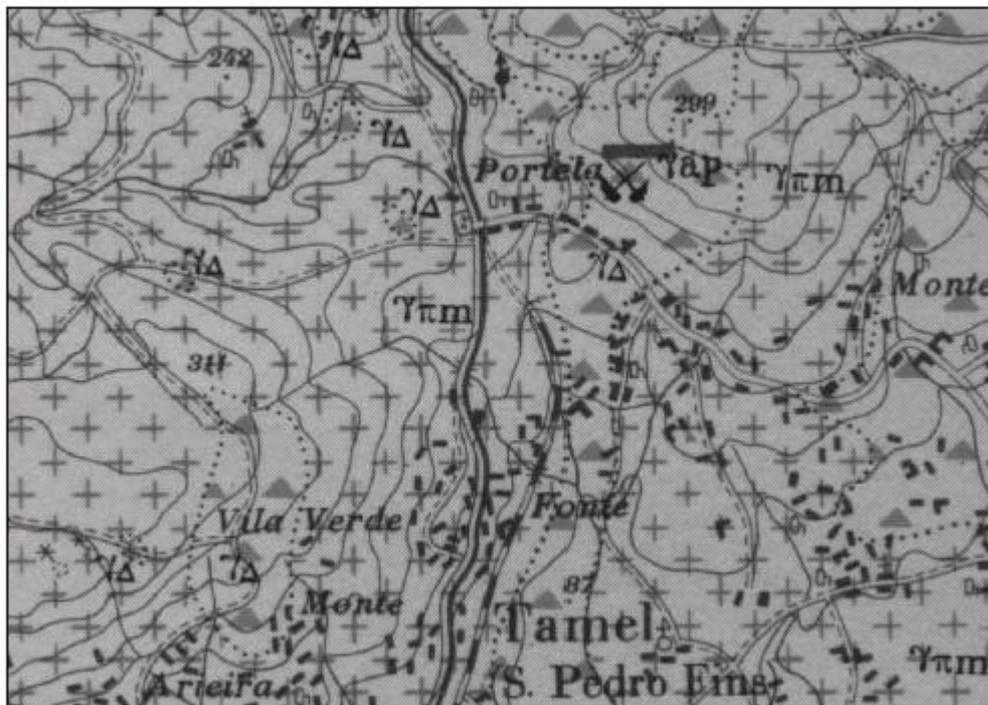


Fig.26 – Carta geológica para o túnel de Tameil (GEG)

- **Recobrimento de túnel:** A espessura de recobrimento de túnel varia entre 7 a 17m. O terreno é ocupado, essencialmente, por zonas de cultivo (com muita água) e por algumas habitações de pequeno porte na proximidade da boca de saída. Na boca de entrada observa-se um afloramento de granito muito alterado no lado esquerdo da via e quase decomposto no talude do lado direito. Na boca de saída não é possível observar o maciço devido à existência de vegetação e de muros em alvenaria.
- **Acessibilidades:** Acesso facilitado ao emboquilhamento de saída devido à existência da Estação de Tamel na proximidade da boca de saída (a cerca de 200m). Acesso rodoviário a 800m da boca de entrada. É possível visualizar todo o emboquilhamento a partir do arruamento que passa por cima da boca de saída do túnel. Poderá ser utilizado um caminho que permite um acesso mais directo à crista do emboquilhamento.

Estações colaterais: Barcelos, a montante e a de Tamel, a jusante (Fig.17).

- **Bocas de entrada e saída do túnel:** As bocas de entrada e saída do túnel estão localizadas interiormente ao maciço, apresentando uma geometria em U invertido, acompanhadas por muros ala.
- **Nichos:** Existem 8 nichos no lado esquerdo, aos pontos métricos 80, 175, 285, 380, 585, 680, 780 e 880. Existem 10 nichos no lado direito, aos pontos métricos 40, 115, 230, 335, 475, 530, 630, 730, 830 e 930. Todos eles apresentam as molduras salientes relativamente ao revestimento do túnel, estando o seu interior totalmente revestido a cantaria.
- **Poços de via:** Para este túnel foram executados 3 poços de via.

#### **Localização:**

- Do lado direito, aos pontos métricos 860 e 927;
- Do lado esquerdo, ao ponto métrico 924.

#### **Os poços efectuados permitiram:**

- Determinar a qualidade do balastro em profundidade, o qual se verificou estar predominantemente contaminado;
- Determinar a existência de um maciço de pedra de aproximadamente 25cm de altura e 30cm de largura, localizado entre o tubo de drenagem longitudinal e a plataforma ferroviária;
- Detectar a localização aproximada da fibra óptica, tendo sido encontrada junto ao referido maciço, do lado da via;
- Observar o tipo de plataforma e respectiva drenagem existente. A plataforma é constituída por balastro; travessas bi-bloco fora do túnel e travessas de madeira dentro do túnel; carris UIC-54 e fixações Grampo PRX120/07 nas travessas de betão (pregação GUIDE) e chapim e garras RNP nas travessas de madeira (pregação PRX 801). A drenagem da plataforma é constituída por um tubo circular com 150mm de diâmetro envolvido em geotêxtil e caleiras de alvenaria de granito em ambos os lados para evacuação das águas no interior do túnel. Existem drenos na abóbada com queda nas caleiras.

Convém referir que, antes de executados os poços, o Projectista não dispunha de qualquer informação que lhe desse indicação do posicionamento de cabos ou do tipo de drenagem existente.

- **Prospecção geofísica com georadar:** Para a prospecção geofísica com georadar usou-se um sistema CART com antena de 800 MHz. Os levantamentos foram efectuados numa noite.

➤ **Ensaios químicos das águas**

**Número de amostras retiradas:** 2

**Locais de recolha:**

- A1: amostra do hasteal direito.
- A2: amostra de pingos que caíam da abóbada.

**Resultados dos ensaios químicos:** tabela 6.

Tabela 6 – Resultados obtidos da caracterização química das águas para o túnel de Tamel (GEG)

Localização	pH	SO4 (ml/l)	Mg (mg/l)	NH4 (mg/l)	S (mg/l)	Alcalinidade	
						Sem CaCO <sub>3</sub>	Com CaCO <sub>3</sub>
A1	6,40	< 4,0	0,95	0,07	< 0,1	20	35
A2	6,05	< 4,0	7,19	0,1	< 0,1	100	200

Através da análise das tabelas 1 e 5, concluiu-se que:

- A1 apresenta agressividade moderada.
- A2 apresenta agressividade elevada.

De acordo com a tabela 1 (Quadro III do RBLH - Regulamento de Betões de Ligantes Hidráulicos) os resultados dos ensaios químicos efectuados indicaram que as duas amostras de água se classificam como sendo ácidas e não incrustantes. Como tal, os betões a utilizar nas estruturas em contacto directo com estas águas deverão ser do tipo BD, classe 1.

➤ **Extracção de carotes do maciço (em zonas não revestidas):**

**Número de amostras retiradas:** 2

**Locais de recolha:** pontos métricos 924, do lado esquerdo e à saída do túnel, do lado direito.

**Resultado do ensaio de compressão com medição de deformabilidade:** Apenas uma das amostras foi sujeita a este ensaio, tendo-se obtido uma Tensão de Rotura ( $\sigma_{ci}$ ) de cerca de 103,4MPa e um Módulo de Elasticidade (E) de 21,6GPa.

**Tipo de material:** Ambas as carotes representavam rocha granítica medianamente alterada a sã.

## TÚNEL DE STA. LUCRÉCIA

➤ **Implantação do túnel:**



Fig.27 – Foto aérea da implantação do túnel de Sta. Lucrecia (GEG)

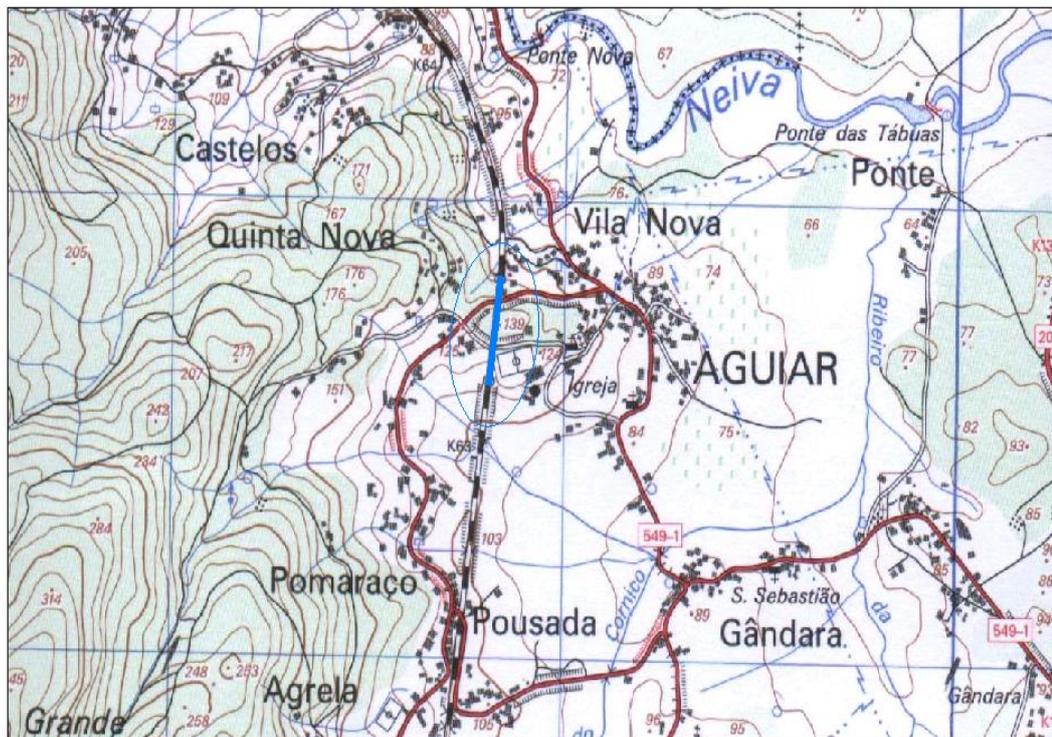


Fig.28 – Planta de implantação do túnel de Sta. Lucrecia (Carta Militar)

- **Caracterização geológico-geotécnica:** O túnel foi escavado em fácies de granito profiróide, de grão médio, por vezes grosseiro (notícia explicativa da folha 5-C – Barcelos, Carta Geológica de Portugal, na escala 1:50000).

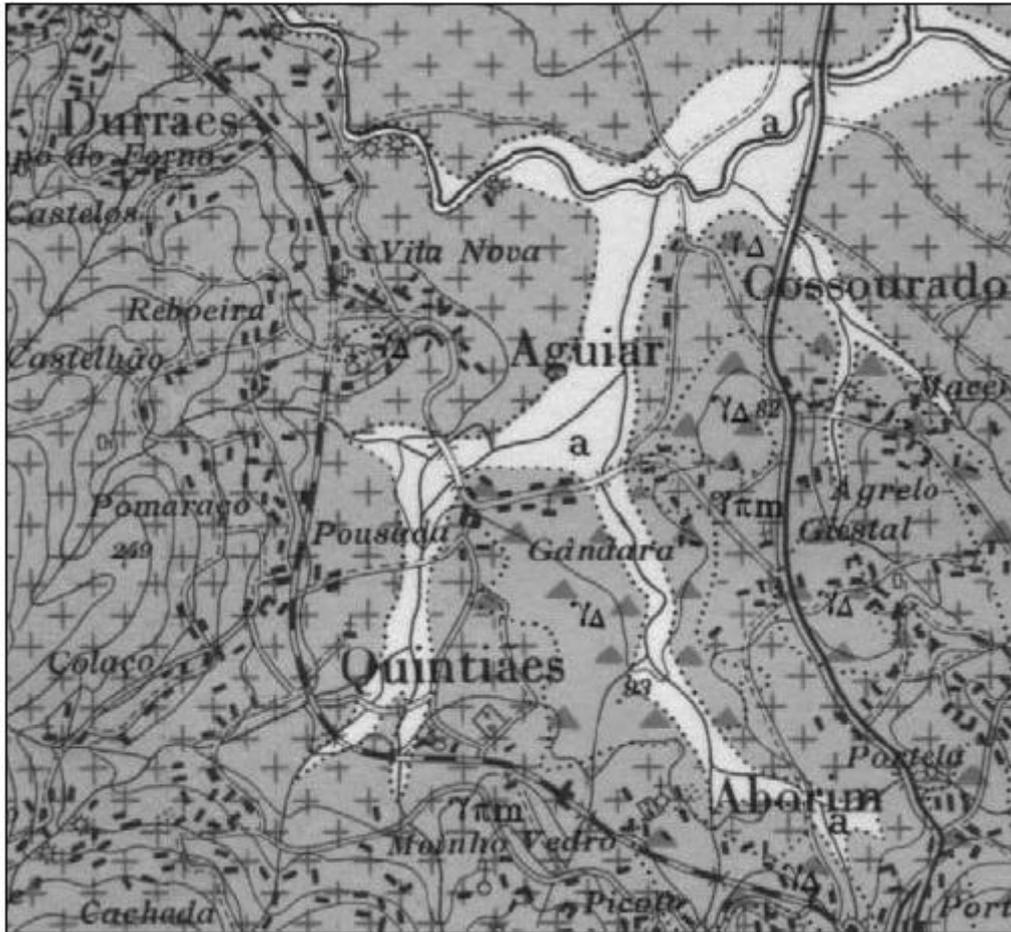


Fig.29 – Carta geológica para o túnel de Sta. Lucrécia (GEG)

- **Recobrimento de túnel:** Nas bocas de entrada e saída (zonas de testa) o recobrimento vegetal dos taludes não permitiu a observação do maciço rochoso.
- **Acessibilidades:** O acesso ao túnel pela linha é o mais recomendado. Para a boca de entrada deverá utilizar-se uma PN enquanto que para a boca de saída, deverá recorrer-se a caminhos agrícolas. A comunicação directa com a crista dos emboquilhamentos poderá ser feita pelo acesso que passa por cima do túnel em direcção a um campo de futebol.

Estações colaterais: Tamel, a montante e a de Barroelas, a jusante (Fig.17).

- **Bocas de entrada e saída do túnel:** As bocas de entrada e saída do túnel estão localizadas interiormente ao maciço, apresentando uma geometria em U invertido e com muros ala.
- **Nichos:** Não existem nichos no lado esquerdo e no lado direito existem dois, aos pontos métricos 60 e 180.
- **Prospecção geofísica com georadar:** Para a prospecção geofísica com georadar optou-se por acoplar

uma estrutura à dresine que transportava as antenas de 500 MHz e 800 MHz. Os levantamentos foram efectuados numa noite.

➤ **Ensaio químicos das águas**

**Número de amostras retiradas:** 2

**Locais de recolha:**

- A1: amostra de pingos que caíam da abóbada.
- A2: amostra retirada do sistema de drenagem.

**Resultados dos ensaios químicos:** tabela 7.

Tabela 7 – Resultados obtidos da caracterização química das águas para o túnel de Sta. Lucrécia (GEG)

Localização	pH	SO <sub>4</sub> (ml/l)	Mg (mg/l)	NH <sub>4</sub> (mg/l)	S (mg/l)	Alcalinidade	
						Sem CaCO <sub>3</sub>	Com CaCO <sub>3</sub>
A1 - Tecto	6,29	< 4,0	2,38	0,13	< 0,1	100	225
A2 - Drenagem	5,85	< 4,0	4,79	0,21	< 0,1	75	117

Através da análise das tabelas 1 e 7, concluiu-se que:

- A1 apresenta agressividade elevada.
- A2 apresenta agressividade elevada.

De acordo com a tabela 1 (Quadro III do RBLH - Regulamento de Betões de Ligantes Hidráulicos) os resultados dos ensaios químicos efectuados (Quadro I) indicam que a água se classifica como ácida, não incrustante e de agressividade elevada. Como tal, os betões a utilizar nas estruturas em contacto directo com estas águas deverão ser do tipo BD, classe 1.

## TÚNEL DE CAMINHA

➤ **Implantação do túnel:**

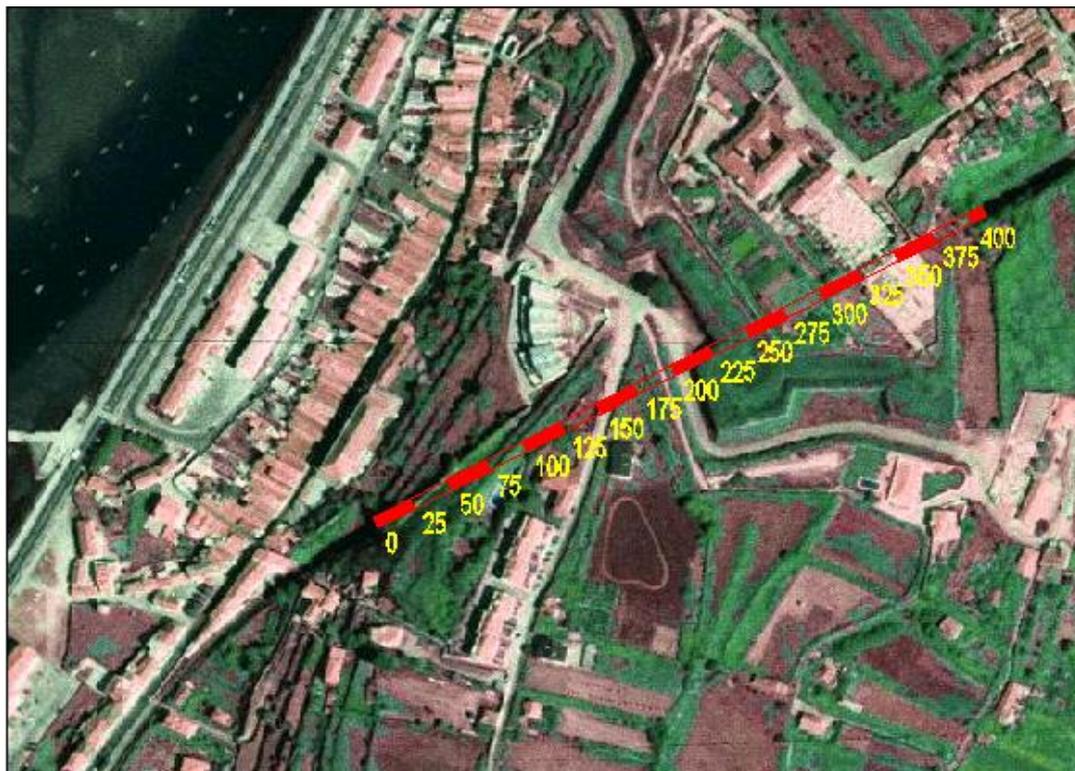


Fig.30 – Foto aérea da implantação do túnel de Caminha (GEG)



Fig.31 – Planta de implantação do túnel de Caminha (Carta Militar)

- **Caracterização geológico-geotécnica:** Grande parte do túnel foi escavado em xistos anadaluzíticos do Complexo Xisto-Grauváquico, ocorrendo ao longo do túnel filões aplito-pegmatíticos (notícia explicativa da folha 1-C – Caminha, Carta Geológica de Portugal, na escala 1:50000). Na boca de entrada aflora maciço granítico. Na boca de saída aflora maciço xistento. Nos troços não revestidos do túnel ocorre, por vezes, uma formação migmatítica bastante friável.

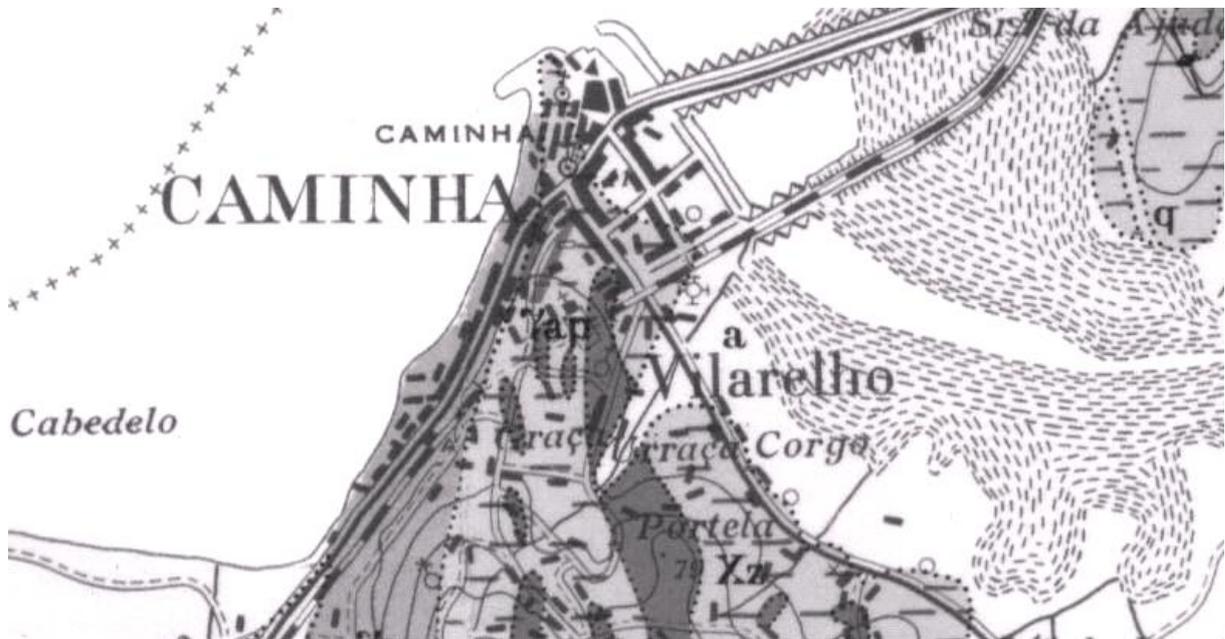


Fig.32 – Carta geológica para o túnel de Caminha (GEG)

- **Recobrimento de túnel:** A espessura de recobrimento varia entre 12 e 13m de altura. O terreno à superfície é essencialmente ocupado por campos agrícolas e um cemitério.
- **Acessibilidades:** O túnel de Caminha tem acesso facilitado por estar localizado entre o apeadeiro da Senhora da Agonia e a Estação de Caminha. O acesso viário à zona do túnel é bastante facilitado e bem servido a nível de vias rápidas.

Estações colaterais: Moledo do Minho, a montante e a de Caminha, a jusante (Fig.17).

- **Bocas de entrada e saída do túnel:** As bocas de entrada e saída do túnel estão localizadas interiormente ao maciço, apresentando uma geometria em U invertido e com muros ala.
- **Nichos:** Existe um nicho no lado esquerdo, ao ponto métrico 309 e outro no lado direito, ao ponto métrico 358.
- **Poços de via:** Para este túnel foram executados 6 poços de via.

#### **Localização:**

- Localizados aos pontos métricos 15, 200 e 460, em ambos os lados.

#### **Os poços efectuados permitiram:**

- Determinar a existência de um maciço de pedra de aproximadamente 25cm de altura e 35cm de largura;

- Detectar a localização aproximada da fibra óptica, tendo sido encontrada junto ao referido maciço, do lado oposto à drenagem;
- Observar o tipo de plataforma. A plataforma é constituída por balastro; travessas bi-bloco fora do túnel e travessas de madeira dentro do túnel; carris UIC-54 e fixações Grampo PRX120/07 nas travessas de betão (pregação GUIDE) e chapim e garras RNP nas travessas de madeira (pregação PRX 801);
- Observar o tipo de drenagem da plataforma, sendo esta constituída por drenos pré-fabricados enterrados e caleiras em pedra para evacuação das águas no interior do túnel.

Convém referir que, antes de executados os poços, o Projectista não dispunha de qualquer informação que lhe desse indicação do posicionamento de cabos ou do tipo de drenagem existente.

- **Prospecção geofísica com georadar:** Para a prospecção geofísica com georadar optou-se por acoplar uma estrutura à dresine que transportava uma antena de 800 MHz. Os levantamentos foram efectuados numa noite.
- **Ensaio químicos das águas**

**Número de amostras retiradas:** 1

**Locais de recolha:**

- A1: amostra ao ponto métrico 285, no lado direito.

**Resultados dos ensaios químicos:** tabela 8.

Tabela 8 – Resultados obtidos da caracterização química das águas para o túnel de Caminha (GEG)

Localização	pH	SO <sub>4</sub> (ml/l)	Mg (mg/l)	NH <sub>4</sub> (mg/l)	S (mg/l)	Alcalinidade	
						Sem CaCO <sub>3</sub>	Com CaCO <sub>3</sub>
A1	6,38	< 4,0	9,57	1,54	< 0,1	200	500

Através da análise das tabelas 1 e 8, concluiu-se que:

De acordo com a tabela 1 (Quadro III do RBLH - Regulamento de Betões de Ligantes Hidráulicos) os resultados dos ensaios químicos efectuados indicaram que as duas amostras de água se classificam como sendo ácidas, não incrustantes e de agressividade elevada. Como tal, os betões a utilizar nas estruturas em contacto directo com estas águas deverão ser do tipo BD, classe 1.

- **Extracção de carotes do maciço (em zonas não revestidas):**

**Número de amostras retiradas:** 2

**Locais de recolha:** aos pontos métricos 145 e 200, ambos do lado esquerdo.

**Resultado do ensaio de compressão com medição de deformabilidade:** Apenas uma das amostras se encontrava em condições de ser ensaiada, tendo-se obtido uma Tensão de Rotura ( $\sigma_{ci}$ ) de cerca de 60MPa e um Módulo de Elasticidade (E) de 22,5GPa.

**Tipo de material:** Uma das carotes representava um xisto e a outra um quartzo. Foi a amostra de xisto que foi submetida ao ensaio de compressão com medição de deformabilidade.

Relativamente aos resultados obtidos dos levantamentos efectuados com o georadar, estes foram idênticos para todos os túneis.

Após a fase de processamento, os perfis são interpretados e neste caso efectuou-se a identificação dos níveis mais ou menos contínuos ao longo dos perfis. Para os quatro túneis em estudo identificou-se um reflector mais superficial (RS) e outro mais profundo (RP).

Dos dois níveis interpretados e da pouca informação de sondagens intrusivas efectuadas, considerou-se a possibilidade de que o nível RP corresponda à base do balastro. Quanto ao nível RS, são admitidas várias hipóteses como sejam: uma transição de granulometria do balastro, uma transição entre balastro mais e menos contaminado ou finalmente uma transição devido à presença de água (ou degradação do balastro devido à presença de água em épocas de chuva).

Ainda em relação aos poços executados na via e, ao complemento depois conseguido com a campanha de prospecção geofísica com a execução de perfis longitudinais com georadar, refere-se que não ficaram devidamente caracterizadas as condições e dimensões da altura enterrada dos hasteais. Como tal, foi sugerida pelo Projectista a realização de um conjunto de poços complementares, em fase de preparação de obra. Os poços a executar deverão estar espaçados de 25 em 25m, alternados pelos dois hasteais. Caso os resultados se revelem heterogéneos, deverá executar-se uma nova campanha de poços de acordo com as instruções definidas pela Fiscalização.

#### 2.2.2.2. Caracterização dos tipos de revestimento de suporte dos túneis

Foram encontrados 5 tipos diferentes de revestimentos de suporte no total dos 4 túneis, conforme se pode constatar na tabela 10. Nessa tabela os nomes dos túneis irão ser representados pelas letras de A a D, conforme se indica a seguir, de forma a ser mais fácil a sua percepção. Esta designação será usada mais vezes em outras tabelas, ao longo deste trabalho. Os diferentes tipos de revestimento serão designados, a partir deste ponto e ao longo de todo o trabalho, de R1, R2, R3, R4 e R5.

Tabela 9 – Designação para os túneis em estudo

Túneis	
São Miguel da Carreira	<b>A</b>
Tamel	<b>B</b>
Sta. Lucrecia	<b>C</b>
Caminha	<b>D</b>

Tabela 10 – Tipos de revestimento de suporte dos túneis

Tipos de revestimento de suporte dos túneis		Túneis
<b>R1</b> -	Revestimento total em pedra regular aparelhada	<b>A, B, C, D</b>
<b>R2</b> -	Hasteais revestidos com pedra irregular/Abóbada revestida com pedra regular aparelhada	<b>B, C</b>
<b>R3</b> -	Hasteais não revestidos/ Abóbada com pedra regular aparelhada	<b>B, C</b>
<b>R4</b> -	Hasteais revestidos com pedra irregular/Abóbada não revestida	<b>D</b>
<b>R5</b> -	Sem qualquer revestimento (maciço encaixante)	<b>C</b>

As figuras abaixo representam os diferentes tipos de revestimento descritos na tabela 10.

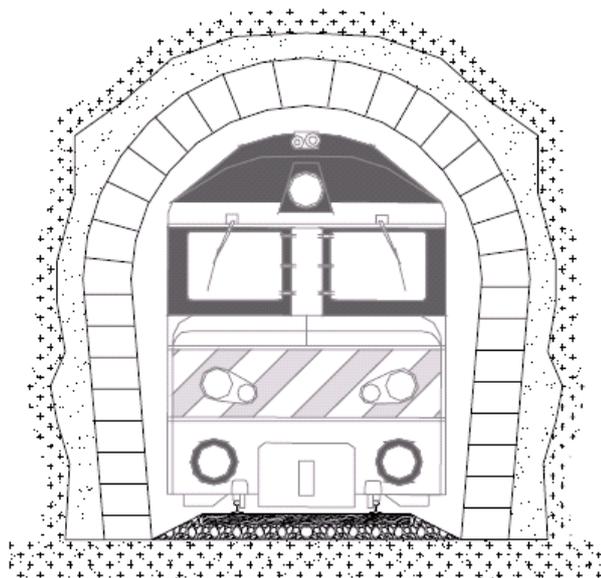


Fig.33 – Revestimento do tipo R1 (GEG)

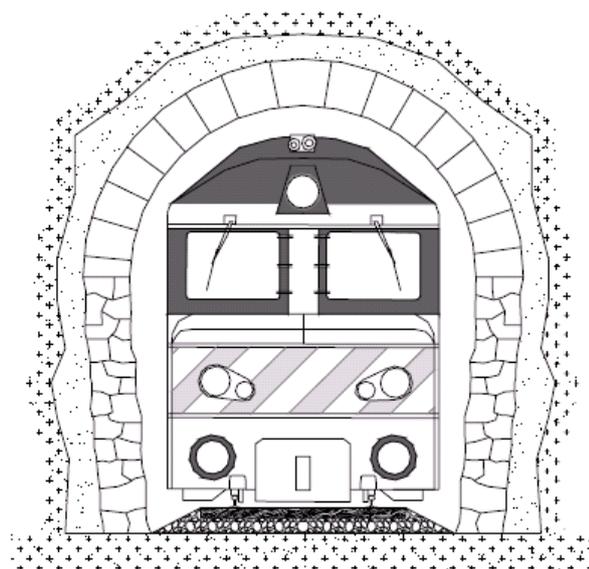


Fig.34 – Revestimento do tipo R2 (GEG)

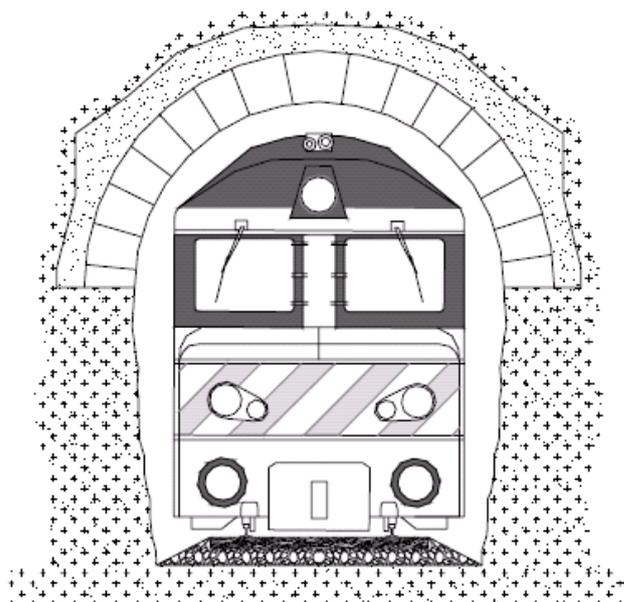


Fig.35 – Revestimento do tipo R3 (GEG)

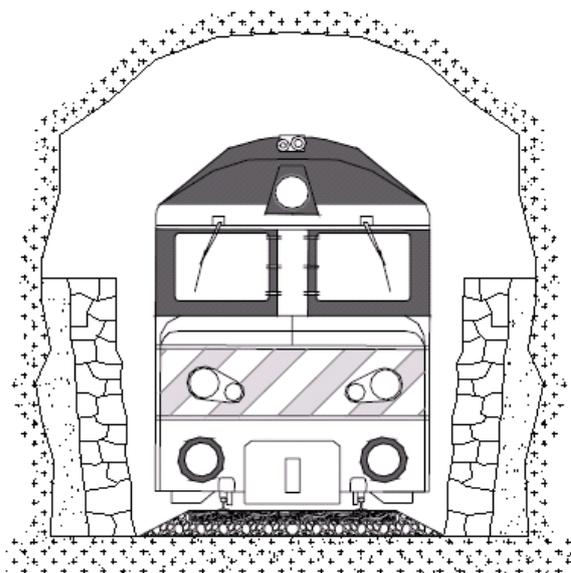


Fig.36 – Revestimento do tipo R4 (GEG)

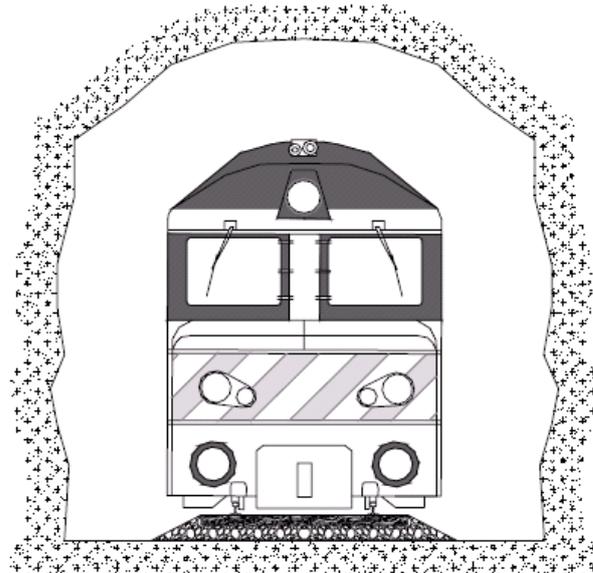


Fig.37 – Revestimento do tipo R5 (GEG)

### **Túnel de São Miguel da Carreira (A)**

Para este túnel apenas foi encontrado um tipo de revestimento, o do tipo R1 (Fig.33).

### **Túnel de Tamel (B)**

O revestimento do túnel é na sua quase totalidade em alvenaria.

Para este túnel foram encontrados 3 tipos de revestimento, os do tipo R1, R2 e R3:

- Nas zonas das bocas de entrada e saída, o revestimento é formado por blocos prismáticos de granito pouco alterados – R1 (Fig.33).
- Na restante extensão, o revestimento apresenta uma alvenaria constituída por blocos irregulares de rocha natural nos hasteais e alvenaria formada por blocos prismáticos de granito nas abóbadas - R2 (Fig.34). Este é o tipo de revestimento predominante no túnel.
- Existem alguns trechos curtos e interrompidos onde ocorrem afloramentos do maciço encaixante na zona dos hasteais – R3 (Fig.35).

### **Túnel de Sta. Lucrecia (C)**

O túnel apresenta-se revestido a alvenaria em cerca de 78%.

Para este túnel foram encontrados 4 tipos de revestimento, os do tipo R1, R2, R3 e R5:

- Secções revestidas do túnel:
  - Nas bocas de entrada e de saída, a secção total do túnel é revestida a alvenaria constituída por blocos prismáticos de granito – R1 (Fig.33).
  - Na restante extensão, com excepção dos troços não revestidos, o sustimento dos hasteais é em alvenaria de blocos irregulares de granito e o revestimento da abóbada é idêntico ao das bocas – R2 (Fig.34). Este é o tipo de revestimento predominante no túnel.
- Troços não revestidos do túnel:

- A extensão do túnel localizada aproximadamente entre os pontos métricos 100 e 130 é caracterizada pela inexistência de revestimento em toda a sua secção – R5 (Fig.37 e 38).
- O túnel é constituído ainda por dois trechos com cerca de 10 m de extensão onde apenas os hasteais não estão revestidos – R3 (Fig.35).



Fig.38 – Aspecto do túnel nas zonas não revestidas (GEG)

### **Túnel de Caminha (D)**

Para este túnel apenas foram encontrados 2 tipos de revestimento, os do tipo R1e R4:

- O túnel apresenta-se quase totalmente sem qualquer revestimento, aflorando o maciço encaixante. Apenas os hasteais são revestidos com pedra irregular – R4 (Fig.36).
- Parcialmente, o túnel está revestido com alvenaria formada por blocos prismáticos de granito – R1 (Fig.33).

#### 2.2.2.3. Anomalias detectadas e respectivos zonamentos

As anomalias reportam-se a:

- i)** Humidade e escorrências
- ii)** Acumulação de fuligem
- iii)** Fissuração e deterioração do sustimento, nomeadamente junto às bocas
- iv)** Presença de juntas desguarnecidas e alteradas
- v)** Existência de vazios no extradorso do suporte em alvenaria
- vi)** Desprendimento de fragmentos rochosos quando existem parcelas não revestidas
- vii)** Deformação do sustimento
- viii)** Existência de blocos salientes, em equilíbrio precário

Relativamente às anomalias provocadas por infiltrações o Projectista adverte que as observações

resultantes dos levantamentos dependem muito das condições climáticas então existentes e da época do ano em que foram efectuadas. Face a isso, será fundamental que durante a execução da obra se efectue a verificação e constatação dos levantamentos efectuados, e, se necessário, proceder a ajustes na aplicação das soluções.

Seguidamente indicar-se-ão as anomalias que mais afectam cada um dos túneis em particular e as suas maiores zonas de incidência, conforme se visualiza através da análise dos mapeamentos elaborados e apresentados no anexo A2.

### **Túnel de São Miguel da Carreira (A)**

Nas inspecções efectuadas a este túnel detectaram-se três tipos de anomalias principais:

- Humidade generalizada, com diversos graus de incidência;
- Juntas desguarnecidas;
- Fissuração do sustimento, especialmente nas zonas de entrada e saída do túnel.

Aparentemente, os hasteais apresentam-se em melhor estado do que a abóbada, no entanto, as anomalias detectadas afectam toda a secção do túnel.

Para além destas, foram detectadas outras anomalias, as quais serão seguidamente referidas.

- **Infiltrações de água:** Foram identificadas muitas zonas afectadas e com graus de incidência muito diversificados, desde superfícies húmidas a fios de água contínuos e de caudal mensurável. Entre os pontos métricos 30 e 100, ao nível dos rins, surge uma maior predominância de escorrências. O túnel apresenta sinais de humidade em diversos trechos, tanto ao nível dos hasteais, como ao nível da abóbada.

Existem algumas parcelas onde não se detectaram vestígios de humidade, como por exemplo no hasteal esquerdo, a partir do ponto métrico 180, prolongando-se praticamente até ao final do túnel. Existem ainda algumas parcelas de desenvolvimento mais reduzido onde este factor se torna também visível.

- **Manchas:** Detectaram-se manchas na zona do fecho, tal como é habitual nos túneis ferroviários seculares (principalmente devido às antigas locomotivas movidas a carvão), que se estendem em grande parte do túnel e às quais estão associados indícios de degradação por agressividade química.
- **Fenómenos de erosão química:** Estes em associação com a água foram alterando os granitos que constituem os arcos de sustimento dos túneis. Os efeitos da meteorização e degradação da pedra, acelerados pela passagem da água e pela **fuligem agressiva** ao nível do fecho da abóbada, constituem razões importantes para a adopção de medidas de reforço.
- **Fissuras no sustimento:** Estas estão distribuídas ao longo de todo o túnel, mas as parcelas localizadas junto às bocas de entrada e de saída do túnel são visivelmente as mais fustigadas. Salienta-se que nos primeiros 5 metros do túnel surgem duas fissuras transversais ao túnel que percorrem toda a secção da abóbada.

Surgem diversas fissuras transversais na boca de saída e nos últimos 20 m do túnel, principalmente na zona da abóbada. Além das parcelas acima referidas, existem outras ao longo de todo o túnel, nomeadamente entre os pontos métricos 50 e 60, 70 e 80, 90, 100 e 110, 120 e 130 e ainda 220 e 230, onde surgem fissuras transversais que percorrem totalmente ou parcialmente a secção da abóbada. Este tipo de fissuração é típica neste tipo de estrutura.

Entre os pontos métricos 150 e 160 existe uma fissura longitudinal ao nível da linha de nascença, do

lado direito do túnel.

- **Juntas desguarnecidas na abóbada:** Entre os pontos métricos 130 e 150 a totalidade da secção encontrava-se seca aquando das visitas efectuadas. A existência de juntas desguarnecidas na abóbada poderá, no entanto, revelar uma ocorrência passada de infiltrações. O túnel apresenta zonas onde as juntas entre os blocos estão parcialmente desguarnecidas, as quais aparecem especialmente na zona da abóbada, onde o efeito da água assume um papel importantíssimo no arrastamento do material de enchimento das juntas. As zonas dominantes situam-se entre os pontos métricos 10 a 40, 60 a 100, 130 a 140, 150 a 170, 190 a 210 e 220 a 230.
- **Vazios:** Foram detectadas profundidades entre 30 e 75cm incluindo a espessura do próprio sustimento. É de salientar o facto de em algumas provas se ter atingido um fundo de fraca consistência, com penetrações ligeiras do varão em materiais de características moles.
- **Deformações localizadas:** Estas foram detectadas em algumas zonas do túnel, tanto ao nível da abóbada como ao nível dos hasteais. No hasteal esquerdo detectaram-se deformações entre os pontos métricos 160 e 170. No hasteal direito foram observados alguns sintomas de deformação entre os pontos métricos 30 e 40 e 180 e 190. No que diz respeito à abóbada, as deformações mais significativas aparecem entre os pontos métricos 50 e 60 e ainda entre os pontos métricos 180 e 190.
- **Blocos soltos salientes, em equilíbrio precário:** Deverá ter-se em especial atenção as situações encontradas no lado esquerdo da abóbada, junto ao ponto métrico 250 e na zona de transição no lado direito entre a abóbada e o hasteal, na proximidade do ponto métrico 130.

De forma geral:

- Em termos de estabilidade global:
  - A curto prazo, não se consideraram as anomalias como sendo muito graves e que possam pôr em risco a infra-estrutura ou a circulação ferroviária.
- Em termos de bom funcionamento da estrutura:
  - Na sua globalidade, a alvenaria dos tectos e dos hasteais apresenta zonas em estado de conservação variado e o túnel exhibe diversas anomalias que merecem e devem ser intervencionadas. O Projectista é da opinião que existem situações de blocos salientes e algumas anomalias relacionadas com fissurações e debilidades ao nível das juntas que deverão ser reparadas e reforçadas. Também será necessário empreender fortes medidas de drenagem e reforço coadunáveis com o mesmo.
  - Além disso, tem de atender-se ao requisito de uma eventual modernização e reestruturação da linha-férrea (colocação da catenária).

### **Túnel de Tamel (B)**

Nas inspecções efectuadas a este túnel detectaram-se três tipos de anomalias principais:

- As infiltrações de água com diversos graus de incidência;
- As juntas desguarnecidas;
- As deformações pontuais ao longo do túnel.

No entanto, para além destas foram detectadas outras anomalias, as quais serão seguidamente referidas.

- **Infiltrações de água:** Foram identificadas muitas zonas afectadas com infiltrações e com graus de incidência diversificados, desde a simples humidade a escorrências de caudais significativos. As zonas com maior predominância de escorrências surgem na entrada do túnel e entre os pontos métricos 660 e 680, em todo o seu perímetro. Na boca de saída, numa extensão com cerca de 30 m, e entre os pontos métricos 230 a 250, 270 a 280 e 420 a 430 detectaram-se muitas infiltrações e escorrências.

Nos primeiros 15m do túnel foi colocado um sistema de drenagem intenso que devido às grandes quantidades de água rompeu, fazendo com que a plataforma se encharcasse completamente, (Fig.39 e 40). É digno de nota a existência de pequenas plantas e musgo essencialmente na zona dos hasteais.



Fig.39 – Rompimento do sistema de drenagem (GEG)

Fig.40 – Escorrências (GEG)

- **Manchas:** Existência de mancha negra (habitual nos túneis ferroviários seculares) na zona do fecho, contínua e estendendo-se a praticamente todo o túnel. No entanto, existem zonas localizadas onde essas manchas são mais abrangentes e nas quais os indícios de degradação por agressividade química são mais visíveis.
- **Fissuras no sustimento:** Ao longo de todo o túnel surgem diversas fissuras no sustimento. A zona mais crítica encontra-se na boca de entrada onde surgem duas fissuras transversais que percorrem toda a secção da abóbada, nos primeiros 5 m. Aproximadamente aos pontos métricos 60 e 80 detectaram-se duas fissuras transversais importantes que se desenvolvem em toda a secção da abóbada.
- **Juntas desguarnecidas na abóbada:** O túnel apresenta juntas entre os blocos parcialmente desguarnecidas numa extensão bastante significativa da abóbada. O efeito da água assume um papel importantíssimo no arrastamento do material de enchimento das juntas. As zonas mais críticas encontram-se entre os pontos métricos 160 a 180, 330 a 400, 530 a 580, 590 a 630, 740 a 760, 820 a 890.
- **Vazios:** Existem espaços vazios no extradorso do sustimento de alvenaria, ao nível do fecho da

abóbada, próximo aos pontos métricos 220 e 520. Ao nível da linha de nascença no lado esquerdo detectaram-se vazios entre os pontos métricos 170 a 700 e 960 a 970. Ao nível da linha de nascença no lado direito detectaram-se vazios no ponto métrico 520. Quatro zonas detectadas na abóbada soaram a oco e localizam-se, aproximadamente, aos pontos métricos 165, 215, 360 e 520.

- **Deformações localizadas:** Foram encontradas deformações localizadas em algumas zonas do túnel, tanto ao nível da abóbada, como ao nível dos hasteais. Encontraram-se deformações nos hasteais no lado esquerdo, sensivelmente aos pontos métricos 70, 110 e 130, e no lado direito, aos pontos métricos 60 e 110. Na abóbada são bastantes os indícios de deformações localizadas ao longo de todo o túnel.

De forma geral:

➤ Em termos de estabilidade global:

- A longo prazo, as anomalias deverão ser reparadas e reforçadas o mais rapidamente possível já que poderão causar problemas à segurança do túnel.

➤ Em termos de bom funcionamento da estrutura:

- Na sua globalidade, a alvenaria dos tectos e dos hasteais apresenta zonas em estado de conservação variado e o túnel exhibe diversas anomalias que afectam de algum modo o seu funcionamento.
- Será fundamental que sejam implementados sistemas de drenagem com vista a controlar e a conduzir as águas de infiltração para fora do túnel.

### **Túnel de Sta. Lucrecia (C)**

Nas inspecções efectuadas a este túnel detectaram-se as seguintes anomalias:

- **Infiltrações de água:** Este túnel tem várias zonas húmidas espalhadas por todo o seu desenvolvimento. A presença da água na plataforma deve-se a uma grande quantidade de água que goteja através das discontinuidades do maciço. A plataforma encontra-se muito molhada entre os pontos métricos 110 e 120. Para além deste trecho, a plataforma encontra-se molhada entre os pontos métricos 130 e 140, mas não de forma tão evidente como no referido anteriormente. Uma zona onde se visualizam escorrências brancas significativas, tanto ao nível dos hasteais como ao nível da abóbada, localiza-se entre os pontos métricos 110 e 120.

Nas zonas das bocas de entrada e de saída do túnel, numa extensão de 5m em cada uma delas, os hasteais e a abóbada encontram-se cobertas de musgo.

- **Fissuras no sustimento:** Foram detectadas fissuras transversais na zona da boca de entrada e de saída do túnel, abrangendo toda a secção da abóbada.
- **Juntas desguarnecidas na abóbada:** Foram principalmente detectadas entre os pontos métricos 50 a 100 e 140 a 170, onde as juntas entre os blocos estão parcialmente desguarnecidas ou os materiais que as compõem se encontram em decomposição.
- **Vazios:** Detectaram-se algumas zonas com vazios consideráveis, ao nível do fecho da abóbada, como por exemplo, os casos localizados aos pontos métricos 60, 75 e 135.
- **Deformações localizadas:** Detectaram-se deformações no sustimento, especialmente aos pontos

métricos 60 a 80 e 220 a 230, na zona de fecho da abóbada. Além destas, também se detectaram deformações nos hasteais, nomeadamente junto à linha de nascença. O caso mais evidente está localizado entre os pontos métricos 130 e 140 no lado direito do túnel onde apresenta algum descalçamento (Fig.41).

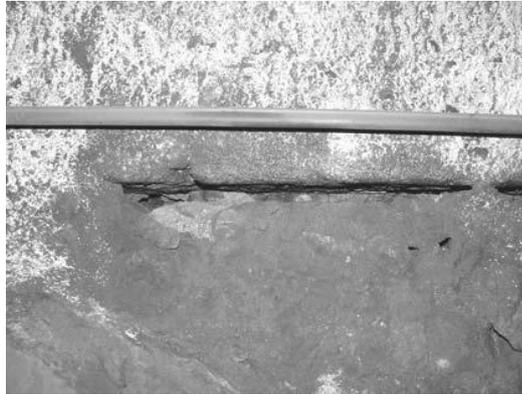


Fig.41 – Descalçamento na linha de nascença (GEG)

- **Blocos soltos:** Encontraram-se blocos do sustimento descaídos com indícios de poderem desprender-se, nomeadamente, entre os pontos métricos 80 e 100. Na zona do túnel não revestido detectaram-se duas descontinuidades ao nível do tecto que se interceptam em cruz junto ao ponto métrico 100, constituindo um local propício para o desprendimento e queda de blocos rochosos.

De forma geral:

- Em termos de estabilidade global:
  - A curto prazo, as referidas anomalias não manifestam deformações e debilidades excessivas ao ponto de se poderem considerar de risco imediato.
- Em termos de bom funcionamento da estrutura:
  - Na sua globalidade, a alvenaria dos tectos apresenta zonas em estado de conservação variado e o túnel exhibe diversas anomalias que afectam de algum modo a sua utilização. Será aconselhável que sejam efectuadas intervenções de beneficiação neste túnel, nomeadamente, a implementação de dispositivos de drenagem com vista a controlar e a conduzir as águas de infiltração para fora do mesmo e o reforço do sustimento nas zonas mais afectadas.

### **Túnel de Caminha (D)**

Nas inspecções efectuadas a este túnel verificou-se que as zonas do túnel mais fustigadas referem-se àquelas em que o túnel se encontra revestido a alvenaria, detectando-se dois tipos de anomalias principais:

- Infiltrações de água;
- Juntas desguarnecidas.

Nas parcelas não revestidas do túnel também se detectaram duas anomalias principais:

- Existência de zonas húmidas, por vezes com algumas escorrências;
- Existência de descontinuidades pronunciadas no maciço e que carecem de alguma protecção.

No entanto, para além destas foram detectadas outras anomalias, as quais serão seguidamente referidas.

- **Infiltrações de água:** As zonas mais críticas, onde ocorrem as maiores infiltrações e escorrências, situam-se na zona do túnel revestido, aos pontos métricos 165 a 170, 280 a 310 e 330 a 350, ao nível da abóbada. Na zona dos hasteias no lado direito do túnel entre os pontos métricos 200 e 210 e 280 e 300, surgem infiltrações e escorrências esbranquiçadas (Fig.42).

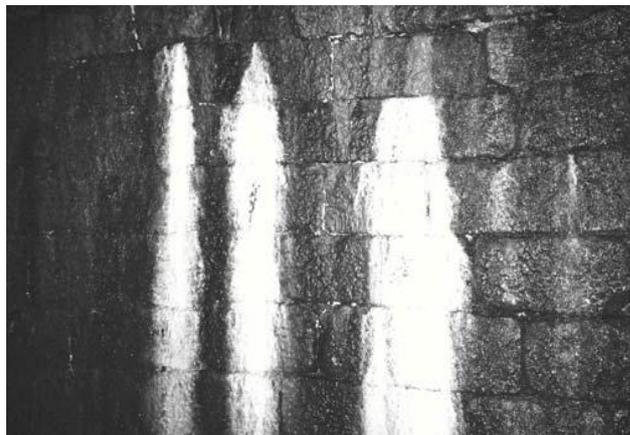


Fig.42 – Escorrências esbranquiçadas (GEG)

Entre os pontos métricos 310 e 320, a escorrência na zona da abóbada faz com que se formem pequenas estalactites. Entre os pontos métricos 70 e 80 existem indícios evidentes de passagem de água. Para além destas zonas mais críticas, existem diversas áreas do sustimento afectadas por humidade, mesmo que de uma forma mais ligeira. A plataforma apresentava-se, aquando das visitas, bastante encharcada, nomeadamente na boca de entrada. Na zona exterior à boca de entrada do túnel, o balastro encontra-se bastante contaminado. Nas zonas do túnel revestido, a plataforma encontrava-se, na sua globalidade, molhada.

- **Juntas desguarnecidas na abóbada:** As juntas desguarnecidas foram detectadas com especial predominância na abóbada, nomeadamente aos pontos métricos 200 a 210, 280 a 350 e 360 a 400. É de ter em especial atenção o trecho compreendido entre os pontos métricos 280 e 350, já que a anomalia em questão ocorre de forma contínua e abrangendo uma área bastante vasta.
- **Vazios:** Foram detectadas profundidades médias de 20 a 30cm, para além da espessura do próprio sustimento. Uma boa parte dos ensaios efectuados revelou apenas que as juntas estariam desguarnecidas em toda a sua profundidade mas que o extradorso estaria confinado. No entanto, num ensaio pontual executado no curto trecho revestido, compreendido entre os pontos métricos 202 e 209 (Fig.43), detectou-se uma profundidade com cerca de 1,3m ao nível da abóbada, valor que inclui a espessura do revestimento. Acrescente-se ainda o facto de nessa prova se ter atingido um fundo de fraca consistência. Aos pontos métricos 310 e 380, do lado esquerdo do túnel e ao nível da linha de nascença, detectaram-se alguns descalçamentos localizados.



Fig.43 – Trecho revestido a alvenaria (GEG)

- **Deformações localizadas:** Sensivelmente ao ponto métrico 310 surgem deformações, ao nível da linha de nascença no lado direito do túnel, possivelmente associadas ao abatimento do hasteal.

Nas secções do túnel não revestidas assinalam-se algumas zonas de transição e ainda a existência de alguns filões, os quais poderão constituir zonas preferenciais de rotura (Fig.44). Salientam-se as situações detectadas aos pontos métricos 20 a 30 e 240 a 270: o filão situado entre os pontos métricos 20 e 30 desenvolve-se na zona da abóbada e dos hasteais, enquanto que os filões detectados entre os pontos métricos 240 e 270 concentram-se ao nível da abóbada.

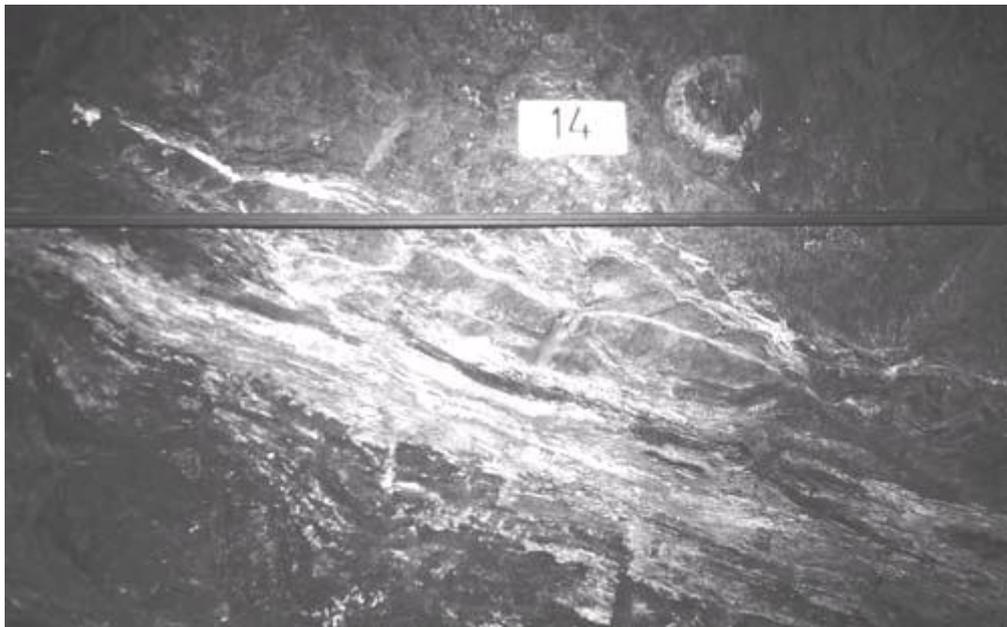


Fig.44 – Zona fragilizada (GEG)

De forma geral:

- Em termos de estabilidade global:
  - A curto prazo, as anomalias detectadas não representam problemas muito graves que possam pôr em risco a infra-estrutura e a circulação ferroviária.
- Em termos de bom funcionamento da estrutura e face ao requisito da eventual modernização (electrificação) da linha-férrea:
  - Existem situações que deverão ser reparadas e reforçadas, especialmente nas zonas revestidas do túnel;
  - Será necessário empreender fortes medidas de drenagem, já que as infiltrações e escorrências neste túnel não são aceitáveis para o bom funcionamento da estrutura.

### 2.3. CONCLUSÕES

No que diz respeito às anomalias predominantes nos quatro túneis ferroviários aqui estudados, típicas para este tipo de estrutura, constata-se que todos eles exibem delas o mesmo tipo, embora com graus de incidência perfeitamente distintos.

É possível relacionar os danos típicos ocorridos em túneis dependendo da idade dos mesmos. Um exemplo, aplicado principalmente em túneis na Europa, é apresentado na tabela seguinte, desenvolvida pela Ferrovia Federal Suíça e citado por Haack (1998).

Tabela 11 - Danos típicos em estruturas de túneis dependendo da sua idade (modif. de Haack, 1998)

Ano	Tipo de dano típico
0	Aprovação da obra
0-5	Garantia
5-25	Surgimento de danos causados por má execução (danos devido a congelamento, ataque químico da água etc.)
50-70	Danos devido ao projeto errado ou dimensionamento insuficiente (pressão de expansão, efeitos de variadas condições da água subterrânea, formação de cavidades fora do suporte do túnel etc.)
80	Começam os danos devidos ao envelhecimento (erosão de juntas em alvenaria, destruição de partes do sistema de suporte, aumento do número de casos devido à idade do túnel dependendo da qualidade e características da estrutura e maciço circundante)

Segundo o DNER (1994), os principais efeitos das anomalias que conduzem à deterioração da estrutura são:

- Degradação da aparência da estrutura em função das manchas, eflorescências, estalactites e fissuras no revestimento, além de deformações excessivas na estrutura;
- Perda da rigidez e resistência da estrutura em função da presença de fissuras, do destacamento ou desagregação do revestimento ou de corrosão de armaduras (no caso de existirem);

- Diminuição da vida útil da estrutura, quando os efeitos anteriormente citados atingem um nível de comportamento que impede a continuação do uso da estrutura.

Sabe-se que a maioria dos problemas que afectam as infra-estruturas são ocasionados por manutenção inadequada ou mesmo por ausência total de manutenção e estão na sua origem, o desconhecimento técnico, o descaso e ainda questões económicas (Souza & Ripper, 1998). Para os quatro casos em análise e mediante a tabela acima, não se pode afirmar que os factores humanos tenham contribuído para o actual estado dos túneis, por não terem sido executados mediante um projecto (sem dimensionamento) e não existir informação clara sobre a execução dos mesmos. Mas pode afirmar-se que os túneis apresentam danos típicos devidos ao envelhecimento, tendo estes mais de 100 anos.

Verifica-se que o tipo de anomalia que tem maiores incidências e que provoca maiores danos é a decorrente das infiltrações de água. Aliás, segundo a bibliografia (ITA, 1991), verificou-se que a maioria dos casos relatados a nível internacional de deterioração e danos causados em obras subterrâneas deve-se a este tipo de anomalia. Esta, não só é a causadora da maioria das anomalias detectadas, como potencia outras existentes, como as juntas desguarnecidas, os vazios e as fissuras existentes, devido à lavagem e arrastamento dos materiais de enchimento e alargamento dos mesmos. Aliás, para além das infiltrações de água, a outra anomalia mais significativa encontrada nos túneis diz respeito às juntas desguarnecidas presentes. Também os vazios existentes são significativos. Todos estes problemas terão de ser resolvidos nos quatro túneis analisados.

As fissuras transversais, principalmente nas bocas dos túneis, são típicas neste tipo de estrutura. No parecer do projectista, a ocorrência de fissuras nas bocas dos túneis deve-se ao facto de se tratarem, na maior parte das vezes, de falsos túneis, ou seja, construídos pelo método VCA ou *cut-and-cover*<sup>2</sup>. São zonas de transição em que o recobrimento do túnel além de não ser natural, tem uma espessura bastante mais reduzida do que o túnel propriamente dito. Este facto cria pois uma secção nas extremidades dos túneis menos confinada, mais susceptível de sofrer deformações e assentamentos quando sujeita a uma determinada solicitação, nomeadamente de origem dinâmica. Além disso, a geometria e a disposição dos taludes atrás dos emboquilhamentos poderão favorecer o efeito de destacamento das bocas devido à componente horizontal dos impulsos de terras. Será necessário tomar medidas para compensar esse efeito, conforme se verá no capítulo 6.

Nos túneis seculares é habitual as águas conterem determinados iões ácidos e agressivos que degradam e alteram (efeitos de erosão química) os revestimentos. Os efeitos da meteorização e degradação da pedra, acelerados pela passagem da água e pela fuligem agressiva ao nível do fecho da abóbada, constituem razões importantes que justificam a adopção de medidas de reforço.

Os granitos por serem muito duros são também muito resistentes, em geral e, particularmente no que diz respeito ao desgaste abrasivo e a fissuras, à escarificação, à compressão e à flexão (resistência ao cisalhamento por compressão uniaxial e resistência à rotura por tracção na flexão). Degradam-se muito lentamente ao longo do tempo. Relativamente à absorção de água, o granito está sujeito ao manchamento por infiltração de líquidos dado ser uma pedra muito porosa. O manchamento negro detectado na zona de fecho é típico em túneis seculares devido à circulação das antigas locomotivas movidas a carvão.

Quanto às parcelas revestidas dos túneis, o de São Miguel da Carreira é todo revestido a alvenaria e o de Tamel é o quase na sua totalidade. O túnel de Sta. Lucrecia é 78% revestido a alvenaria. O túnel de Caminha, o único que foi escavado em xistos para além de granito, encontra-se quase todo sem qualquer revestimento e principalmente degradado nas zonas revestidas.

É de evidenciar que, apesar dos dados de inspecção fornecidos e realizados, o grau de conhecimento de alguns elementos destas infra-estruturas é ainda escasso, sendo por isso aconselhável complementar os ensaios efectuados.

De forma geral, em termos de estabilidade global da estrutura a curto prazo, as referidas anomalias não manifestam deformações e debilidades excessivas ao ponto de se poderem considerar de risco imediato. No entanto, de forma global, a alvenaria dos tectos e dos hasteais apresenta zonas em estado de conservação variado e os túneis exibem diversas anomalias que afectam de algum modo o seu funcionamento, devendo ser intervencionadas. Será fundamental que sejam implementados sistemas de drenagem com vista a controlar e a conduzir as águas de infiltração para fora do túnel. Além disso, tem de atender-se ao requisito de uma eventual modernização e reestruturação da linha-férrea (electrificação da via) o que implica a colocação da catenária.

No caso em particular das anomalias detectadas, convém que a informação se apresente de forma prática e de fácil visualização, recorrendo a mapeamentos de toda a extensão do túnel (abóbadas e hasteais) e indicadas mediante as suas zonas de incidência. Os mapeamentos das anomalias realizados para os quatro túneis em análise são um bom exemplo e foram elaborados em termos que respondessem às questões dos projectos de reabilitação. Nos mesmos, foi feita a divisão entre as anomalias decorrentes das infiltrações e/ou escorrências de águas e as restantes não decorrentes destas. Para as primeiras elaboraram-se dois mapeamentos distintos: um para as zonas molhadas da plataforma e outro para as abóbadas e hasteais. Estes mapeamentos também devem conter os diferentes tipos de revestimento encontrados e a localização dos nichos. Ver anexo A2.

---

<sup>2</sup> O método construtivo *cut-and-cover* ou método das Valas a Céu Aberto (VCA), é um dos métodos construtivos para a execução de túneis. É normalmente aplicado onde existem recobrimentos até 20 m de profundidade e consiste nos seguintes passos: abertura de valas de grandes dimensões; execução de paredes laterais de contenção, escoradas ou em talude; construção das estruturas definitivas e reaterro.

---

# 3

## MÉTODOS E TÉCNICAS DE REPARAÇÃO E REFORÇO EM TÚNEIS

### 3.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

As estruturas subterrâneas ferroviárias em estudo necessitam de um conjunto de soluções de reparação, de beneficiação e reforço, de modo a prolongar as suas vidas úteis, evitar possíveis acidentes e ainda adequá-las às demandas actuais, nomeadamente viabilizando eventuais obras futuras de electrificação e reestruturação da via.

Após a detecção das anomalias nos túneis procede-se à escolha dos métodos e técnicas de reabilitação e beneficiação dos mesmos, os quais serão abordados neste capítulo.

Conforme já referido, uma condicionante fundamental de todo o processo construtivo diz respeito aos períodos disponíveis para a execução dos trabalhos de beneficiação, efectuados num regime de interdições normais em período nocturno de 4 horas diárias. Assim, os projectos visaram otimizar ao máximo os períodos disponibilizados, garantindo sempre a circulação no interior dos túneis, com a máxima segurança. Logo, evitou-se a preconização de trabalhos demorados que afectassem a circulação ferroviária de forma a não sobrecarregar o custo da respectiva obra.

É de evidenciar que o actual nível de conhecimento relativamente à aplicação de algumas soluções preconizadas para as obras de reabilitação de túneis ferroviários é escasso e o processo em si é algo impreciso. No entanto, relativamente aos materiais de reparação e serviços especializados disponíveis no mercado, o cenário é bem diferente. Como os gastos com reparações são bastante elevados existem cada vez mais produtos novos que dão resposta às exigências do mercado, havendo por isso, uma maior dificuldade na selecção dos mesmos e aumento da ocorrência de eventuais problemas.

Apesar deste trabalho se basear em quatro casos específicos, o objectivo é consolidar um conjunto de soluções de reparação e reforço. Pretende-se ainda fornecer directrizes simples e objectivas para a execução das mesmas soluções. O critério usado para a escolha, tanto das soluções como dos materiais utilizados nas infra-estruturas em estudo, foi baseado na experiência e contacto com os mesmos em outros casos existentes e segundo as recomendações dos fabricantes. Relativamente a esta última questão, convém frisar que ao se mencionarem determinados fabricantes e/ou produtos específicos, o objectivo não é recomendar determinadas marcas de produtos, mas sim, as características dos mesmos que deverão ser do mesmo tipo destes e o tipo de aplicação, muitas vezes indicadas pelos próprios fabricantes para determinado tipo de produto.

As soluções apresentadas nos Projectos de Execução foram definidas tendo em conta vários factores e

critérios, ponderados com vista à concepção do projecto de reabilitação: métodos de construção disponíveis e respectiva sequência construtiva intrínseca, riscos de obra envolvidos, interferências nas operações ferroviárias e respectivos custos e prazos para execução da obra.

Os tipos de soluções de reparação dividem-se essencialmente em dois, localizadas e contínuas, estando, porém, todas elas interligadas e seguindo uma sequência de execução.

Quanto aos tratamentos localizados estes são: tratamentos de pequenas superfícies com erosão superficial; reposição das placas decamétricas; reparação de blocos partidos e fissuras; enchimento de cavidades e lesões nos hasteais; preenchimento e selagem de vazios no extradorso e refechamento de juntas. Nos Projectos de Execução dos quatro túneis foram apenas preconizados: a reparação e refechamento de juntas, o preenchimento e selagem de vazios e a reposição das placas decamétricas. No entanto, os restantes tratamentos acima referidos foram, desde logo, considerados e caracterizados, para o caso de serem detectadas situações em obra que as justifiquem, nomeadamente após executada a limpeza do revestimento. Serão pois, as reais condições de execução dos trabalhos que irão determinar a abordagem mais eficaz para cumprir os objectivos delineados e os requisitos pretendidos.

O reforço geral do sustimento diz respeito ao tratamento contínuo de consolidação e reforço que será empreendido nas zonas onde se detectou uma grande concentração de anomalias. Estas, a serem tratadas uma a uma e de forma específica, revelar-se-iam morosas e, sobretudo, onerosas. Os túneis terão o mesmo tipo de solução de reforço geral, embora, para algumas secções, a mesma possa ser mais reforçada ou aligeirada. A referida reparação tem como base um conjunto de reforços estruturais com distribuição aproximadamente sistemática: pregagens permanentes, malhas electrossoldadas e camadas de betão projectado de forma faseada. Esta solução será ainda complementada por um sistema de drenagem distribuído de acordo com a localização e grau de incidência dos pontos de entradas de água e das superfícies húmidas. É da maior importância garantir o bom escoamento das águas que afectam o interior do túnel e controlar as condições de drenagem ao nível da plataforma ferroviária.

Antes de se dar início à empreitada no interior do túnel, o Adjudicatário deverá retirar e guardar as placas decamétricas fixadas aos hasteais, daí haver a necessidade, após finalizadas as obras, de as recolocar.

Nos pontos seguintes serão abordados os tratamentos localizados, o reforço geral do sustimento e o sistema de drenagem do sustimento e do maciço encaixante.

No anexo A3 apresentam-se os zonamentos das soluções de reforço local e as de reforço geral do sustimento e do maciço encaixante. Os mapeamentos das soluções de reparação e reforço foram elaborados mediante os zonamentos das anomalias detectadas, conforme foi analisado no capítulo anterior. Comparar os anexos A2 e A3.

### 3.2. TRATAMENTOS LOCALIZADOS

Os tratamentos localizados preconizados serão identificados conforme se indica na tabela seguinte.

Tabela 12 – Tipos de tratamentos localizados

1L -	Tratamento de pequenas superfícies com erosão superficial
2L -	Reposição das placas decamétricas
3L -	Reparação de blocos partidos e fissuras
4L -	Enchimento de cavidades e lesões nos hasteais
5L -	Preenchimento e selagem de vazios no extradorso
6L -	Refechamento das juntas

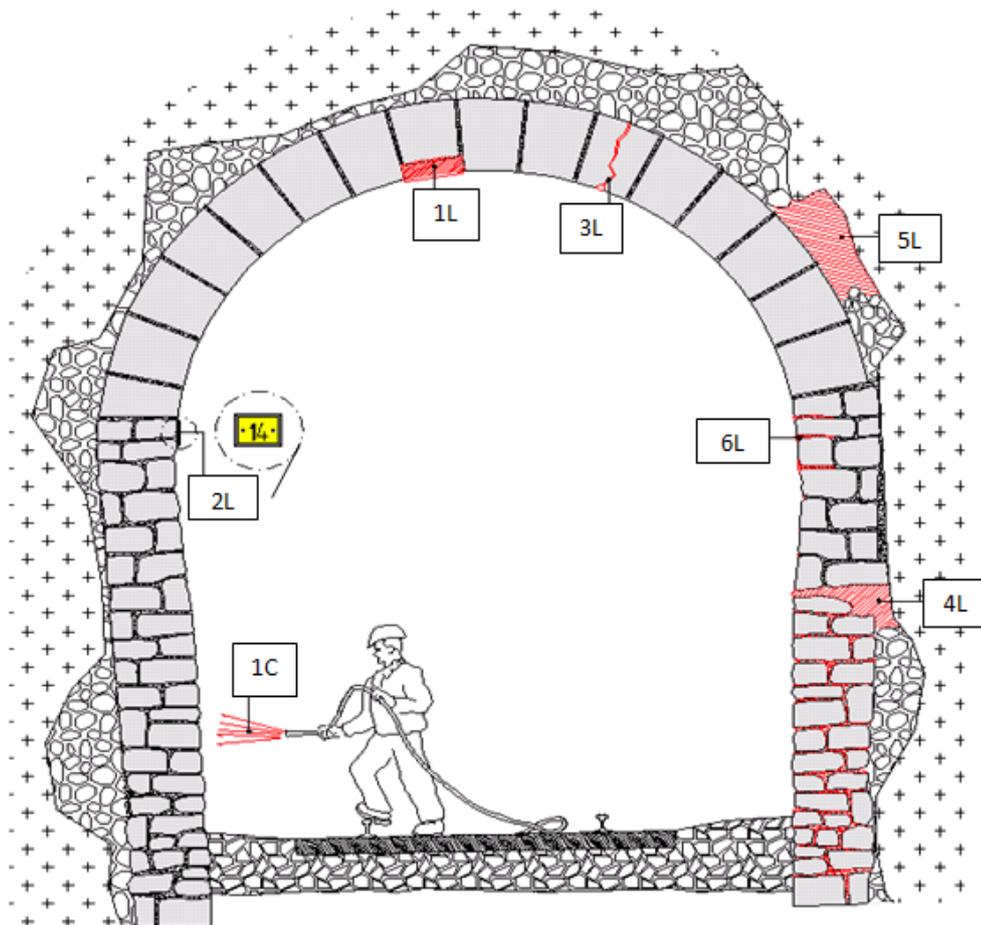


Fig.45 – Esquema representativo da aplicação dos tratamentos localizados no túnel (GEG)

De acordo com as anomalias detectadas para cada um dos túneis foram previstos os seguintes tratamentos principais.

Tabela 13 – Tratamentos localizados previstos para cada túnel

TRATAMENTOS LOCALIZADOS		Túneis
1L -	Tratamento de pequenas superfícies com erosão superficial	D
2L -	Reposição das placas decamétricas	A, B, C, D
3L -	Reparação de blocos partidos e fissuras	D
4L -	Enchimento de cavidades e lesões nos hasteais	D
5L -	Preenchimento e selagem de vazios no extradorso	A, B, C, D
6L -	Refechamento das juntas	A, B, C, D

Mediante a tabela 13, o túnel de Caminha é o único que, à partida, necessitará de todos os tratamentos preconizados. No entanto, conforme já foi dito, os outros túneis poderão requerer mais tratamentos além dos previstos, conforme as situações detectadas em obra os justifiquem.

Em grande parte dos tratamentos serão usadas caldas de injeção e/ou de preenchimento, pelo que, indicam-se algumas definições e recomendações relacionadas com a injeção de caldas, encontradas na bibliografia. Posteriormente, indicar-se-ão as medidas tomadas nos projectos dos túneis em estudo.

Serão usadas caldas nos tratamentos de: pequenas superfícies com erosão superficial (1L), reparação de fissuras (3L), enchimento de cavidades e lesões nos hasteais (4L), preenchimento e selagem de vazios (5L) e refechamento das juntas (6L).

Segundo Souza & Ripper (1998), calda (*grout*) é a denominação dada a argamassas previamente preparadas por empresas especializadas, que têm como principais atractivos a fácil aplicação, a elevada resistência mecânica e a ausência de retracção. Segundo este autor a técnica de injeção garante: o perfeito enchimento do espaço formado entre bordas de uma fenda, independentemente do tratamento; o restabelecimento do monolitismo em fendas passivas, onde são usados materiais rígidos, como *epóxi* ou caldas ou para a vedação de fendas activas, situações mais raras, onde se injectam resinas acrílicas ou poliuretânicas.

Segundo o ITA (2001), a selecção do equipamento deve ser incluída no planeamento da injeção. Uma bomba de operação manual é mais adequada para pequenas quantidades, enquanto que bombas a ar comprimido ou eléctricas são necessárias para maiores quantidades. As escalas adequadas de pressão de trabalho das bombas são de 0,5 bar (50 kPa) a 20 bar (2 MPa), para injeção de cimentos ou minerais. Nalguns casos pontuais, a injeção requer sistemas a altas pressões até 150 bar (15 MPa) e até de 250 bar (25 MPa). Uma bomba de água ou a ar à alta pressão é também necessária para limpar as fissuras e áreas a serem injectadas. Os furos para inserção dos bicos devem ser feitos com uma furadeira eléctrica com alto torque.

Ainda segundo este autor, as seguintes considerações de compatibilidade e adequabilidade dos materiais de injeção são importantes:

- A compatibilidade ambiental dos materiais com o maciço;
- A abertura das fissuras ou juntas e o volume de reparação;
- A compatibilidade das propriedades dos materiais de injeção com as propriedades do suporte do túnel;
- A resistência mecânica e a resistência ao carreamento pela infiltração de água e aos ataques químicos;
- A injectabilidade do material seleccionado na área da infiltração;

- A aderência e as características reológicas da mistura;
- A distribuição de tamanho das partículas (apenas para cimentos);
- A estabilidade de volume da calda para várias temperaturas, humidade e pressão;
- A durabilidade e resistência a longo prazo;
- A viscosidade da calda para as condições de campo, como temperatura e humidade do ar;
- A disponibilidade e o custo dos materiais de injeção.

Das caldas químicas desenvolvidas até à presente data, a de poliuretano tem funcionado melhor para aplicações em túneis. Este tipo de calda expande-se na forma de espuma na presença de água, selando a fissura e não permitindo que a água passe. Esta espuma é também moderadamente resistente a tensões, logo, tem a capacidade de expandir quando a fissura continua a abrir. A injeção da calda feita a baixa pressão por um período prolongado é mais eficaz que a alta pressão por um período curto. O último pode resultar em danos adicionais ao revestimento, (FHA, 2003b).

Além do poliuretano, os *esters acrylate* também são usados nas injeções para o tratamento de fissuras. Estes últimos têm vantagem sobre os poliuretanos porque transformam-se num gel ao entrarem em contacto com a água, servindo de barreira à penetração da água na fissura. (FHA, 2003b).

As características dos principais materiais de injeção, segundo MC (2005), são as seguintes:

- Poliuretano para selamento e impermeabilização: é flexível, impermeável; tem excelente aderência, grande durabilidade e funciona com água;
- Epóxi-Estrutural: é rígido; tem alta resistência, excelente aderência, grande durabilidade e não funciona com água;
- Microcimento-Estrutural: é rígido; tem boa resistência, excelente aderência, grande durabilidade, protecção alcalina e funciona com água.

É ainda necessário referir que o primeiro tratamento a fazer é o da limpeza de todo o revestimento, designado de 1C na Fig.45, acima. Esse tratamento tem de ser aplicado a toda a extensão dos túneis, sendo abordado no ponto seguinte.

Seguidamente abordar-se-ão os tratamentos localizados e algumas técnicas de aplicação.

### 3.2.1. TRATAMENTOS DE PEQUENAS SUPERFÍCIES COM EROSÃO SUPERFICIAL (1L)

- **Objectivos:** Estes tratamentos são importantes para garantir a segurança na ferrovia e por haver um investimento na reestruturação da via, na depuração do balastro e na implementação de um novo sistema de drenagem. Isto porque, o contínuo desgaste e o esfarelamento dos materiais constituintes do sustimento terão como consequências a contaminação do balastro, a obstrução do sistema de drenagem e afectará o nível da prestação estrutural da ferrovia.
- **Consolidação:** Para os fenómenos pontuais de erosão e alteração superficial das alvenarias é recomendada a aplicação de um consolidante do tipo *Consolith* da *Tecnocrete*. Trata-se de uma emulsão impregnante de elevada penetração. Após a evaporação do solvente, a resina sintética permanece fortemente aderente, como agente ligante e consolidante, de elevada durabilidade.

- **Reconstrução:** Na necessidade de se aplicarem argamassas de reconstrução, deverão utilizar-se produtos do tipo *Albaria Allettamento* da *Degussa* - argamassas pré-misturadas, compostas por cal hidráulica natural e metacaulino pozolânico misturado com areias carbonatadas.

- **Recomendações:**

Antes da aplicação das argamassas deverá proceder-se à humedificação da superfície a tratar. A saturação é importante para impedir que o suporte absorva a água da argamassa. Uma saturação incorrecta poderá provocar perda de aderência e fissuração da argamassa.

É fundamental conseguir-se uma boa aderência à pedra do sustimento, uma ligação forte nas juntas e uma afinidade perfeita em termos de transmissão de humidade, sem alteração do vapor da alvenaria. O sustimento deverá apresentar-se rugoso e livre de quaisquer partes incoerentes, sendo a aplicação da argamassa realizada manualmente. Essa aplicação é realizada com recurso a técnicas tradicionais e ferramentas de pedreiro, lançando inicialmente o produto até obter uma superfície de acabamento rústico, seguindo-se aplicações sucessivas até atingir a espessura desejada.

### 3.2.2. REPOSIÇÃO DAS PLACAS DECAMÉTRICAS (2L)

- Após se finalizarem as obras de beneficiação, nomeadamente ao nível dos revestimentos, as placas, devidamente limpas ou mesmo novas, serão recolocadas com o mesmo afastamento (10 em 10 metros), mas sobressaídas cerca de 3cm em relação à alvenaria ou ao novo revestimento em betão projectado. Esse afastamento será preenchido com uma argamassa resistente.
- A placa deverá ser fixada usando um produto adesivo e complementado com dois parafusos galvanizados de 6cm de comprimento.
- O contorno de saliência apresentado pela argamassa de preenchimento deverá ser pintada com a mesma tinta reflectora a ser utilizada na sinalização dos nichos.

### 3.2.3. REPARAÇÃO DE BLOCOS PARTIDOS E FISSURAS (3L)

- **Objectivos:** Tratamento de fissuras transversais que atravessam os elementos de alvenaria, isto é, onde os blocos de pedra se encontrem partidos pelo alinhamento contínuo formado pela fissuração. É junto às bocas que se concentram grande parte das fissuras transversais e onde os tratamentos têm um carácter mais localizado.
- **Tratamento:** Primeiramente abrem-se as fissuras em cunha e depois aplica-se um ligante com base em resinas de epóxido tipo *icosit k101* da *Sika*, com adição de cargas de sílica.

### 3.2.4. ENCHIMENTO DE CAVIDADES E LESÕES NOS HASTEAIS (4L)

- **Processo de aplicação:**

O processo consiste em introduzir um bico no interior do vazio e verter a calda, que por gravidade, fará o preenchimento da cavidade e depois consolidará.

A constituição da calda será semelhante àquela que se recomenda para as injecções: de baixa fluidez e constituídas por cimento, cal e podendo haver uma adição de agregados de maiores dimensões.

Poderá ainda recorrer-se a um ligante do tipo *Lime Injection* da *Tecnocrete* com redução do volume de água na mistura e adição de microsílca. A execução da mistura requer alguma sensibilidade,

exigindo-se, por isso, um operador experiente.

- **Recomendações relativas ao processo de aplicação:**

As caldas referidas acima não deverão apresentar expansibilidade durante o endurecimento, de modo a não exercerem pressões excessivas na estrutura do sustimento, tal como acontece com as injeções.

O processo deverá ser devidamente controlado, pois pretende-se um preenchimento localizado. Assim, deverão ser colocados pontos de purga na área envolvente àquela a ser tratada, de modo a detectar possíveis perdas não desejadas de caldas pelo extradorso desguarnecido.

Os pontos de purga apenas constituirão um recurso para controlar o circuito das caldas no caso de apresentarem uma fluidez excessiva. A preparação de uma calda com a fluidez adequada permitirá ao operador um controlo mais rigoroso da operação.

Relativamente a cavidades ou aberturas perfeitamente visíveis existentes nos hasteais é recomendado que seja executado um enchimento sob a forma de bombeamento de caldas de baixa fluidez constituídas por cimento, cal e agregados.

A distribuição e incidência destas operações passarão obrigatoriamente pela apreciação e aprovação por parte da Fiscalização.

### 3.2.5. PREENCHIMENTO E SELAGEM DE VAZIOS NO EXTRADORSO (5L)

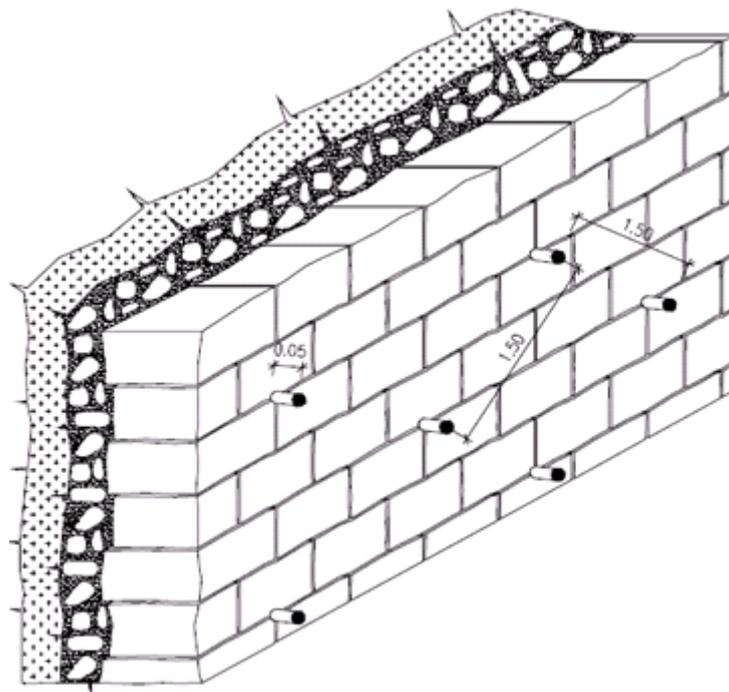


Fig.46 – Injecção de caldas para preenchimentos de vazios - esquema (GEG)

- **Objectivo desta operação:** Esta operação irá promover as condições de confinamento do maciço escavado com o sustimento.

- **Lavagem do extradorso**

**Método:** Introduce-se, sem pressão (máximo 1.0kgf/cm no bico), água limpa até se detectar água límpida na saída de purga localizada inferiormente.

**Objectivos:** Remover, na medida do possível, a sujidade e detritos depositados e permitir a pré-humidificação das áreas a serem argamassadas de forma a melhorar a penetração da mistura consolidante, reduzindo a absorção da água da mistura e evitando a sua desidratação prematura. A pré-humidificação deverá durar, no mínimo 20 minutos, antes da injeção. Deverá repetir-se a pré-saturação se, entretanto, a estrutura ficar seca ou se passarem mais de 2 horas desde a pré-humidificação.

- **Selagem superficial das juntas e fissuras:** Antes da instalação dos bicos de injeção ou obturadores, as juntas e fissuras serão seladas superficialmente com uma argamassa impermeabilizante de presa rápida, de modo a bloquear eventuais saídas da calda de injeção.

- **Preenchimento e selagem dos vazios existentes no extradorso do sustimento - injeções de calda**

**Localização dos pontos a tratar:** A localização exacta dos pontos a serem sujeitos a este tratamento deverá ser aferida e fixada em obra segundo critérios estabelecidos pela Fiscalização.

**Tipo de caldas:** Caldas fluídas, do tipo *Albaria Iniezione 200* da *Degussa*, compostas por cal hidratada, cargas pozolânicas e areias.

**Adição às caldas de (adjuvantes) – propriedades:** Devem usar-se retentores naturais de água que evitem a migração excessiva da água; superplastificantes que permitam que as caldas sejam facilmente injectadas com bombas de baixa pressão e expansivos adequados com controlo dimensional para que as mesmas não exerçam tensões na estrutura de alvenaria a ser injectada, sendo esta questão de elevada importância. Os adjuvantes não poderão introduzir sais solúveis (álcalis, sulfatos, cloretos ou nitratos) nem serem sujeitos a processos de degradação.

**Tipo de injeção:** Propõe-se uma injeção estrutural de contacto, a baixas pressões, visto não querer correr-se o risco de sobrecarregar, em todo ou em parte, as paredes dos hasteais e sobretudo o arco de alvenaria da abóbada.

**Tipo de tubos de injeção e distribuição dos mesmos:** Os tubos de injeção deverão ser em S235 (Fe360) 1/2" e dispostos segundo uma malha em quincôncio com espaçamentos máximos entre furos de 1.5m e penetrando em cerca de 15cm no extradorso, conforme se indica na Fig.46.

**Pressões de injeção a usar:** As pressões de injeção deverão ser reguladas para aproximadamente 0.6kgf/cm nos hasteais e 1.0kgf/cm nas abóbadas. No entanto, o Adjudicatário deverá testar e ajustar as pressões em obra de acordo com as instruções da Fiscalização, no sentido de proporcionar os melhores resultados na injeção, sem haver prejuízos para a estrutura de alvenaria e para que sejam garantidos os níveis de segurança.

**Modo de aplicação da injeção (regras e pressupostos):**

- ✓ A injeção será executada pressupondo um preenchimento ascendente, ou seja, começando pelo orifício inferior até que surja calda nos orifícios de purga, localizados superiormente. Quando o material surge no orifício superior fecha-se o injector inferior e reinicia-se a injeção da calda no orifício na fila seguinte de orifícios, (Fig.46);
- ✓ O avanço das injeções também deverá ter em conta a necessidade de conseguir-se um tamponamento prévio da área a tratar. Para tal, deverão ser as injeções localizadas na extremidade as primeiras a serem efectuadas. Deste modo, permite-se um bloqueio dos possíveis

circuitos de escoamento ao longo do extradorso do revestimento de pedra.

- ✓ Será necessário ainda estabelecer limites para regular o termo de cada injeção:
  - As injeções deverão ser imediatamente interrompidas quando se atingirem pressões de 2.0kgf/cm, no caso das abóbadas, e 1.5kgf/cm, nos hasteais;
  - Caso o índice de vazios se revele significativo e, para não se correr o risco de injectar continuamente e infinitamente todo o extradorso, a injeção será dada por terminada quando se atingir um volume de calda injectada de 0.3m, por bico de injeção.

**Conclusão dos trabalhos:** Concluído o trabalho, serão removidos os bicos de injeção e preenchidos e selados os furos.

- **Recomendações:** O conceito de preenchimento de vazios é claramente uma operação localizada e que deverá ser cuidadosamente acompanhada pela Fiscalização. Caso não se consigam empreender estas operações com o controlo necessário, tanto a nível de consumos, como ao nível das pressões que serão exercidas sobre o revestimento do túnel, deverão ser interrompidas as mesmas e comunicada a situação ao Projectista.

Trata-se de uma operação que exige cuidados acrescidos, devendo ser executada por pessoal especializado e continuamente supervisionada pelo engenheiro responsável.

### 3.2.6. REFECHAMENTO DE JUNTAS (6L)

- **Objectivos:** Esta técnica aplica-se no caso de fissuras pelas juntas entre blocos.
- **Procedimento**

**Alegramento das juntas:** O alegramento das juntas diz respeito à operação de remoção das argamassas das juntas degradadas e alteradas, devendo ser efectuado com recurso a martelos percussivos de baixo impacto, equipados com ponteiros e escopros planos com dimensão apropriada à largura das juntas das alvenarias. Esta operação deverá estar associada a jacto de água a pressão adequada e convenientemente ajustada, de modo a serem somente removidas as argamassas mais degradadas das juntas. Será importante garantir a limpeza completa nas juntas dos detritos resultantes das operações de alegramento, recorrendo, caso se verifique necessário, a ar comprimido. O alegramento das juntas deterioradas deverá ser de, pelo menos, 5cm.

**Saturação:** Após o alegramento deverá proceder-se à saturação das superfícies de contacto das juntas (limpeza).

**Refechamento das juntas:** Para o refechamento pretende-se que sejam aplicados materiais com boa capacidade de transpiração, que apresentem um conteúdo desprezável de sais solúveis e, acima de tudo, que a composição da argamassa reduza o fenómeno de retracção na fase plástica pela utilização de agentes expansivos de controlo dimensional. Além disso, as argamassas deverão ser estáveis e duráveis, com boa aderência à pedra do sustimento, à prova de água e não atacáveis pelos agentes agressivos. Assim, para este efeito, recomenda-se a utilização de um produto do tipo *Albaria Allettamento* da *Degussa*, tratando-se de uma argamassa pré-misturada, composta por cal hidráulica natural e metacaulino pozolânico misturado com areias carbonatadas.

O refechamento das juntas é aplicável ao intradorso dos hasteais e da abóbada do túnel e, a toda a estrutura em cantaria constituintes das bocas de entrada e de saída do túnel que careçam deste tipo de tratamento.

- **Recomendações:** As operações de alegramento, limpeza e posterior guarnecimento deverão ser efectuadas com os cuidados necessários para que não se instabilize a estrutura de suporte. Sendo assim, recomenda-se que os tratamentos sejam efectuados de uma forma faseada e abrangendo superfícies limitadas com área aproximada de 2m, evitando que fiquem juntas por refechar após terminado o período de interdição disponível. Esta questão deverá ser encarada com prudência e bom senso pois, um tratamento de juntas de características mais aprofundadas poderá ditar que aquela área pré-definida seja excessiva, assim como, pelo contrário, um tratamento meramente superficial necessitará uma intervenção menos condicionada e de maior continuidade.

Independentemente do desguarnecimento total ou parcial das juntas ou das maiores ou menores áreas de tratamento, será imperativo que o Adjudicatário complete as operações então iniciadas dentro do mesmo período de interdição.

Temporariamente, serão colocadas cunhas de madeira em todas as juntas cuja profundidade de desguarnecimento seja igual ou superior a 10cm, enquanto não se proceder ao seu refechamento. Estas cunhas deverão apresentar um formato preferencialmente trapezoidal com a altura a variar entre 2 e 6cm e uma base com cerca de 15cm.

Os mapeamentos indicam já algumas zonas pré-definidas onde será necessário empreender este tipo de tratamento. O tratamento deverá ser estendido a outras áreas do túnel, caso essa necessidade venha a ser detectada após executadas as operações de limpeza e de decapagem do intradorso do túnel.

### 3.3. TRATAMENTOS CONTÍNUOS

Conforme já foi referido, a limpeza do sustimento é designado de tratamento contínuo pois, necessita ser executado em todo o revestimento dos túneis e é aqui designado de 1C (Fig.45). Antes de qualquer obra de beneficiação local começa-se pela limpeza de todo o revestimento.

Na tabela abaixo apresenta-se a lista de tratamentos contínuos que serão efectuados nos quatro túneis.

Tabela 14 – Tipo de tratamentos contínuos

TRATAMENTOS CONTÍNUOS		Túneis
1C -	Limpeza de todo o revestimento de alvenaria	A, B, C, D
2.1C -	Reforço geral do sustimento em alvenaria	A, B, C, D
2.2C -	Reforço geral do maciço encaixante	C, D
3.1C -	Drenagem do sustimento	A, B, C, D
3.2C -	Drenagem do maciço rochoso	D

A seguir descrever-se-ão os diferentes tratamentos contínuos para o sustimento.

#### 3.3.1. LIMPEZA DE TODO O REVESTIMENTO DE ALVENARIA (1C)

Segundo Souza & Ripper, (1998), a lavagem pela aplicação de jactos de água sob pressão controlada é largamente utilizada como técnica de limpeza e preparação do substrato para a futura recepção do material de reparação. Normalmente, os jactos são de água fria e muitas vezes são utilizados simultaneamente com jactos de areia; no entanto, em determinadas situações como, por exemplo,

superfícies muito gordurosas ou com manchas de forte impregnação química, recorre-se a jactos de água quente, normalmente adicionando-se removedores biodegradáveis.

As instruções e as recomendações adoptadas pelo projectista para este tipo de tratamento são as seguintes:

- **Objectivos**

A limpeza de todo o revestimento justifica-se devido:

- ✓ À agressão conferida pelos gases de combustão expelidos pelas locomotivas ao longo da sua vida de exploração até aos dias de hoje, provocando uma agressão progressiva nos materiais que compõem o revestimento do túnel;
- ✓ Aos efeitos erosivos e de degradação provocados pela acção da humidade e da passagem contínua de águas;
- ✓ À tendência na formação e incrustação de fuligem, de solidez variada e, por vezes, de difícil remoção;
- ✓ Ao alojamento de fungos, de aspecto desagradável, especialmente nas bocas. Estas zonas são marcadamente sombrias mas providas de alguma luminosidade e humidade.

- **Execução da limpeza**

**Zonas a limpar com especial cuidado:** A limpeza será empreendida com especial atenção no perímetro revestido das bocas do túnel, estendendo-se às molduras e aos muros de testa. Terão de limpar-se as superfícies degradadas; remover as argamassas mal aderentes e todo o material esfarelado e de fraca consistência; limpar as fissuras, as juntas e as zonas envolventes que estejam afectadas; remover, na medida do possível, a sujidade e detritos depositados (podendo recorrer-se a ar comprimido); conforme foi descrito no ponto anterior (3.2.).

**Método Torbo:** Método húmido de decapagem por projecção, com utilização de jactos de água misturada com uma substância abrasiva (areia ou sílica, por exemplo), a baixa pressão (0.5 a 10kgf/cm = 5 a 7 bar), com vista a retirar todas as impurezas, tanto dos blocos, como das argamassas ligantes, sem que seja danificada a alvenaria. A pressão normalmente aplicada neste tipo de limpeza varia entre 5 e 7bar (1bar = 1.019kgf/cm). A proporção de areia e água deverá ser de 80/20.

Os objectivos do método são:

- ✓ Aumentar a eficiência e rentabilidade da limpeza, o que é muito importante visto tratar-se de uma operação que abrangerá toda a extensão do túnel e;
  - ✓ Proporcionar um trabalho controlado e ajustável que se traduza numa limpeza mais suave, nítida e cuidada.
- **Recomendações:** À medida que as operações de limpeza vão avançando, poderão ser detectadas brechas, fissuras e juntas abertas no sustimento que justifiquem a colocação de cunhas de madeira. A colocação de cunhas com vista a suportar provisoriamente os elementos menos estáveis ficará a encargo e responsabilidade do Adjudicatário, exigindo contudo a confirmação por parte da Fiscalização.

### 3.3.2. REFORÇO GERAL DO SUSTIMENTO EM ALVENARIA

As instruções e as recomendações adoptadas pelo projectista para o estudo e aplicação das soluções de reforço geral são as seguintes:

- **Preparação das superfícies antes do reforço**

Além da limpeza acima referida também será necessário proceder à regularização das paredes não revestidas, removendo os bicos e saliências no maciço rochoso encaixante. Esta preparação não é necessária para efeitos estéticos, mas sim para permitir uma aderência perfeita da primeira camada de betão projectado e o preenchimento parcial e superficial das juntas. A superfície onde vai ser projectado o betão não deve estar seca.

- **Garantir os gabaris mínimos**

É importante que aquando se estudem as soluções de reforço geral a serem aplicadas também se averigüe o cumprimento dos gabaris e a necessidade de rebaixamento da via pois, nalguns troços poderá não ser viável a aplicação das soluções de reforço se daí resultar o incumprimento dos gabaris mínimos.

Em 2000 foi feito um levantamento de perfis transversais dos túneis com recurso a um sistema de laser radar. As condicionantes impostas pelo gabaris exigidos e o rebaixamento da via foram analisados com base em gráficos com as secções transversais mais a sobreposição do gabari cinemático CRC/CPb+, do gabari limite de obstáculos GLO e do gabari de electrificação, (Fig.47).

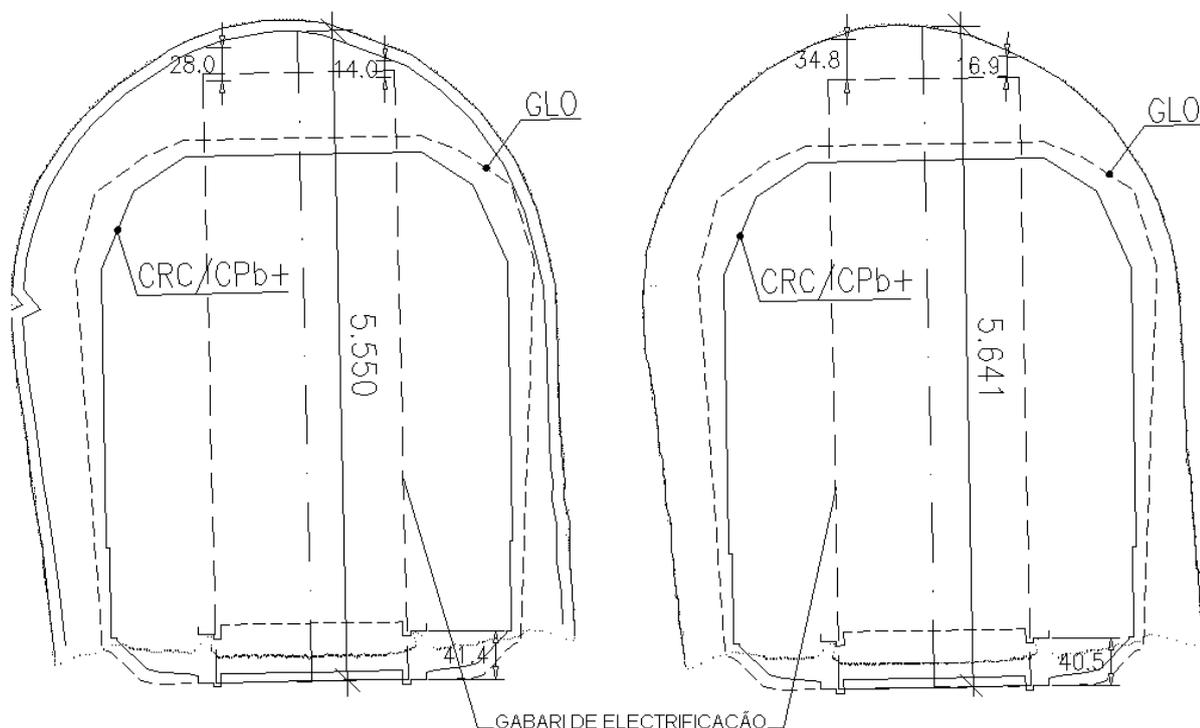


Fig.47 – Exemplo do estudo da sobreposição dos perfis transversais e dos gabaris mínimos exigidos (adapt. de REFER)

Cada um destes gabaris tem uma função e os três deverão ser respeitados:

- ✓ O contorno cinemático CRC/CPb+ é o contorno mínimo a ser cumprido no decorrer das obras;
- ✓ O contorno de obstáculos GLO é o contorno mínimo para o estudo das soluções de reforço geral;
- ✓ O gabari de electrificação é o contorno mínimo para a colocação de catenária na via.

Apresentam-se as definições de cada um dos gabaris.

- **Gabari de obstáculos, GLO:** Contorno do espaço livre de obstáculos, ao longo de uma via. Este gabari deve ser sempre envolvente ao gabari de carga e não admitir no seu interior instalações fixas ou outros objectos. É determinado a partir de um veículo parado, tendo em conta o raio de curvatura da via e margens de segurança, ou como gabari cinemático, a partir de um veículo em movimento, tendo em consideração as suas deslocações devidas a desgaste dos rodados, jogo de balanço da travessa dançante, oscilações transversais, características de suspensão e até eventuais defeitos na via, (REFER).
- **Contorno de referência ou contorno cinemático CRC/CP+:** O contorno cinemático é um contorno de referência mais amplo do que o resultante das dimensões dos veículos, determinado a partir de um veículo em movimento, tendo em consideração para além das posições da sua inserção em curvas, as suas deslocações devidas ao desgaste dos rodados, (REFER).
- **Gabari de electrificação mínimo:** Contorno de referência, mais amplo do que o resultante das dimensões dos veículos, determinado a partir de um veículo em movimento numa via electrificada, o que implica a consideração de uma zona superiormente que salvguarde o espaço para a catenária e respectiva distância de protecção, (REFER). Este é definido por uma altura livre de 5,20m medida da mesa de rolamento e numa faixa de 1,62m centrada ao eixo da via.

Refira-se que este estudo (cumprimento de uma altura livre de 5,20m medida da mesa de rolamento e numa faixa de 1,62m centrada ao eixo da via) já contempla a aplicação de soluções de reforço no intradorso do sustimento de alvenaria com uma espessura até 10cm, as quais implicam a redução do gabari disponível e, por isso, o incremento nas necessidades de rebaixamento. Considerou-se, então, em praticamente toda a extensão revestida do túnel, uma altura mínima de 5,30m.

Nas zonas onde não seja possível garantir o gabari GLO as soluções de reforço geral não serão aplicadas. Esta situação é frequente nas bocas dos túneis. Em extensões não revestidas dos túneis, apesar das soluções de reforço ultrapassarem os 10 cm, esta questão não se coloca justamente por não haver qualquer revestimento, as folgas para os gabaris exigidos são suficientes. Em relação ao cumprimento do contorno de referência CRC/CPb+ durante a obra, se o mesmo se encontrar em situação limite ou interceptar levemente o revestimento deverá ser dado um especial cuidado na atribuição de afrouxamentos à passagem de comboios no interior desse túnel.

O levantamento dos perfis transversais foi realizado em determinadas secções espaçadas. Face às variações existentes nas diversas secções, e naturalmente entre secções, o Adjudicatário deverá, desde logo, efectuar uma verificação contínua dos gabaris, com especial atenção para as secções com geometrias mais pronunciadas. Essa verificação tem como objectivo uma leitura contínua e de averiguação da possível existência de situações mais condicionantes do que aquelas reconhecidas pelos perfis transversais existentes. Esta verificação será realizada com recurso a um gabari físico móvel, a ser montado e construído na obra.

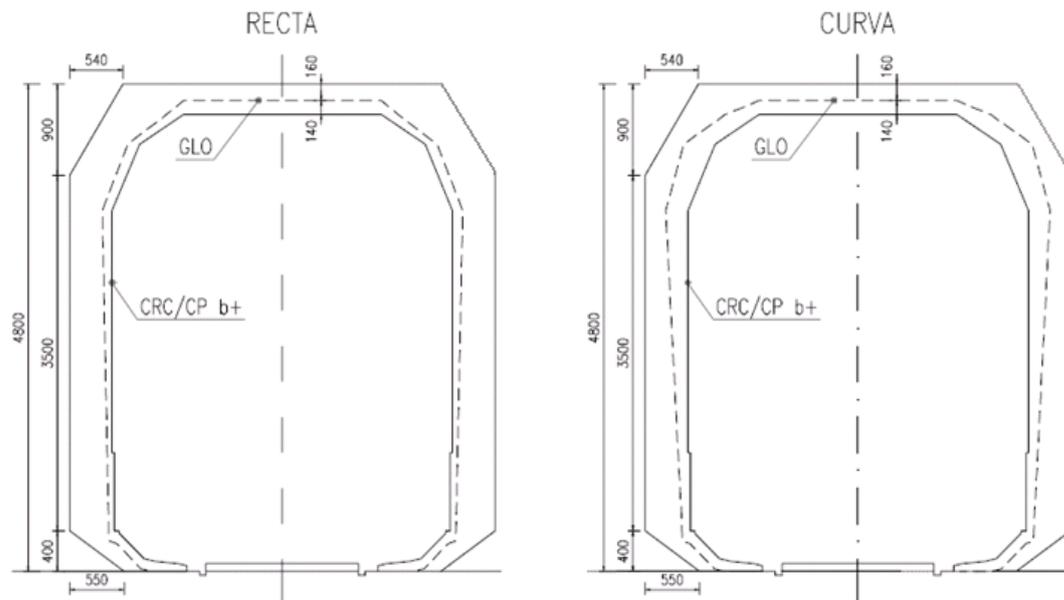


Fig.48 – Confronto entre gabaris (REFER)

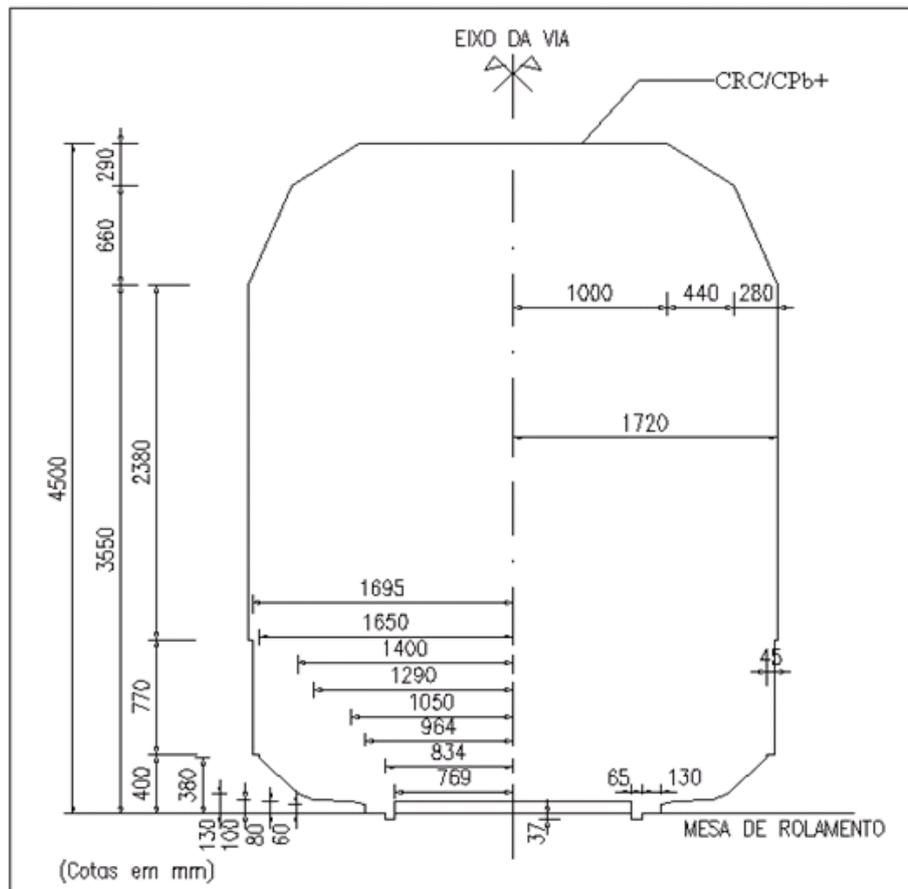


Fig.49 - Contorno de referência a ter em conta para o tipo de via em estudo, CRC/CPb+ (REFER)

Neste trabalho não irá apresentar-se o estudo do cumprimento dos gabaris mínimos de todos os perfis transversais, no entanto, apresentar-se-ão no ponto 3.3.2.3 as conclusões mais relevantes retiradas desse estudo e as medidas preconizadas para os 4 túneis. No capítulo 4 apresentar-se-ão os resultados dos rebaixamentos de via obtidos após o estudo do gabari de electrificação mínimo a ser respeitado para eventual colocação de catenária.

- **Tipo de solução**

Conforme já foi dito, os túneis terão o mesmo tipo de solução de reforço geral, no entanto, a mesma poderá ser mais reforçada ou aligeirada nalgumas secções dos túneis, dependendo do tipo de revestimento encontrado e do seu estado de conservação. Assim, foram previstas 4 soluções, duas para zonas revestidas, designadas de S1 e S2 e duas para zonas não revestidas (tratamento directo do maciço encaixante), designadas de S3 e S4. A solução do tipo S2 é mais reforçada do que a do tipo S1, assim como, a solução do tipo S4 é mais reforçada que a do tipo S3.

Apesar do projectista definir e delimitar a aplicação destas soluções, não impede que em obra a Fiscalização entenda que se devam fazer ajustes pois, conforme já foi referido relativamente à especificidade da empreitada em questão, será necessário atender às reais condições de obra e proceder aos ajustes que essas mesmas condições irão ditar. Qualquer que seja a solução a ser aplicada, a mesma deverá ser experimentada segundo um plano a estabelecer pela Fiscalização.

Na tabela abaixo apresentam-se as soluções preconizadas pelo projectista para cada túnel. Também são indicados os tipos de revestimento existentes e já mencionados no capítulo 2. Lembra-se que o tipo R5 refere-se a zonas totalmente não revestidas dos túneis.

Tabela 15 – Soluções de reforço preconizadas e tipo de revestimento para os túneis

<b>Túneis</b>	<b>Revest. Tipo</b>	<b>Solução tipo</b>
<b>A</b>	R1	S1, S2
<b>B</b>	R1, R2, R3	S1, S2
<b>C</b>	R1, R2, R3, R5	S1, S2, S4
<b>D</b>	R1, R4	S1, S2, S3, S4

Estas soluções terão de ser complementadas por um sistema de drenagem, abordado no ponto 3.4. Seguidamente descrever-se-á cada uma das soluções de reforço e indicar-se-á a respectiva sequência de execução dos trabalhos.

### 3.3.2.1. Soluções para zonas revestidas (S1 e S2)

A solução do tipo S2 é mais reforçada do que S1, esta última deverá ser aplicada em secções menos perturbadas e mais estáveis. As diferenças entre uma ser mais reforçada que outra está na espessura das camadas de betão projectado, no tipo de malha e nas pregagens a serem usadas. O objectivo das pregagens influencia o tipo de pregagens a serem usadas e a selagem das mesmas (relacionada com os comprimentos dos varões). As semelhanças dizem respeito às diversas recomendações transmitidas relativamente às características do betão projectado, fixações necessárias e sequências construtivas a serem adoptadas.

S1

- Representação esquemática da solução:

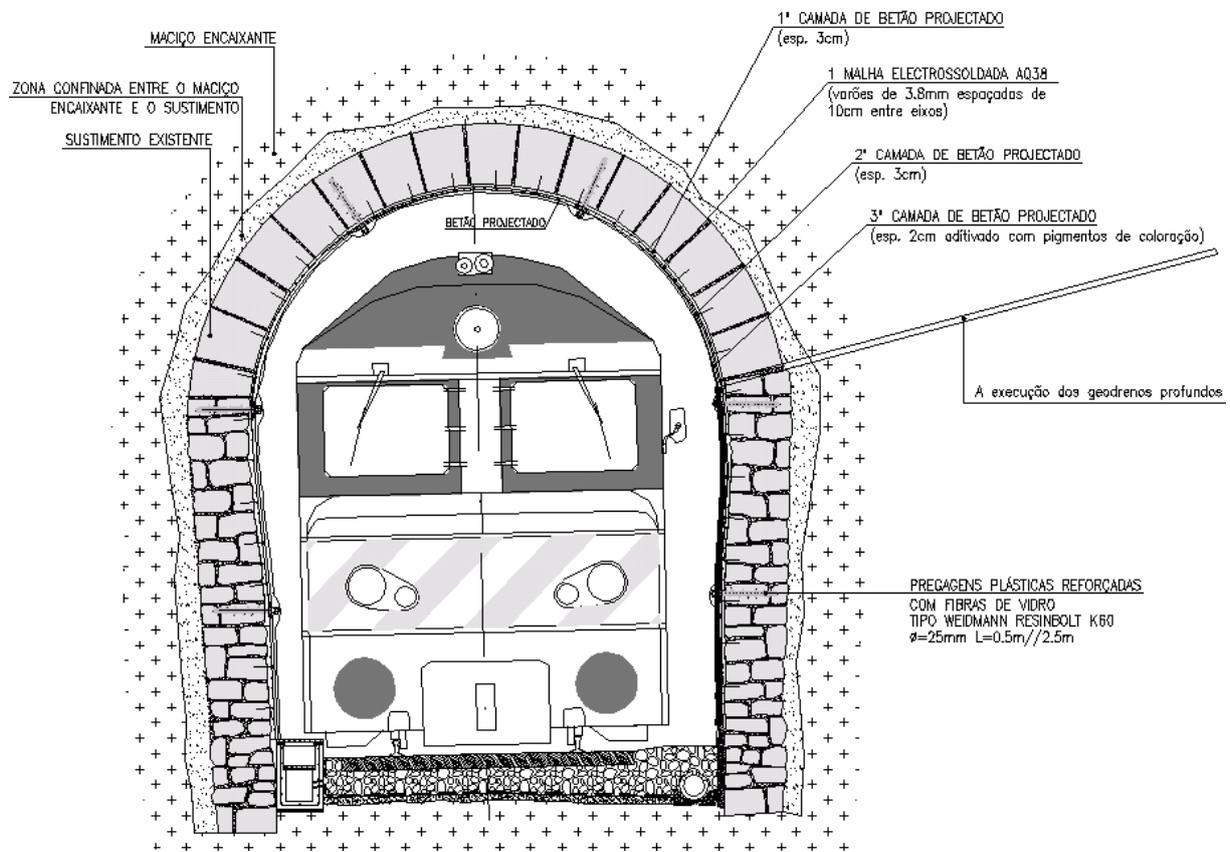


Fig.50 – Representação esquemática da solução do tipo S1 (GEG)

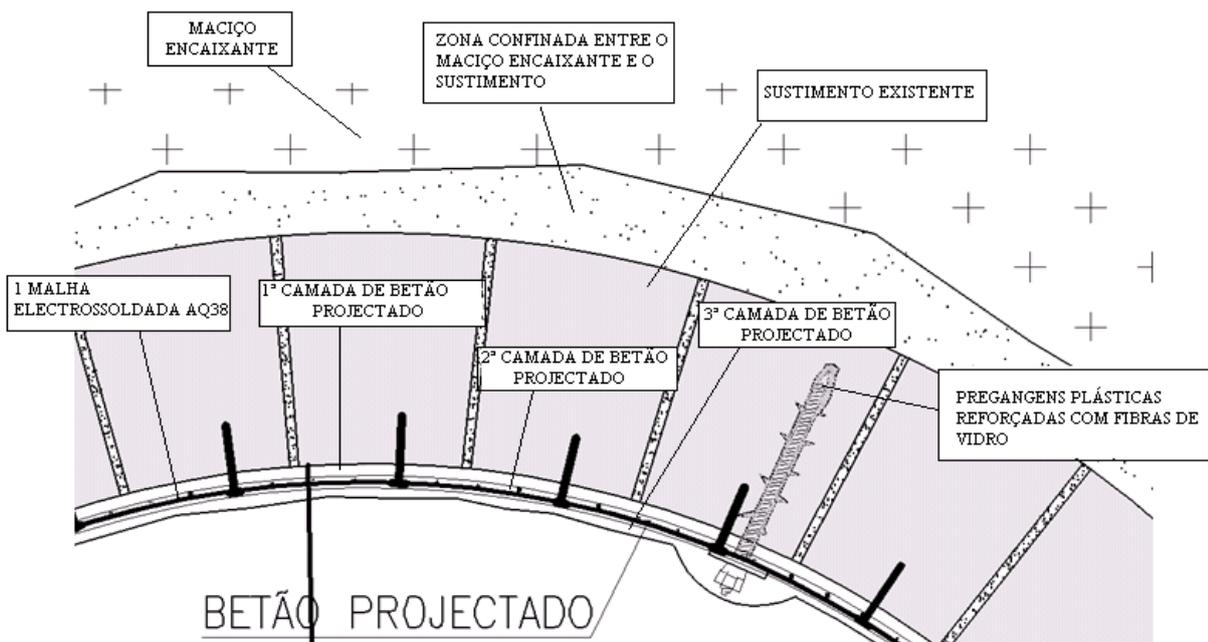


Fig.51 – Pormenor da solução do tipo S1 (adapt. de GEG)

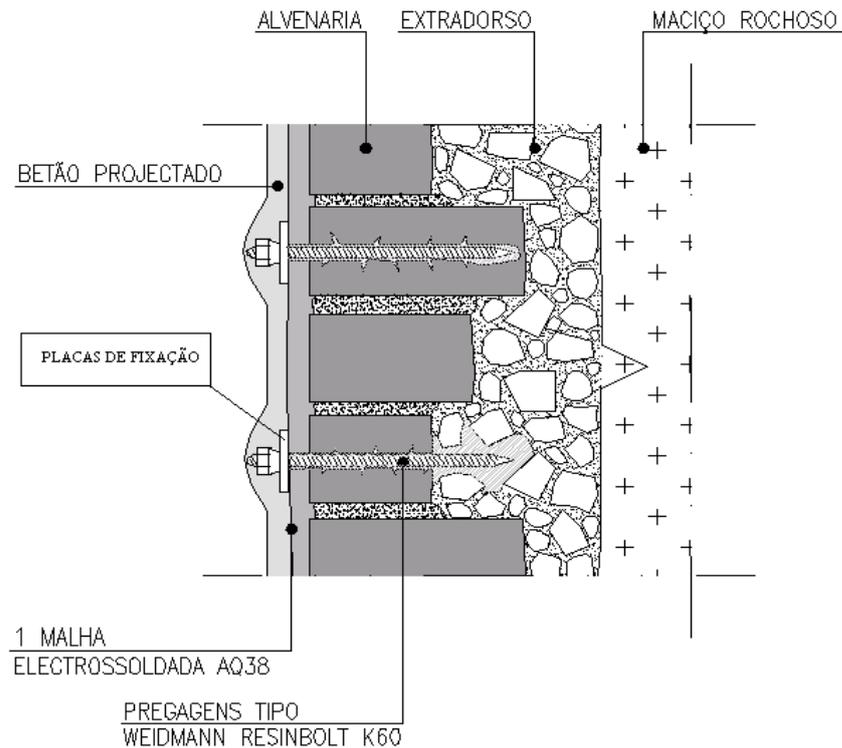


Fig.52 – Pormenor da solução do tipo S1-corte transversal (GEG)

- **Aplicação:** Esta solução deverá ser aplicada em secções menos perturbadas e mais estáveis. Para as zonas revestidas em toda a sua secção com pedra aparelhada de granito, esta solução de reforço geral combinada com a respectiva solução de drenagem apresentará, segundo o projectista, uma boa prestação.
- **Execução de pregagens permanentes**

**Objectivos:** Promover a fixação do novo reforço ao sustimento existente, aparentemente estável.

**Tipo:** Execução de pregagens plásticas reforçadas com fibras de vidro (GRP - glassfiber reinforced plastic), mais curtas, do tipo *Weidmann Resinbolt K60*, com 25mm de diâmetro, roscadas em todo o seu comprimento. Estas pregagens em particular terão um comprimento com cerca de 0.5m, podendo este valor ser ajustado conforme a dimensão dos blocos de pedra.

**Espaçamento:** O espaçamento transversal entre pregagens será de 2,0m entre si. O espaçamento longitudinal será de 2,5m.

**Selagem:** As pregagens serão seladas no sustimento com recurso a cartuchos de resina, sem que seja atingido o maciço encaixante (Fig.52).

É recomendado ter em atenção a variabilidade da espessura do sustimento e o facto de que em algumas situações o extradorso poderá ter sido sujeito a lavagens e desgastes frequentes, logo, pode estar pouco confinado, permitindo a fuga e a dispersão das caldas de selagem.

No caso de recorrer-se a métodos mais tradicionais de selagem, nomeadamente a caldas de cimento, será necessário proceder-se à execução de um encamisamento prévio na extensão referente ao extradorso, de forma a minimizar-se a dispersão das caldas ou recorrer a outro tipo de solução de

tamponamento, nomeadamente aplicando produtos expansivos de preenchimento. O recurso a outra metodologia de selagem das pregagens plásticas deverá ser devidamente justificado e especificado perante a Fiscalização.

**Furação:** O diâmetro de furação deverá ter cerca de 32 a 36mm.

**Placas de fixação:** As placas de fixação serão em aço protegido contra a corrosão, de secção quadrada com 15cm de aresta, espessura de 8mm e porcas de aperto, também em aço galvanizado, de 3cm de comprimento.

O Adjudicatário deverá ainda aplicar fixações complementares, como sejam buchas metálicas e ferrolhos de aço em gancho, devidamente galvanizados, para auxiliar, conforme as necessidades.

- **Primeira camada de betão projectado**

**Objectivo:** Esta camada tem como finalidade a regularização do sustimento existente que antecederá a colocação da malha electrossoldada.

**Espessura:** Essa primeira camada terá sensivelmente 3 cm de espessura.

**Aditivos a adicionar ao betão**

- ✓ **Aceleradores de presa e de endurecimento:**

Deverão ser aplicados aditivos hidrófugos, isentos de cloretos e de álcalis, de forma a incrementar as propriedades impermeabilizantes e de coesão e acelerar a sua presa. Deverão ser não agressivos para as armaduras, redutores do efeito de ricochete e facilmente aderentes à pedra, nomeadamente na abóbada.

Para tal poderá usar-se um acelerador do tipo *Sigunit 49 AF*, da *Sika* ou recorrer-se a um acelerador líquido, do tipo *Meyco SA160E*, da *Degussa*. Ambos reúnem as mesmas características: são aceleradores também compatíveis com a projecção por via seca e isentos de produtos alcalinos, tornando-os não tóxicos e não cáusticos, características importantes para a segurança dos executores da projecção.

- **Colocação da malha**

**Tipo:** A malha electrossoldada será em aço A500, do tipo AQ38 (varões de 3.8mm de diâmetro espaçados de 10cm entre eixos).

**Fixação das malhas electrossoldadas à primeira camada de betão projectado:**

As malhas electrossoldadas serão amarradas ao sustimento actual e ao maciço encaixante por via de pregagens e fixações auxiliares (tipo *Splitz*, *Hilti* ou outros).

Deverão ser utilizados sistemas apropriados de fixação directa como sejam os pregos do tipo X-ZF 32 P8S36, da *Hilti*: comprimentos de 32mm, cabeça com 8mm de diâmetro devidamente acompanhadas com arruelas metálicas de 23mm de diâmetro.

A fixação da malha deverá ser feita de forma a ficar segura e estável e tal que, a projecção de betão subsequente não possa provocar a vibração da mesma.

Nas zonas caracterizadas por elevados índices de humidade e problemas de infiltrações as malhas electrossoldadas deverão ser galvanizadas.

- **Segunda camada de betão projectado:**

**Objectivo:** Esta camada terá de envolver completamente as malhas electrossoldadas.

**Espessura:** Esta camada deverá ter sensivelmente 3cm de espessura.

- **Terceira camada de betão projectado:**

**Objectivo:** Esta camada fina será de acabamento final.

**Espessura:** Esta camada deverá ter uma espessura de 2cm.

**Aditivos:** Deve adicionar-se um composto para coloração da massa de betão do tipo *Conex*, da *Degussa*.

Na tabela abaixo indicam-se as espessuras das camadas de betão para esta solução.

Tabela 16 – Espessura das camadas de betão projectado para a solução do tipo S1

Solução tipo	Nº de camadas	Espessura (cm)				
		Total	1ª camada	2ª camada	3ª camada	4ª camada
S1	3	8	3	3	2	-

S2

- **Representação esquemática da solução:**

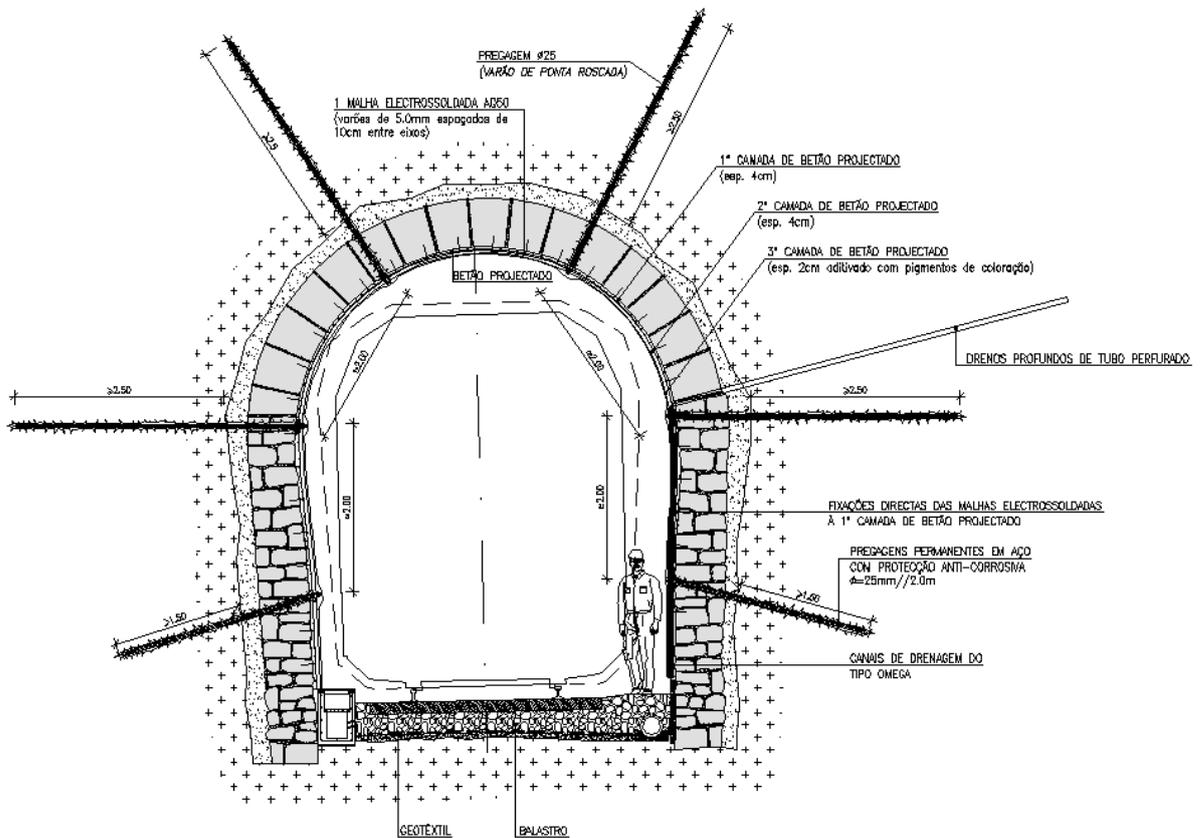


Fig.53 – Representação esquemática da solução do tipo S2 (GEG)

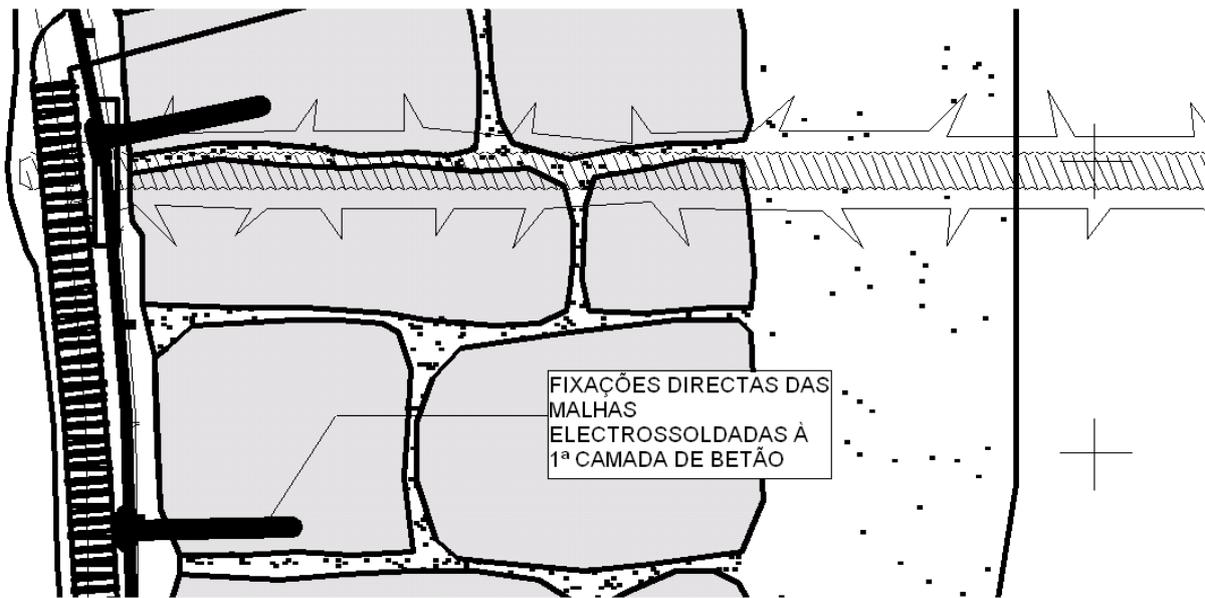


Fig.54 – Pormenor1 da solução do tipo S2 (adapt. de GEG)

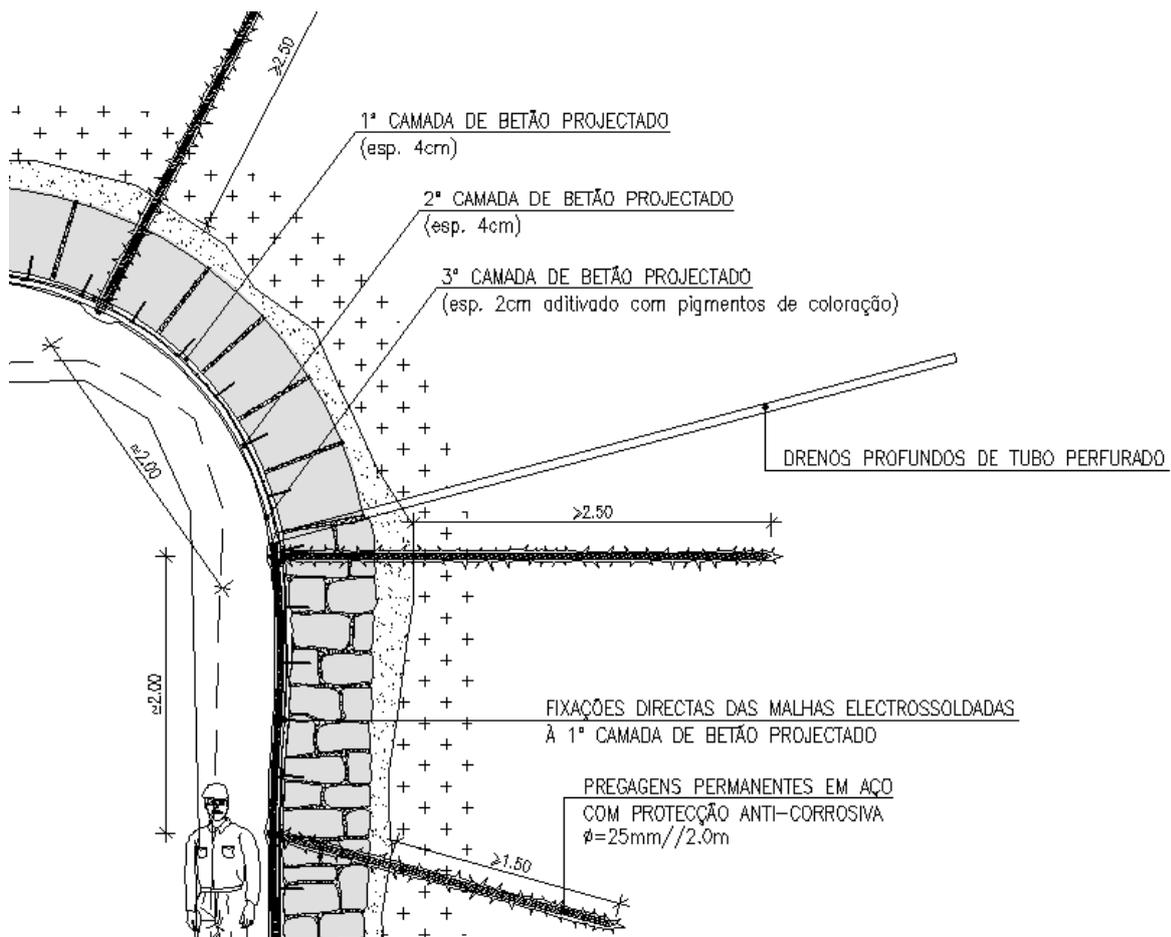


Fig.55 – Pormenor2 da solução do tipo S2 (adapt. de GEG)

- **Execução de pregagens permanentes**

**Objectivos:** Esta solução deve assegurar a amarração do sustimento e dos novos reforços ao maciço encaixante e consolidar o próprio maciço na envoltória imediata da escavação.

**Tipo:** As pregagens serão em aço A500, com protecção anticorrosiva, diâmetro de 25mm e comprimentos de 2,5m nas abóbadas e de 1,5m nos hasteais.

**Selagem:** Os comprimentos acima correspondem ao comprimento de selagem no maciço encaixante. A selagem é realizada com calda de cimento.

Em obra, será importante acompanhar a evolução do processo de furação de modo a verificar as condições do maciço rochoso e, de acordo com as instruções da Fiscalização, proceder a eventuais ajustes nos comprimentos de selagem: interceptando uma zona rochosa de qualidade diferente da esperada, nomeadamente quanto à sua dureza e resistência, será ponderada, segundo critérios a estabelecer pela Fiscalização, a necessidade de ajustar o comprimento de selagem pré-definido.

**Espaçamento entre pregagens:** O espaçamento longitudinal será aproximadamente de 2,0m. O espaçamento transversal terá cerca de 2,0m.

**Aperto das pregagens:** O tensionamento ou aperto da pregagem não se pretende muito elevado por tratar-se de uma alvenaria em pedra, podendo provocar movimentos no bloco ou blocos onde a mesma será executada. O varão de aço deverá apresentar uma das extremidades cortada em bisel e a outra munida de rosca, de modo a proceder-se a um aperto final (ligeiro) contra a placa de fixação com recurso a uma chave dinamométrica, permitindo, desde logo, pôr o elemento em tensão, controlando melhor eventuais deformações.

**Furação:** O diâmetro de furação deverá ter cerca de 89mm.

Aquando da furação poderão introduzir-se sujidades e detritos no furo, por isso, deverá proceder-se cuidadosamente à sua limpeza com ar comprimido, no caso de furos com inclinação descendente (escoamento favorável no sentido do fundo do furo) ou água, no caso de furos com pendente ascendente (escoamento favorável no sentido do túnel).

**Placas de fixação:** As placas em aço terão uma geometria quadrada com 15cm de aresta, uma espessura de 8mm e deverão estar protegidas contra a corrosão, assim como as rótulas e porcas para aperto. O Adjudicatário deverá aplicar fixações complementares, como buchas metálicas e ferrolhos de aço em gancho devidamente galvanizados, para auxiliar conforme as necessidades.

- **Primeira camada de betão projectado:** As características são semelhantes às descritas para a solução anterior (S1) com excepção da espessura da camada que será superior, com cerca de 4 cm de espessura.

- **Colocação da malha electrossoldada**

**Tipo:** A malha será em aço A500, tipo AQ50 (varões de 5,0mm de diâmetro espaçados de 10cm entre eixos). A fixação das malhas é semelhante ao já descrito para a solução anterior.

- **Segunda camada de betão projectado:** As características são semelhantes às descritas para a solução anterior (S1) com excepção da espessura da camada que será superior, com cerca de 4 cm de espessura.
- **Terceira camada de betão projectado:** As características são idênticas às descritas para a solução anterior.

Na tabela abaixo indicam-se as espessuras das camadas de betão para esta solução.

Tabela 17 – Espessura das camadas de betão projectado para a solução do tipo S2

Solução tipo	Nº de camadas	Espessura (cm)				
		Total	1ª camada	2ª camada	3ª camada	4ª camada
S2	3	10	4	4	2	-

3.3.2.2. Soluções para zonas não revestidas (S3 e S4):

Estas soluções têm muito em comum com as soluções já apresentadas anteriormente para as zonas revestidas. O espaçamento transversal entre pregagens tem de ser maior para as zonas não revestidas em relação ao das zonas revestidas assim como, a espessura das camadas de betão projectado, o comprimento das pregagens em aço e conseqüente comprimento de selagem das mesmas.

S3

- Representação esquemática da solução:

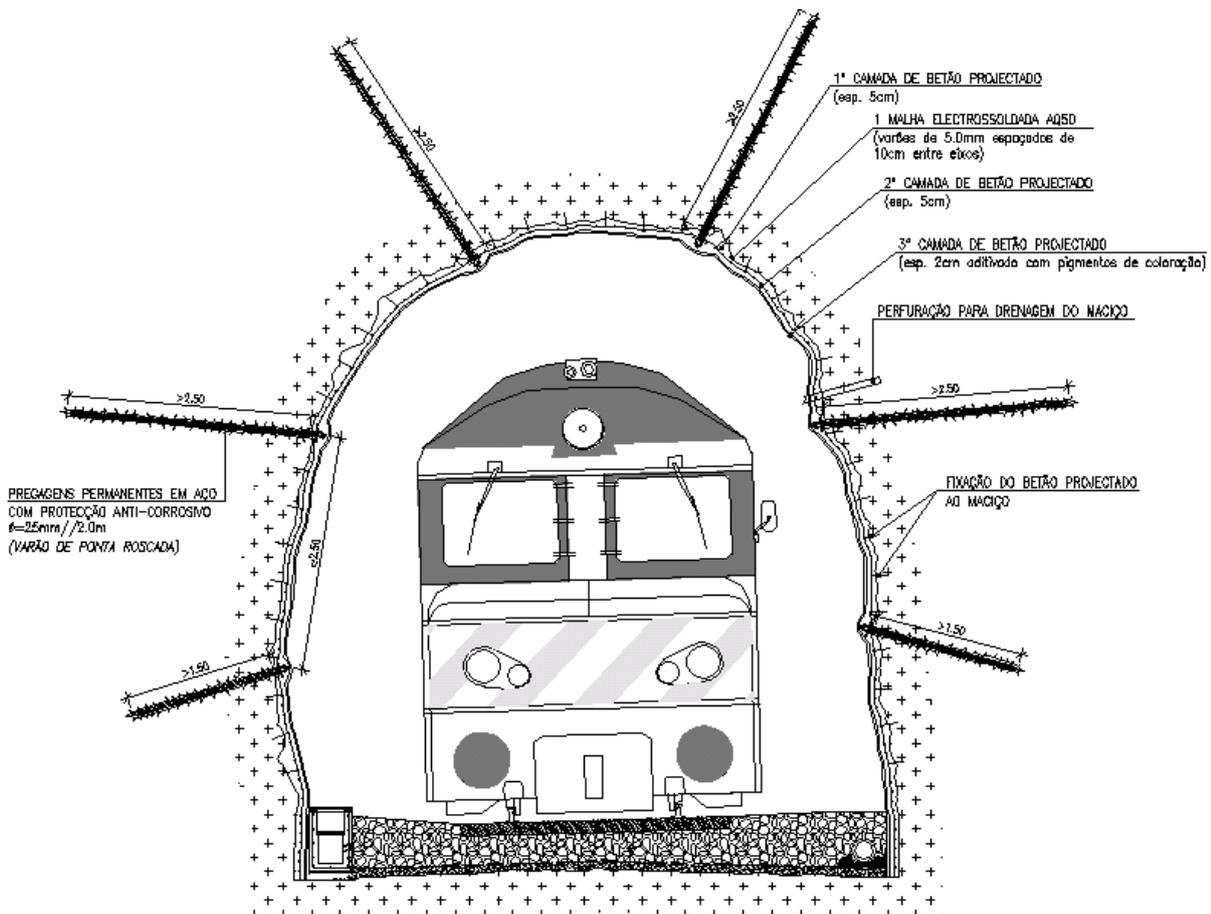


Fig.56 – Representação esquemática da solução do tipo S3 (GEG)

- **Execução de pregagens permanentes**

As características das pregagens são semelhantes às descritas para a solução S3, com excepção das seguintes:

**Comprimentos dos varões e de selagem:** As pregagens terão comprimentos de 2,5m nas abóbadas e de 1,5m nos hasteais, sendo que os mesmos corresponderão aos comprimentos de selagem no maciço encaixante.

**Espaçamento entre pregagens:** O espaçamento longitudinal será de aproximadamente 2,0m. O espaçamento transversal terá cerca de 2,5m.

- **Primeira camada de betão projectado:** As características são semelhantes às descritas para as soluções anteriores (S 1 e S2) com excepção da espessura da camada que será superior, com cerca de 5cm de espessura.

- **Colocação de malha:**

**Tipo:** Deverá ser em aço A500, tipo AQ50 (varões de 5,0mm de diâmetro espaçados de 10cm entre eixos). A fixação das malhas é semelhante ao já descrito anteriormente para as outras soluções.

- **Segunda camada de betão projectado:** As características são semelhantes às descritas para as soluções anteriores com excepção da espessura da camada que será superior, com cerca de 5cm de espessura.

- **Terceira camada de betão projectado:** As características são idênticas às descritas para as soluções anteriores.

Na tabela abaixo indicam-se as espessuras das camadas de betão para esta solução.

Tabela 18 – Espessura das camadas de betão projectado para a solução do tipo S3

Solução tipo	Nº de camadas	Espessura (cm)				
		Total	1ª camada	2ª camada	3ª camada	4ª camada
S3	3	12	5	5	2	-

S4

- Representação esquemática da solução:

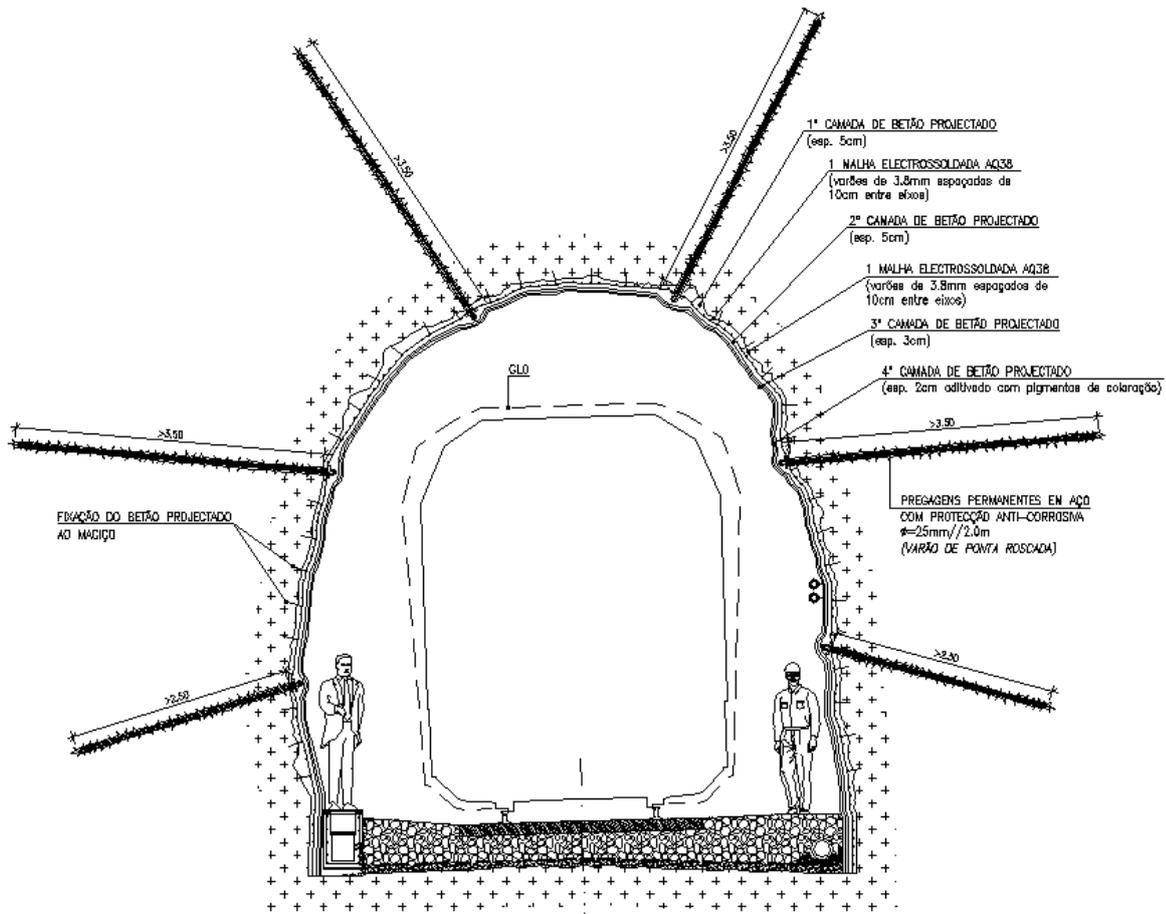


Fig.57 – Representação esquemática para a solução do tipo S4 (GEG)

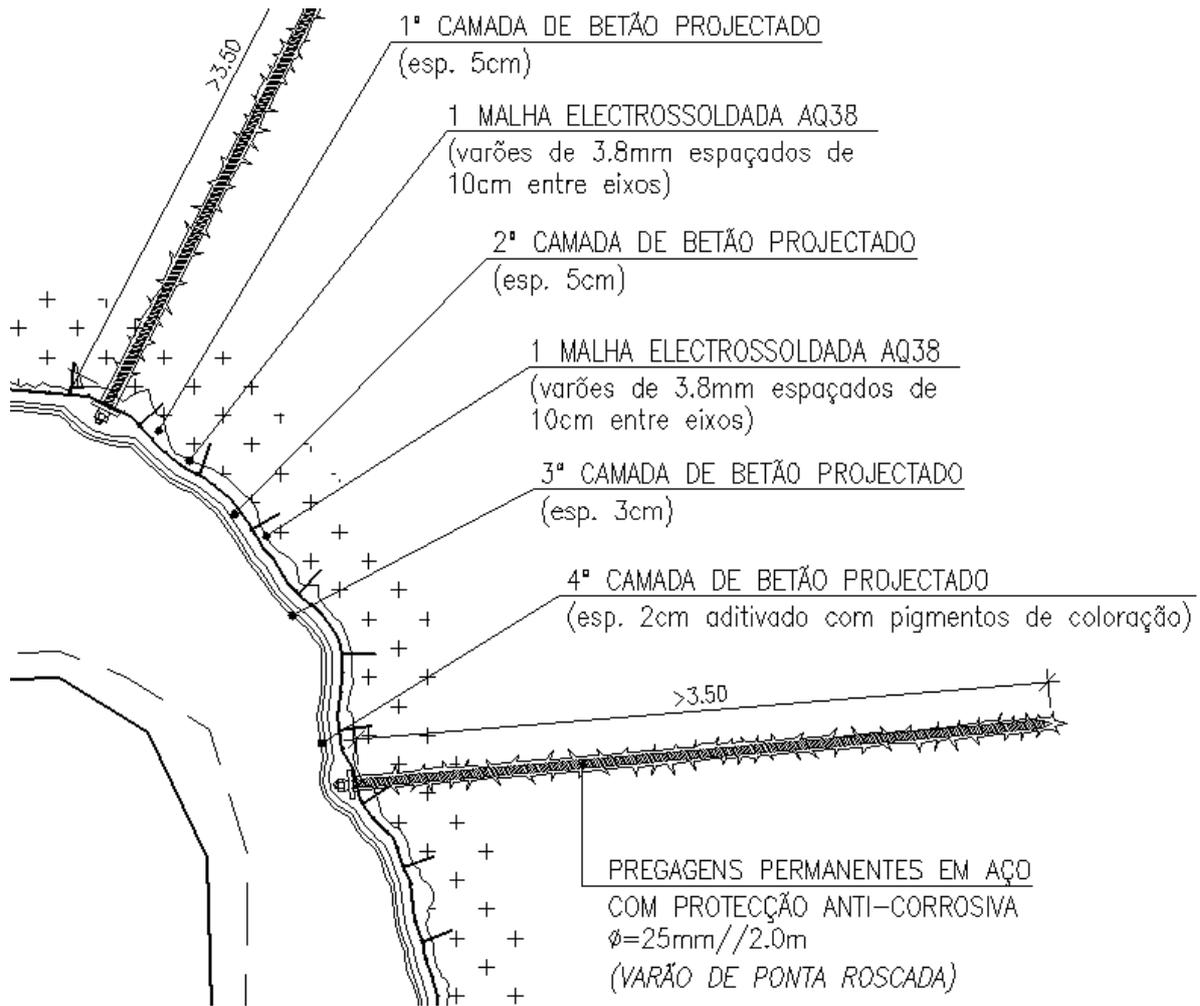


Fig.58 – Pormenor da solução do tipo S4 (adapt. de GEG)

- Execução de pregagens permanentes

As características das pregagens são semelhantes às descritas para a solução S4, com excepção das seguintes:

**Comprimentos dos varões e de selagem:** As pregagens terão comprimentos de 3,5m na abóbada e de 2,5m nos hasteais, sendo que os mesmos corresponderão aos comprimentos de selagem no maciço encaixante.

- Primeira camada de betão projectado: Esta camada terá as mesmas características que as descritas na solução anterior (S3).

- Colocação da primeira malha:

**Tipo:** Será em aço A500, tipo AQ38 (varões de 3,8 mm de diâmetro espaçados de 10cm entre eixos). A fixação das malhas é semelhante ao já descrito anteriormente para as outras soluções.

- Segunda camada de betão projectado: Esta camada terá as mesmas características que as descritas na solução anterior (S3).

- **Colocação da segunda malha:**

Tipo: Será em aço A500, tipo AQ38 (varões de 3,8 mm de diâmetro espaçados de 10cm entre eixos). A fixação das malhas é semelhante ao já descrito anteriormente para as outras soluções.

- **Terceira camada de betão projectado:**

**Objectivo:** Camada para envolver completamente a segunda malha electrossoldada.

**Espessura:** Terá cerca de 3cm de espessura.

- **Quarta camada de betão projectado:**

**Objectivo:** Camada fim de acabamento final.

**Espessura:** Deverá ter aproximadamente 2cm de espessura.

**Aditivos:** Deverá ser adicionado um composto para a coloração da massa de betão do tipo *Conex*, da *Degussa*.

Na tabela abaixo indicam-se as espessuras das camadas de betão para esta solução.

Tabela 19 – Espessura das camadas de betão projectado para a solução do tipo S4

Solução tipo	Nº de camadas	Espessura (cm)				
		Total	1ª camada	2ª camada	3ª camada	4ª camada
S4	4	15	5	5	3	2

### Comparação das soluções S3 e S4 (para secções não revestidas)

A solução do tipo S4 é mais reforçada que S3. Esta última deverá ser aplicada em secções menos perturbadas e mais estáveis. As diferenças entre uma ser mais reforçada que outra está na espessura das camadas de betão projectado e no número de camadas a serem aplicadas; no tipo de malha e na quantidade das mesmas e nas pregagens a serem usadas (comprimentos dos varões e de selagem). As semelhanças dizem respeito às diversas recomendações transmitidas relativamente às características do betão projectado, fixações necessárias e sequências construtivas a serem adoptadas.

### Comparação das soluções para secções revestidas e não revestidas

Apresentam-se algumas tabelas que resumem as principais diferenças entre as soluções para secções revestidas e não revestidas.

Tabela 20 – Comprimentos dos varões de aço

COMPRIMENTO DOS VARÕES DE AÇO (pregagens):	
ZONAS REVESTIDAS (Solução S2)	
- Nas abóbadas:	2,5m
- Nos hasteais:	1,5m
ZONAS NÃO REVESTIDAS (Soluções S3 e S4)	

- Nas abóbadas:	3,5m
- Nos hasteais:	2,5m

Tabela 21 – Tipo de malhas electrossoldadas

Malhas electrossoldadas		
Solução-tipo	Nº de malhas	Tipo:
		Aço A500
<b>S1</b>	<b>1</b>	AQ38 (varões de 3,8mm de diâmetro espaçados de 10cm entre eixos)
<b>S2</b>	<b>1</b>	AQ50 (varões de 5,0mm de diâmetro espaçados de 10cm entre eixos)
<b>S3</b>	<b>1</b>	AQ50 (varões de 5,0mm de diâmetro espaçados de 10cm entre eixos)
<b>S4</b>	<b>2</b>	AQ38 (varões de 3,8mm de diâmetro espaçados de 10cm entre eixos)

Tabela 22 – Espessura das camadas de betão projectado para todas as soluções

Camadas de betão projectado						
Solução-tipo	Nº de camadas	Espessura (cm)				
		Total	1ª camada	2ª camada	3ª camada	4ª camada
<b>S1</b>	<b>3</b>	8	3	3	2	-
<b>S2</b>	<b>3</b>	10	4	4	2	-
<b>S3</b>	<b>3</b>	12	5	5	2	-
<b>S4</b>	<b>4</b>	15	5	5	3	2

## 3.3.2.3. Notas

Apresentam-se algumas notas sobre:

- **Pregagens:** No que ainda diz respeito às pregagens, é importante referir que o posicionamento das mesmas em termos de perfil transversal foi estudado para que, após a betonagem e no caso das cabeças das pregagens ficarem ligeiramente salientes (Fig.59), tal não constituísse incumprimento do gabari. No total são executadas 6 pregagens por secção em todas as soluções apresentadas, conforme se pode verificar nos respectivos esquemas (Fig.50, 53, 56 e 57).

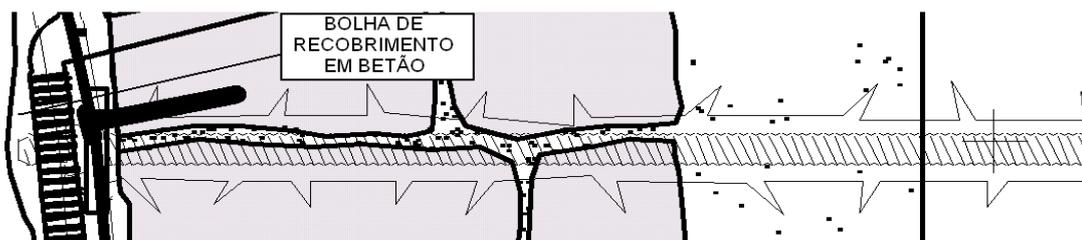


Fig.59 – Pormenor de uma bolha de recobrimento em betão (adapt. de GEG)

- **Recomendações sobre a projecção de betão:**

**Tipo de betão a usar:** O betão a usar é do tipo BD de classe 1, conforme visto no capítulo 2, por forma a oferecer maior resistência aos ataques químicos das águas quando em contacto com este.

**Técnica de projecção:**

A projecção frontal beneficia bastante o resultado final e o próprio desempenho do reforço, já que fará o preenchimento parcial das juntas da alvenaria desguarnecidas e sujeitas a alegramento. A projecção deve ser iniciada na base da superfície a aplicar, a cerca de 1,5m de distância e descrevendo pequenos círculos à medida que a operação ascende.

Tratando-se de revestimentos definitivos, onde se pretende evitar a contaminação do meio ambiente e controlar a qualidade do betão, nomeadamente a relação água/cimento, recomenda-se o recurso à projecção por via húmida. A projecção alternativa por via seca deverá ser devidamente justificada e sujeita à apreciação e aprovação por parte da Fiscalização.

Relativamente a esta questão cita-se: “Conhecer as vantagens e as desvantagens de cada um dos processos de projecção é muito importante para a decisão de qual deles utilizar, por isso são apresentadas a seguir algumas dessas propriedades” (conforme ACI 506-66 por Silva, 1997).

Processo de projecção por via seca (Karoline Lemos, 2005)

As principais vantagens do processo por via seca em relação ao processo por via húmida são:

- ✓ Baixa relação água/cimento;
- ✓ Alta velocidade de projecção (melhor compactação);
- ✓ Fácil interrupção da projecção;
- ✓ Fácil instalação, operação e manutenção;
- ✓ Maior aderência às superfícies húmidas;
- ✓ Requer menor quantidade de cimento.

Principais desvantagens do processo por via seca em relação ao processo por via húmida (Karoline Lemos, 2005):

- ✓ A relação água/cimento varia muito o que implica uma grande variabilidade na resistência na estrutura;
- ✓ Maior reflexão (na ordem de 25% em massa);
- ✓ Maior produção de poeiras;
- ✓ Requer grande volume de ar comprimido;
- ✓ Menor produção (na ordem de 4 m<sup>3</sup>/h).

Processo de projecção por via húmida (Karoline Lemos, 2005)

As principais vantagens do processo por via húmida em relação ao processo por via seca são:

- ✓ Menor reflexão (menos 15%);
- ✓ Menor produção de poeiras;

- ✓ Requer menor volume de ar;
- ✓ Consegue-se uma relação água/cimento constante o que implica uma qualidade uniforme do betão e consequentemente menor variabilidade na resistência da estrutura;
- ✓ Maior produção (até 20 m<sup>3</sup>/h).

As principais desvantagens do processo via por húmida em relação ao processo por via seca são (Karoline Lemos, 2005):

- ✓ Alto custo do equipamento (cerca de 3 vezes mais);
- ✓ As interrupções podem causar grandes perdas de betão e;
- ✓ Em geral, como a relação água/cimento é maior, as resistências iniciais e finais são menores.

Alguns aspectos a ter em atenção para que a operação de projecção seja mais bem conseguida e se torne a mais facilitada possível são:

- ✓ Providenciar boas condições de iluminação, comunicação e ventilação para os operadores incumbidos de executar estas tarefas de projecção no interior do túnel.
  - ✓ Sendo o betão projectado definitivo, o produto final resultante das duas primeiras camadas projectadas (ou das 3 primeiras no caso da solução S4) obriga a uma maior atenção, devendo-se dar a devida importância à cura interna do betão. Não é admissível que o betão apresente uma fissuração generalizada logo, convém usar aditivos de cura interna e melhoria do betão do tipo *Meyco TCC735*, da *Degussa*.
  - ✓ Além dos adjuvantes já referidos, específicos para cada uma das camadas, outros terão de ser adicionados a todas as camadas a serem aplicadas:
    - Superplastificantes e reguladores de hidratação de cimento: Para controlo da hidratação do cimento recomenda-se a utilização de um sistema do tipo *Delvocrete* da *Degussa* de forma a proporcionar um melhor fabrico e utilização das camadas de betão projectado. Ao melhorar a hidratação do cimento permite-se a redução substancial da fissuração inicial, o aumento das tensões de aderência, o aumento das resistências mecânicas e da densidade.
    - Aditivos impermeabilizantes: Os aditivos impermeabilizantes deverão aplicar-se nas zonas caracterizadas por elevados índices de humidade e problemas de infiltrações.
  - ✓ Deverão ser respeitadas todas as especificações que constam no Caderno de Encargos, nomeadamente quanto aos agregados, à granulometria e ao traço do betão. Não é permitida a utilização de cinzas volantes.
- **Algumas notas relativas aos túneis em estudo:**

Conforme já foi dito, no presente trabalho não é viável apresentar o estudo do cumprimento dos gabaris mínimos para todos os perfis transversais. No entanto, apresentar-se-ão algumas das conclusões retiradas desse estudo para os 4 túneis a fim de ilustrar as possíveis situações que podem ocorrer e enunciar as medidas que foram preconizadas para os casos em estudo.

### Túnel de São Miguel da Carreira (A):

Para o caso deste túnel a solução de reforço geral, mesmo que a Fiscalização a queira estender, não é válida a partir ponto métrico 220, uma vez que acarretaria constrangimentos ou implicações nos gabaris. A partir deste ponto, ao optar-se pela projecção de 10cm de betão, permite-se o não cumprimento do GLO. Nos restantes gabaris, não se verificam quaisquer implicações, nomeadamente ao nível do CRC/CPb+. No entanto, em obra, haverá que ter atenção a ocorrência de algumas situações limite de cumprimento do CRC/CPb+, nomeadamente no ponto métrico 120 e entre os pontos 225 e 245. Ao ponto métrico 235, o contorno CRC/CPb+ chega a ser tangente ao novo revestimento.

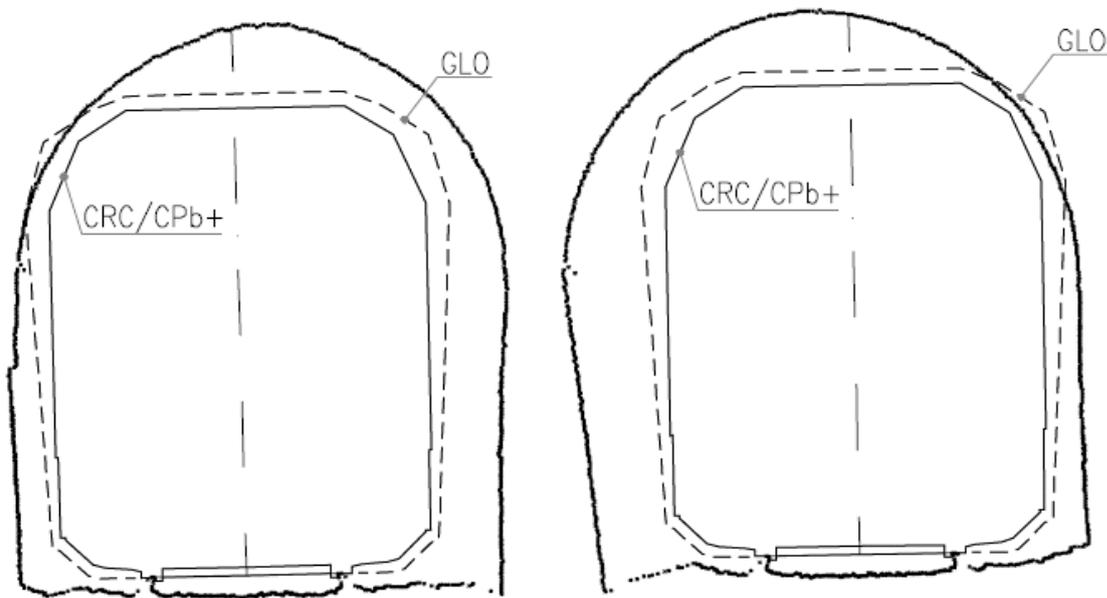


Fig.60 – Incumprimento do GLO ao Km 41+831 (GEG) Fig.61 – Incumprimento do GLO ao Km 41+966 (GEG)

Considerando uma eventual electrificação da via, existem insuficiências no gabari ao longo de todo o túnel e as situações anteriormente mencionadas serão naturalmente agravadas. Para colmatar todas estas insuficiências, será necessário empreender ao ajuste da via por rebaixamento.

### Túnel de Tamel (B):

É necessário proceder à regularização das paredes que não se encontrem revestidas, removendo os bicos e saliências no maciço rochoso encaixante. No hasteal esquerdo esta situação ocorre entre os pontos métricos 185 e 199, 458 e 479 e 899 e 908. No hasteal direito, esta situação ocorre entre os pontos métricos 196 e 198, 455 e 461, 892 e 909 e 920 e 928.

Nas zonas caracterizadas por elevados índices de humidade e problemas de infiltrações, deverão aplicar-se, para além dos aditivos impermeabilizantes ao betão, malhas electrossoldadas galvanizadas. Esta recomendação aplica-se principalmente aos trechos localizados nos pontos métricos 0 a 15, 240 a 250 e 660 a 680.

Em relação ao cumprimento do contorno de referência CRC/CPb+ durante a obra, o mesmo encontra-se em situação limite em cerca de uma dúzia de perfis transversais, chegando a interceptar levemente o revestimento ao ponto métrico 330, Fig.62. Logo, deverá ser dado um especial cuidado

na atribuição de afrouxamentos à passagem de comboios no interior deste túnel. Quanto ao cumprimento do GLO, constataram-se apenas umas poucas e ligeiras insuficiências. A espessura do sustimento localizado na boca de saída do túnel irá permanecer intacta.

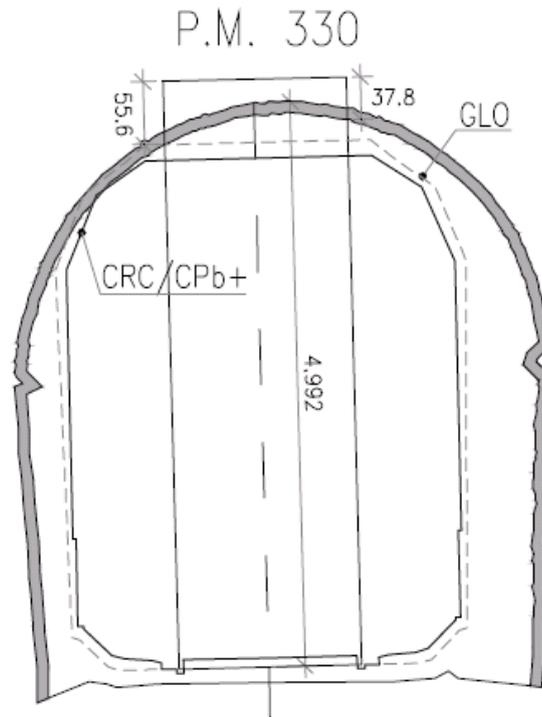


Fig.62 – Incumprimento do GLO no rim esquerdo (GEG)

Considerando uma electrificação da via, constatou-se que existem insuficiências no gabari ao longo de todo o túnel. As insuficiências ainda que ligeiras justificam o rebaixamento da via que, a resultar do cumprimento do gabari de electrificação resolverão, com uma folga considerável, as insuficiências provocadas pelo GLO.

#### **Túnel de Sta. Lucrecia (C):**

Deverão aplicar-se, para além dos aditivos impermeabilizantes ao betão, malhas electrossoldadas galvanizadas, nomeadamente entre os pontos métricos 110 e 120.

Para a situação existente (já com o novo revestimento, mas sem o rebaixamento de via) constatou-se que relativamente ao cumprimento do GLO não existiam quaisquer insuficiências, logo, o mesmo acontece com o contorno de referência CRC/CPb+. Considerando a electrificação da via, apenas a altura de 5,20m é condicionante e será necessário empreender ao ajuste da via por rebaixamento, pois existem insuficiências no gabari em todas as secções revestidas do túnel, principalmente nos primeiros 100m. A espessura do sustimento localizado nas bocas do túnel irá permanecer intacta.

#### **Túnel de Caminha (D):**

Para a situação existente (já com o novo revestimento, mas sem o rebaixamento de via) verificou-se não existirem insuficiências quanto ao cumprimento do GLO. O contorno de referência CRC/CPb+ nunca é interceptado.

Considerando a electrificação da via, verificou-se a existência de insuficiências no gabari de

electrificação em toda a secção revestida do túnel e algumas situações limite quanto ao cumprimento do GLO, no entanto, os rebaixamentos impostos pelo gabari de electrificação são bastante mais condicionantes. A espessura do sustimento localizado na boca de saída do túnel irá permanecer intacta.

No capítulo 4 apresentar-se-ão os resultados dos rebaixamentos de via obtidos após o estudo do gabari de electrificação mínimo a ser respeitado para a eventual colocação de catenária.

### 3.4. SISTEMA DE DRENAGEM DO SUSTIMENTO E DO MACIÇO ENCAIXANTE

Esta solução contempla:

- (1) A captação das águas junto ao sustimento (execução dos drenos no maciço e no suporte existente) e;
- (2) Após a primeira estar garantida, procede-se à condução das águas junto ao sustimento para as valetas na base dos hasteais.

A execução dos dispositivos, assim como, as ligações entre os mesmos serão empreendidos antes de qualquer projecção de betão.

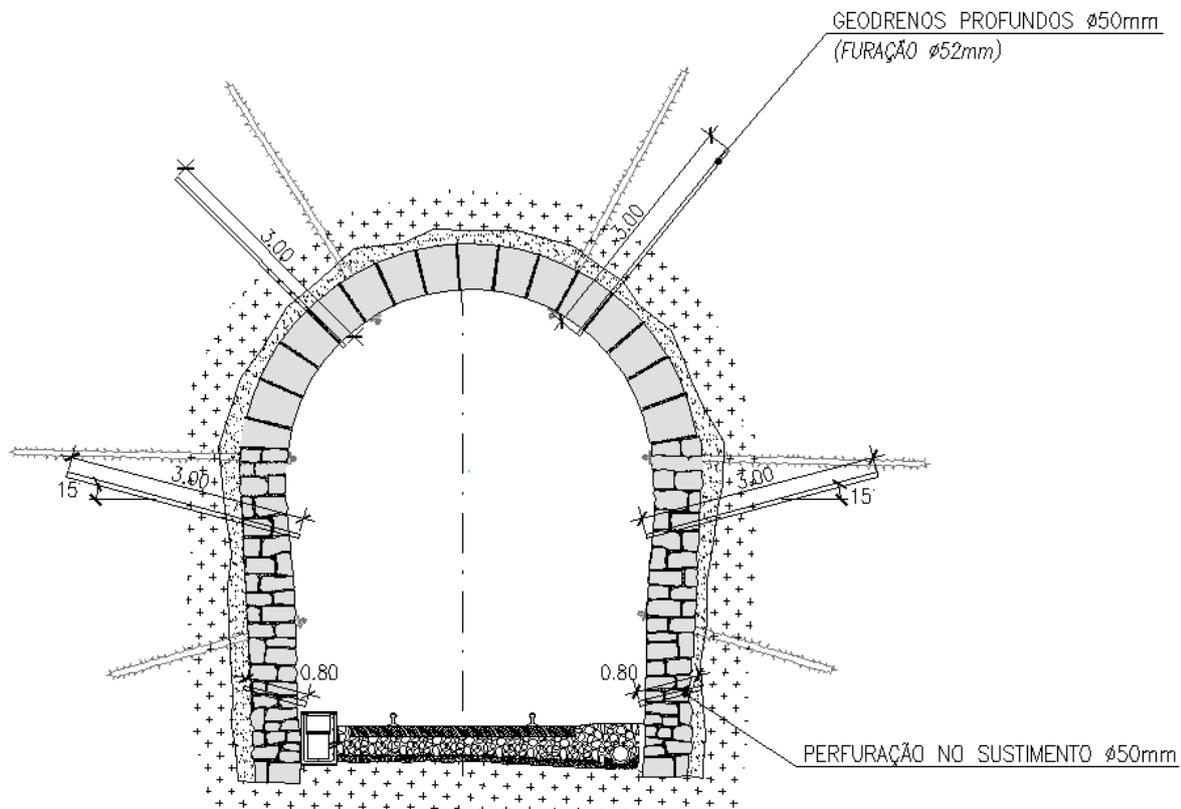


Fig.63 – Esquema da solução de drenagem do sustimento e do maciço encaixante (GEG)

**(1) - Captação das águas junto ao sustimento:**

**Soluções:** Serão executadas simples perfurações de atravessamento do sustimento ou instalados drenos profundos de tubo perfurado, Fig.63.

**Tipologia:** Os dispositivos serão constituídos em PP (polipropileno) ou PVC (cloreto de polivinil) do tipo *Wavin*, envolto em geotêxtil, com diâmetros de aproximadamente, 50mm (furação recomendada de 52mm).

**Objectivo:** Servirão para melhorar a drenagem de águas no maciço rochoso e no extradorso do sustimento.

**Localização dos drenos:** A aferição da localização exacta dos drenos será ponderada em obra e de acordo com as instruções da Fiscalização, não se recomenda a adopção de uma malha sistemática ou aleatória.

**(2) - Condução das águas junto ao sustimento para as valetas na base dos hasteais**

Neste caso podem existir várias soluções ou até mesmo uma combinação de soluções consoante a quantidade de pontos de água existentes, mais ou menos dispersos.

**I)** Quando existam **pontos de água perfeitamente localizados** serão instalados tampões ou prateleiras de recolha (dispositivos colectores), colocados a título permanente (Fig.64). Caso não seja possível providenciar tampões de recolha com dimensões mais reduzidas do que aquelas que são fornecidas pelo fabricante, será necessário prolongar ligeiramente o canal sobre a entrada de água e proceder ao seu correcto estancamento.

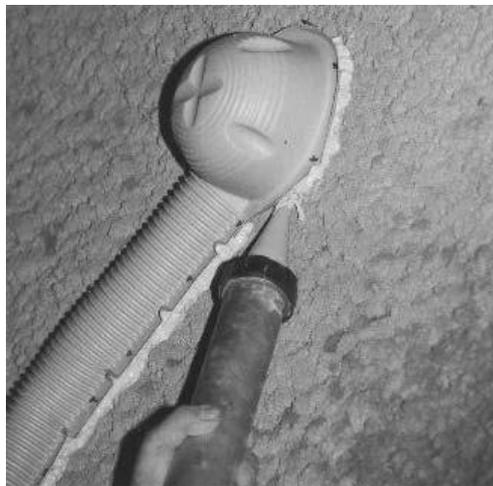


Fig.64 – Selagem do tampão de recolha (GEG)

Os tampões e as prateleiras de recolha serão ligados a canais de drenagem do tipo *Omega* da *Minova* ou *Flexodrain* da *Aliva* (Fig.65, 66 e 67), com uma secção de 18 a 19cm. Estes drenos com secção em meia cana são constituídos por material sintético imputrescível suficientemente flexível para se adaptar à geometria do túnel e com uma armadura de protecção compatível com a posterior projecção de betão (Fig.65).

A ligação à drenagem da plataforma será feita através da colocação de dispositivos de transição,

que farão uma primeira transição da secção em meia cana para tubo circular plástico de 50 a 70mm de diâmetro e, depois, a ligação entre este e a drenagem longitudinal, realizada com um dispositivo em cela ou directamente para o sistema de drenagem da plataforma ferroviária a ser executado.

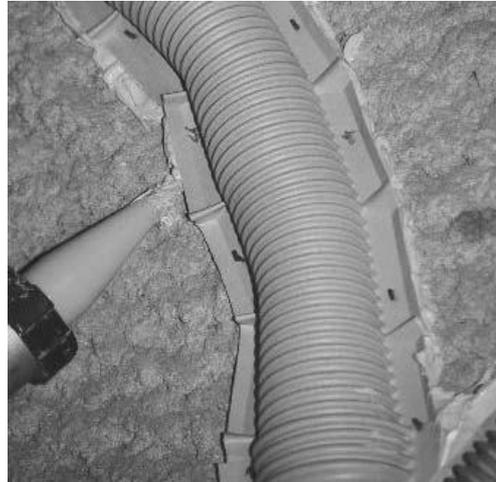


Fig.65 – Aspecto geral dos canais de drenagem (GEG)

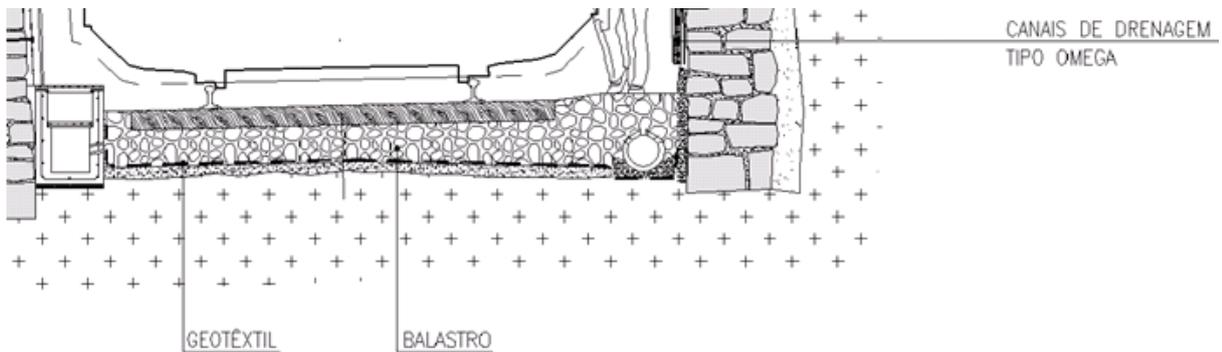


Fig.66 – Pormenor1 de canais de drenagem (adapt. de GEG)

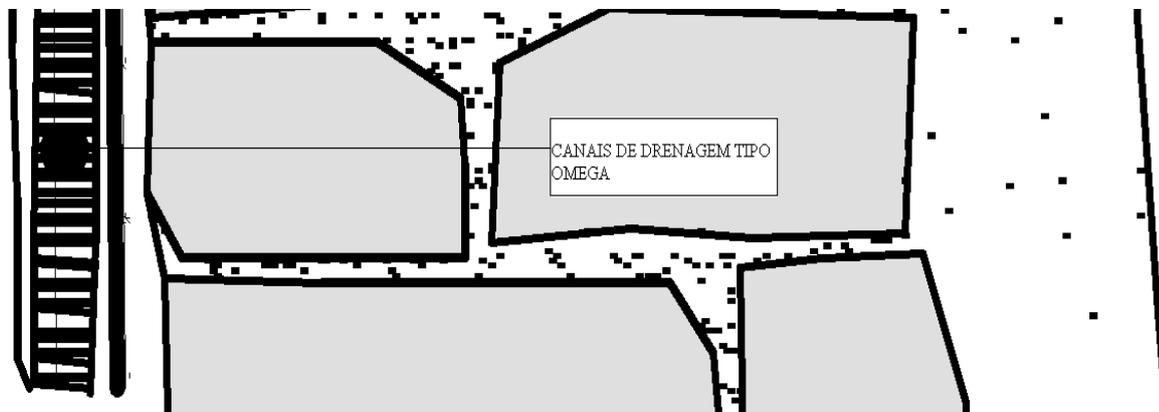


Fig.67 – Pormenor2 de canais de drenagem (adapt. de GEG)

A colagem e fixação dos canais de drenagem não são efectuadas com a água a circular pela sua secção interior. Todo o circuito deverá ser montado até à base do hasteal para depois se fazer a ligação, no topo, dos canais aos tampões de recolha. Aquando da operação, o Adjudicatário deverá colocar um tubo directamente na perfuração ou no dreno profundo para desvio provisório das águas.

#### Tipos de fixação e selagem:

##### **Sistema I:**

**Fixação:** Os canais de drenagem em meia cana serão ligados aos tampões de recolha e fixos à pedra e ao reboco previamente executado no sustimento, recorrendo à aplicação directa de parafusos de expansão ou pregos com cerca de 32mm de comprimento (tipo X-ZF 32 P8S36 da *Hilti*).

Este tipo de fixação é o recomendado pelo fabricante. No entanto, são referidas outras metodologias e o Adjudicatário deverá aplicar apenas uma delas ou combinar métodos conforme o tipo de situação que ocorrer, desde que garanta o bom desempenho e a durabilidade do sistema de drenagem.

A fixação poderá, eventualmente, prescindir da aplicação complementar de quaisquer materiais de selagem, caso seja garantida a boa prestação da solução e seja essa a decisão da Fiscalização.

#### **Selagem:**

##### **Tipo (a)**

Os canais deverão ser selados pelas abas, aplicando um sistema adesivo e selante do tipo *A+O da Minova*. Este sistema apresenta propriedades:

- ✓ Hidrofílicas (solúveis em água), tornando-as termicamente vantajosas e elastoméricas, material com maior tenacidade e consequentemente dotado de maior resistência à ocorrência de fraturas originadas em função de esforços mecânicos de impacto físico. Estas propriedades levam à formação de uma membrana contínua, permitindo vedar a junta entre este sistema de drenagem e o betão projectado;
- ✓ Hidro-expansivas, dando origem a maiores pressões contra as faces da junta, evitando assim a passagem da água;
- ✓ O produto a aplicar terá obrigatoriamente que apresentar presa rápida; boa aderência ao betão; resistência aos ciclos de secagem/molhagem; propriedades estanques; ser imputrescível; de fácil aplicação e mostrar boa resistência mecânica e química, ao longo do tempo.

Caso seja mais vantajoso, poderão ser utilizadas outras formas de vedar os canais, desde que se revelem eficazes e fiáveis. De acordo com a sua experiência, o Adjudicatário deverá submeter à apreciação da Fiscalização a solução ou a metodologia que lhe parecer mais vantajosa em termos de rendimentos de obra e de qualidade do trabalho e que não acarrete quaisquer acréscimos nos respectivos custos previstos. Fica reservada à Fiscalização a decisão sobre o sistema de selagem a ser utilizado.

##### **Tipo (b)**

Como alternativa ao sistema adesivo acima recomendado e em complemento às fixações mecânicas já referidas, são sugeridas argamassas de presa rápida do tipo *Masterseal 573/Polifix*

R, da Bettor-MBT (Degussa), aplicadas com espátula ou mastiques elásticos do tipo *Masterflex 474*, da Degussa, aplicados com pistola.

## Sistema II

**Fixação:** Deverão ser utilizadas formas de fixação dos canais que se revelem suficientes para garantir o seu posicionamento correcto aquando da operação de projecção, para posteriormente serem aplicadas gunites, de presa rápida.

**Selagem:** Podem ser utilizadas gunites devidamente aditivadas de modo a promover a protecção estanque (impermeabilização primária) dos canais.

Caso o Adjudicatário proponha uma solução deste tipo, deverá ser previamente testada no local para que seja comprovada a sua exequibilidade.

**II)** No caso de existir uma **concentração muito grande de canais de drenagem e de pontos de humidade dispersos**, poderá adoptar-se uma projecção contínua em toda essa superfície afectada. Deverão usar-se aceleradores não alcalinos do tipo *Sigunit 49 AF*, da Sika, que poderão promover a impermeabilização primária na zona dos canais de drenagem. O sistema de drenagem deverá apresentar, em locais estratégicos, bocais de inspecção, de modo a permitir a posterior limpeza e a desobstrução dos canais de drenagem.

**III)** Nas zonas onde existe **humidade generalizada** sem que sejam detectados pontos de entrada de água deverão ser colocadas lâminas com nódulos do tipo *Delta PT*, da Dörken-Bettor. As bandas drenantes deverão ser colocadas antes de qualquer projecção de betão e após a limpeza geral; o tratamento das superfícies e das juntas da alvenaria e a execução dum reboco ligeiro na superfície de alvenaria. Uma vez colocada, fixada e protegida a lâmina, procede-se ao revestimento com o betão projectado.

As bandas deverão ser implementadas segundo os seguintes espaçamentos:

- Até 1,5m nas zonas consideradas mais gravosas (zonas de escorrências e gotejamentos);
- De 1,5 a 3,0m no caso de infiltrações generalizadas e acentuadas e em complemento aos canais de drenagem;
- De 3,0 a 4,5m, nas zonas de pouca humidade ou afluxo reduzido de água.

A eventual sobreposição das lâminas deverá ser de pelo menos 20cm, sendo aconselhável a utilização de pinos de aderência tipo *Delta* e bandas auto-adesivas do tipo *Delta Fix* ou *Terostat-81* para aumentar as propriedades estanques das juntas de sobreposição.

As bandas drenantes têm as seguintes características:

- Espessura de 8mm;
- São constituídas por uma película fina de polietileno de alta densidade e malha soldada incorporada;
- Os nódulos têm uma largura (espessura) de aproximadamente 0,5mm;
- O produto é distribuído em rolos de 20m de comprimento e 2m de largura. As bandas deverão ter cerca de 30cm de largura, sendo que larguras superiores não são recomendadas.

As abas das telas serão seladas de forma semelhante ao previsto para a sobreposição das telas,

ou seja, recorrendo à fixação directa com pregos combinada, eventualmente e se a Fiscalização assim o entender, com bandas auto-adesivas ou cordão de mastique ao longo de toda a aba a selar.

Coloca-se a lâmina com os nódulos directamente sobre a rocha, alvenaria ou o betão projectado. A fixação é realizada em toda a superfície, podendo aplicar-se buchas, cavilhas ou pregos convencionais de aço. Sugere-se a aplicação directa de pregos com pistola à pólvora (tipo X-ZF 32 P8S36 da *Hilti*) ou pinos de fixação tipo *Delta*, combinados com botões ou calhas de montagem próprias, conforme indicações do fabricante. Poderá, eventualmente, usar-se um mastique do tipo *Masterflex 474* para assegurar a protecção estanque das perfurações na lâmina, provocadas pelas fixações. A operação de selagem das abas, assim como as metodologias e materiais aplicados, exigem a confirmação e autorização da Fiscalização.

Será aferida em obra, de acordo com as instruções e critérios estabelecidos pela Fiscalização, a necessidade de drenar -se o sustimento nas extensões onde não se detectarem quaisquer traços de humidade ou indícios de infiltrações.

Recomenda-se uma inspecção no sentido de se detectarem vestígios passados de escorrências ou de humidades para eventual colocação de bandas drenantes.

No caso das zonas não revestidas deverá ser dada uma especial atenção aos trechos com descontinuidades e aos afectados por maciços mais alterados.

Este sistema de drenagem é particularmente importantes no tratamento das abóbadas na medida em que se pretende que o novo sustimento garanta a sua impermeabilização e o sistema de drenagem permita a recolha e o devido encaminhamento das águas, aliviando as pressões hidrostáticas no sustimento e evitando que a água force o atravessamento do elemento estrutural de betão armado, executado por projecção.

**IV) Combinação dos dois sistemas de drenagem (bandas drenantes tipo Delta PT e canais de drenagem tipo Aliva/Omega):** A combinação destes dois sistemas de drenagem é recomendada quando a concentração de águas é de tal forma acentuada que nenhum dos sistemas é suficiente para captar e drenar as águas afluentes pelo sustimento do túnel. Nestes casos deverão ser executados canais de drenagem para captar os fios de água perfeitamente reconhecíveis e bandas drenantes complementares, devidamente espaçadas, de modo a captar os escoamentos de água que aparecem de forma dispersa em determinada secção ou área do sustimento. O afastamento e a largura de aplicação destas bandas drenantes, mesmo quando complementares aos canais de drenagem em meia cana, deverão ser ajustados sempre que se justifique. Estes sistemas deverão estar sempre associados a perfurações no sustimento e a drenos semi-profundos ou profundos no maciço encaixante.

#### 3.4.1 NOTAS

- Para revestimentos do tipo R1 (túneis revestidos em toda a sua secção com pedra aparelhada de granito) prevê-se que a aplicação da solução de drenagem apresentada combinada com a posterior projecção de betão apresente uma boa prestação e permita uma execução facilitada e controlada.
- Para o Túnel de São Miguel da Carreira (A) o trecho que merece maiores cuidados ao nível da captação de águas na abóbada é aquele que se localiza entre o ponto métrico 25 e 130, pois

apresenta imensos pontos de gotejamentos e escorrências de caudal mensurável.

- Para o Túnel de Tamel (B) o trecho que merece maiores cuidados ao nível da captação de águas na abóbada é aquele que se localiza logo à entrada do túnel, pois apresenta imensos pontos de gotejamentos e escorrências de caudal mensurável.

Face à extensão deste túnel e à ocorrência de muita água em alguns trechos, poderá considerar-se a intervenção neste túnel como sendo a mais pesada.

- Para o Túnel de Sta Lucrecia (C), nas zonas caracterizadas por elevados índices de humidade e problemas de infiltrações, deverão aplicar-se, para além dos aditivos impermeabilizantes ao betão, malhas electrossoldadas galvanizadas, nomeadamente entre os pontos métricos 110 e 120.

Os troços que merecem maiores cuidados ao nível da captação de águas na abóbada são aqueles que se localizam entre os pontos métricos 130 e 140 e 160 e 210, pois apresentam imensos pontos de gotejamentos e escorrências de caudal mensurável.

- Os troços que apresentam imensos pontos de gotejamentos e escorrências de caudal mensurável poderão constituir uma dificuldade acrescida, pois acarretam maiores caudais e pontos de água a serem captados, mas por outro lado, poderá revelar-se mais nítida e imediata a sua execução. Nos outros trechos com infiltrações dispersas torna-se mais complicada a colocação optimizada do sistema de drenagem.

# 4

## ELECTRIFICAÇÃO DA LINHA DO MINHO: ESTUDO DA NOVA VIA E RESPECTIVAS CONSEQUÊNCIAS

### 4.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Conforme já dito, a REFER considera conveniente e vantajoso aproveitar as empreitadas de reparação e reforço dos túneis para executar o rebaixamento da via, necessário à viabilização da electrificação da mesma.

A implementação dos gabaris necessários dentro dos túneis deverá ser conseguida apenas com o rebaixamento da via, isto é, evitando quaisquer interferências na abóbada do túnel. Por sua vez, esta operação obrigará a efectuar um rebaixamento ou acerto do leito da plataforma. O rebaixamento da plataforma, para além de ter como objectivo compensar o rebaixamento de via necessário, ainda tem de garantir determinados parâmetros da subestrutura do túnel, concretamente uma espessura de balastro mínima de 25cm (Fig.68). Esta operação tem como inconvenientes: o desamparo da soleira dos hasteais ou mesmo o seu descalçamento, para a qual será necessário tomar medidas de reforço; a necessidade de um método construtivo exigente, nomeadamente para a contenção e a suspensão da via e a reformulação de todo o sistema de drenagem longitudinal.

No anexo A4 é apresentado o faseamento construtivo e as respectivas notas de projecto relativas à contenção e suspensão da via nas zonas revestidas dos túneis.

A Fiscalização deverá desempenhar um papel fundamental no que diz respeito a proceder aos devidos ajustes em obra, caso assim o entenda, e a experimentar todas as soluções a serem aplicadas, segundo um plano a estabelecer pela mesma. Esta questão terá especial relevância nos aspectos que irão ser aqui abordados: rebaixamento da plataforma e drenagem ao nível da plataforma.

A via ferroviária é constituída por: sub-balastro (ou balastro de fundo), balastro (ou balastro superficial), travessas, carris e elementos de ligação (chapim e palmilha), Fig.68 e 69.

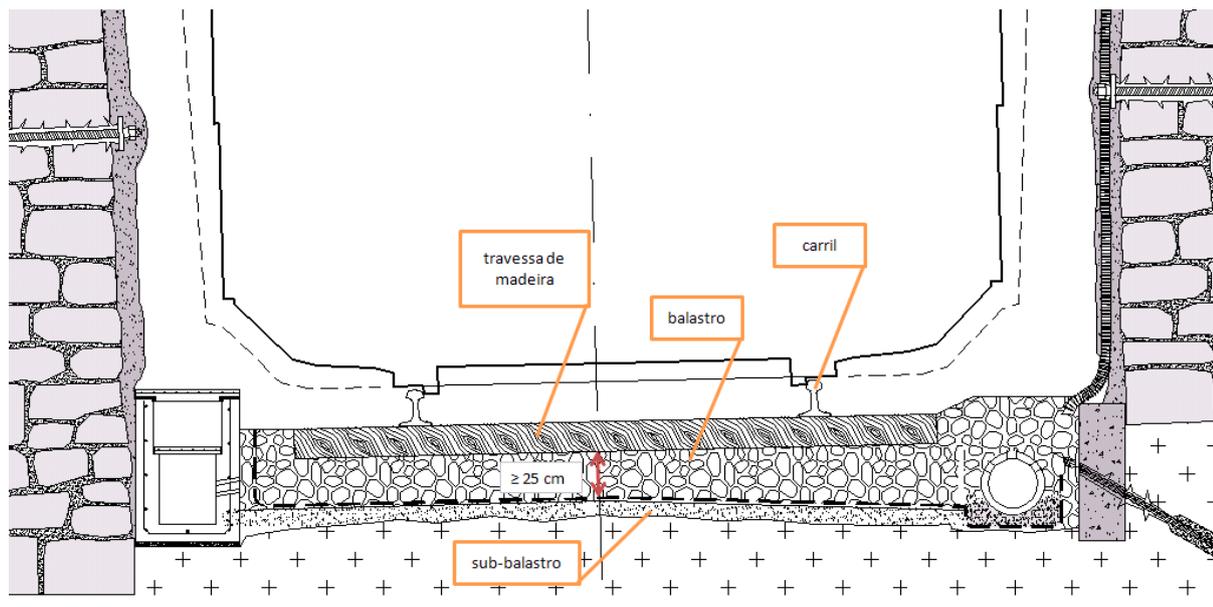


Fig.68 – Elementos de via (1), (adapt. de GEG)

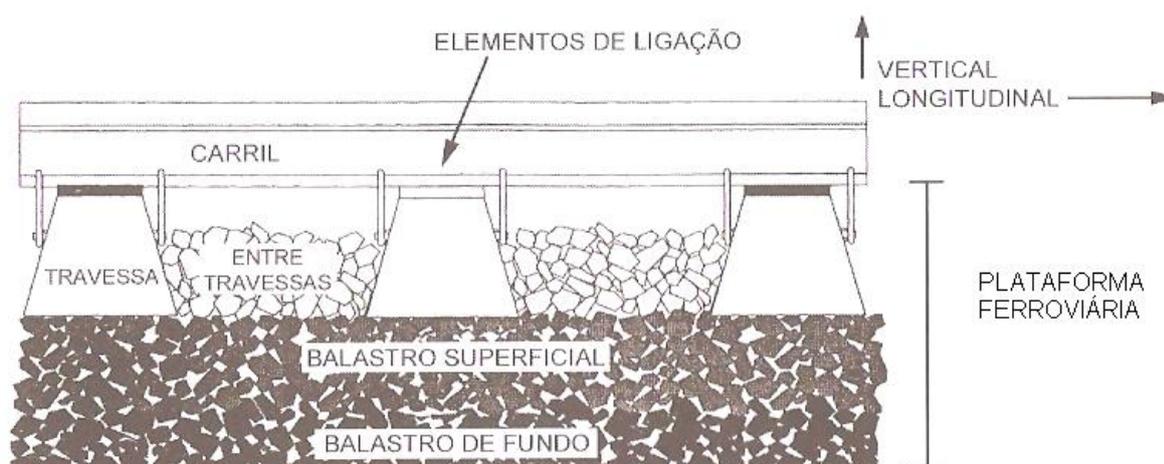


Fig.69 – Elementos de via (2), (Eduardo Fortunato *et al*, Julho 2002)

#### 4.2. REBAIXAMENTO DA VIA

Após o estudo dos gabaris procede-se, para os vários perfis transversais levantados, aos rebaixamentos necessários com vista a cumprir o requisito mais condicionante, ou seja, o gabari de electrificação, conforme foi referido no capítulo anterior. Estes apenas dizem respeito aos valores de rebaixamentos localizados, isto é, independentes de quaisquer afectações impostas pelos rebaixamentos das secções adjacentes. O conjunto de valores obtidos constitui a base para a definição de uma nova rasante da via.

Conforme já foi referido no capítulo 2, a Linha do Minho é constituída por uma via única, larga e onde se praticam velocidades compreendidas entre 120 e 160Km/h. Estas características da via serão mantidas.

Para se estudar o novo Projecto de Via, empreendeu-se um levantamento topográfico georeferenciado

da linha (Datum de 73). As cotas são geométricas, obtidas por processos de nivelamento topográfico. O levantamento topográfico foi realizado durante interdições nocturnas concedidas para o efeito.

Após o levantamento topográfico e mediante os valores obtidos para os rebaixamentos necessários, procede-se ao nivelamento e traçado da nova rasante, sendo este feito em perfil longitudinal, alterando as suas actuais características e garantido desta forma o rebaixamento pretendido (efectivo). A actual posição geométrica do traçado em planta foi, essencialmente, mantida.

Dada a natural dificuldade em garantir com rigor todos os valores previamente indicados dos rebaixamentos necessários para os diversos perfis definidos no túnel, ao se proceder ao nivelamento da rasante, obteve-se ainda uma pequena tolerância de folga, de forma a garantir alguma margem de segurança na posterior execução dos trabalhos.

Relativamente a alguns procedimentos e normas indicam-se os seguintes:

- Quanto aos hectómetros existentes, o Adjudicatário deverá removê-los antes de se iniciarem os trabalhos de beneficiação para sua posterior recolocação após concluídos os trabalhos de via. A ponderação pela recolocação dos marcos existentes ou pela sua substituição por marcos novos será estabelecida pela Fiscalização. A tipologia dos marcos ou marcas a ser aplicada para esse efeito deverá ser a indicada pela Fiscalização. Para os casos em estudo, os projectos prevêem a colocação dos hectómetros em falta no interior do túnel e a recolocação dos marcos existentes após a conclusão das obras.
- Conforme indicado no Caderno de Encargos, antes do início dos trabalhos, o Executor da Obra deverá elaborar um programa de poligonal de apoio que reúna as condições para permitir a correcta piquetagem de todos os elementos de obra, incluindo os que serão realizados nas diferentes etapas do faseamento, quando exista. A piquetagem definitiva da via será implantada de acordo com o prescrito na *IT.VIA.005 – REFER – Instruções de Piquetagem Definitiva da Via*.

Os trabalhos de piquetagem definitiva da via, no interior do túnel, deverão ser realizados com recurso a almofadas de cimento e areia fina, nas proporções de 1/3, com as dimensões de 30cmx25cmx1,5cm. Em recta, as almofadas deverão ser executadas de 50 em 50 metros e em curva de 10 em 10 metros. No exterior dos túneis deverá ser cumprido o estipulado nas condições técnicas gerais de via. A execução destes trabalhos deverá ser previamente proposta à Fiscalização, carecendo naturalmente de uma confirmação da parte desta entidade.

No presente trabalho não é viável apresentar o estudo da nova via nem o seu traçado por ser demasiado extenso. No entanto, apresentar-se-ão os rebaixamentos necessários e efectivos obtidos para os 4 túneis para, através destes, se poder explicar como se efectua o estudo da necessidade de rebaixamento da plataforma no ponto seguinte (4.3).

### **Túnel de São Miguel da Carreira**

Para este túnel fez-se o levantamento de trinta e sete perfis transversais de 10 em 10 metros nos primeiros 170m do túnel e de 5 em 5m, aproximadamente, na restante extensão. Ainda se fez o levantamento de alguns perfis intermédios.

Na tabela abaixo indicam-se os rebaixamentos mínimos necessários de via.

Tabela 23 – Rebaixamentos mínimos necessários da via para o Túnel São Miguel da Carreira (GEG)

Ponto Métrico	Rebaixamento necessário (cm)	Ponto Métrico	Rebaixamento necessário (cm)
Entrada	20,0	170A	27,4
10	37,9	180	30,8
20	26,9	180A	31,1
30	27,1	190	34,2
40	38,3	190A	32,5
50	27,8	200	30,0
60	32,1	200A	35,5
70	31,5	210	32,2
80	29,6	210A	36,6
90	20,9	220	37,0
100	23,2	220A	36,9
110	15,9	230	37,3
120	37,3	230A	42,0
130	28,4	240	41,0
140	23,5	240A	39,8
150	16,3	250	33,2
160	16,5	250A	23,6
170	23,5	260	8,0

Os rebaixamentos necessários variam entre 8 e 42cm, podendo considerar-se um rebaixamento necessário médio de quase 30cm.

O levantamento topográfico georeferenciado da linha (Datum de 73) foi empreendido numa extensão de aproximadamente 1180m, ou seja, com extensões complementares de cerca de 410 e 505m para montante e para jusante do túnel, respectivamente.

Abaixo apresentam-se os valores dos rebaixamentos efectivos da via.

Tabela 24 – Rebaixamentos efectivos da via para o Túnel de São Miguel da Carreira (GEG)

Ponto Métrico	Rebaixamento necessário	Rebaixamento efectivo da via	Folga	Ponto Métrico	Rebaixamento necessário	Rebaixamento efectivo da via	Folga
	(cm)	(cm)			(cm)	(cm)	
Entrada	20,0	37,2	17,2	170A	27,4	42,3	14,9
10	37,9	40,5	2,6	180	30,8	42,4	11,6
20	26,9	41,7	14,8	180A	31,1	42,6	11,5
30	27,1	41,7	14,6	190	34,2	42,8	8,6
40	38,3	41,7	3,4	190A	32,5	43,0	10,5
50	27,8	41,7	13,9	200	30,0	43,1	13,1
60	32,1	42,0	9,9	200A	35,5	43,1	7,6

70	31,5	42,2	10,7	210	32,2	43,0	10,8
80	29,6	42,4	12,8	210A	36,6	42,9	6,3
90	20,9	42,3	21,4	220	37,0	42,8	5,8
100	23,2	42,4	19,2	220A	36,9	42,8	5,9
110	15,9	42,7	26,8	230	37,3	42,8	5,5
120	37,3	43,3	6,0	230A	42,0	42,6	0,6
130	28,4	43,6	15,2	240	41,0	42,3	1,3
140	23,5	43,6	20,1	240A	39,8	41,9	2,1
150	16,3	43,0	26,7	250	33,2	41,4	8,2
160	16,5	42,4	25,9	250A	23,6	40,5	16,9
170	23,5	42,1	18,6	260	8,0	39,5	31,5

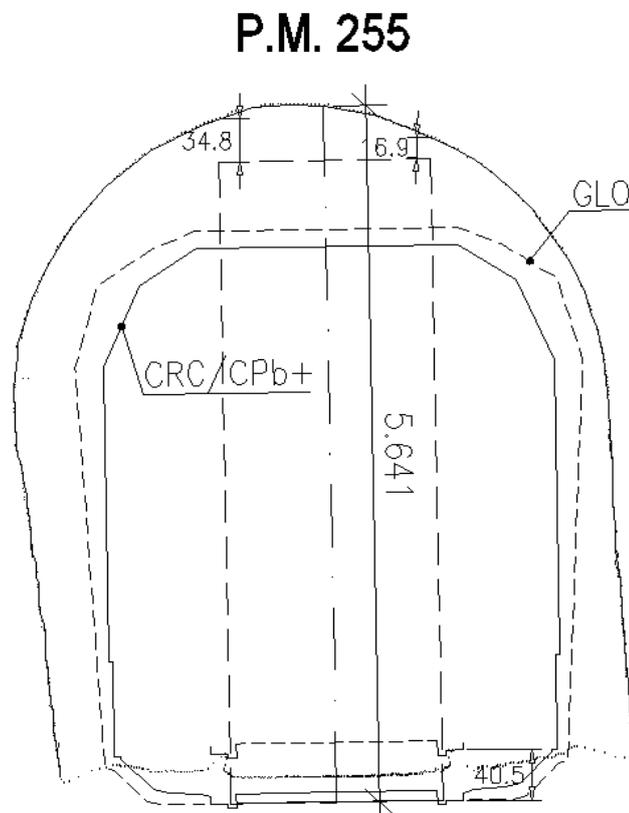


Fig.70 – Exemplo do estudo do rebaixamento de via numa secção do túnel (REFER)

O rebaixamento de via máximo será empreendido entre os pontos métricos 130 e 140 com um valor aproximado de 43,6cm. No interior do túnel os rebaixamentos de via variam entre 36,9 e 43,6cm, aproximadamente, revelando, por isso, um rebaixamento regular por todo o túnel.

### **Túnel de Tamel**

Para este túnel fez-se o levantamento de perfis transversais de 10 em 10 metros, acrescido de alguns perfis intermédios.

Os rebaixamentos mínimos necessários da via são apresentados na tabela abaixo.

Tabela 25 – Rebaixamentos mínimos necessários da via para o Túnel de Tamel (GEG)

Ponto Métrico	Rebaixamento necessário (cm)						
Entrada	30,8	250	48,2	490	34,4	750	52,1
10	34,2	260	49,2	500	37,9	760	50,0
20	42,9	270	51,1	510	38,3	770	45,9
30	36,5	280	50,2	520	35,7	780	45,1
40	36,6	290	44,0	530	34,5	800	53,9
50	30,9	300	47,3	540	40,3	810	54,1
60	29,4	310	56,0	550	32,4	820	49,3
70	25,5	320	58,2	560	26,6	830	49,8
80	28,9	330	55,6	570	29,6	840	45,3
90	37,4	340	49,7	580	33,2	850	42,1
100	39,4	350	49,8	590	36,9	860	39,6
110	40,1	360	48,1	600	41,3	870	45,5
120	44,5	370	38,0	610	43,5	880	48,6
130	46,0	380	31,2	620	34,9	890	46,0
140	46,1	390	20,6	630	31,6	895	50,3
150	49,1	400	15,8	640	40,9	900	48,6
160	50,4	410	20,3	650	48,9	910	45,6
170	39,7	420	21,7	660	70,8	920	45,6
180	40,3	430	40,9	670	49,8	930	46,1
190	40,5	435	43,7	680	51,2	940	44,1
198	35,8	440	45,9	690	54,5	950	38,0
200	35,6	450	52,2	700	52,5	960	30,9
210	35,3	460	42,8	710	49,2	970	28,4
220	42,1	470	30,1	720	47,2	Saída	28,8
230	49,4	478	35,8	730	43,8		
240	48,2	482	32,7	740	53,5		

Os rebaixamentos necessários variam entre 16 e 60cm, podendo considerar-se um rebaixamento médio necessário de cerca de 40cm. Refira-se a existência de um valor de rebaixamento, aproximadamente de 70cm e localizado ao ponto métrico 660, que não será tido em conta para os estudos por considerar-se bastante gravoso relativamente aos restantes. Este valor, a ser considerado, implicaria uma interferência significativa em todo o projecto de via. Na opinião do projectista, o valor em questão poderá ser um erro de leitura ou uma saliência pontual ocorrente no sustimento, a qual deverá merecer um tratamento igualmente pontual.

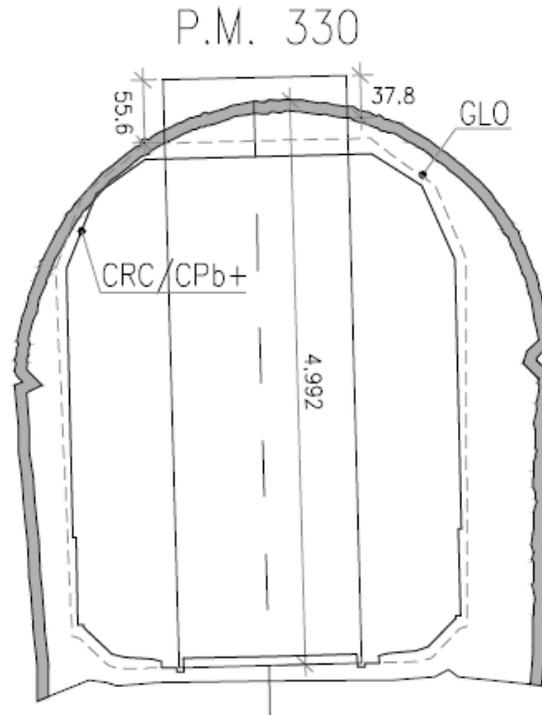


Fig.71 – Exemplo do estudo do rebaixamento de via numa secção do túnel (GEG)

O levantamento topográfico georeferenciado da linha (Datum de 73) foi empreendido numa extensão superior a 1500m, incluindo extensões adicionais ao comprimento do túnel em cerca de 330 e 220m para montante e jusante, respectivamente.

Abaixo apresentam-se os rebaixamentos efectivos de via.

Tabela 26 – Rebaixamentos efectivos da via para o Túnel de Tamel (GEG)

Ponto Métrico	Rebaixamento necessário (cm)	Rebaixamento efectivo da via (cm)	Folga (cm)	Ponto Métrico	Rebaixamento necessário (cm)	Rebaixamento efectivo da via (cm)	Folga (cm)
Entrada	30,8	47,900	17,10	500	37,9	52,90	15,00
10	34,2	49,000	14,80	510	38,3	51,70	13,40
20	42,9	48,600	5,70	520	35,7	49,70	14,00
30	36,5	49,100	12,60	530	34,5	47,80	13,30
40	36,6	50,400	13,80	540	40,3	45,90	5,60
50	30,9	51,600	20,70	550	32,4	43,10	10,70
60	29,4	52,800	23,40	560	26,6	41,00	14,40
70	25,5	54,200	28,70	570	29,6	39,80	10,20
80	28,9	54,700	25,80	580	33,2	40,30	7,10
90	37,4	54,700	17,30	590	36,9	43,00	6,10
100	39,4	55,300	15,90	600	41,3	46,30	5,00
110	40,1	55,900	15,80	610	43,5	49,70	6,20
120	44,5	55,700	11,20	620	34,9	52,80	17,90

130	46,0	55,600	9,60	630	31,6	55,70	24,10
140	46,1	55,600	9,50	640	40,9	58,40	17,50
150	49,1	55,500	6,40	650	48,9	61,10	12,20
160	50,4	55,500	5,10	660	70,8	63,90	-6,90
170	39,7	55,800	16,10	670	49,8	64,20	14,40
180	40,3	56,200	15,90	680	51,2	64,10	12,90
190	40,5	56,400	15,90	690	54,5	63,80	9,30
200	35,6	56,800	21,20	700	52,5	63,30	10,80
210	35,3	57,000	21,70	710	49,2	62,50	13,30
220	42,1	56,900	14,80	720	47,2	61,80	14,60
230	49,4	56,600	7,20	730	43,8	61,20	17,40
240	48,2	56,500	8,30	740	53,5	60,80	7,30
250	48,2	56,500	8,30	750	52,1	60,40	8,30
260	49,2	56,500	7,30	760	50,0	60,20	10,20
270	51,1	57,900	6,80	770	45,9	60,30	14,40
280	50,2	58,900	8,70	780	45,1	60,80	15,70
290	44,0	60,200	16,20	790	-	61,00	-
300	47,3	61,900	14,60	800	53,9	60,50	6,60
310	56,0	63,200	7,20	810	54,1	60,10	6,00
320	58,2	64,100	5,90	820	49,3	59,60	10,30
330	55,6	64,600	9,00	830	49,8	58,60	8,80
340	49,7	65,100	15,40	840	45,3	58,20	12,90
350	49,8	65,200	15,40	850	42,1	58,20	16,10
360	48,1	64,500	16,40	860	39,6	57,80	18,20
370	38,0	63,200	25,20	870	45,5	57,70	12,20
380	31,2	61,600	30,40	880	48,6	57,90	9,30
390	20,6	59,300	38,70	890	46,0	58,10	12,10
400	15,8	58,100	42,30	900	48,6	58,20	9,60
410	20,3	57,600	37,30	910	45,6	58,10	12,50
420	21,7	58,000	36,30	920	45,6	55,70	10,10
430	40,9	58,900	18,00	930	46,1	53,10	7,00
440	45,9	59,200	13,30	940	44,1	49,50	5,40
450	52,2	59,200	7,00	950	38,0	45,70	7,70
460	42,8	58,700	15,90	960	30,9	41,50	10,60
470	30,1	57,400	27,30	970	28,4	37,80	9,40
480	35,8	55,900	20,10	Saída	28,8	35,40	6,60
490	34,4	54,100	19,70				

O rebaixamento de via máximo será empreendido ao ponto métrico 350 com um valor aproximado de 65cm.

### **Túnel de Sta. Lucrecia**

Para este túnel fez-se o levantamento de perfis transversais de 10 em 10 metros, acrescido de alguns perfis intermédios.

Na tabela abaixo apresentam-se os rebaixamentos mínimos necessários da via.

Tabela 27 – Rebaixamentos mínimos necessários da via para o Túnel de Sta. Lucrécia (GEG)

Ponto Métrico	Rebaixamento necessário (cm)	Ponto Métrico	Rebaixamento necessário (cm)
Entrada	12,8	140	2,0
10	34,4	150	10,8
20	39,7	160	12,8
30	39,9	170	10,4
40	40,9	175	10,7
50	41,7	180	16,9
56	35,5	185	12,2
60	26,7	190	14,9
70	26,6	195	18,8
80	34,3	200	18,0
90	36,3	205	17,1
95	37,2	210	17,8
100	0,0	215	10,9
110	0,0	220	11,9
120	0,0	225	5,3
130	13,7	230	12,1

Constatou-se que existem insuficiências no gabari de electrificação em todas as secções revestidas do túnel, em especial nos primeiros 100m. Os rebaixamentos necessários variam entre 0 a 42cm, podendo-se considerar um rebaixamento médio de quase 22cm.

O levantamento topográfico georeferenciado da linha (Datum de 73) foi empreendido numa extensão aproximada de 960m, ou seja, com extensões complementares de cerca de 370 e 365m para montante e jusante do túnel, respectivamente.

Abaixo apresentam-se os rebaixamentos efectivos de via.

Tabela 28 – Rebaixamentos efectivos da via para o Túnel de Sta. Lucrecia (GEG)

Ponto Métrico	Rebaixamento necessário (cm)	Rebaixamento efectivo da via (cm)	Folga (cm)	Ponto Métrico	Rebaixamento necessário (cm)	Rebaixamento efectivo da via (cm)	Folga (cm)
Entrada	12,80	32,50	19,70	150	10,80	29,90	19,10
10	34,40	39,30	4,90	160	12,80	28,10	15,30
20	39,70	43,90	4,20	170	10,40	26,90	16,50
30	39,90	46,60	6,70	175	10,70	26,50	15,80
40	40,90	47,10	6,20	180	16,90	26,10	9,20
50	41,70	47,20	5,50	185	12,20	25,50	13,30
60	26,70	44,90	18,20	190	14,90	24,80	9,90
70	26,60	43,20	16,60	195	18,80	24,10	5,30
80	34,30	41,70	7,40	200	18,00	23,50	5,50
90	36,30	40,40	4,10	205	17,10	23,00	5,90
100	0,00	38,50	-	210	17,80	22,40	4,60
110	0,00	36,20	-	215	10,90	21,80	10,90
120	0,00	34,20	-	220	11,90	20,60	8,70
130	13,70	32,30	18,60	225	5,30	19,50	14,20
140	2,00	31,20	29,20	230	12,10	18,40	6,30

O rebaixamento de via máximo será empreendido ao ponto métrico 50 com um valor aproximado de 47cm. No interior do túnel os rebaixamentos variam entre 18 e 47cm, aproximadamente.

### Túnel de Caminha

Para este túnel fez-se o levantamento de perfis transversais de 10 em 10 metros, acrescido de alguns perfis intermédios.

Entre os pontos métricos 10 e 120 não existem perfis transversais mas, para o estudo em questão, esse facto não constitui nenhuma limitação por tratar-se de uma extensão não revestida do túnel, onde as folgas para os gabaris exigidos são suficientes.

Na tabela abaixo apresentam-se os rebaixamentos mínimos necessários para a via.

Tabela 29 – Rebaixamentos mínimos necessários da via para o Túnel de Caminha (GEG)

Ponto Métrico	Rebaixamento necessário (cm)	Ponto Métrico	Rebaixamento necessário (cm)
Entrada	0,0	245	0,0
5	0,0	250	0,0
10	0,0	260	0,0
120	0,0	270	0,0
130	0,0	280	35,2
140	0,0	290	38,3

150	0,0	300	28,1
160	0,0	310	35,3
170	0,0	320	35,3
180	0,0	330	29,4
190	0,0	340	29,0
195	0,0	350	26,0
200	0,0	360	30,7
205	26,6	370	28,7
210	21,6	380	22,7
220	0,0	390	23,9
230	0,0	400	27,3
240	0,0	Saída	13,2

O rebaixamento máximo necessário atinge os 38cm, podendo considerar-se um rebaixamento médio de 30cm na segunda metade do túnel.

O levantamento topográfico georeferenciado da linha (Datum de 73) foi empreendido numa extensão com cerca de 1150m, ou seja, com extensões complementares de cerca de 410m para montante e cerca de 330m para jusante.

Abaixo apresentam-se os rebaixamentos efectivos de via.

Tabela 31 – Rebaixamentos efectivos da via para o Túnel de Caminha (GEG)

Ponto Métrico	Rebaixamento necessário (cm)	Rebaixamento efectivo da via (cm)	Folga (cm)	Ponto Métrico	Rebaixamento necessário (cm)	Rebaixamento efectivo da via (cm)	Folga (cm)
Entrada	0,00	1,70	-	245	0,00	39,40	-
5	0,00	1,94	-	250	0,00	40,20	-
10	0,00	2,28	-	260	0,00	41,60	-
120	0,00	8,11	-	270	0,00	42,50	-
130	0,00	11,09	-	280	35,20	41,80	6,60
140	0,00	14,17	-	290	38,30	40,70	2,40
150	0,00	17,25	-	300	28,10	45,20	17,10
160	0,00	20,82	-	310	35,30	39,80	4,50
170	0,00	23,90	-	320	35,30	39,90	4,60
180	0,00	26,68	-	330	29,40	39,80	10,40
190	0,00	29,35	-	340	29,00	39,40	10,40
195	0,00	30,49	-	350	26,00	39,40	13,40
200	0,00	31,73	-	360	30,70	39,50	8,80
205	26,60	32,19	5,59	370	28,70	39,50	10,80
210	21,60	32,74	11,14	380	22,70	38,10	15,40
220	0,00	33,76	-	390	23,90	35,10	11,20
230	0,00	35,47	-	400	27,30	30,70	3,40
240	0,00	36,38	-	Saída	13,20	25,60	12,40

O rebaixamento de via máximo será empreendido ao ponto métrico 300 com um valor aproximado de 45cm.

### 4.3. REBAIXAMENTO DA PLATAFORMA

Após o rebaixamento da via tem de proceder-se ao respectivo rebaixamento (ou acerto do leito) da plataforma e garantir-se uma espessura de balastro mínima de 25cm. Convém ainda que o balastro seja constante ao longo de toda a linha, para possibilitar, durante as operações de conservação, uma utilização sistemática dos equipamentos mecânicos (Eduardo Fortunato *et al*, Julho 2002).

A espessura a adoptar para o conjunto das camadas de apoio da via (balastro e sub-balastro) depende de vários parâmetros (UIC, 1994), como:

- A classe da plataforma;
- O tipo de linha;
- O tipo de travessa;
- As restrições de construção (em linhas antigas);
- A carga por eixo e;
- A velocidade de circulação.

A REFER também estabeleceu as definições quanto à reutilização de materiais e a colocação de materiais novos. Essas indicações deverão ser mantidas e seguidas, salvo indicações em contrário por parte da Fiscalização. A Fiscalização deve providenciar e verificar a realização de ensaios aos materiais existentes, de forma a avaliar o estado do material e a sua eventual substituição.

Conforme já foi referido, face à necessidade de caracterizar as condições geométricas da base da plataforma e proceder-se ao seu rebaixamento, houve necessidade de empreender-se uma campanha de prospecção geofísica com a execução de perfis longitudinais com georadar. Face aos resultados obtidos pôde saber-se qual a espessura de balastro e, recorrendo a algumas aproximações e simplificações, estimou-se o possível posicionamento do leito da plataforma existente ao longo do túnel.

A estimativa da necessidade de rebaixamento resulta da confrontação das cotas do leito da plataforma com as cotas da nova rasante da via, subtraídos da espessura da infra-estrutura da via (carril, chapim, palmilha, travessa e balastro), Fig.68 e 69. Os valores da espessura destes elementos encontram-se nas tabelas 31 e 32.

Em relação à delimitação da via a ser levantada com vista a permitir o rebaixamento da plataforma, a mesma encontra-se associada a uma determinada extensão para lá das bocas de entrada e saída do túnel. Para essa extensão admitida, partiu-se do pressuposto que se considera aceitável que rebaixamentos de via inferiores a 5cm não impliquem o rebaixamento da plataforma, evitando-se assim o levantamento e posterior assentamento da via. O critério indicado está associado ao facto de ser necessário garantir, no exterior do túnel, uma espessura final de 61,9cm (considerando as travessas bi-bloco) ou de 55,6cm (considerando as travessas de madeira) do topo do carril até ao leito da plataforma e por se estimar que a espessura existente de balastro é de 70cm (valor médio). Os valores adoptados para o estudo foram de 60cm (para as travessas de madeira) e 66cm (para as travessas bi-bloco) considerando-se, por isso, uma folga entre 4 e 5cm, respectivamente.

Tabela 31 – Infra-estrutura da via quando constituída por travessas de madeira (REFER)

	Espessura (mm)
Carril 54kg/m	159,0
Chapim	12,5
Palmilha de borracha	4,5
Travessa de madeira	130,0
Balastro	250,0
<b>Total:</b>	<b>556,0</b>

Tabela 32 – Infra-estrutura da via quando constituída por travessas bi-bloco (REFER)

	Espessura (mm)
Carril 54kg/m	159,0
Palmilha de borracha	4,5
Travessa bi-bloco	205,0
Balastro	250,0
<b>Total:</b>	<b>618,5</b>

Em obra os valores reais de rebaixamento e os volumes de escavação resultantes irão certamente variar relativamente aos estimados em projecto. Face à irregularidade resultante da escavação da plataforma, deverá regularizar-se e uniformizar-se o leito com uma camada de sub-balastro protegida com geotêxtil.

As funções normalmente atribuídas à camada de sub-balastro são:

- Proporcionar a degradação das tensões impostas pelas cargas dos comboios para níveis aceitáveis na plataforma;
- Proteger esta contra as acções do gelo (se for caso disso);
- Promover a separação entre o balastro e a plataforma, evitando assim a interpenetração;
- Evitar o desgaste da plataforma pela acção mecânica do balastro;
- Funcionar como camada impermeabilizante;
- Funcionar como elemento drenante, filtrante e anti-contaminante, permitindo que se escoem as águas que eventualmente ascendem da plataforma, mas evitando que haja passagem de elementos finos para o balastro.

As diferentes administrações europeias propõem a utilização de uma camada de material granular para cumprir todos estes requisitos, (Eduardo Fortunato *et al*, Julho 2002).

Para os casos em análise prevê-se uma heterogeneidade na natureza dos materiais a serem sujeitos a desmonte, podendo a dureza dos afloramentos rochosos possibilitar uma eventual escarificação com equipamentos mais ligeiros ou, pelo contrário, exigir o recurso a martelos pneumáticos ou outros equipamentos mecânicos de maior capacidade. O uso de explosivos foi posto de parte.

No ponto seguinte apresentar-se-ão os valores dos rebaixamentos da plataforma obtidos após este estudo.

**Túnel de São Miguel da Carreira**

Tabela 33 – Rebaixamentos mínimos necessários da plataforma para o Túnel de São Miguel da Carreira (GEG)

Ponto Métrico	Rebaixamento efectivo da via (cm)	Rebaixamento necessário da plataforma (cm)	Ponto Métrico	Rebaixamento efectivo da via (cm)	Rebaixamento necessário da plataforma (cm)
Entrada	37,2	53,4	170A	42,3	46,5
10	40,5	76,2	180	42,4	36,7
20	41,7	6,7	180A	42,6	21,7
30	41,7	7,1	190	42,8	21,7
40	41,7	22,5	190A	43,0	12,9
50	41,7	32,4	200	43,1	24,1
60	42,0	27,9	200A	43,1	13,9
70	42,2	27,2	210	43,0	13,7
80	42,4	27,5	210A	42,9	23,6
90	42,3	27,8	220	42,8	13,5
100	42,4	27,3	220A	42,8	22,9
110	42,7	27,5	230	42,8	12,3
120	43,3	39,4	230A	42,6	22,5
130	43,6	28,6	240	42,3	22,8
140	43,6	29,2	240A	41,9	22,3
150	43,0	38,3	250	41,4	11,9
160	42,4	46,9	250A	40,5	15,5
170	42,1	31,3	260	39,5	14,2

Da tabela constata-se que as necessidades de rebaixamento do leito da plataforma apresentam variações consideráveis, podendo ascender pontualmente a 76cm. Pode considerar-se um rebaixamento médio de 26cm.

Em relação à extensão da via a ser levantada com vista a permitir o rebaixamento da plataforma, a mesma encontra-se associada aos perfis 26 e 84, aproximadamente a 150 e 100m das bocas de entrada e saída do túnel, respectivamente, num total de 511.47m.

**Túnel de Tamel**

A plataforma existente neste túnel é constituída por balastro; travessas bi-bloco fora do túnel e travessas de madeira dentro do túnel; carris UIC-54 e fixações *Grampo* PRX120/07 nas travessas de betão (pregação GUIDE) e chapim e garras RNP nas travessas de madeira (pregação PRX 801). O tipo de plataforma será mantido com as mesmas características e todos os materiais em bom estado serão reutilizados, salvo indicações em contrário por parte da Fiscalização.

Tabela 34 – Rebaixamentos mínimos necessários da plataforma para o Túnel de Tamel (GEG)

Ponto Métrico	Rebaixamento efectivo da via (cm)	Rebaixamento necessário da plataforma (cm)	Ponto Métrico	Rebaixamento efectivo da via (cm)	Rebaixamento necessário da plataforma (cm)
Entrada	47,900	32,9	500	52,90	42,9
10	49,000	29	510	51,70	46,7
20	48,600	28,6	520	49,70	39,7
30	49,100	44,1	530	47,80	32,8
40	50,400	40,4	540	45,90	30,9
50	51,600	41,6	550	43,10	28,1
60	52,800	37,8	560	41,00	26
70	54,200	39,2	570	39,80	24,8
80	54,700	39,7	580	40,30	30,5
90	54,700	39,7	590	43,00	33
100	55,300	40,3	600	46,30	36,3
110	55,900	40,9	610	49,70	39,7
120	55,700	40,7	620	52,80	37,8
130	55,600	40,6	630	55,70	40,7
140	55,600	40,6	640	58,40	43,4
150	55,500	45,5	650	61,10	46,1
160	55,500	45,5	660	63,90	48,9
170	55,800	45,8	670	64,20	54,2
180	56,200	46,2	680	64,10	44,1
190	56,400	46,4	690	63,80	48,8
200	56,800	46,8	700	63,30	48,3
210	57,000	42	710	62,50	47,5
220	56,900	41,9	720	61,80	41,8
230	56,600	41,6	730	61,20	46,2
240	56,500	41,5	740	60,80	45,8
250	56,500	41,5	750	60,40	50,4
260	56,500	51,5	760	60,20	55,2
270	57,900	47,9	770	60,30	50,3
280	58,900	48,9	780	60,80	50,8
290	60,200	50,2	790	61,00	51
300	61,900	41,9	800	60,50	50,5
310	63,200	43,2	810	60,10	55,1
320	64,100	49,1	820	59,60	54,6
330	64,600	49,6	830	58,60	48,6
340	65,100	50,1	840	58,20	53,2
350	65,200	50,2	850	58,20	48,2
360	64,500	54,5	860	57,80	47,8
370	63,200	53,2	870	57,70	47,7
380	61,600	56,6	880	57,90	47,9
390	59,300	54,3	890	58,10	48,1
400	58,100	47,6	900	58,20	48,2
410	57,600	47	910	58,10	53,1
420	58,000	53	920	55,70	50,7
430	58,900	53,9	930	53,10	48,1
440	59,200	54,2	940	49,50	49,5
450	59,200	54,2	950	45,70	45,7
460	58,700	53,7	960	41,50	41,5
470	57,400	52,4	970	37,80	37,8
480	55,900	45,9	Saída	35,40	30,4
490	54,100	44,1			

Da tabela constata-se que as necessidades de rebaixamento do leito da plataforma variarão entre 25 e 57 cm. Pode considerar-se um rebaixamento médio de 45cm.

Em relação à extensão da via a ser levantada com vista a permitir o rebaixamento da plataforma, a mesma encontra-se associada aos perfis 59 e 215, aproximadamente a 135 e 81m das bocas de entrada e saída do túnel, respectivamente, num total de 1197,36m.

### Túnel de Sta. Lucrecia

Tabela 35 – Rebaixamentos mínimos necessários da plataforma para o Túnel de Sta. Lucrecia (GEG)

Ponto Métrico	Rebaixamento efectivo da via (cm)	Rebaixamento necessário da plataforma (cm)	Ponto Métrico	Rebaixamento efectivo da via (cm)	Rebaixamento necessário da plataforma (cm)
Entrada	32,50	21,1	150	29,90	19,7
10	39,30	23,4	160	28,10	15,6
20	43,90	29,3	170	26,90	9,1
30	46,60	36,4	175	26,50	9,1
40	47,10	37,6	180	26,10	9,2
50	47,20	36,9	185	25,50	8,8
60	44,90	30,1	190	24,80	8,4
70	43,20	33,2	195	24,10	13,1
80	41,70	32,3	200	23,50	12,9
90	40,40	36,0	205	23,00	12,7
100	38,50	29,0	210	22,40	11,3
110	36,20	27,3	215	21,80	11,1
120	34,20	19,3	220	20,60	10,8
130	32,30	22,1	225	19,50	9,4
140	31,20	10,6	230	18,40	13,0

Devido ao facto de existirem diferenciados rebaixamentos efectivos de via para os primeiros 100m de túnel em relação à restante extensão, constata-se que as necessidades de rebaixamento do leito da plataforma para o primeiro caso serão em média de 30cm e no segundo caso cerca de 11cm. No total pode considerar-se um rebaixamento médio de 20cm. O máximo rebaixamento mínimo necessário é de aproximadamente 38cm.

Em relação à extensão da via a ser levantada com vista a permitir o rebaixamento da plataforma, a mesma encontra-se associada aos perfis 39 e 81, aproximadamente a 60 e 65m das bocas de entrada e saída do túnel, respectivamente, num total de 447,16m.

### Túnel de Sta. Lucrecia

A plataforma existente neste túnel é idêntica à encontrada para o túnel de Tamel. O tipo de plataforma será mantido com as mesmas características e todos os materiais em bom estado serão reutilizados, salvo indicações em contrário por parte da Fiscalização.

Tabela 36 – Rebaixamentos mínimos necessários da plataforma para o Túnel de Caminha (GEG)

Ponto Métrico	Rebaixamento efectivo da via (cm)	Rebaixamento necessário da plataforma (cm)	Ponto Métrico	Rebaixamento efectivo da via (cm)	Rebaixamento necessário da plataforma (cm)
Entrada	1,70	0,0	245	39,40	39,4
5	1,94	0,0	250	40,20	40,4
10	2,28	0,0	260	41,60	41,7
120	8,11	0,0	270	42,50	42,0
130	11,09	8,0	280	41,80	31,5
140	14,17	11,8	290	40,70	35,5
150	17,25	15,5	300	45,20	30,4
160	20,82	14,8	310	39,80	29,4
170	23,90	16,7	320	39,90	29,4
180	26,68	18,2	330	39,80	29,5
190	29,35	19,7	340	39,40	29,2
195	30,49	20,2	350	39,40	28,7
200	31,73	20,8	360	39,50	28,9
205	32,19	26,6	370	39,50	28,7
210	32,74	22,6	380	38,10	26,9
220	33,76	24,3	390	35,10	24,0
230	35,47	31,7	400	30,70	20,1
240	36,38	38,4	Saída	25,60	14,7

Devido ao facto de existirem diferenciados rebaixamentos efectivos de via para o primeiro terço de túnel em relação à restante extensão, constata-se que as necessidades de rebaixamento do leito da plataforma para o primeiro caso serão reduzidas ou inexistentes e no segundo caso variará entre os 10 e os 42cm. Foi apenas tida em conta a extensão compreendida entre o ponto métrico 130 e o final do túnel, considerando-se um rebaixamento médio de cerca de 25cm.

Em relação à extensão da via a ser levantada com vista a permitir o rebaixamento da plataforma, a mesma encontra-se associada junto à entrada do túnel ao perfil 100, aproximadamente a 6 e 40m das bocas de entrada e saída do túnel, respectivamente.

#### 4.4. REFORÇO DA SOLEIRA DOS HASTEIS

Conforme já foi referido, o rebaixamento da plataforma tem como inconveniente o desamparo da soleira dos hasteais ou mesmo o seu descalçamento. Logo, após ter sido estimado o rebaixamento necessário da plataforma e tendo em conta que a base dos hasteais coincidirá com a actual cota da plataforma, estudou-se a necessidade de se empreenderem reforços especiais de recalçamento.

Foram admitidas para o projecto as seguintes hipóteses:

- A não ocorrência de descalçamentos relevantes sob os hasteais de alvenaria;
- A execução de escavações à face dos hasteais até à profundidade máxima de 60cm para além da base aparente das respectivas soleiras de alvenaria;

- A fundação dos hasteais são maciços aparentemente estáveis e firmes e sem sinais evidentes e manifestos de alteração;
- A degradação e fragilização reduzidas das alvenarias.

No entanto, a suficiência das soluções preconizadas e a eventual necessidade de se reformularem ou redefinirem as soluções de reforço ou de apenas se executarem tratamentos localizados, deverá ser avaliada em obra perante as reais condições geométricas e geológico-geotécnicas encontradas, caso a Fiscalização assim o entender.

Perante um cenário menos optimista; no caso das fundações serem constituídas por materiais muito alterados e encharcados e associadas a manifestações de capacidade de resistência mecânica insuficientes; tal deverá ser comunicado ao projectista a fim de se analisar a necessidade de se ajustarem e reforçarem as soluções, com vista a garantir a segurança dos trabalhos e da circulação ferroviária, tanto na fase de construção como na fase de exploração.

Perante cenários mais optimistas; onde o maciço de fundação se apresente predominantemente são, revelando-se eventualmente autoportante e com uma boa resposta face às operações de desmonte; será ponderado o possível aligeiramento dos reforços preconizados.

Foram preconizadas soluções para secções revestidas e secções não revestidas dos túneis. Para ambas as situações terá de avaliar-se a necessidade da execução de pregagens ou eventual adopção de uma escavação mais afastada do hasteal, protegida com uma camada de 5cm de betão projectado. Esta última solução será executada quando o maciço estiver em melhores condições ou se o valor do rebaixamento for relativamente baixo.

Para as secções revestidas dos túneis ainda estão previstas as seguintes soluções:

- ✓ Execução de maciços longitudinais em betão armado com 20cm de espessura. Nalguns casos, além da dispensa de pregagens, este maciço poderá ser mais reduzido;
- ✓ Eventual injeção de caldas consolidantes.

As soluções preconizadas para as secções não revestidas são:

- ✓ Projectção de betão e colocação de malhas electrossoldadas até à base de escavação;
- ✓ No caso de serem executadas pregagens, deverá ser descida a cota da pregagem intermédia do hasteal.

A distribuição destes reforços são definidos em função das zonas acima referidas (revestidas ou ão revestidas) e dos rebaixamentos previstos para a plataforma, nomeadamente da posição do seu leito, o qual se estima coincidente com a cota de fundação dos hasteais. Apenas os túneis de Sta. Lucrecia e de Caminha terão tratamentos aplicados a zonas não revestidas. Quanto às pregagens, a sua execução só está prevista na base do hasteal direito. Mais adiante serão referidos os tipos de dispositivos de drenagem longitudinal a serem adoptados nos túneis, mas onde forem colocados os monoblocos de drenagem (dispositivos pré-fabricados) dispensa-se a execução de pregagens e de maciços em betão, pois esses deverão garantir a protecção da zona de descalçamento. A colocação dos mesmos está prevista para o lado esquerdo.

Será importante que o Executor da Obra, devidamente acompanhado pela Fiscalização, verifique as condições do terreno de fundação dos hasteais, no sentido de poder ajustar as soluções e até aligeirá-las sempre e onde isso seja possível.

Seguidamente apresentar-se-ão as soluções preconizadas pelo projectista para os quatro túneis.

### **Túnel de São Miguel da Carreira**

As soluções definidas para este túnel são:

- ✓ Instalação de pregagens;
- ✓ Execução de maciços longitudinais em betão armado com 20cm de espessura mínima (Fig.72);
- ✓ Eventual escavação mais afastada da face do hasteal e de injeção de caldas consolidantes, caso a Fiscalização assim o entenda.

- **Instalação de pregagens**

**Distribuição das pregagens:** Foi prevista a execução de pregagens nos primeiros 10m do túnel e entre os pontos métricos 120 e 190. As restantes extensões revestidas do túnel poderão também necessitar do mesmo tipo de reforço.

**Características:** Os varões serão em aço galvanizado A500, com 25mm de diâmetro e seladas no maciço rochoso em pelo menos 3,0m, com vista a assegurar a amarração do maciço de reforço longitudinal em betão projectado.

**Espaçamento:** O espaçamento definido entre pregagens é de 1,5m para os primeiros 10m e de 2,0m para o troço compreendido entre os pontos métricos 120 e 190. Para as restantes extensões revestidas que necessitem deste tipo de reforço poderão considerar-se espaçamentos maiores entre si, neste caso de 2,5 m. Estes espaçamentos poderão ser ajustados em obra caso isso se justifique e a Fiscalização o aprove. A tabela 37 apresenta os espaçamentos recomendados, definidos em função dos rebaixamentos previstos e da posição do leito da via (plataforma) que se estima coincidente com a cota de fundação dos hasteais.

**Inclinação:** A inclinação das pregagens admitida em projecto é de 30°, no entanto, em obra, se o espaço disponível e o equipamento não o permitirem, poderão adoptar-se inclinações superiores mas que não ultrapassem os 45°, desde que devidamente justificadas e especificadas perante a Fiscalização.

As dificuldades em adoptar as inclinações desejadas estão relacionadas com a permanência da infra-estrutura da via durante a obra, constituindo, por isso, um obstáculo significativo às manobras e implicando também uma cota de trabalho elevada para o equipamento de furação.

**Aperto das pregagens:** O varão de aço deverá apresentar uma das extremidades cortada em bisel e a outra munida de rosca, de modo a proceder-se a um aperto final ligeiro contra a placa de fixação com recurso a uma chave dinamométrica, permitindo desde logo pôr o elemento de betão em tensão.

**Placas de fixação:** As placas de fixação serão em aço e terão uma geometria quadrada com 15cm de aresta, uma espessura de 8mm e deverão estar devidamente protegidas contra a corrosão, assim como as rótulas e porcas para aperto.

**Recomendações:**

As pregagens serão apertadas após betonado o maciço, cortando-se, por último, as pontas excedentes dos varões.

Onde forem colocados os monoblocos de drenagem dispensa-se a execução de pregagens e de maciços em betão, mas nestas situações será necessário proceder a um bombeamento de betão ou a uma prévia projecção de betão para permitir o preenchimento, o recalçamento e a regularização da superfície escavada.

Se o Adjudicatário não assegurar a protecção contra a corrosão das cabeças das pregagens, deverá propor-se a execução de campânulas de protecção em betão moldadas no local, desde que as mesmas não sejam geometricamente desfavoráveis.

Tabela 37 – Espaçamento de pregagens recomendado para o Túnel de São Miguel da Carreira (GEG)

Ponto Métrico	Rebaixamento estimado da plataforma (cm)	Espaçamento estimado entre pregagens (m)	Ponto Métrico	Rebaixamento estimado da plataforma (cm)	Espaçamento estimado entre pregagens (m)
Entrada	53,1	1,5	140	29,2	2,0
10	75,7		150	38,3	
20	6,7		160	46,9	
30	7,1	170	31,3		
40	22,5	2,5	180	36,7	
50	32,4		190	21,7	2,5
60	27,9		200	24,1	
70	27,2		210	13,7	
80	27,5		220	13,5	
90	27,8		230	12,3	
100	27,3		240	22,8	
110	27,5	250	11,9	2,0	
120	39,4	260	14,2		
130	28,6				

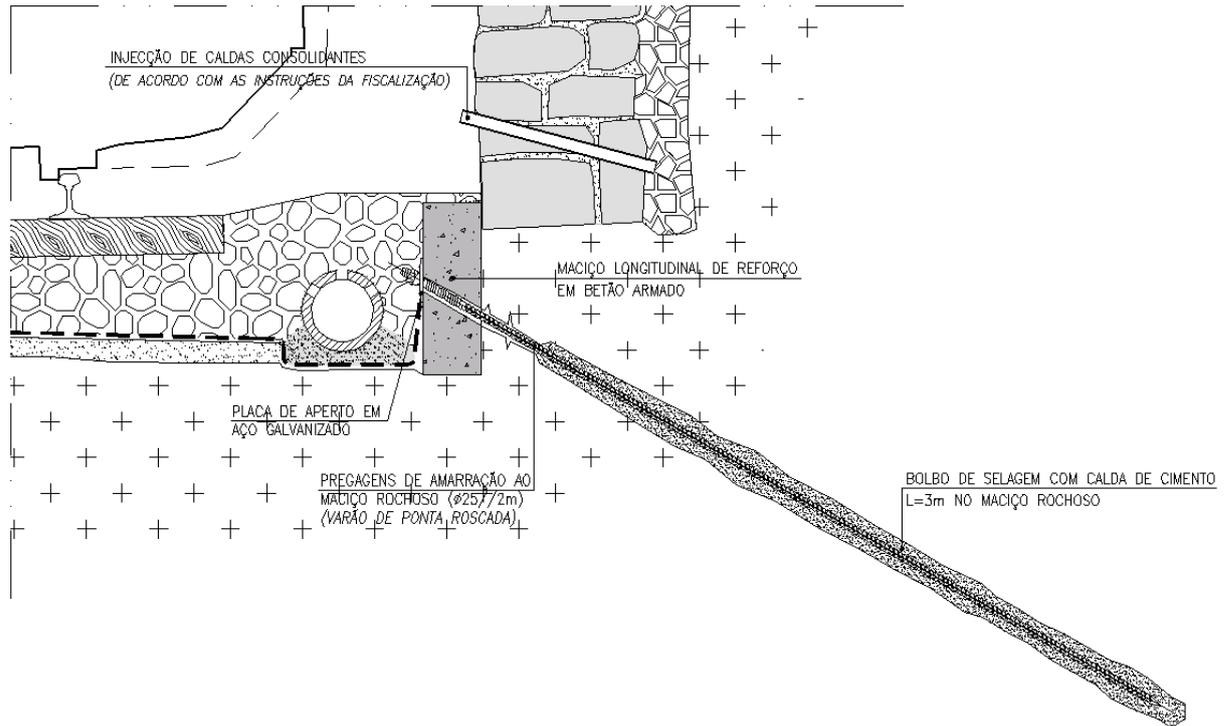


Fig.72 – Maciço longitudinal pregado (definida como solução do tipo 4), (GEG)

- **Escavação mais afastada da face do hasteal:**

Será necessário considerar a possibilidade de uma escavação menos acentuada junto das soleiras (mais afastada da face dos hasteais), nomeadamente nos trechos onde o rebaixamento de plataforma a ser empreendido é relativamente baixo. Assim, poderá evitar-se a fragilização da soleira dos hasteais e, conseqüentemente, o seu recalçamento. Para além dessa escavação poderá ser necessário uma eventual projecção de betão para preenchimento de cavidades e de irregularidades resultantes da operação de escavação ou escarificação. No entanto, esta solução poderá ser de difícil materialização, uma vez que as folgas disponíveis existentes entre as travessas e o intradorso dos hasteais são bastante limitadas.

**Recomendações:** Nos casos em que se detectem condições diferentes das previstas o Adjudicatário deverá informar a Fiscalização e o Projectista. Os reforços de betão deverão ser levados até pelo menos 10cm acima da actual base do hasteal e não deverão permanecer à vista em fase definitiva.

**Injecção de caldas consolidantes:** O recurso complementar a injecções de caldas consolidantes deverá ser aferido em obra com a aprovação da Fiscalização. Estas caldas deverão ser fluidas e aplicadas a baixas pressões para promover as condições de confinamento do maciço escavado com o extradorso do sustimento da soleira.

### Túnel de Tamel

As soluções definidas para este túnel serão idênticas às analisadas anteriormente para o túnel de São Miguel da Carreira, (Fig.72). Apenas serão aqui indicados os espaçamentos das pregagens recomendados para este caso, (Tabela 38).

Tabela 38 – Espaçamento de pregagens recomendado para o túnel de Tamel (GEG)

Ponto Métrico	Rebaixamento estimado da plataforma (cm)	Espaçamento estimado entre pregagens (m)	Ponto Métrico	Rebaixamento estimado da plataforma (cm)	Espaçamento estimado entre pregagens (m)	
Entrada	32,90	2,5	500	42,90	1,5	
10	29,00		510	46,70		
20	28,60		520	39,70		
30	44,10	1,5	530	32,80	2,0	
40	40,40		540	30,90		
50	41,60		550	28,10	2,5	
60	37,80		560	26,00		
70	39,20		570	24,80		
80	39,70		1,5	580	30,50	2,0
90	39,70			590	33,00	
100	40,30			600	36,30	
110	40,90			610	39,70	
120	40,70			1,5	620	37,80
130	40,60	630			40,70	
140	40,60	640			43,40	
150	45,50	650			46,10	
160	45,50	660			48,90	
170	45,80	1,5			670	54,20
180	46,20		680		44,10	1,5
190	46,40		690		48,80	
200	46,80		700		48,30	
210	42,00		710		47,50	
220	41,90		720	41,80		
230	41,60		730	46,20		
240	41,50		1,0	740	45,80	1,0
250	41,50			750	50,40	
260	51,50			760	55,20	1,5
270	47,90	770		50,30		
280	48,90	780		50,80		
290	50,20	790		51,00		
300	41,90	1,0		800	50,50	1,0
310	43,20			810	55,10	
320	49,10			820	54,60	
330	49,60			830	48,60	1,5
340	50,10		1,0	840	53,20	1,0
350	50,20			850	48,20	1,5
360	54,50			860	47,80	
370	53,20			870	47,70	
380	56,60			880	47,90	
390	54,30			890	48,10	
400	47,60	1,5	900	48,20	1,0	
410	47,00		910	53,10		
420	53,00		1,0	920	50,70	1,5
430	53,90	930		48,10		
440	54,20	940		49,50		
450	54,20	950		45,70		
460	53,70	1,5	960	41,50	2,0	
470	52,40		970	37,80		
480	45,90		Saída	30,40	2,5	
490	44,10					

### Túnel de Sta. Lucrecia

As soluções definidas para este túnel são: execução de pregagens, betonagens adicionais e eventualmente injeções de caldas consolidantes, caso a Fiscalização assim o entenda.

As pregagens irão ser executadas tanto em zonas revestidas como em zonas não revestidas, mas com espaçamentos diferentes. O espaçamento das pregagens definido para as zonas revestidas é de 2,0m, no entanto, este valor poderá, eventualmente, sofrer ajustes em obra caso isso se justifique e caso a Fiscalização o aprove (tabela 39). As características, a inclinação, a fixação e as recomendações relativas à colocação das pregagens serão idênticas às definidas anteriormente para o túnel de São Miguel da Carreira.

Para este túnel foi ainda necessário preconizar outras soluções específicas para as zonas revestidas e não revestidas. Seguidamente apresentar-se-ão essas soluções.

Tabela 39 – Espaçamento de pregagens recomendado para o túnel de Sta. Lucrecia (GEG)

Ponto Métrico	Rebaixamento estimado da plataforma (cm)	Espaçamento estimado entre pregagens (m)	Ponto Métrico	Rebaixamento estimado da plataforma (cm)	Espaçamento estimado entre pregagens (m)
Entrada	21,1	2,5	120	19,3	-
10	23,4		130	22,1	
20	29,3		140	10,6	
30	36,4	2,0	150	19,7	3,0
40	37,6		160	15,6	
50	36,9		170	9,1	-
60	30,1		180	9,2	
70	33,2		190	8,4	
80	32,3		200	12,9	
90	36,0		210	11,3	
100	29,0	-	220	10,8	
110	27,3		230	13,0	

#### Soluções de reforço para zonas não revestidas:

- ✓ O rebaixamento deverá ser acompanhado da projecção de betão e da colocação de malhas electrossoldadas até à base de escavação, com a eventual descida de cota da pregagem intermédia do hasteal e
- ✓ A adopção de uma escavação mais afastada do hasteal, (Fig.73).

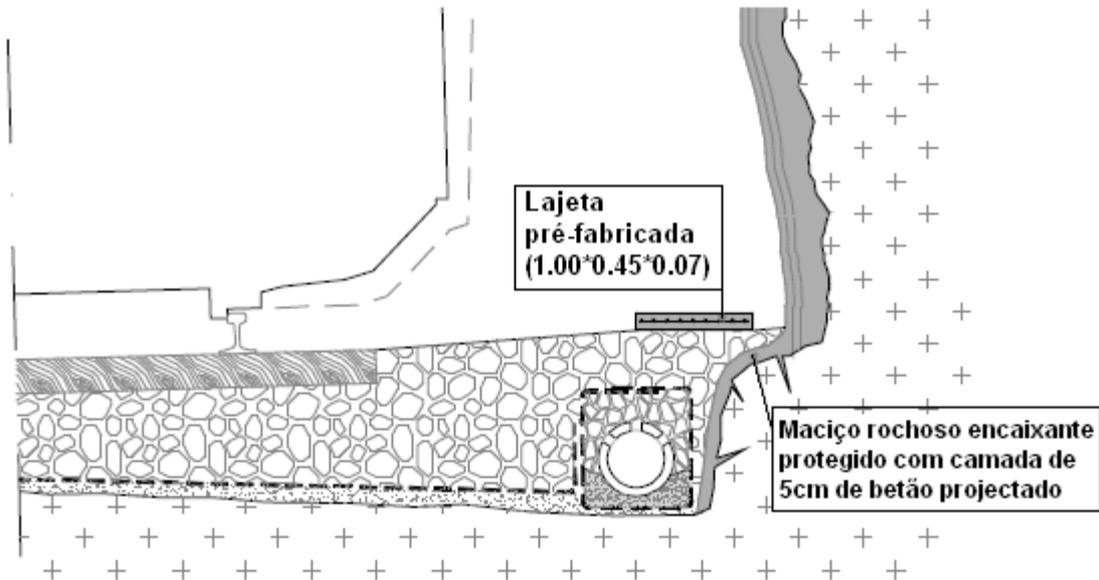


Fig.73 – Escavação afastada do hasteal (GEG)

**Soluções de reforço para zonas revestidas:**

As soluções para estas zonas serão idênticas às analisadas para o túnel de São Miguel da Carreira, devendo executar-se um maciço longitudinal em betão armado com 20cm de espessura mínima (Fig.74). Em alguns trechos esse maciço de betão deverá ser pregado ao maciço rochoso encaixante, nomeadamente entre os pontos métricos 20 e 100.

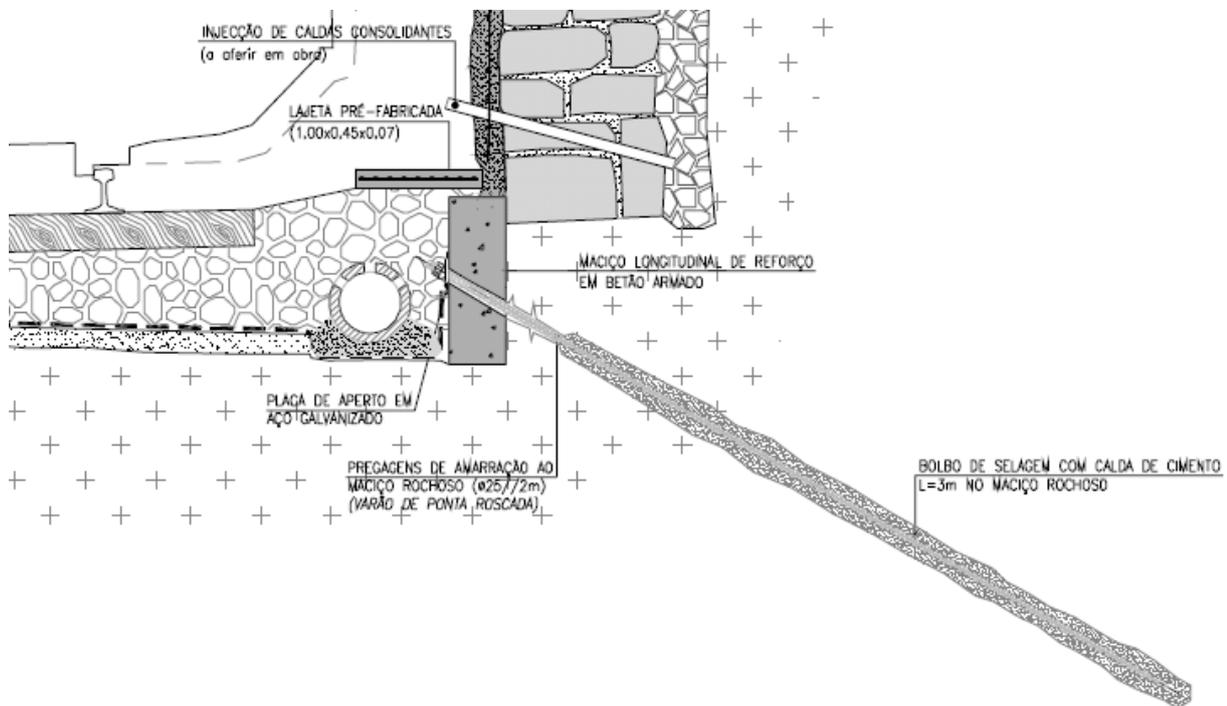


Fig.74 – Maciço longitudinal pregado (definida como solução do tipo 3), (GEG)

### Túnel de Caminha

As soluções preconizadas para este túnel são semelhantes àquelas que foram referidas anteriormente para o túnel de Sta. Lucrecia, tanto para zonas revestidas como para as não revestidas, com exceção dos espaçamentos previstos para as pregagens e da eventual execução de um segundo nível de pregagens nas zonas não revestidas.

As pregagens irão ser executadas tanto em zonas revestidas como em zonas não revestidas, mas com espaçamentos diferentes. O espaçamento das pregagens definido para as zonas revestidas é de 2,0m, entre os pontos métricos 270 e 330 (tabela 40), no entanto, este valor poderá, eventualmente, sofrer ajustes em obra caso isso se justifique e caso a Fiscalização o aprove. As características, a inclinação, a fixação e as recomendações relativas à colocação das pregagens serão idênticas às definidas anteriormente para o túnel de São Miguel da Carreira.

Tabela 40 – Espaçamento de pregagens recomendado para o túnel de Caminha (GEG)

Ponto Métrico	Rebaixamento estimado da plataforma (cm)	Espaçamento estimado entre pregagens (m)	Ponto Métrico	Rebaixamento estimado da plataforma (cm)	Espaçamento estimado entre pregagens (m)
Entrada	0,00	-	210	22,60	2,5
10	0,00		220	24,30	-
20	0,00		230	31,70	
30	0,00		240	38,40	
40	0,00		250	40,40	
50	0,00		260	41,70	
60	0,00		270	42,00	2,0
70	0,00		280	31,50	
80	0,00		290	35,50	
90	0,00		300	30,40	
100	0,00		310	29,40	
110	0,00		320	29,40	2,5
120	0,00		330	29,50	
130	8,00		340	29,20	
140	11,80		350	28,70	
150	15,50		360	28,90	
160	14,80		370	28,70	
170	16,70		380	26,90	
180	18,20		390	24,00	
190	19,70		400	20,10	
200	20,80	2,5	Saída	14,70	

Soluções de reforço para zonas não revestidas:

Para além das soluções já apresentadas para o túnel de Sta. Lucrecia, neste caso em particular, será preciso avaliar a necessidade da execução de mais um nível de pregagens posicionado já na zona de rebaixamento da plataforma no lado direito, nomeadamente entre os pontos métricos 230 e 270 (Fig.75). Essa avaliação terá de ser analisada e aprovada pela Fiscalização. A serem executadas, as pregagens terão exactamente as mesmas características daquelas que serão executadas ao nível do hasteal.

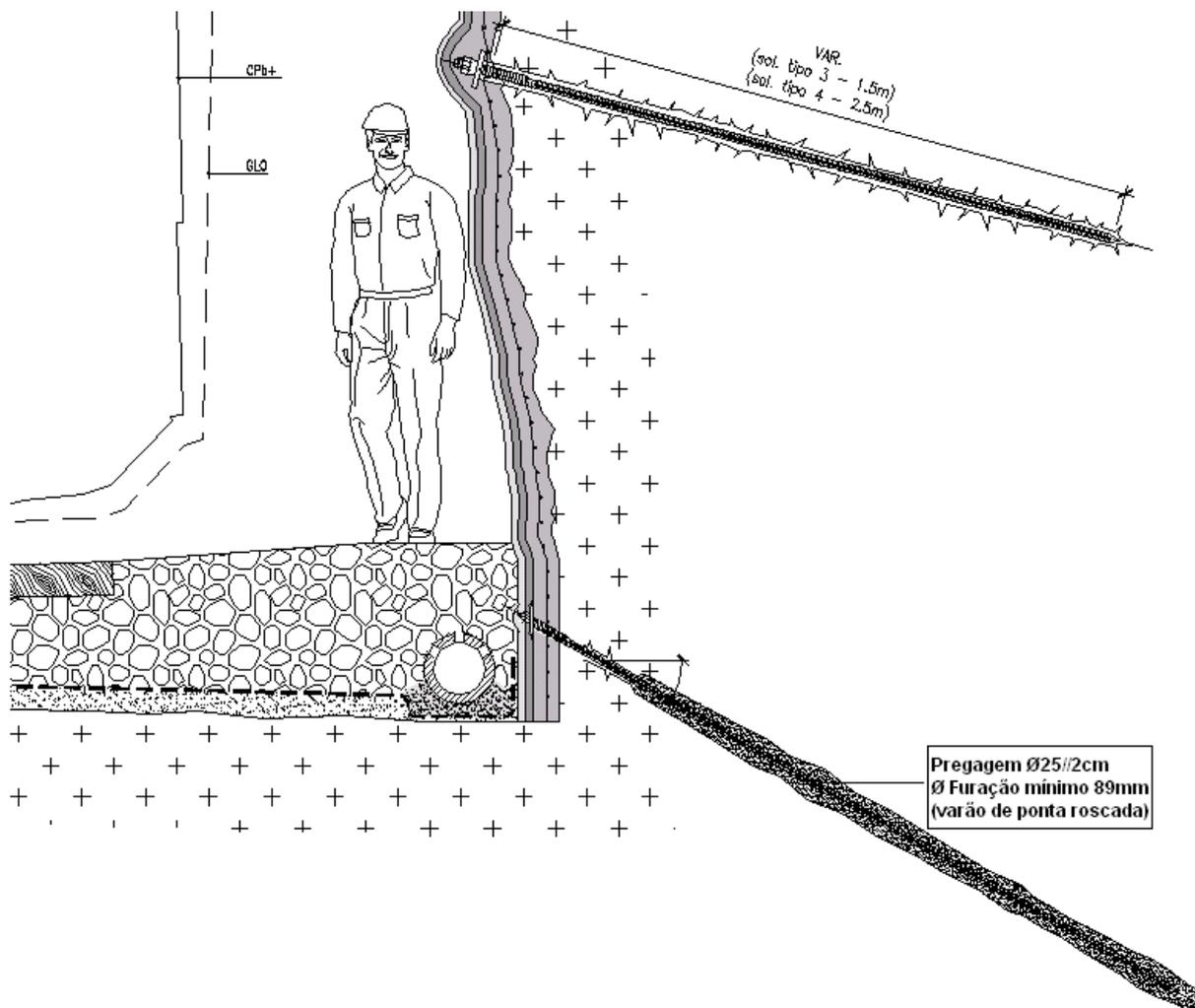


Fig.75 – Maciço longitudinal pregado com dois níveis de pregagens (GEG)

Nas secções não revestidas será sempre preferível aproveitar o facto do vão ser folgado, ou seja, de existir uma largura razoável lateralmente às travessas de madeira, para assim minorar o desmorte de rocha junto dos hasteais. Esta solução apenas será válida se a mesma não provocar a deslocação do sistema de drenagem longitudinal para a área de influência da subestrutura ferroviária.

Nestes casos, se o maciço se apresentar estável:

- ✓ Será dispensada a execução de quaisquer pregagens adicionais e eventualmente será descida a cota da pregagem intermédia do hasteal e;

- ✓ Será adoptada uma escavação mais afastada do hasteal (Fig.76), eventualmente protegida com uma camada de 5cm de betão projectado caso o desmonte provoque irregularidades e cavidades consideráveis.

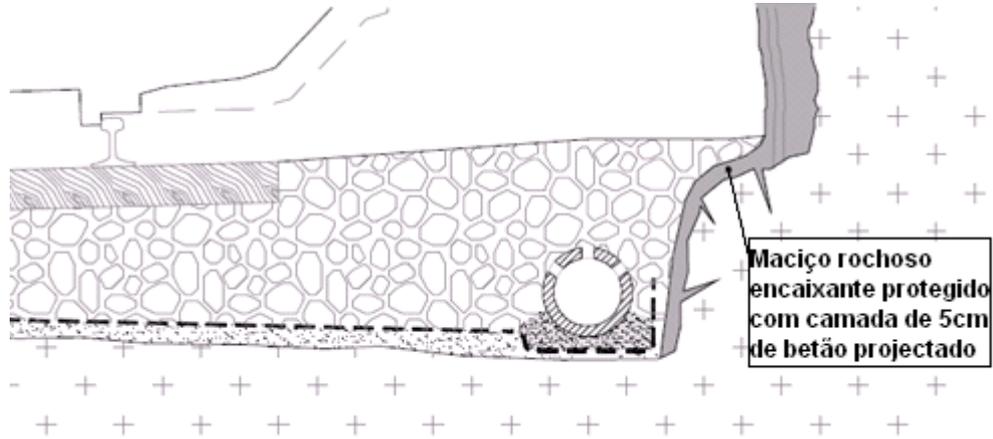


Fig.76 – Escavação afastada do hasteal (GEG)

De acordo com as instruções da Fiscalização, deverá proceder-se à verificação e à validação destas soluções em obra, podendo até justificar-se o ajuste nas soluções, nomeadamente aligeirando o comprimento de selagem.

#### Soluções de reforço para zonas revestidas:

Quanto às soluções de reforço para as zonas revestidas, estas são semelhantes às que foram definidas anteriormente para o túnel de São Miguel da Carreira (Fig.72).

#### 4.5. SISTEMA DE DRENAGEM AO NÍVEL DA PLATAFORMA

Após executado o rebaixamento da plataforma será necessário reformular todo o sistema de drenagem longitudinal. O actual sistema de drenagem existente consiste na solução de drenos enterrados em ambos os lados.

Seguidamente apresentar-se-á a solução preconizada para os quatro túneis em análise, Fig.77.

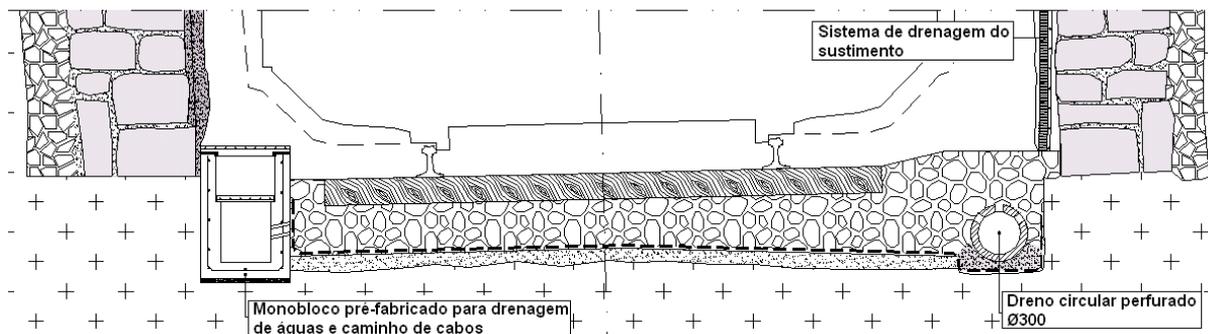


Fig.77 – Solução de referência para o sistema de drenagem longitudinal (GEG)

A drenagem ao nível da plataforma será materializada pela colocação:

- (1) No lado esquerdo de **monoblocos pré-fabricados em betão armado** com furos protegidos por geotêxtil (do tipo *Polyfelt TS 50* com peso de 200g/m), de forma a assegurar uma caixa de caminhos de cabos e a drenagem das águas que atravessam o túnel, a plataforma e as captadas pelos sistemas de drenagem do sustimento (Fig.78).

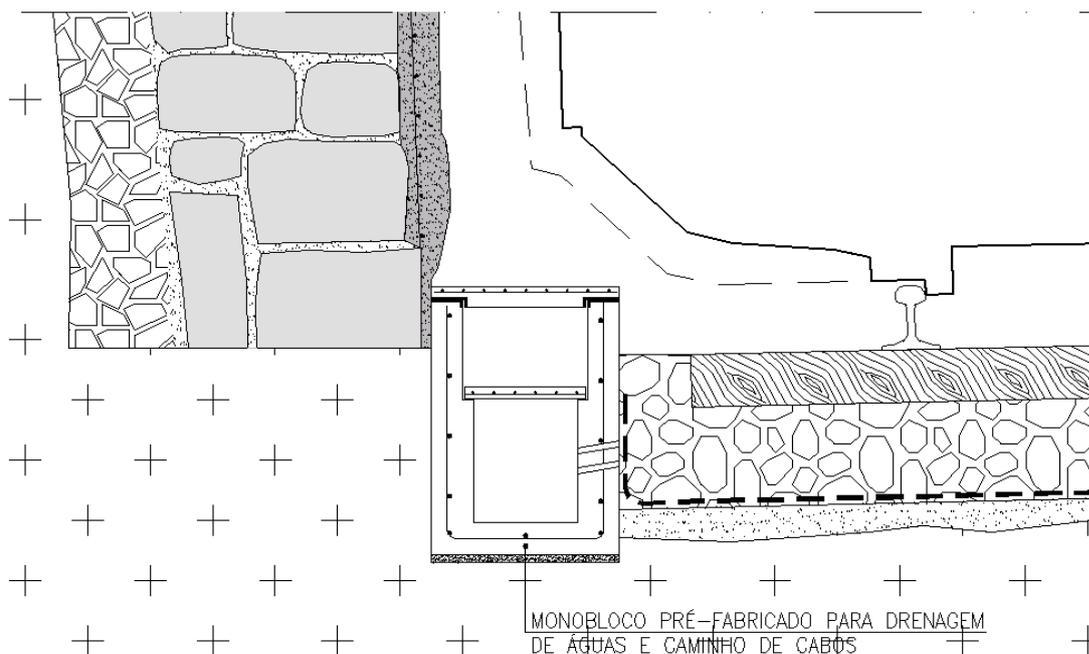


Fig.78 – Monobloco pré-fabricado em betão armado para drenagem de águas e caminho de cabos (GEG)

Nalguns casos os monoblocos por si só constituirão e proporcionarão a protecção necessária à soleira do hasteal esquerdo, devendo o preenchimento do espaço existente entre os monoblocos e os hasteais ser realizado com o bombeamento de uma argamassa forte. Neste caso a superfície a reforçar deverá ser previamente preparada (antes do bombeamento de betão), removendo quaisquer materiais soltos ou fragmentos de rocha desgarrados, recorrendo-se a água e areia ou ar sob pressão, se tal for necessário.

O monobloco teve como base uma solução já aplicada noutros túneis ferroviários e apresenta-se como sendo um elemento integrado de drenagem e caminho para cabos (Fig.78 e 79).

As águas captadas e recolhidas pelos canais e telas colocadas no novo revestimento, serão descarregadas directamente no interior do monobloco através dos negativos pré-definidos nas tampas de betão.

Para a colocação do monobloco será necessário proceder-se à escavação lateral do balastro e da base da plataforma. Um novo alinhamento da via associado a um rebaixamento e desguarnecimento parcial (preliminar) de balastro poderá facilitar as operações de colocação dos monoblocos.

A colocação dos monoblocos deverá ser devidamente precedida e acompanhada pelos escoramentos e procedimentos necessários com recurso, por exemplo, a painéis de madeira suportados por varões de aço cravados na plataforma e fixados por esticadores de cofragem, conforme é descrito no anexo A4.

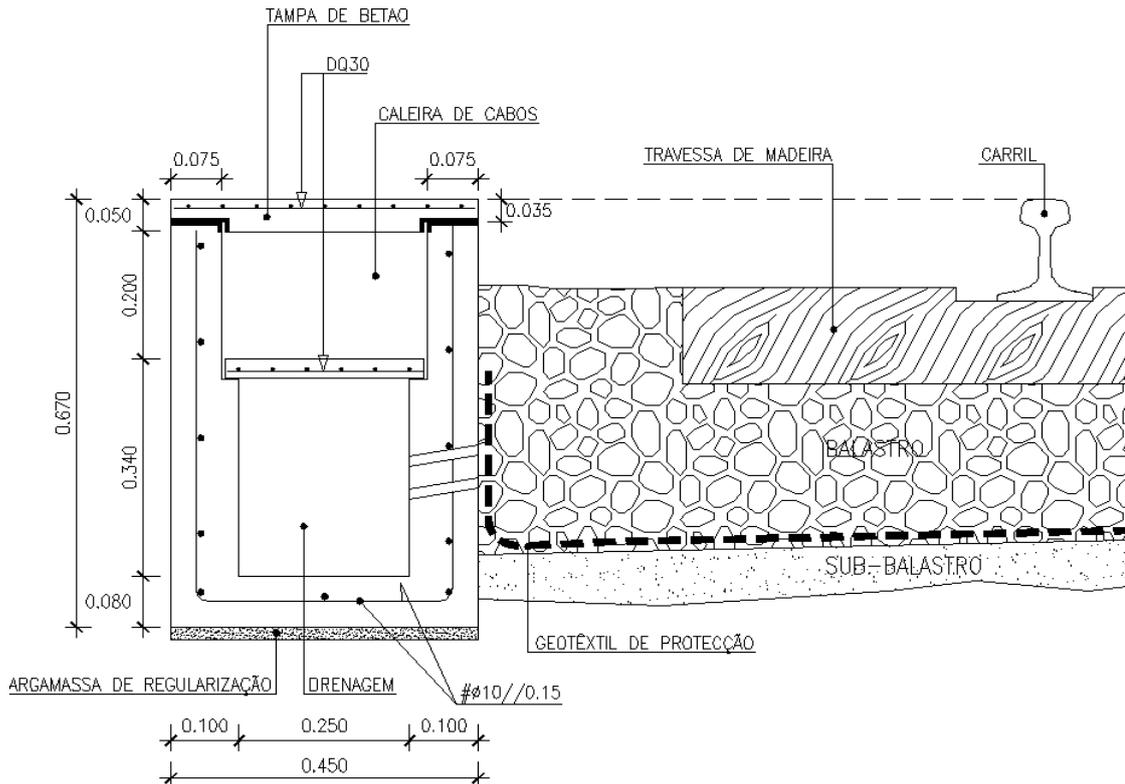


Fig.79 – Monobloco pré-fabricado em betão armado para drenagem de águas e caminho de cabos (pormenor), (GEG)

- (2) No lado direito de um **dreno longitudinal** perfurado com aproximadamente 300mm de diâmetro interior a permanecer enterrado ao nível do leito da plataforma e encostado à base do hasteal. Deverão ser utilizados tubos circulares de dupla parede corrugados exteriormente e com superfície interior lisa do tipo *Duralight* da *Fersil* ou similar. A regularização da base de assentamento será empreendida com colocação de uma camada mínima de 5cm de betonilha (betão pobre) com 200kg de cimento por metro de argamassa. A perfuração dos drenos deverá ser de acordo com o especificado no Caderno de Encargos. Os geotêxteis serão do tipo *Polyfelt TS 50*, não-tecidos, agulhados e com elevadas resistências a danos de instalação, (Fig.80).

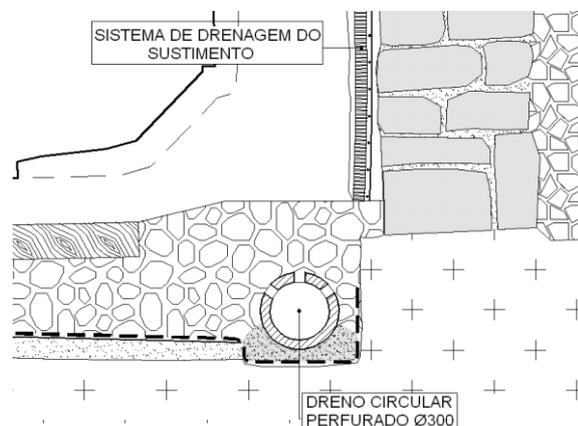


Fig.80 – Dreno Longitudinal (adapt. de GEG)

Dada a tipologia de dispositivo que se pretende adoptar no lado esquerdo não serão executadas caixas de visita, pois o sistema é todo ele acessível, bastando levantar as tampas de betão armado. No lado direito será colocada uma caixa de visita pré-fabricada a cada 25m, tapada superiormente, devendo o dreno longitudinal apresentar-se em ½ cana nos respectivos trechos percorridos no interior do monobloco.

A drenagem na plataforma no interior do túnel espera-se reduzida, no entanto, o dreno longitudinal é perfurado e o monobloco estará dotado de furos protegidos por geotêxtil que assim farão o encaminhamento das águas da plataforma para a drenagem lateral, providenciada pelos elementos pré-fabricados. Se nos períodos de execução destes trabalhos afluírem águas nas valetas existentes que possam complicar ou mesmo comprometer os trabalhos no interior do túnel, deverão ser executados desvios ou, se necessário, um poço de bombagem a montante do escoamento de modo a captar e a desviar convenientemente as águas. Não havendo alternativa, o desvio poderá ser efectuado ao longo do túnel de forma entubada em toda a sua extensão e sem que isso acarrete interferências com a circulação ferroviária. Se no fundo das escavações a serem executadas no interior do túnel afluir água, a mesma deve ser bombeada para jusante do escoamento com a potência apropriada e aplicando os chupadouros fora da zona directa de trabalho.

Colocadas as peças nas suas posições correctas, será executada a selagem das juntas com argamassa de cimento e areia ao traço 1:4.

As inclinações longitudinais da drenagem deverão ter em conta a nova rasante da via. Assim, esta questão tem de ser avaliada para cada caso:

- Para o **túnel de São Miguel da Carreira** a pendente é unidireccional no sentido dos quilómetros crescentes e varia entre 1,0% e 2,0% ao longo da intervenção. No interior do túnel a via apresenta uma inclinação de aproximadamente 1,5%. À saída do túnel a nova rasante não forma qualquer ponto baixo, sendo apenas necessário ajustar as valetas de drenagem exteriores de acordo com o perfil apresentado pela via até cerca de 100m a seguir à saída do túnel. A inclinação da drenagem a montante e a jusante do túnel deverá variar de acordo com o perfil longitudinal da via.
- Para o **túnel de Tamel** a pendente é bidireccional, sendo o ponto alto localizado ao ponto métrico 560. As inclinações variam entre 0,90 e 1,1% no ramo que pende para a entrada do túnel e entre 0,03 e 0,5% no ramo que pende para a saída. O valor de 0,03% corresponde exactamente à zona de saída do túnel onde a nova rasante forma um ponto baixo, sendo por isso necessário ajustar a drenagem exterior de modo a dar continuidade ao escoamento.
- Para o **túnel de Sta. Lucrecia** a pendente é unidireccional no sentido dos quilómetros crescentes e é sempre ligeiramente superior a 1,0% no interior do túnel. À saída do túnel a nova rasante não forma qualquer ponto baixo, sendo apenas necessário ajustar as valetas de drenagem exteriores de acordo com o perfil apresentado pela via até cerca de 100m da boca de saída do túnel. A inclinação da drenagem a montante e a jusante do túnel deverá variar de acordo com o perfil longitudinal da via.
- Para o **túnel de Caminha** a pendente é unidireccional no sentido dos quilómetros crescentes e varia entre 0,20% e 0,80%. À saída do túnel a nova rasante forma um ponto baixo, sendo por isso necessário ajustar a drenagem exterior de modo a dar continuidade ao escoamento.

Conforme o referido acima, para os túneis de Tamel e Caminha a drenagem exterior terá de ser ajustada de modo a dar continuidade ao escoamento, devido ao facto das respectivas rasantes formarem um ponto baixo à saída dos túneis. Para tal, deve ser executada uma trincheira drenante

longitudinal de um dos lados da via, preferencialmente no lado esquerdo devido à existência do monobloco. A trincheira drenante será constituída por um dreno perfurado do tipo *Duralight* da *Fersil* posicionado na base e na continuidade da cota do escoamento do monobloco, devendo a vala ser preenchida com material drenante até à cota necessária para serem colocadas as valetas do tipo CP. A trincheira deverá ser executada até ao ponto de saída ou de descarga mais próximo de modo a assegurar que o escoamento se proceda no sentido contrário ao do túnel. Esta situação deverá ser aferida em obra sob indicação da Fiscalização, no sentido de ser compatibilizada com a drenagem recentemente executada ou de ponderar-se a execução de um canal em peças pré-fabricadas em detrimento da trincheira e das valetas. O tipo de drenagem a projectar para o interior do túnel fica a cargo do Projectista, mas a drenagem exterior ficará a cargo do Adjudicatário.

À entrada do túnel deverá ser executada uma vala transversal na plataforma de modo a constituir uma barreira às águas, desviando-as para as valetas laterais. Na vala deverá ser materializado um esporão drenante com brita envolvida numa manta de geotêxtil.

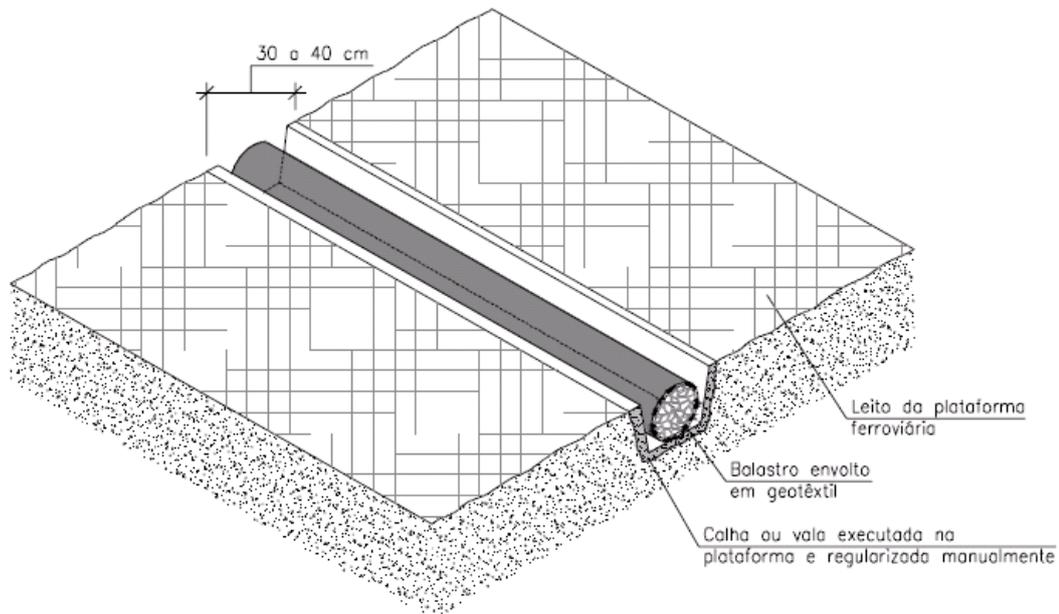


Fig.81 – Esporão drenante transversal (GEG)

São ainda feitas as seguintes recomendações:

- Para além do afrouxamento na circulação ferroviária, as escavações junto dos hasteais deverão ser efectuados com equipamentos dotados de amortecedores para minimizar a indução de vibrações na estrutura de alvenaria. Além disso, serão tomados trechos de demolição limitados e alternados e em conformidade com o estado de conservação do revestimento, a profundidade de escavação e as condições de fundação apresentadas.
- O corte de rocha junto aos hasteais deverá ser realizado com equipamento adequado às condições da obra; à falta de espaço; à necessidade de ser facilmente mobilizado e que permita um corte controlado e regular do maciço, traduzido por uma sobre-escavação o mais reduzida possível. A

extensão destes trechos de escavação deverá ser aumentada ou diminuída consoante as condições reais que ocorrerem em obra. Deverá garantir-se o imediato e permanente escoramento das escavações.

- Uma das medidas importantes consiste na limpeza e reabilitação dos órgãos de drenagem nas imediações das bocas dos túneis. Estes por vezes encontram-se parcial ou completamente colmatados e entulhados com material arrastado pelas águas e pelo próprio balastro.
- Relativamente à opção de colocar monoblocos no lado esquerdo e drenos circulares enterrados no lado direito, a mesma poderá ser alterada caso a Fiscalização assim o entenda.

A opção de colocar drenos enterrados no lado direito deixa em aberto a possibilidade de manter um dos drenos existentes, podendo eventualmente, e caso a Fiscalização o confirme, proceder à sua reparação substituindo o geotêxtil e desobstruindo o sistema ou mesmo à sua reformulação, com a reutilização dos blocos de pedra que constituem a actual drenagem para se executar o reforço na base do hasteal.

Poderá ainda dar-se o caso da Fiscalização pretender que todo o sistema existente se mantenha, empreendendo apenas o rebaixamento e a eventual adaptação e/ou substituição dos dispositivos instalados. Será ainda de referir que perante esta opção (drenos enterrados em ambos os lados) por parte da Fiscalização, haverá que ter em atenção a necessidade de prever um caminho de cabos mesmo que seja suspenso num dos hasteais (Fig.82).

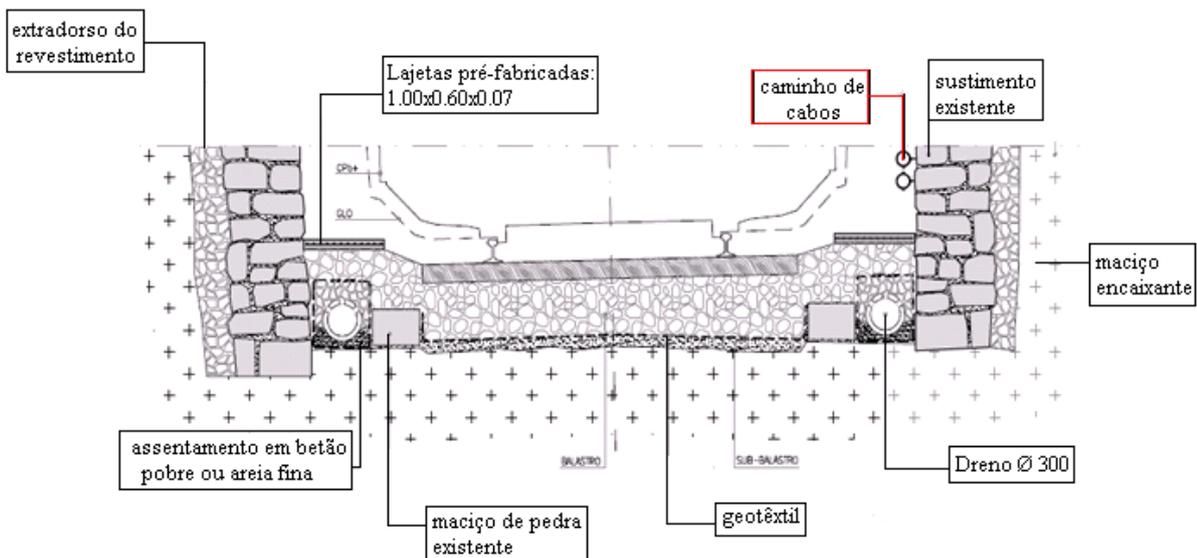


Fig.82 – Adaptação e beneficiação da drenagem existente (GEG)

- Em obra, e reconhecidas as condições reais, deverá optar-se pela solução e disposição que acarrete maiores benefícios para a infra-estrutura da ferrovia, exigindo-se sempre a confirmação e aprovação por parte da Fiscalização.

# 5

## CONSTRUÇÃO DE NICHOS E CÂMARA DE SERVIÇO

### 5.1. CONSTRUÇÃO DE NICHOS

Os nichos são executados para efeitos de segurança pessoal, isto é, são retiros no sustimento, com espaçamentos aproximadamente constantes e sinalizados, que constituirão escapatórias de refúgio para pessoas que estejam no interior do túnel aquando da eventual passagem de um comboio.

Tendo em conta que se trata de um túnel com via única, o objectivo, em termos de segurança, é o de construir os novos nichos apenas no lado esquerdo no sentido dos quilómetros crescentes (ver nota 1 de rodapé, Cap.2 ponto 2.2.2.1) e sugerir que apenas os nichos existentes do lado esquerdo sejam utilizados.

A construção dos nichos levará à necessidade de alargamentos localizados da secção transversal do túnel, obrigando, por isso, à demolição localizada do actual revestimento de alvenaria. Esta operação terá que ser executada com o máximo cuidado, de forma a não por em causa a estabilidade local do túnel.

Nalguns dos túneis apresentados está prevista a execução de nichos em zonas não revestidas, implicando que haja um método construtivo diferente para estas zonas em relação àquelas em que existe revestimento em alvenaria.

De seguida apresentam-se os pormenores construtivos dos nichos.

- **Geometria, caracterização, drenagem, sinalização e posicionamento dos nichos**

Serão constituídos lateralmente por paredes verticais de 25cm de espessura, apresentando uma largura interior de 2,0m. O tecto dos nichos será constituído por um arco com 25cm de espessura, fazendo variar a altura interior entre 2,0 e 2,5m. A profundidade interior do nicho será de 1,0m, no mínimo.

A soleira de cada nicho inclinará no sentido da via-férrea e a sua menor cota será a mesma da cota do passeio a ela contíguo (tampa do monobloco). Esse passeio, destinado à circulação de peões, ficará de nível com o carril mais próximo e será materializado com recurso a lajetas pré-fabricadas em betão armado, constituindo também as tampas do sistema de drenagem a ser implementado ao nível da base do hasteal esquerdo.

Toda a estrutura do nicho e necessários elementos de sustentação provisória serão posicionados em função da cota do carril de projecto, de forma garantir o nivelamento e a continuidade entre a laje térrea dos nichos e os passeios longitudinais a eles contíguos.

Os nichos deverão estar distanciados entre 40 a 50m, conforme a figura abaixo.

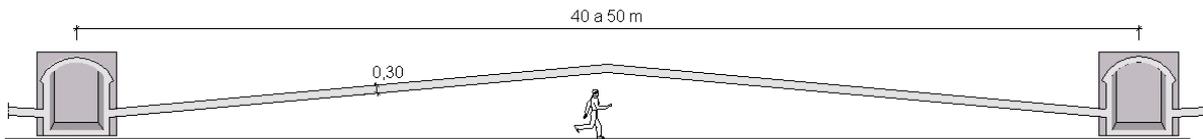


Fig.83 – Distância recomendada entre nichos (GEG)

- **Sistema de drenagem dos nichos**

O sistema de drenagem dos nichos consiste em duas bandas transversais do tipo *Delta* PT com cerca de 30cm, sendo estas constituídas por uma película fina de PEAD e uma malha soldada incorporada. Estas prescrições poderão ser reajustadas e novamente aferidas em obra caso as condições ocorrentes assim o exijam.

- **Sinalização**

Todas as paredes dos nichos a serem executadas serão pintadas com cor branca, bem como uma cercadura, a eles circunscrita, com a largura de 0,30m.

No caso dos nichos existentes (tanto no lado esquerdo como no lado direito) será efectuada uma pintura no interior dos mesmos e na moldura de cantaria que se encontra ligeiramente saliente relativamente ao alinhamento do hasteal. Apenas no hasteal esquerdo e entre todos os nichos deverá existir uma faixa de cor branca com 0,30m de largura constante, destinada a indicar qual dos nichos é que se encontra mais perto.

A tinta a utilizar será reflectora, à base de borracha clorada modificada, com esferas de vidro reflectoras incorporadas, do tipo CIN Ref. 59250 BC MPRX. A tinta, antes de ser aplicada, deverá ser aprovada pela Fiscalização.

Serão aplicadas, no mínimo, duas demãos para que as camadas cubram perfeitamente as superfícies e apresentem espessura uniforme.

A pintura não pode ser realizada sobre superfícies molhadas ou húmidas.

- **Recomendações gerais:**

Os nichos existentes serão sujeitos a limpeza e, caso seja necessário, a pequenas reparações. Será também efectuado o alinhamento e a regularização ao nível da soleira.

A ordem de execução dos nichos ficará ao critério do Adjudicatário, já que tal dependerá da gestão que quiserá impor às suas frentes de trabalho.

É recomendada a execução integral de um primeiro nicho de modo a constituir um ensaio preliminar de todo o processo construtivo preconizado.

Qualquer pintura será precedida de limpeza da superfície para retirar poeiras, elementos soltos e gorduras.

- **Nichos existentes e a construir em cada um dos túneis em análise**

**Para o túnel de São Miguel da Carreira**

Nichos a executar:

Serão executados quatro nichos, todos eles localizados no lado esquerdo do túnel, mais especificamente aos pontos métricos 45, 90, 135 e 220. Todos os nichos serão executados em zonas revestidas a alvenaria, pois este túnel é todo ele revestido.

Nichos existentes:

- ✓ No lado esquerdo – um, ao ponto métrico 175;
- ✓ No lado direito – um, ao ponto métrico 87.

Ambos os nichos apresentam as molduras salientes relativamente ao revestimento do túnel, estando o seu interior totalmente revestido em cantaria.

**Para o túnel de Tamel**

Nichos a executar:

Serão executados 10 nichos, todos eles localizados do lado esquerdo do túnel, mais especificamente aos pontos métricos 40, 130, 230, 330, 430, 530, 635, 730, 830 e 930.

Todos os nichos serão executados em zonas revestidas a alvenaria.

Há que ter em conta a execução de uma câmara de serviço ao ponto métrico 480 que também funcionará como nicho.

Nichos existentes:

- ✓ No lado esquerdo - nos pontos métricos 80, 175, 285, 380, 585, 680, 780 e 880, totalizando oito nichos;
- ✓ No lado direito - nos pontos métricos 40, 115, 230, 335, 475, 530, 630, 730, 830 e 930, totalizando 10 nichos.

**Para o túnel de Sta. Lucrecia**

Nichos a executar:

- ✓ Em zonas actualmente não revestidas - ao nível do hasteal aos pontos 90 e 135, num total de dois nichos.
- ✓ Em zonas revestidas - os nichos serão executados em zonas integralmente revestidas a alvenaria, aos pontos métrico 45 e 180, num total de dois.

Nichos existentes:

- ✓ No lado esquerdo – nenhum;
- ✓ No lado direito: dois, aos pontos métricos 60 e 180.

**Para o túnel de Caminha**

Nichos a executar:

- ✓ Em zonas actualmente não revestidas - serão executados aos pontos 40, 85, 135, 180, 225 e 270, num total de seis nichos.

- ✓ Em zonas revestidas - apenas o nicho ao ponto métrico 360 será executado numa zona revestida a alvenaria.

Nichos existentes:

- ✓ No lado esquerdo - um, ao ponto métrico 309;
- ✓ No lado direito - um, ao ponto métrico 358.

• **Processo construtivo:**

- (1) Em secções revestidas

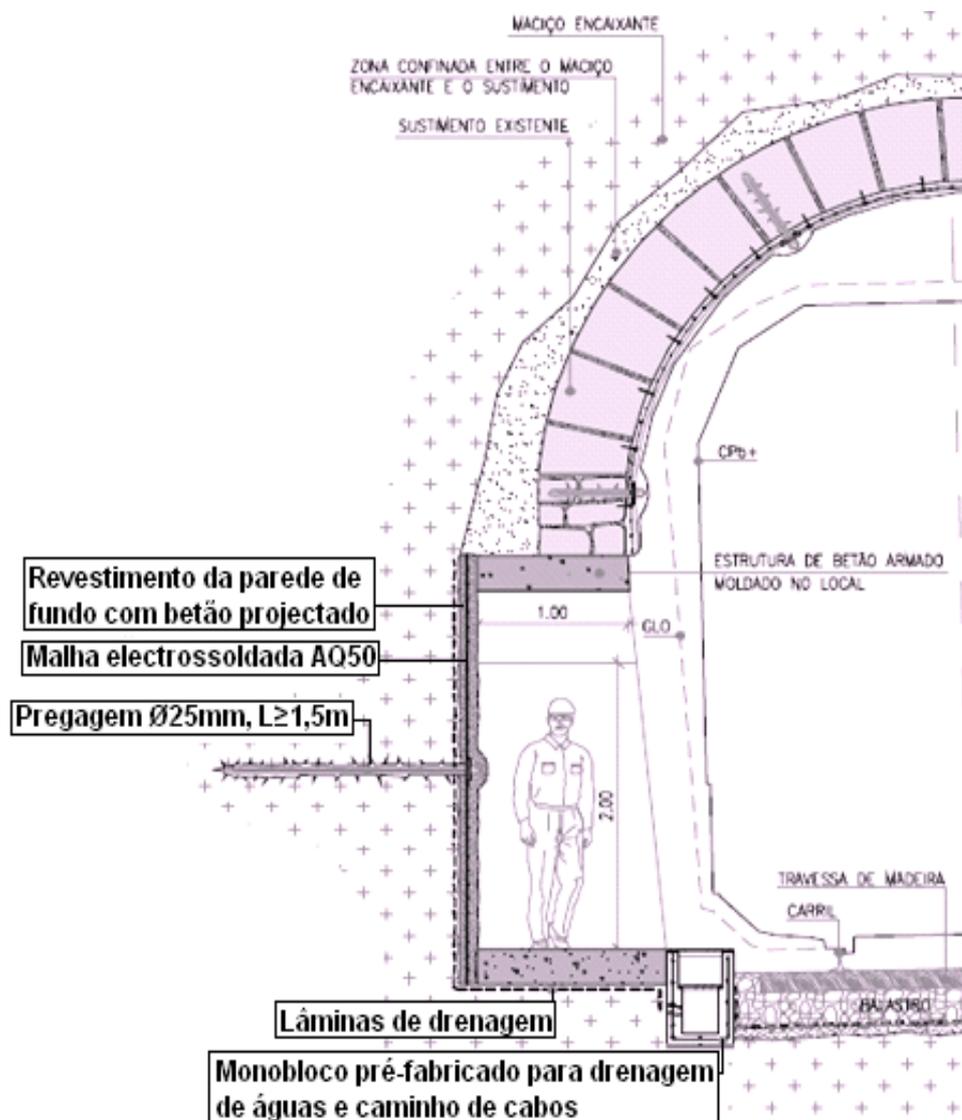


Fig.84 – Perfil transversal tipo dos nichos (GEG)



localizadas.

Será realizado o preenchimento dos vazios no extradorso da área envolvente à localização do nicho. A injeção estrutural de contacto será efectuada a baixas pressões e as caldas serão fluidas, do tipo *Albaria Iniezione 200* da *Degussa*, compostas por cal hidratada, cargas pozolânicas e areias. Esta operação terá como objectivo promover as condições de confinamento do maciço escavado com o sustimento e, de reforçar e consolidar as ligações entre os elementos que constituem a alvenaria, dotando-a de uma maior capacidade de resistência perante os trabalhos de desmonte e vibração esperada.

Para além deste tratamento geral existirão trabalhos específicos a efectuar no:

✓ **Túnel de São Miguel da Carreira**

Aos pontos métricos 45 e 90 será realizado o reforço geral do sustimento com a execução de pregagens, com a aplicação de betão projectado e a colocação de malhas electrossoldadas.

Aos pontos métricos 135 e 220, serão empreendidos tratamentos localizados do sustimento, por se tratar de zonas que apresentam degradação e erosão do sustimento ao longo do hasteal e, fissuras e juntas desguarnecidas nas abóbadas. Logo, nestes pontos será necessário, proceder-se aos tratamentos de refechamento de juntas ao nível da abóbada e à beneficiação das áreas dos hasteais que apresentam uma alvenaria com níveis de erosão profunda.

Ao ponto métrico 135 serão estabilizados os elementos da abóbada que se apresentem em equilíbrio precário e que possam apresentar riscos de desprendimento aquando do desmonte do sustimento.

A fissura na abóbada localizada aproximadamente ao ponto métrico 220 terá de ser tratada.

✓ **Túnel de Sta. Lucrecia**

Os trabalhos de desmonte serão empreendidos aos pontos métricos 45 e 180.

✓ **No túnel de Caminha**

Os trabalhos de desmonte serão empreendidos ao ponto métrico 360.

O desmonte será empreendido em duas fases:

- ✓ Em primeiro lugar, será efectuada a remoção manual dos blocos de alvenaria localizados na zona delimitada pela pintura de referência. Os blocos laterais serão cortados com disco de diamante de modo a preservar, tanto quanto possível, os blocos interceptados pela pintura de marcação.
- ✓ Posteriormente, à medida que o processo de desmonte vai avançando, o Adjudicatário deverá garantir a contenção dos materiais existentes no extradorso do revestimento. Assim, em complemento às injeções previamente empreendidas, deverá acompanhar-se o desmonte com uma imediata projecção de betão de modo a impedir quaisquer desprendimentos de materiais. Se for necessário, o Adjudicatário poderá recorrer ao escoramento da estrutura escavada. Nesse caso, deverá providenciar um sistema de escoramento ajustável, compatível com o avanço do processo de desmonte e de modo a

não constituir um estorvo à evolução dos trabalhos envolvidos. Deverão colocar-se cunhas de madeira se tal for benéfico na restrição de abatimentos ou deformações indesejadas.

O desmonte do maciço deverá ser bem acompanhado, nomeadamente por um geólogo, de modo a averiguar as reais condições do maciço, confrontando-as posteriormente com as condições admitidas em projecto.

➤ Estrutura provisória (Fig.86 e 87):

Apesar das pregagens serem provisórias serão cortadas à cabeça, permanecendo seladas definitivamente no maciço encaixante. Relativamente às características mecânicas das pregagens e das peças acessórias de aperto, estas serão em aço da classe A500.

Para os nichos será importante que o suporte e a preservação da parcela de alvenaria superior se mantenham estáveis. Para tal, serão executadas um conjunto de pregagens profundas apoiadas sobre um pórtico metálico. Assim, acima da localização do nicho e ainda abaixo da linha de nascença, serão executadas 8 pregagens roscadas de 50mm de diâmetro e 3,5m de comprimento, seladas com calda de cimento, preferencialmente sem inclinação e dispostas segundo um alinhamento horizontal entre si.

As pregagens serão apoiadas sobre um pórtico formado por 3 perfis HEB120: um, de apoio directo às pregagens posicionado horizontalmente e, os outros dois, dispostos lateralmente em posição vertical, servindo de suporte ao primeiro perfil. Cada um destes perfis laterais será amarrado ao maciço com recurso a 3 pregagens, com 25mm de diâmetro e 2,5m de comprimento, e soldado na sua extremidade superior à peça metálica horizontal. Os perfis verticais deverão assentar numa base fixa e estável, preferencialmente no próprio maciço rochoso.

A furação necessária à execução destas pregagens de suporte provisório deverá ser executada segundo um alinhamento horizontal, o mais rigoroso possível. Caso não se consiga um alinhamento regular entre as pregagens poderão ser utilizados calços metálicos, de modo a restabelecer convenientemente os apoios sobre o perfil metálico. Em alternativa, poderá ser executado um pequeno maciço em betão que sirva de sapata ao perfil metálico. A ligação entre o maciço e o perfil deverá ser materializada por uma chapa metálica com dimensões 0,150x0,150x0,018m.

As placas de fixação a serem utilizadas nos perfis verticais serão soldadas aos perfis metálicos, devendo apresentar uma calha de concavidade esférica de modo a ter em conta a eventual não perpendicularidade da pregagem relativamente ao perfil. As porcas hexagonais (sextavadas) deverão também ter uma base esférica para permitir a rotação relativamente à placa. O Adjudicatário poderá prescindir das placas de fixação caso consiga dotar os perfis metálicos de uma furação adequada que permita alguma inclinação das pregagens e recorrer aos dispositivos de aperto apropriados.

O Projectista não se opõe à reutilização destes elementos na execução dos diversos nichos neste túnel e nos restantes túneis.

Complementarmente às pregagens executadas acima da área a ser desmontada e conforme for necessário, o maciço deverá ser devidamente escorado e reforçado para permitir a execução da estrutura de betão armado em total segurança.

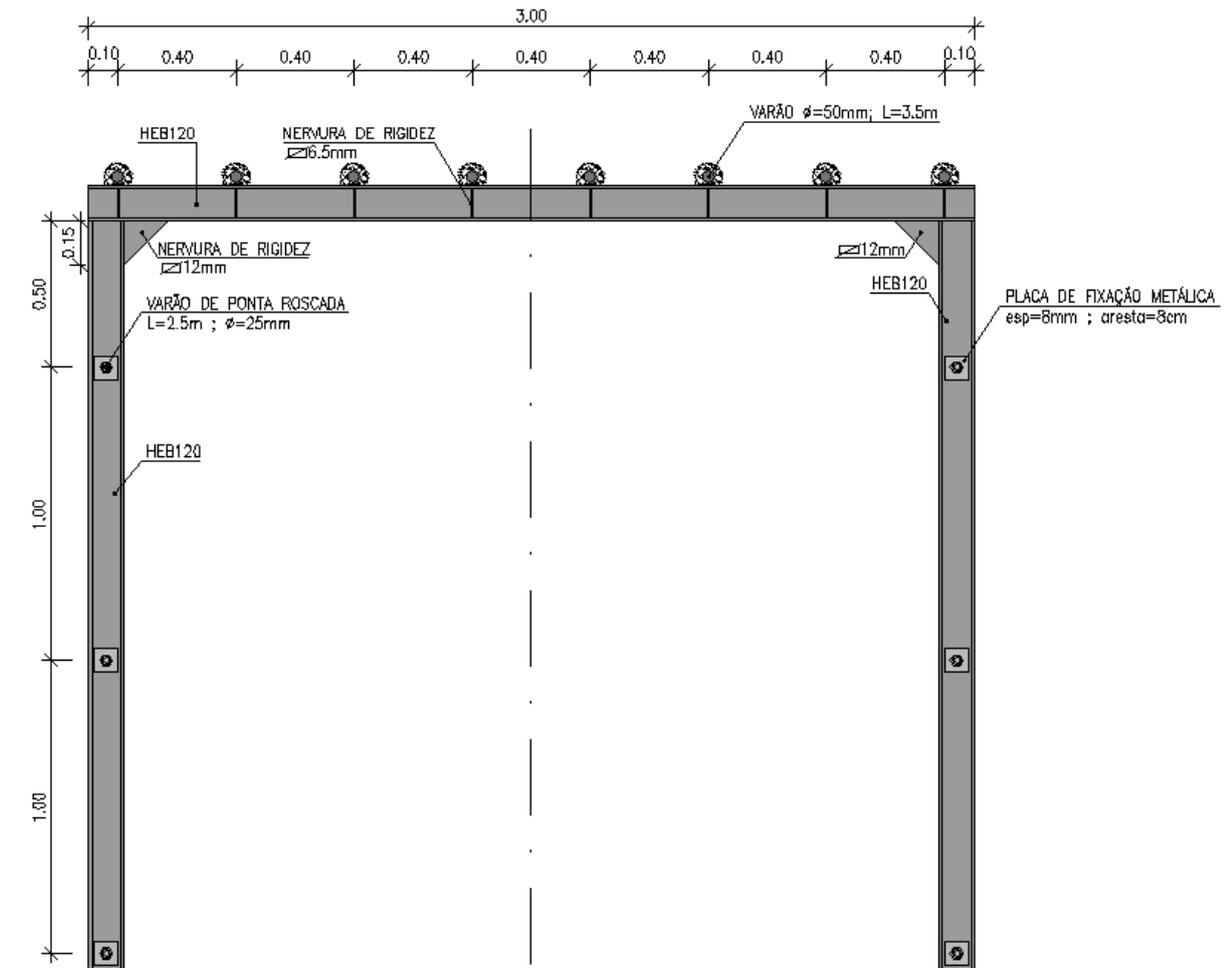


Fig.86 – Estrutura de suporte provisória, (GEG)

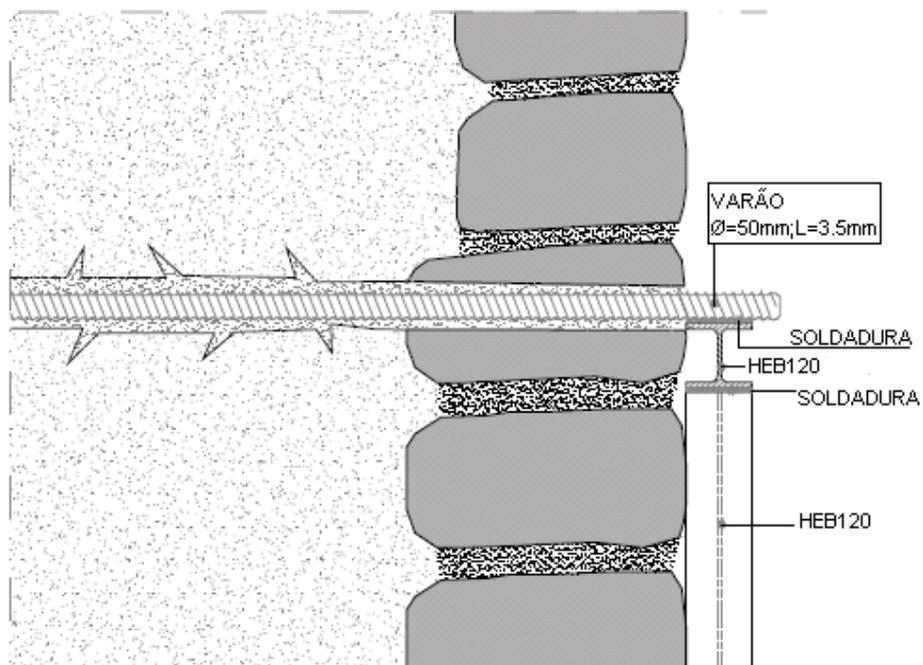


Fig.87 – Estrutura de suporte provisória (corte), (GEG)

➤ Execução do revestimento da parede de fundo

Após o desmonte do maciço será realizado o revestimento da parede de fundo da seguinte forma:

- ✓ Instalam-se as lâminas drenantes;
- ✓ Projecta-se uma primeira camada de betão de regularização com 5 cm;
- ✓ Coloca-se a malha electrossoldada AQ50;
- ✓ Executa-se uma pregagem central com pelos menos 1,5m de comprimento;
- ✓ Projecta-se a segunda camada de betão com 5cm. Esta será preparada com agregados de menores dimensões de modo a melhorar o efeito final do revestimento;
- ✓ Após a conclusão da execução da estrutura do nicho, projecta-se a terceira camada de betão de acabamento final à superfície da parede de fundo com cerca de 2cm. A necessidade de pintar o interior dos nichos poderá ser reduzida com a introdução de um aditivo cromático do tipo *Conex*, da *Degussa* ao betão de forma a dar a cor esbranquiçada. A superfície final do betão projectado não deverá ser alisada, pois poderia causar a fissuração plástica desta camada, prejudicando a qualidade do produto final.

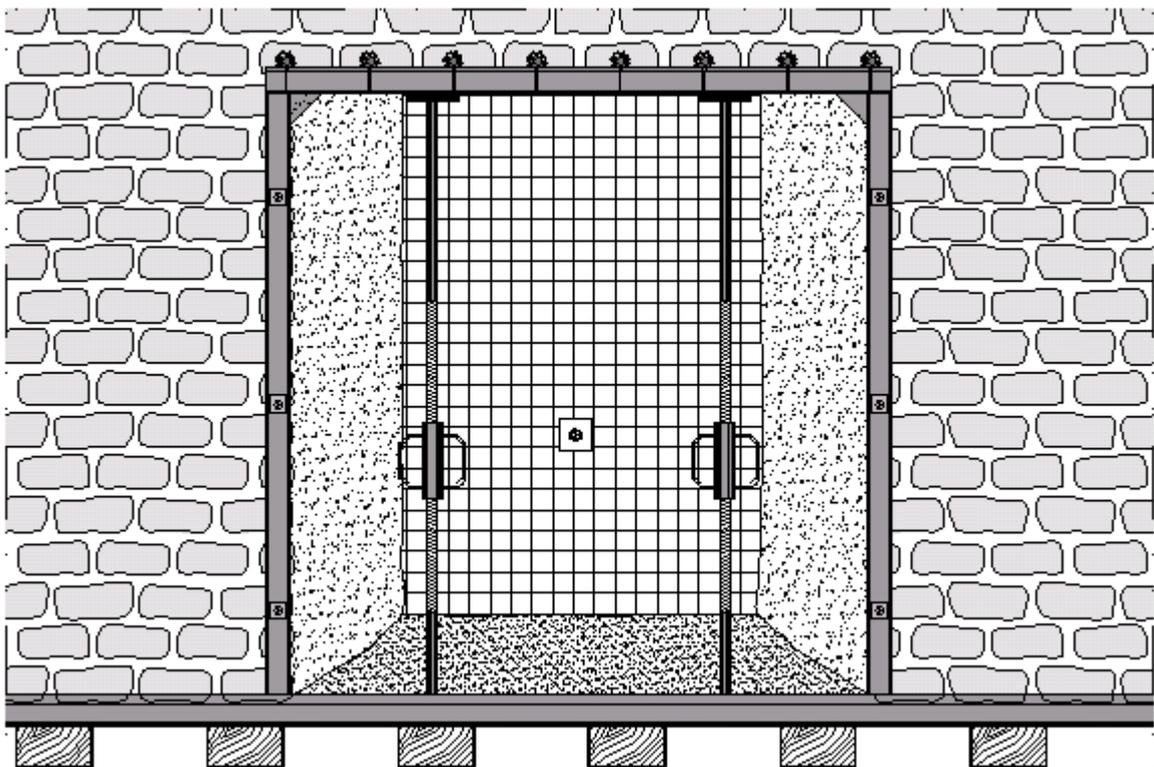


Fig.88 – Execução da parede de fundo do nicho (GEG)

O uso de betão projectado para a execução da parede de fundo do nicho justifica-se pelo facto do mesmo prescindir das cofragens convencionais, o que se torna muito vantajoso na sequência de trabalho pretendida. É recomendável que a superfície a revestir com betão

projectado seja tão regular quanto possível.

➤ Execução das paredes laterais e acabamento dos nichos

A betonagem das paredes laterais será precedida pela execução da soleira do nicho (laje térrea).

Face à posição desfavorável das paredes laterais do nicho, a execução destas será realizada adoptando a metodologia convencional de betão armado moldado no local (método ascendente) com recurso a uma cofragem concebida para esta obra em particular. Caso se preveja que a betonagem não garanta o preenchimento de todo o espaço localizado entre a cofragem e o cabouco executado na estrutura e no maciço, recomenda-se o recurso a betão bombeado. Possivelmente, será necessário proceder-se ao posterior preenchimento de alguns espaços vazios remanescentes entre o extradorso superior da nova estrutura betonada e o maciço encaixante. Essa tarefa será empreendida com injeções repetidas de caldas pelo topo da estrutura, segundo os mesmos procedimentos já atrás descritos.

A restante estrutura em arco dos nichos será betonada após executadas as paredes laterais.

Garantidos os prazos mínimos de descofragem para cada nicho, poderão ser removidos os perfis metálicos, as placas de fixação, as roscas e poderão cortar-se as cabeças das pregagens.

Seguidamente, será realizado o reboco no perímetro envolvente ao nicho, de modo a emendar a transição entre a linha de desmonte, a nova betonagem e a alvenaria corrente.

Finalmente e numa fase posterior aos restantes trabalhos de reparação a serem realizados no interior do túnel, será efectuada toda a pintura de sinalização já descrita acima.

O faseamento construtivo é apresentado no anexo A5.

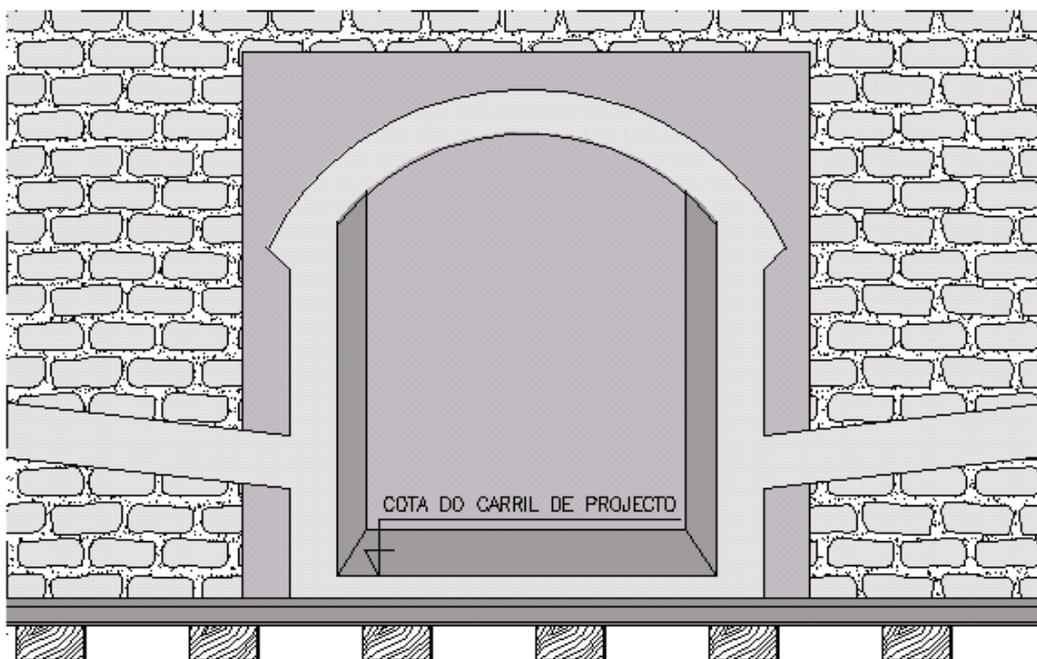


Fig.89 – Aspecto final do nicho (GEG)

➤ Recomendações:

Os procedimentos de trabalho merecerão todo o rigor possível, sendo certo que a execução dos nichos induzirá interferências na estrutura. Quaisquer interferências deverão ser cuidadosamente controladas e, se necessário, posteriormente corrigidas.

Deverá ser atribuída a máxima atenção aos elementos de suporte provisório colocados no intradorso do túnel, porque, conforme já foi referido, é fundamental que durante a obra se garanta o cumprimento do contorno de referência CRC/CPb+.

(2) Em secções não revestidas

➤ Estrutura provisória

Nas zonas não revestidas dos hasteais os sistemas de sustentação provisória para a execução dos nichos foram concebidos de forma diferente em relação aos preconizados para as zonas revestidas.

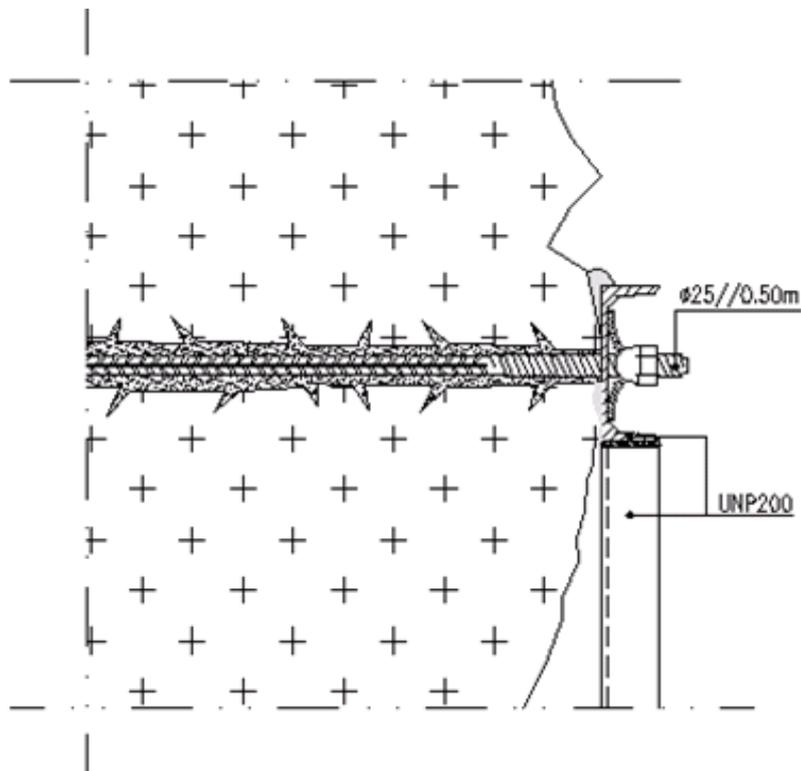


Fig.90 – Corte transversal da estrutura de suporte provisória para secções não revestidas (GEG)

Uma vez que todas as extensões não revestidas dos túneis serão sujeitas a intervenções de drenagem e de reforço, tal será considerado e aproveitado de modo a contribuir na sustentação provisória da operação de desmonte a ser empreendida.

As soluções já descritas de estabilização geral prevêm a execução de uma malha aproximadamente quadrada de pregagens com 25mm de diâmetro, espaçadas de 2,0m. Nos trechos interceptados pelos nichos serão efectuados ajustes no afastamento longitudinal das

pregagens localizadas na metade esquerda da secção do túnel. As pregagens localizadas a meia altura do hasteal e nos rins passarão a ter um afastamento de 1,0m entre si, enquanto que as localizadas ao nível da nascença serão executadas com afastamento de 0,5m entre si e segundo um alinhamento ligeiramente inferior. A estas últimas será associado um perfil metálico UNP200, ficando este amarrado ao maciço e eventualmente apoiado e soldado em ambas as extremidades a mais 2 perfis UNP200, posicionados verticalmente segundo o alinhamento das 2 pregagens laterais executadas a meia altura do hasteal. As outras duas pregagens a serem executadas já na zona interior do nicho, a meia altura do hasteal, apenas serão instaladas após completado o desmonte.

➤ Sequência de trabalho:

- ✓ Inicialmente, será efectuada a marcação do contorno necessário ao desmonte do maciço;
- ✓ Efectua-se a primeira projecção de betão na área exterior à marcação anterior;
- ✓ Colocam-se e fixam-se as malhas electrossoldadas;
- ✓ Executam-se as pregagens e o pórtico metálico;
- ✓ Projectam-se as camadas subsequentes de betão;
- ✓ Procede-se ao desmonte do maciço rochoso;
- ✓ Executa-se a parede de fundo;
- ✓ Executa-se o elemento estrutural em betão armado;
- ✓ Finalmente, executam-se os acabamentos e as pinturas de sinalização, conforme já foi descrito anteriormente.

O facto de serem empreendidas medidas de sustentação provisória e de reforço previamente às operações de desmonte, não impede que estas sejam efectuadas com todo o cuidado e acompanhadas em contínuo, de modo a detectar possíveis indícios de instabilidade.

O Adjudicatário poderá eventualmente propor que os procedimentos de sustentação provisória sejam aligeirados no caso das condições locais do maciço rochoso e os procedimentos de desmonte a serem empreendidos garantam a total estabilidade do desmonte e a segurança da obra.

## **5.2. CONSTRUÇÃO DE CÂMARA DE SERVIÇO**

Como o túnel de Tamel tem um comprimento superior a 600m será necessário executar uma câmara de serviço para apoio a pequenas reparações no interior do túnel. A câmara de serviço funcionará também como nicho. Esta será construída a meio da sua extensão, aproximadamente ao ponto métrico 480, no lado esquerdo.

A construção da câmara de serviço obriga à demolição localizada do maciço rochoso encaixante. Esta operação terá que ser executada com o máximo cuidado de forma a não por em causa a estabilidade local do túnel.

De seguida apresentam-se os pormenores construtivos da câmara de serviço.

➤ **Geometria e posicionamento**

Será constituída lateralmente por paredes verticais, apresentando uma largura interior de 4,0m. O tecto será constituído por um arco com espessura variável, com uma altura interior entre 1,85 e 2,5m. A profundidade interior da câmara de serviço será de 2,50m.

A soleira inclinará no sentido da via-férrea e a sua menor cota será a mesma do passeio a ela contíguo. Esse passeio, destinado à circulação de peões, ficará de nível com o carril mais próximo e será materializado por lajetas pré-fabricadas em betão armado que constituirão também as tampas do sistema de drenagem a ser implementado ao nível da base do hasteal esquerdo.

Toda a estrutura da câmara e elementos de sustentação provisória serão posicionados em função da cota do carril de projecto, por forma a garantir o nivelamento e a continuidade entre a laje térrea da câmara e os passeios longitudinais a eles contíguos.

➤ **Sinalização**

Todas as paredes da câmara serão pintadas com cor branca, idêntico ao já descrito para os nichos.

➤ **Drenagem**

O sistema de drenagem da câmara será idêntico ao preconizado para os nichos

➤ **Desmorte**

Os trabalhos de desmorte deverão ser precedidos de eventuais reparações localizadas que se verifiquem necessárias.

Será efectuada uma marcação com tinta da parcela de maciço a ser desmontada.

➤ **Estrutura de suporte provisória**

Executar-se-ão 15 pregagens posicionadas horizontalmente 40cm acima do contorno de desmorte, previamente assinalado na rocha conforme se referiu. O apoio deste conjunto de pregagens será um pórtico constituído por perfis metálicos HEB140, devidamente fundados, soldados e reforçados. Os perfis verticais deverão assentar numa base fixa e estável, preferencialmente no próprio maciço rochoso. Em alternativa, poderá ser executado um pequeno maciço em betão que sirva de sapata ao perfil metálico.

As pregagens terão 50mm de diâmetro e comprimento de 4,0m. A selagem deverá ser efectuada com calda de cimento. As pregagens e as peças acessórias de aperto serão da classe A500 ( $f_{syk} = 500\text{MPa}$ ;  $f_{suk} = 550\text{MPa}$ ). A furação necessária à execução destas pregagens de suporte provisório deverá ser executada segundo um alinhamento horizontal, o mais rigoroso possível. Caso não se consiga um alinhamento regular entre as pregagens poderão ser utilizados calços metálicos nos apoios sobre o pórtico metálico.

O Adjudicatário submeterá à prévia aprovação da Fiscalização os procedimentos complementares de sustentação provisória necessários para executar a referida câmara de serviço.

➤ **Recomendações:**

As recomendações anteriormente transmitidas para os nichos deverão também ser tidas em consideração para a execução da câmara de serviço, nomeadamente no que diz respeito:

- ✓ À garantia do cumprimento do contorno de referência CRC/CPb+;
- ✓ Ao acompanhamento das escavações de modo a reconhecer as reais condições do maciço e;

- ✓ Ao rigor nos procedimentos de trabalho.

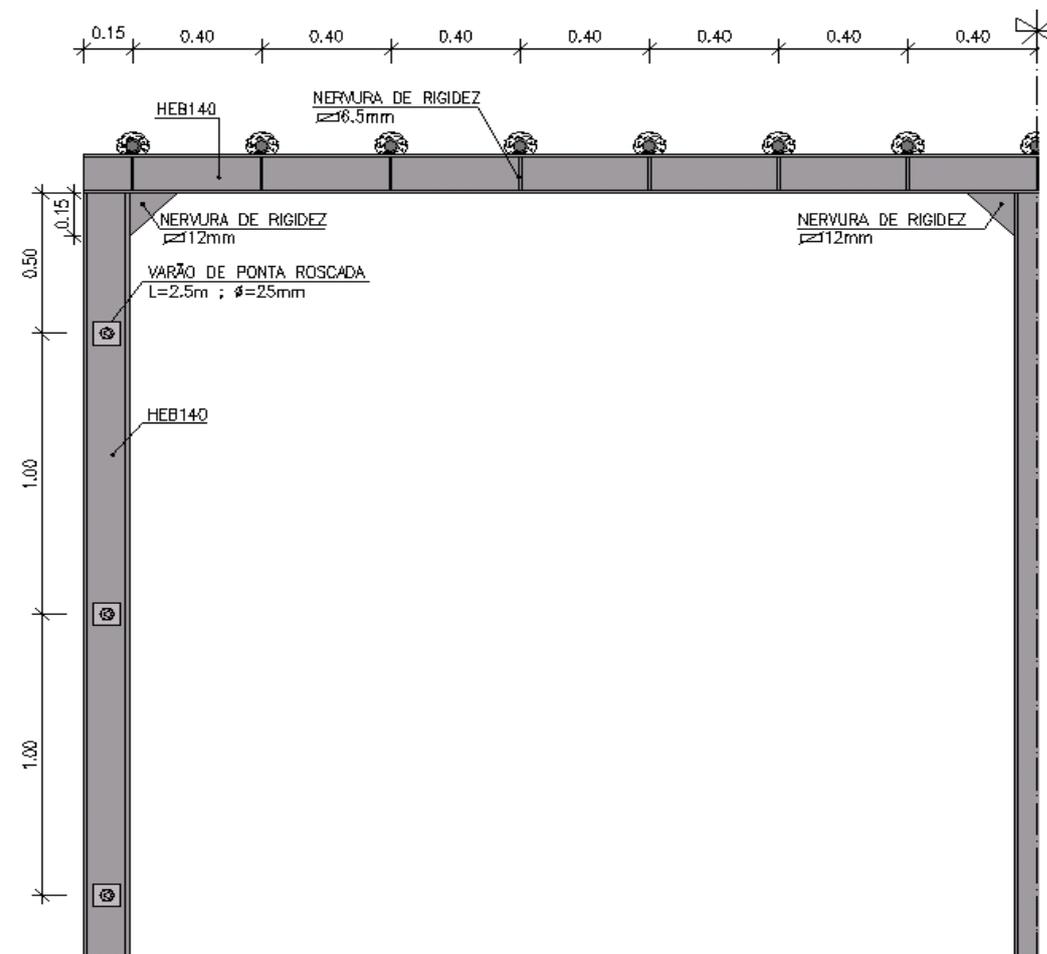


Fig.91 – Alçado do sistema de suporte provisório (GEG)

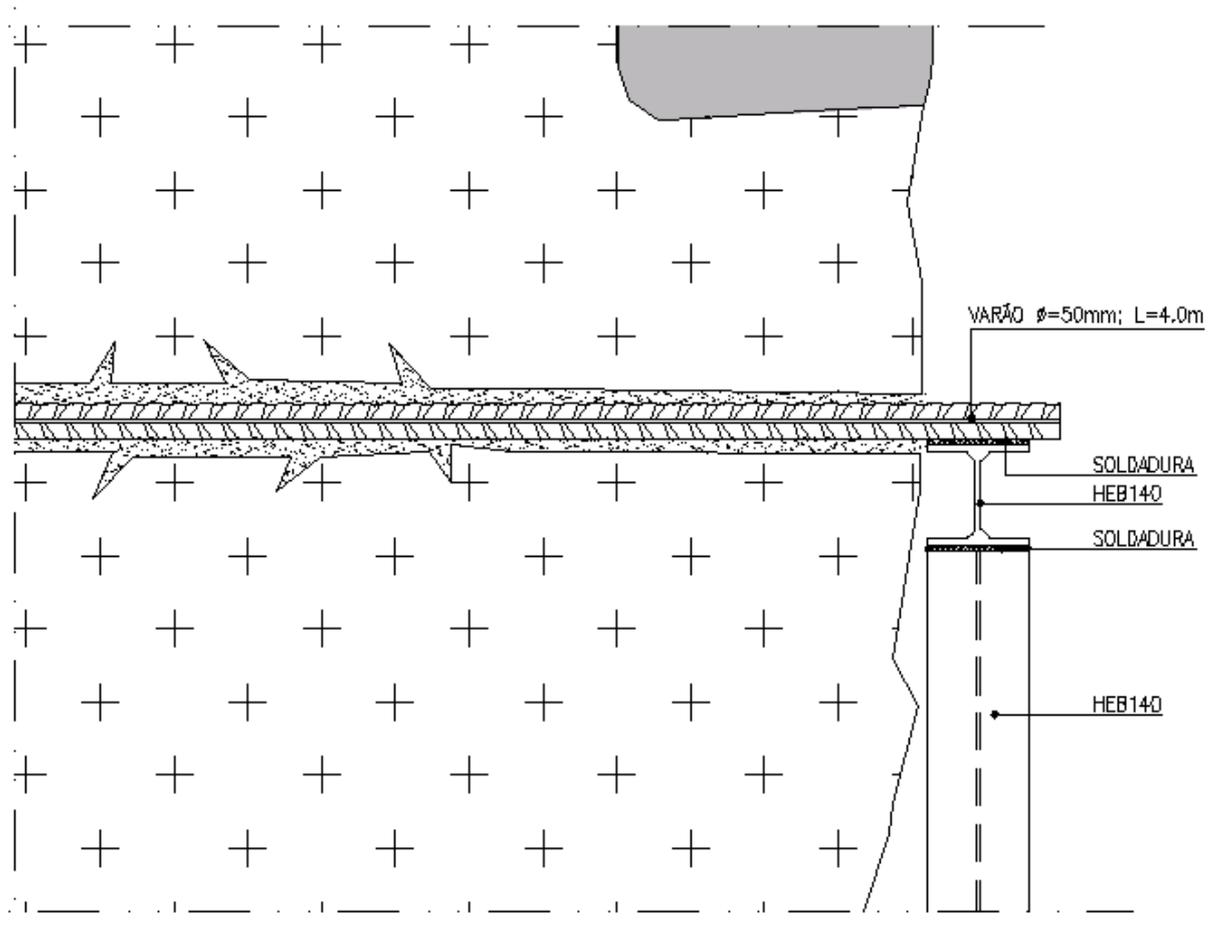


Fig.92 – Corte transversal da estrutura de suporte provisório (GEG)

### ➤ Processo de construção

A estrutura da câmara de serviço será integralmente executada em betão armado moldado no local.

Sequência de trabalhos:

- Execução da estrutura de suporte provisório.
- Início do processo de desmonte do maciço, com recurso a disco de diamante. Esta primeira fase de desmonte do maciço será realizada de forma a permitir-se apenas a execução do pórtico frontal em betão armado. Onde se verificar necessário será projectado betão de reforço e serão colocados sistemas de escoramento e suportes complementares para apoio da zona posterior do maciço encaixante.
- Armação e betonagem do pórtico;
- Escavação da restante profundidade da câmara de serviço (parede de fundo). Essa escavação será empreendida em duas fases distintas. Adopta-se este faseamento construtivo com o fim de permitir a execução de pregagens subverticais à medida que se vai avançando com o desmonte. Estão previstas 2 fiadas de 4 pregagens subverticais com 25mm de diâmetro e 3,5m de comprimento (Fig.93).
- Execução de drenos subhorizontais e instalação do sistema de drenagem no tardo e na laje

térrea.

- Garantidos os prazos mínimos de descofragem, poderão ser removidas os moldes, os escoramentos, os perfis metálicos, as placas de fixação, as roscas e poderão cortar-se as cabeças das pregagens.
- Por fim, serão empreendidos os acabamentos finais e as pinturas de sinalização (Fig.94).

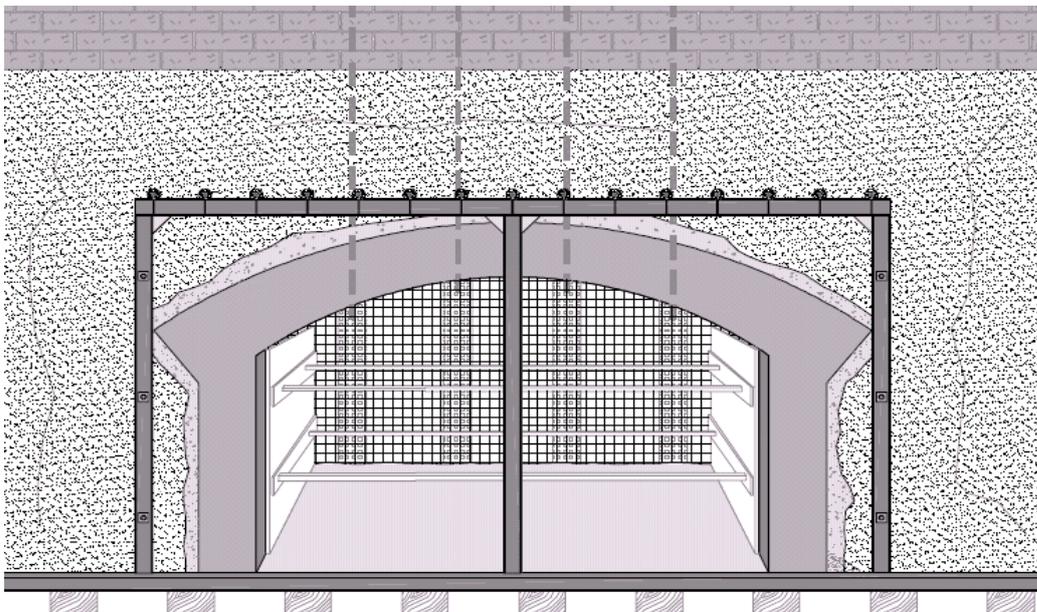


Fig.93 – Armação da parede de fundo (GEG)

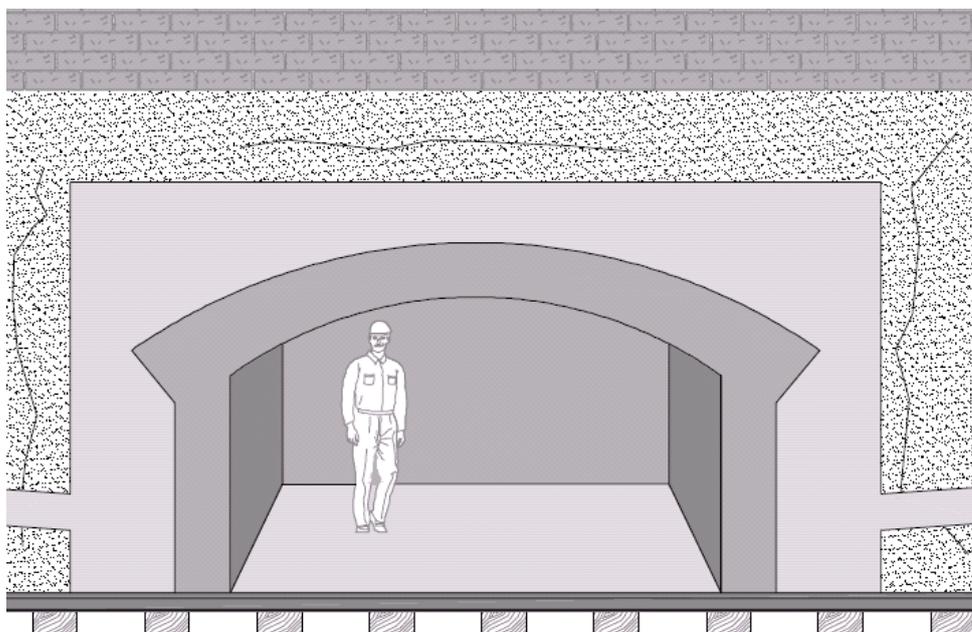


Fig.94 – Câmara de serviço - situação final (GEG)

# 6

## EMBOQUILHAMENTOS DOS TÚNEIS

### 6.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Quanto à zona exterior ao túnel e nomeadamente aos taludes de emboquilhamento, os projectos contemplam o estudo de estabilidade e de drenagem dos mesmos e também, a aplicação das respectivas medidas necessárias, evitando alterações significativas dos níveis freáticos.

Impõe-se a garantia da estabilidade global dos taludes e a implementação das medidas necessárias à eliminação de eventuais desprendimentos de materiais ou blocos rochosos que possam afectar a infra-estrutura da linha-férrea e consequentemente a circulação ferroviária.

A drenagem estendida ao exterior do túnel será realizada com a execução de caleiras de crista de talude, caixas de recepção e derivação e descidas para encaminhamento das águas para as valetas de pé de talude.

Seguidamente apresentar-se-ão os tratamentos a efectuar para cada um dos túneis.

### 6.2. TRATAMENTO DOS EMBOQUILHAMENTOS DO TÚNEL DE SÃO MIGUEL DA CARREIRA

Aquando das primeiras visitas diurnas efectuadas ao túnel os taludes de emboquilhamento de entrada e de saída estavam praticamente inacessíveis devido à densa vegetação.



Fig.95 – Boca de entrada (GEG)



Fig.96 – Boca de saída (GEG)

Após o desmatamento dos taludes foi possível avaliar melhor os problemas de estabilidade que os afectam e definir as medidas correctivas a serem empreendidas.



Fig.97 – Boca de entrada após desmatamento (GEG)



Fig.98 – Boca de saída após desmatamento (GEG)

Seguidamente caracterizam-se os taludes dos emboquilhamentos de entrada e saída dos túneis e descrevem-se os tratamentos a efectuar nos mesmos.

### **Emboquilhamento de entrada do túnel**

#### **➤ Caracterização dos taludes:**

Pela figura 99 observa-se que os taludes se apresentam, de uma forma geral, regulares e aparentemente estáveis.

Existe alguma heterogeneidade relativamente aos materiais constituintes, sendo bem visível a existência de afloramentos rochosos ao nível do respectivo sopé, intercalados por materiais superficiais com comportamento de solo. É possível visualizar algumas superfícies rochosas que se destacam por entre a densa vegetação, (Fig.100).



Fig.99 – Aspecto geral do emboquilhamento (GEG)



Fig.100 – Lado esquerdo, a 20m da entrada do túnel (GEG)

O crescimento de ervas e a deposição de materiais soltos na base dos taludes e na envoltória imediata das valetas indiciam fenómenos de encharcamento, frequentes em algumas zonas do emboquilhamento.

Foram detectados alguns escorregamentos de terras na base dos taludes, provocados pelos efeitos erosivos e de degradação associados à passagem da água. Esta ocorrência tem especial importância na zona junto à boca do túnel, onde se forma uma descida de talude com afluência de água em abundância, proveniente da área localizada acima. As velocidades de escoamento são apreciáveis, provocando o desgaste e a deterioração do maciço, o arrasamento dos materiais soltos e o impedimento do desenvolvimento da vegetação.

A vegetação provoca a fixação das raízes no interior dos terrenos e o retardamento da velocidade de escoamento superficial.



Fig.101 – Lado esquerdo, a 25m da entrada do túnel (GEG)



Fig.102 – Lado direito, à entrada do túnel (GEG)

Relativamente às cristas dos taludes, no lado esquerdo existe um caminho agrícola localizado paralelamente e imediatamente a seguir à crista e no lado direito também existe um caminho agrícola, mas bastante afastado da crista do talude.

#### ➤ **Tratamento:**

É recomendado que:

- Deva ser preparada e regularizada a superfície do talude, principalmente junto às bocas, de modo a corrigir os sulcos e rênos entretanto instalados;
- Toda a área a ser intervencionada será sujeita a uma desmatação prévia à execução dos diversos trabalhos de beneficiação;
- Numa fase inicial será importante garantir uma protecção de recurso contra a eventual ocorrência de intempéries - tela impermeável em rolo. A colocação dos painéis deverá ser efectuada segundo a direcção transversal do talude e com uma sobreposição aos painéis adjacentes com um mínimo de 10cm.

O tratamento destes taludes consiste na colocação de:

- (1) Órgãos de drenagem superficial e
- (2) Instalação de sistemas de protecção contra a erosão, de forma a evitar o arrastamento de sedimentos que possam causar obstrução no sistema de drenagem de pé de talude e a contaminação do balastro.

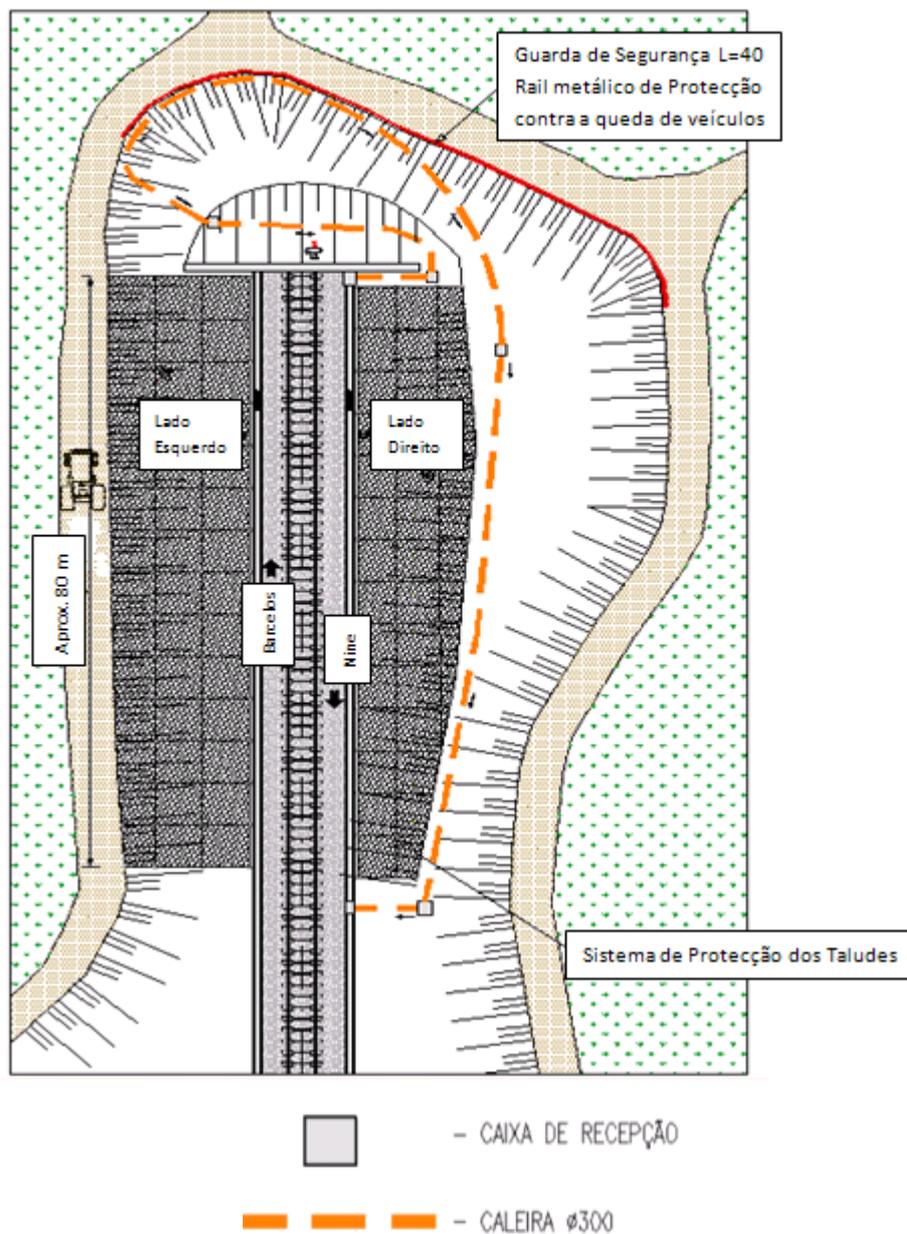


Fig.103 – Tratamento dos taludes (planta), (GEG)

**(1) Órgãos de drenagem superficial**

Será instalado um conjunto de caleiras desde o lado esquerdo do coroamento do túnel, passando por trás do parapeito da boca e acabando por descarregar as águas numa descida de talude a ser posicionada imediatamente a seguir à boca de entrada de encontro à valeta de pé de talude (Fig.104). A ligação à valeta deverá ser efectuada com recurso a uma caixa de dissipação.

Será fundamental executar um reforço na envolvente da caleira devido à inclinação do talude, aos materiais interceptados nessa zona e ao posicionamento perpendicular da caleira de descida de talude. O reforço será executado com recurso a pedra arrumada e argamassada manualmente

Também será executada uma caleira junto ao muro de betão armado existente a acompanhar a crista intermédia do talude do lado direito, de modo a encaminhar as águas pluviais até uma descida de talude e a uma caixa de dissipação de energia.

Será importante repor as condições de limpeza nas valetas e na base dos taludes.

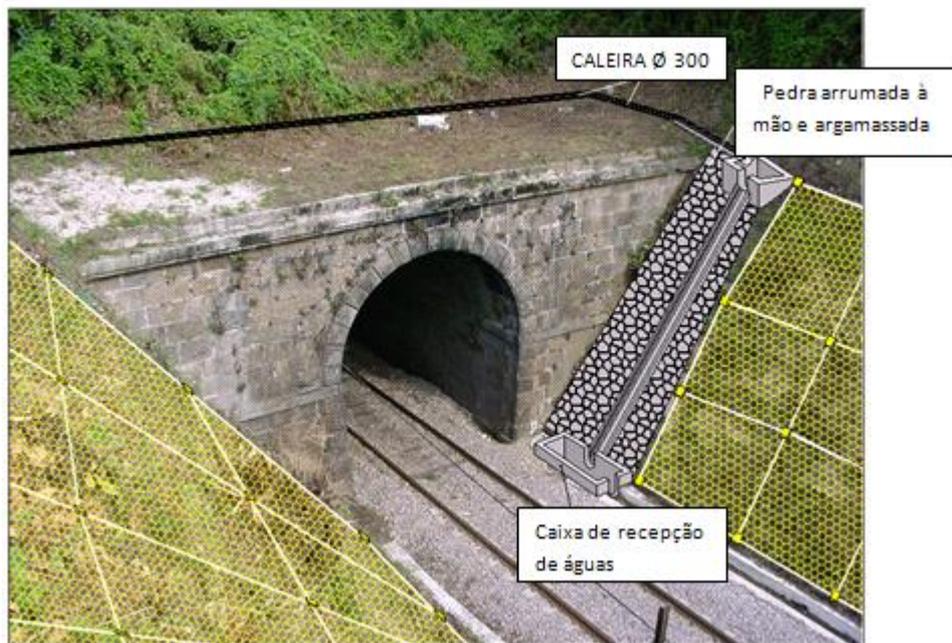


Fig.104 – Tratamento dos taludes (perspectiva 1), (GEG)



Fig.105 – Tratamento dos taludes (perspectiva 2), (GEG)

A execução de drenos profundos ao longo dos taludes poderia acarretar alterações significativas no nível freático, com possíveis repercussões do nível de água nos poços e nas próprias condições agrícolas existentes. Assim, não serão considerados drenos profundos nestes taludes.

## (2) Instalação de sistemas de protecção contra a erosão

Será necessário proceder-se à estabilização de algumas parcelas dos taludes onde o material se apresentar bastante susceptível de sofrer erosão e solto.

Foi preconizada uma solução combinada de cabos e redes metálicas pregadas e amarradas aos taludes e geomalhas para promover a retenção dos materiais e a revegetação dos taludes.

Assim, as soluções para estes taludes passam pela colocação de:

- **Geomalhas**

A principal função destes sistemas (mantas orgânicas, geomalhas, etc.) é a de proteger, de uma forma robusta e efectiva, a erosão e o ravinamento do terreno devido ao escoamento de águas superficiais, ao impacto das gotas da chuva e à erosão eólica. Nas intempéries mais rigorosas os diversos factores supracitados combinam-se e estes sistemas terão de suportar esses efeitos.

A geomalha preconizada será colocada entre a superfície dos taludes e as redes de tripla torção do tipo *Trinter* ou similar, sendo esta tridimensional de polipropileno com aditivos U-V, espessura não inferior a 2cm, peso de 340g/m e tonalidade acastanhada.

- **Pregagens**

As pregagens em aço A500 deverão apresentar pelo menos uma ponta roscada e um diâmetro de 25mm. O comprimento dos varões será de 3,0m, assim como o espaçamento longitudinal a aplicar entre pregagens.

As peças metálicas de aperto (rosca e placa de fixação 150mmx150mmx10mm) deverão ser colocadas em obra com protecção anticorrosiva de galvanização a quente.

Face ao carácter definitivo das pregagens é fundamental considerar a protecção destes elementos com a colocação de centralizadores e de tubos corrugados em PVC. Também deverão ser usados métodos de furação e de selagem fiáveis e eficazes.

As pregagens serão colocadas perpendicularmente aos taludes e com inclinação nunca inferior a 15° relativamente ao plano horizontal.

O aperto final das pregagens será efectuado com uma chave dinamométrica, aplicando uma tensão de 20 a 40kN, de modo a melhorar o confinamento estático do sistema ao talude e a limitar as possíveis deformações.

- **Cabos**

Os cabos em aço galvanizado a serem aplicados terão 14mm de diâmetro.

- **Redes metálicas**

A rede de tripla torção será constituída por arame de aço galvanizado da classe 100x80x17 (3,0mm).



SISTEMA DE PROTECÇÃO CONTRA O DESPRENDIMENTO E QUEDA DE BLOCOS COM A APLICAÇÃO DE REDES DE TRIPLA TORÇÃO 100x80x17 - 3,0mm, CABOS DE AÇO INTERMÉDIOS Ø 14mm, CABOS DE AÇO DE BORDADURA Ø 18mm E PREGAGENS DE VARÃO Ø 25mm COM 3m DE COMPRIMENTO E SEGUNDO UMA MALHA QUADRADA DE 3,0m DE LADO.

GEOMALHA TRIDIMENSIONAL DE PP DO TIPO TRINTER OU SIMILAR, COM ADITIVOS - UV PARA CONTROLO DA EROSIÃO (esp. ≥ 2cm; γ = 340g/m<sup>2</sup>; TONALIDADE CASTANHA)

Fig.106 – Sistemas de protecção contra o desprendimento e a queda de blocos (GEG)

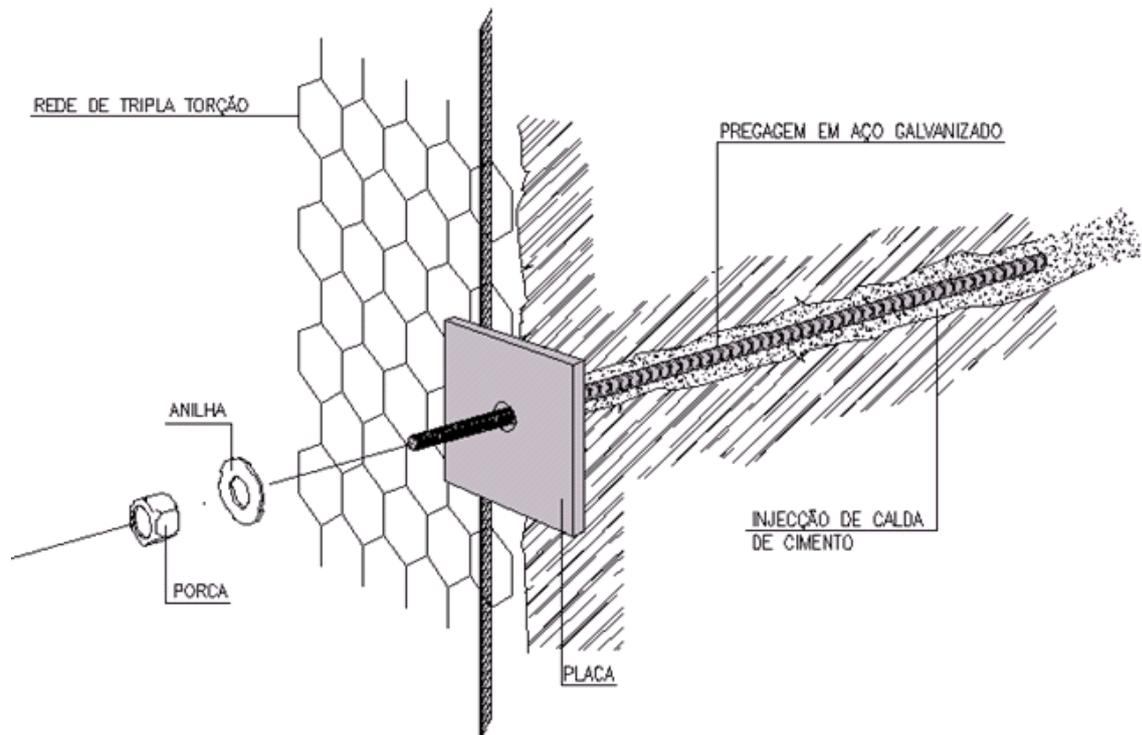


Fig.107 – Sistema de estabilização de taludes (GEG)

- **Guarda de segurança**

Recomenda-se a instalação de uma guarda de segurança com um extensão de aproximadamente 40m, a ser posicionada ao longo da crista do talude frontal do emboquilhamento. O objectivo da instalação do rail metálico é de evitar a queda de veículos para a linha ou para os taludes de emboquilhamento (Fig.104, Fig.110).

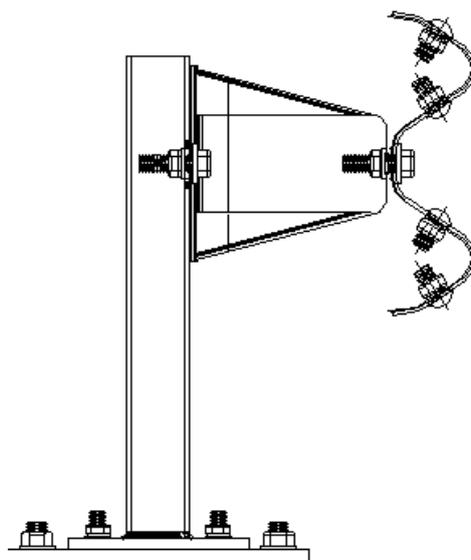


Fig.108 – Guarda de segurança (GEG)

## **Emboquilhamento de saída do túnel**

### ➤ **Caracterização dos taludes:**

Os taludes do emboquilhamento de saída têm características geométricas e hidrogeológicas muito semelhantes com os taludes do emboquilhamento de entrada.

Para os taludes em análise salienta-se a acumulação na base dos mesmos de materiais arrastados pelas águas, nomeadamente na proximidade do túnel, tanto de um lado como do outro. Tal facto sugere a aplicação de soluções combinadas de estabilização, de protecção contra a erosão e de drenagem.

### ➤ **Tratamento**

É recomendado que:

- Toda a área afectada à intervenção será sujeita a desmatagem.
- É chamada a atenção para um pinheiro de grande porte que se encontra inclinado para a linha-férrea, correndo o risco de cair sobre a via. Recomenda-se que a REFER considere o corte desta árvore, havendo provavelmente que proceder à sua aquisição ou à indemnização do proprietário pelo abatimento da mesma.

O tratamento destes taludes consiste na aplicação de soluções combinadas de:

- (1) Estabilização e de protecção contra a erosão e;
- (2) Drenagem.

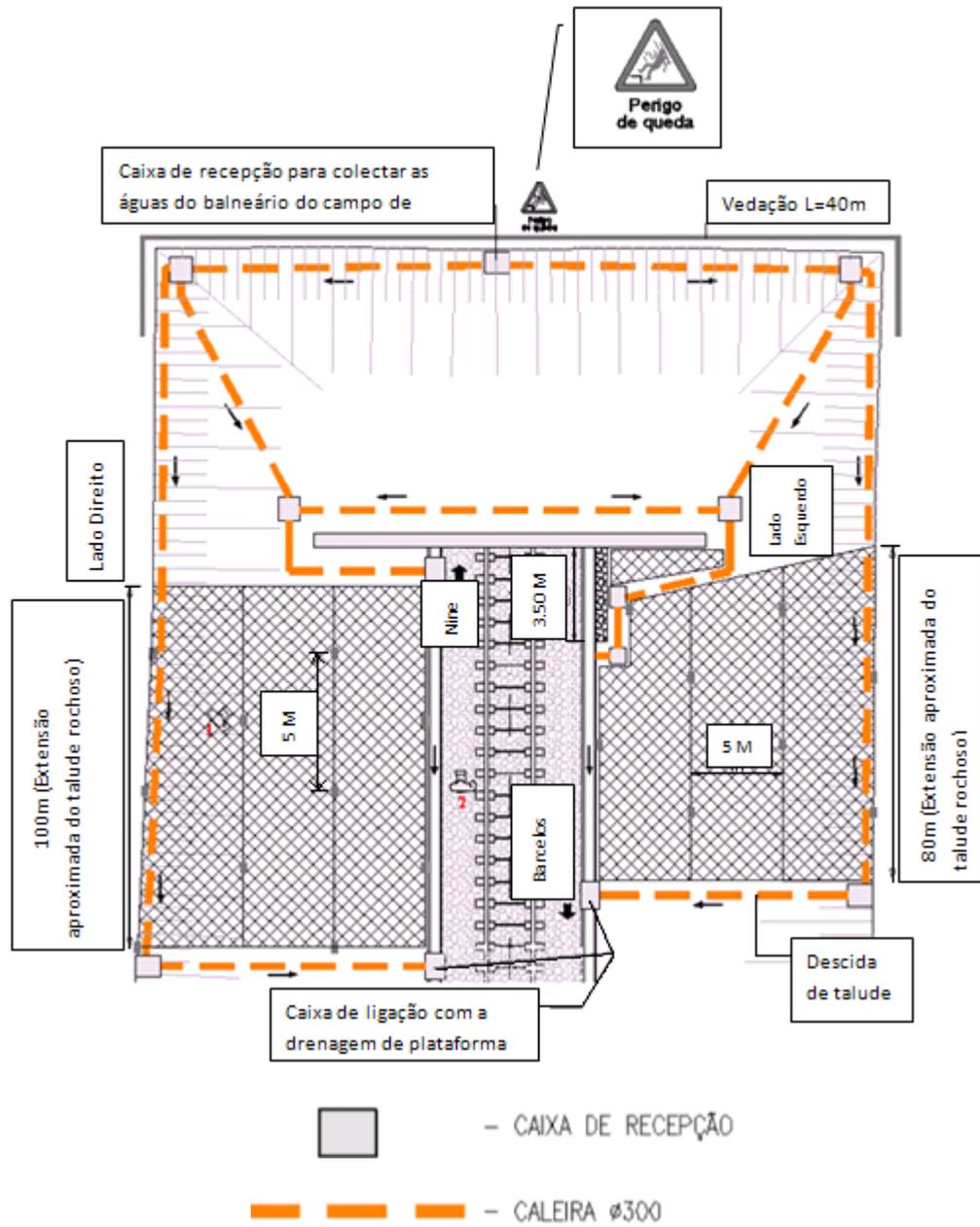


Fig.109 – Tratamento dos taludes (planta), (GEG)

**(1) Sistemas de protecção e estabilização**

Será importante referir que as soluções estudadas não consideraram alterações geométricas nos taludes de forma a não comprometer os limites de expropriação existentes, os quais são desconhecidos.

Assim, as soluções para estes taludes passam pela colocação de:

- **Sistema de redes e pregagens:**

Será instalado um sistema de redes do tipo *Tecco Mesh G-65* (S10) ou similar, pregagens de varão/cabo com 5m de profundidade e geomalhas do tipo *Trinter* ou similar. Este tratamento será empreendido no talude do lado esquerdo em cerca de 80m e do lado direito em aproximadamente 100m.

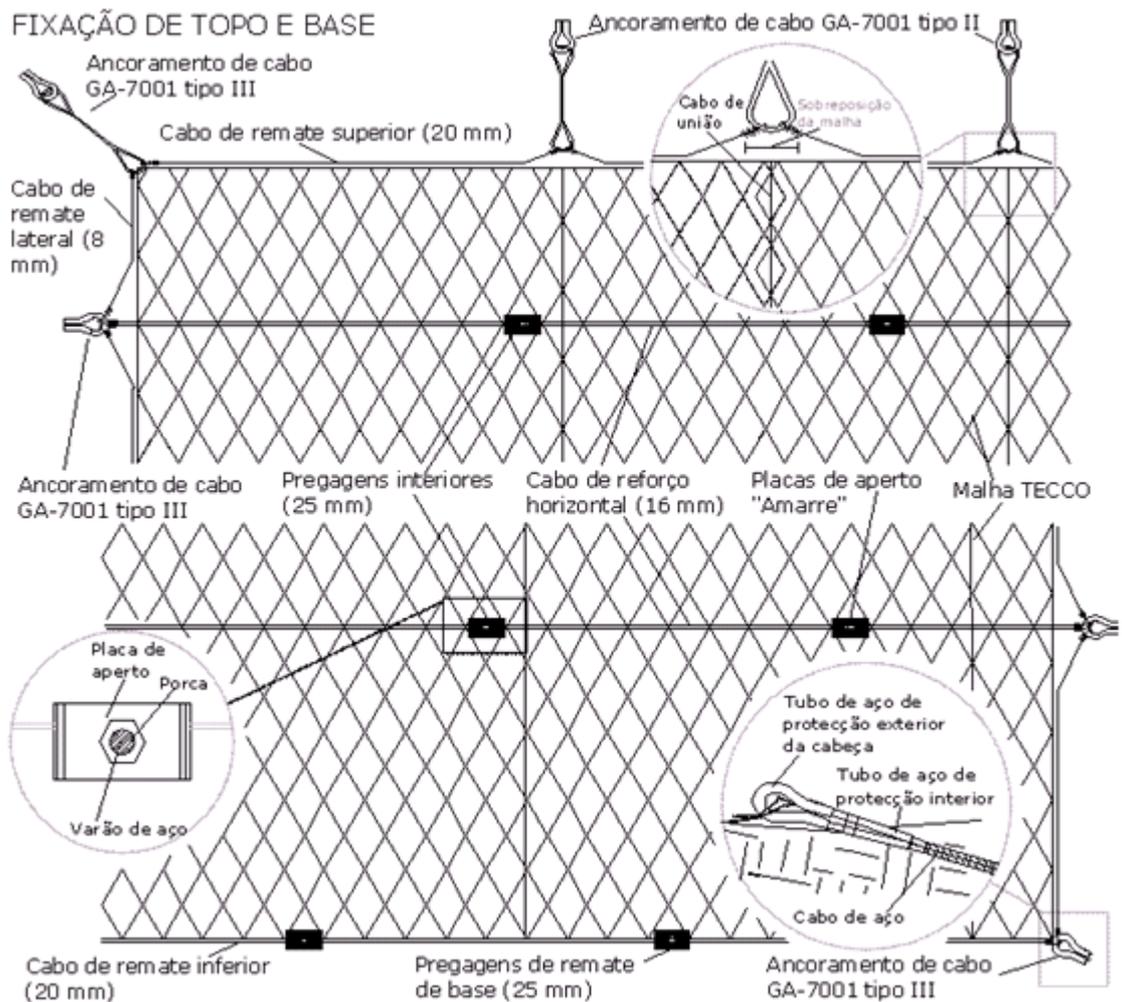


Fig.110 – Redes do tipo *Tecco Mesh* (GEG)



GEOMALHA TRIDIMENSIONAL DE PP  
DO TIPO TRINTER OU SIMILAR, COM ADITIVOS - UV  
PARA CONTROLO DA EROSAO  
(esp. >2cm;  $\gamma = 340\text{g/m}^2$ ; TONALIDADE CASTANHA)

SISTEMA DE PROTECÇÃO CONTRA O DESPRENDIMENTO E QUEDA DE BLOCOS  
COM A APLICAÇÃO DE REDES DO TIPO TECCO MESH G-65 (S10) OU SIMILAR,  
CABOS DE AÇO INTERMÉDIOS DE REFORÇO HORIZONTAL  $\phi 16\text{mm}$ , CABOS DE  
AÇO DE BORDADURA  $\phi 20\text{mm}$ , PREGAGENS INTERIORES DE VARÃO  $\phi 25\text{mm}$  E  
PREGAGENS PERIFÉRICAS DE CABO TIPO GA-7001 COM 5m DE COMPRIMENTO  
E COM ESPAÇAMENTOS TRANSVERSAIS DE 3,0m E LONGITUDINAIS DE 5,0m

Fig.111 – Sistemas de redes (GEG)

- **Construção de um muro de espera:**

Será executado um muro de espera em alvenaria, em pedra irregular argamassada e arrumada manualmente, no lado esquerdo. O real posicionamento da descida de talude deverá ser aferido em obra com o acordo da Fiscalização.



Fig.112 – Muro de espera (GEG)

- **Rede de vedação:**

Será colocada uma rede de vedação ao longo da crista do talude frontal em cerca de 40m de extensão e terá de ser colocada sinalização na mesma de “perigo de queda”, (Fig.109).

- **Execução de pregagens longitudinais:**

Estas serão colocadas de forma a compensar o efeito de descompressão ou destacamento da boca de entrada em relação ao túnel, evidenciado pela formação de fissuras de tracção transversais na proximidade da boca. Assim, serão executadas a partir do muro de testa e do talude frontal de emboquilhamento. As pregagens serão em aço A500, com protecção anticorrosiva e diâmetro de 25mm.

Deverão ser executadas 6 pregagens contra o muro testa e outras 6 associadas a uma viga de betão armado com afastamentos de 2,5m. As pregagens contra o muro testa terão comprimentos de 12m e as pregagens associadas à viga de betão armado deverão ter comprimentos de 8m. A selagem é realizada com calda de cimento, sem pressões de injeccção.

O posicionamento e a inclinação das perfurações e das pregagens terão ainda que ter em conta o necessário afastamento em relação ao contorno de escavação formado pelo túnel e o facto das selagens serem executadas por gravidade.

O varão de aço deverá apresentar uma das extremidades cortada em bisel e a outra munida de rosca, de modo a proceder-se a um aperto final (ligeiro) contra a placa de fixação com recurso a uma chave dinamométrica, permitindo desde logo pôr o elemento em tensão, controlando melhor eventuais deformações. No caso das pregagens a serem executadas contra o muro testa, o tensionamento ou aperto da pregagem não se pretende muito elevado por se tratar de uma alvenaria de pedra, podendo provocar movimentos no bloco que receba a pregagem.

As placas de fixação em aço terão uma geometria quadrada com 25cm de aresta, uma espessura de 10mm e deverão ser galvanizadas, assim como as rótulas e porcas para aperto.

A viga de betão armado deverá ser executada contra o terreno previamente preparado para o efeito e revestido a pedra arrumada e argamassada manualmente. A execução da viga pregada, em alternativa a uma malha mais densa de pregagens ao nível do muro de testa, alivia, em termos construtivos, as preocupações que poderão ser criadas em relação às dificuldades de execução (intercepção com pregagens transversais, proximidade ao sustimento e contorno escavado, danos nos blocos de alvenaria, etc.), assegurando também um efeito de compressão favorável ao maciço que envolve superiormente o sustimento do túnel. Caso se verifique necessário, a ligação à alvenaria poderá fazer-se com uma almofada de betão, de modo a garantir uma distribuição uniforme das cargas.

Alerta-se para a necessidade de serem cumpridos critérios estéticos na execução destes trabalhos, no sentido de assegurar a realização de uma malha de pregagens com uma geometria bem definida e também uma boa execução de trabalhos de modo a evitar, por exemplo, escorrimento de caldas pelas paredes.

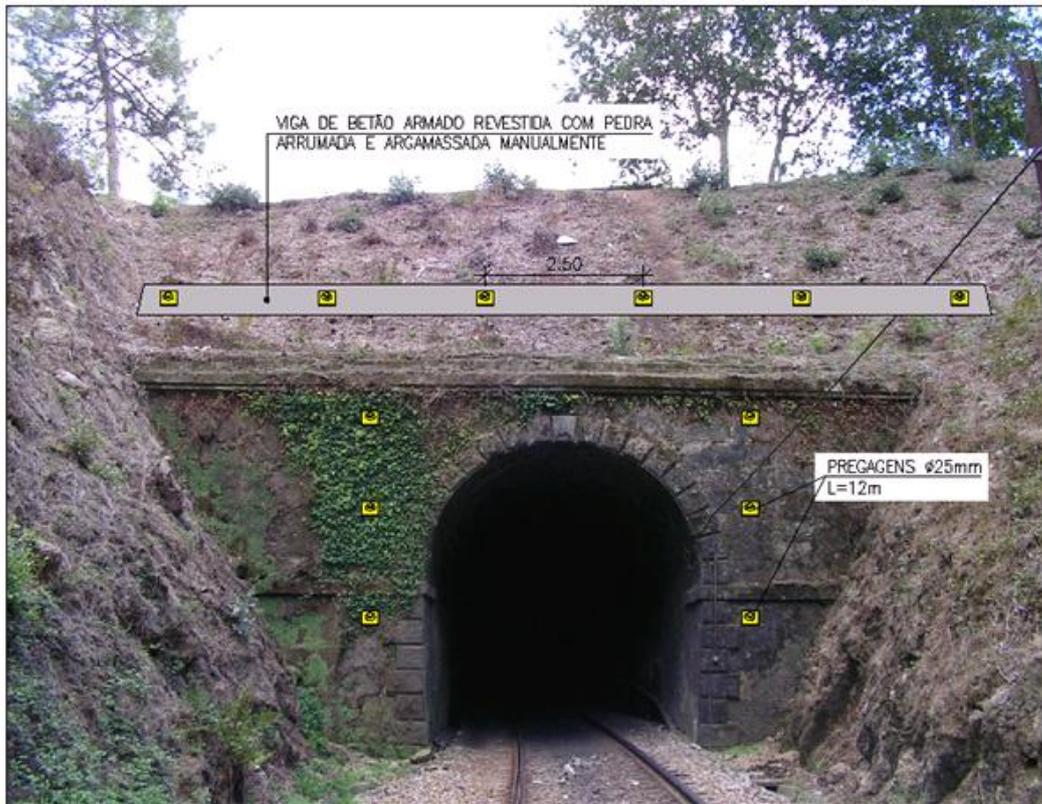


Fig.113 – Distribuição das pregagens (GEG)

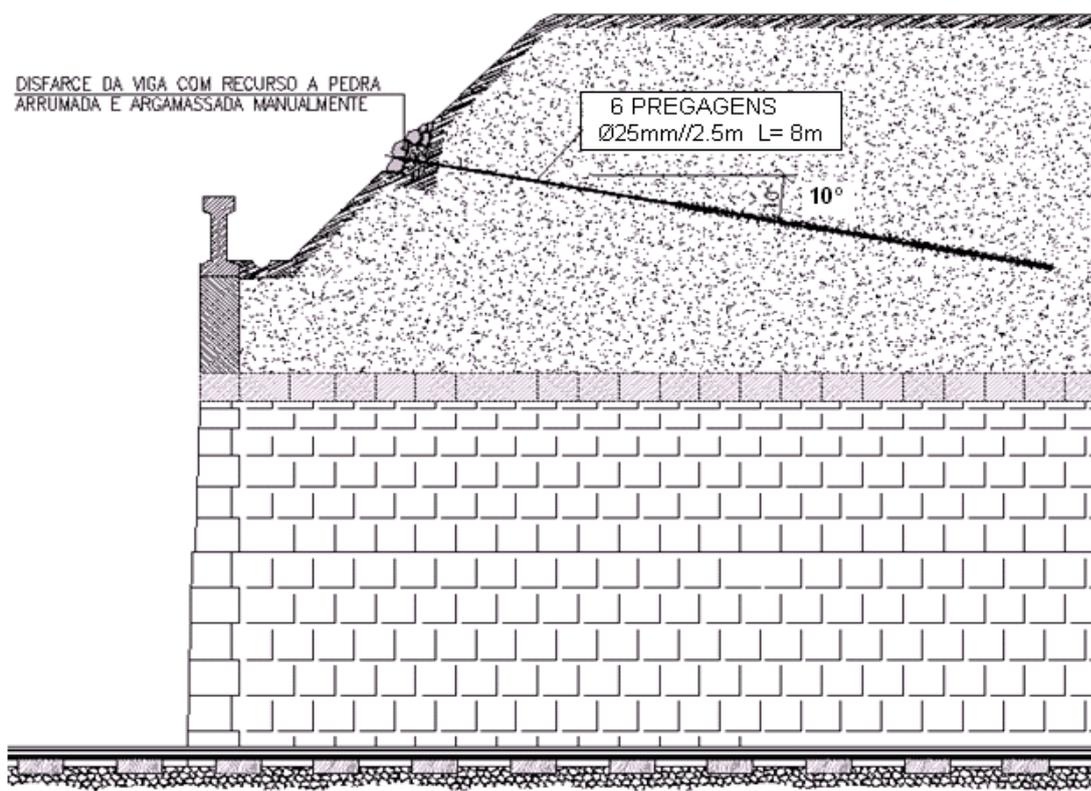


Fig.114 – Distribuição das pregagens (corte transversal), (GEG)

**(2) Órgãos de drenagem superficial**

A drenagem será assegurada através da colocação de caleiras para captação e encaminhamento das águas para o sistema de drenagem de pé de talude e da plataforma.

Os diâmetros das caleiras em meia cana são os valores mínimos a serem garantidos.

Na drenagem de crista de talude frontal deve ser executada uma caixa de recepção de águas de forma a colectar a saída de águas do balneário do campo de futebol.

É sugerido que sejam tapadas as valetas com as tampas próprias, de modo a dificultar a sua obstrução na eventualidade de ocorrerem desprendimentos ou arrastamento de materiais soltos.

É recomendada a limpeza e a recuperação dos desvios das valetas relativamente à linha, pois encontram-se colmatadas e invadidas de vegetação.

Será importante proceder à limpeza e à reabilitação das valetas de drenagem existentes, principalmente nas imediações da entrada e saída do túnel, as quais se encontram parcial ou completamente colmatadas e entulhadas com material arrastado pelas águas, pelo próprio balastro e principalmente por material sedimentado resultante de desprendimentos e escorregamentos ocorridos.

Dada a tipologia dos taludes e dos materiais ocorrentes será fundamental que os serviços de manutenção da linha-férrea façam a limpeza periódica dos diversos dispositivos de drenagem, nomeadamente das caixas de derivação, descidas de taludes, valetas, caleiras, etc.



Fig.115 – Lado esquerdo da boca de saída (GEG)



Fig.116 – Lado direito da boca de entrada (GEG)

### 6.3. TRATAMENTO DOS EMBOQUILHAMENTOS DO TÚNEL DE TAMEL

Foram efectuadas visitas diurnas aos taludes de emboquilhamento deste túnel. A visualização dos taludes revelou-se relativamente fácil, pois os acessos são bastante directos e a vegetação não é muito densa, o que possibilitou uma melhor percepção da real morfologia dos taludes e interpretação dos

problemas de estabilidade que os afectam. As soluções e medidas preconizadas em projecto deverão ser confirmadas em obra após realizada a desmatação e, no caso particular do emboquilhamento de saída, deverá ser averiguado o ponto de situação do projecto rodoviário que está ser empreendido pelas entidades locais para supressão de uma passagem nivelada existente na zona.



Fig.117 – Boca de entrada (GEG)



Fig.118 – Boca de saída (GEG)

Seguidamente apresentam-se os tratamentos a efectuar nos emboquilhamentos de entrada e de saída.

### **Emboquilhamento de entrada do túnel**

#### **➤ Caracterização dos taludes:**

Os taludes apresentam-se, de forma geral, regulares e aparentemente estáveis. Não existem quaisquer dados ou informações que indiquem a ocorrência de anteriores incidentes. No entanto, é bem visível a existência de afloramentos rochosos significativos, intercalados por materiais soltos e de fraca resistência mecânica.



Fig.119 – Talude de emboquilhamento do lado esquerdo (GEG)



Fig.120 – Recobrimento à entrada do túnel (GEG)

### ➤ Tratamento:

As medidas mais importantes a serem empreendidas são:

- (1) Uma rede de drenagem fiável e eficiente e;
- (2) A estabilização dos taludes com recurso a sistemas de redes e malhas de protecção contra a erosão, de forma a evitar o arrastamento de sedimentos que possam causar prejuízos à drenagem do pé de talude e a contaminação do balastro.

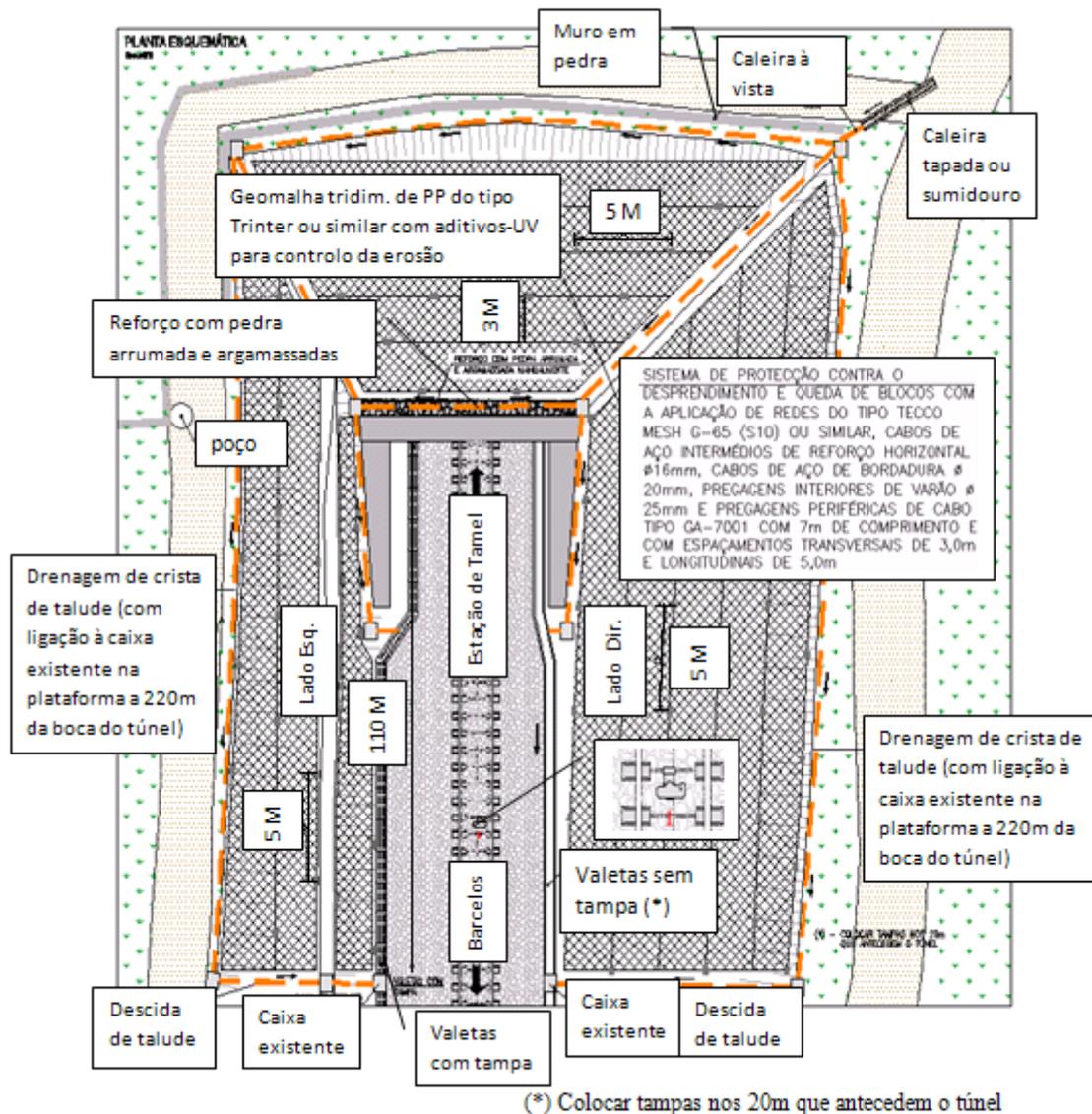


Fig.121 – Tratamento dos taludes (planta), (GEG)

### (1) Rede de drenagem

Detectaram-se algumas linhas de água pontuais descarregadas directamente na base dos taludes, nomeadamente no talude do lado esquerdo. Estas águas deverão ser identificadas em obra, captadas a montante com recurso a drenos e devidamente encaminhadas para o sistema de

drenagem longitudinal de pé de talude. É importante encontrar a origem das águas de modo a evitar que as mesmas provoquem o ravinamento por desgaste superficial do talude.

Devido à actividade agrícola existente e a poços de água na zona envolvente à boca do túnel não é recomendada a instalação sistemática de drenos profundos ao longo dos taludes. Essa medida poderia acarretar alterações significativas no regime hidrológico local.

Serão colocados drenos específicos para captar as linhas de água existentes, nomeadamente no lado esquerdo na base dos muros ala, onde surge muita água (Fig.122 e Fig.123) e no talude frontal, onde serão instalados drenos profundos de modo a captar e a libertar grandes quantidades de água que afectam o interior do túnel nos primeiros 10m. Esses drenos deverão encaminhar as águas directamente para a caleira executada na reduzida berma no tardo do parapeito da boca de entrada.



Fig.122 – Muro ala do lado esquerdo (GEG)



Fig.123 – Muro ala do lado direito (GEG)

A drenagem de pé de talude carece de trabalhos de limpeza e desobstrução. Os trabalhos de limpeza deverão ser complementados com a colocação de tampas nas valetas existentes no lado direito e pelo menos nos 20m que antecedem o túnel.

Será necessário eliminar todo o tipo de espécies arbustivas que possam invadir futuramente a via-férrea, prevendo um plano de erradicação dessas espécies.

Existem caminhos agrícolas localizados paralelamente e adjacentes às cristas de talude, por vezes, com muros de pedra. Será instalado um conjunto de caleiras para captar as águas superficiais que afluem para a zona da boca de entrada deste túnel e que actualmente são descarregadas directamente nos emboquilhamentos.

Há semelhança daquilo que se preconiza para a berma no tardo do parapeito da boca de entrada do túnel, recomenda-se também a protecção no tardo nos muros ala com pedra arrumada e argamassada manualmente.

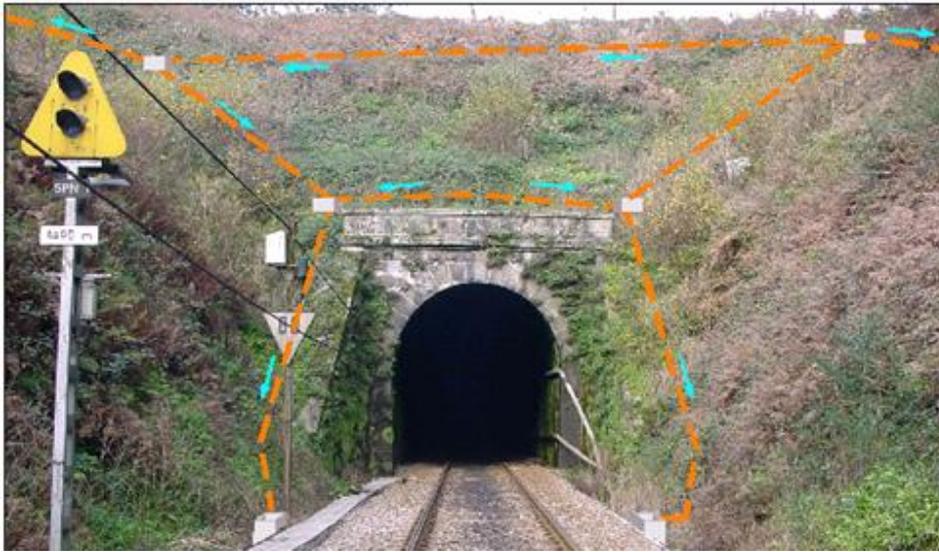


Fig.124 – Drenagem (GEG)

### (1) Estabilização dos taludes

Os métodos de estabilização são idênticos aos preconizados para o túnel de São Miguel da Carreira para o emboquilhamento de entrada - solução combinada de cabos e redes metálicas pregadas e amarradas aos taludes e aplicação de geomalhas, para promover a retenção dos materiais e revegetação dos taludes.

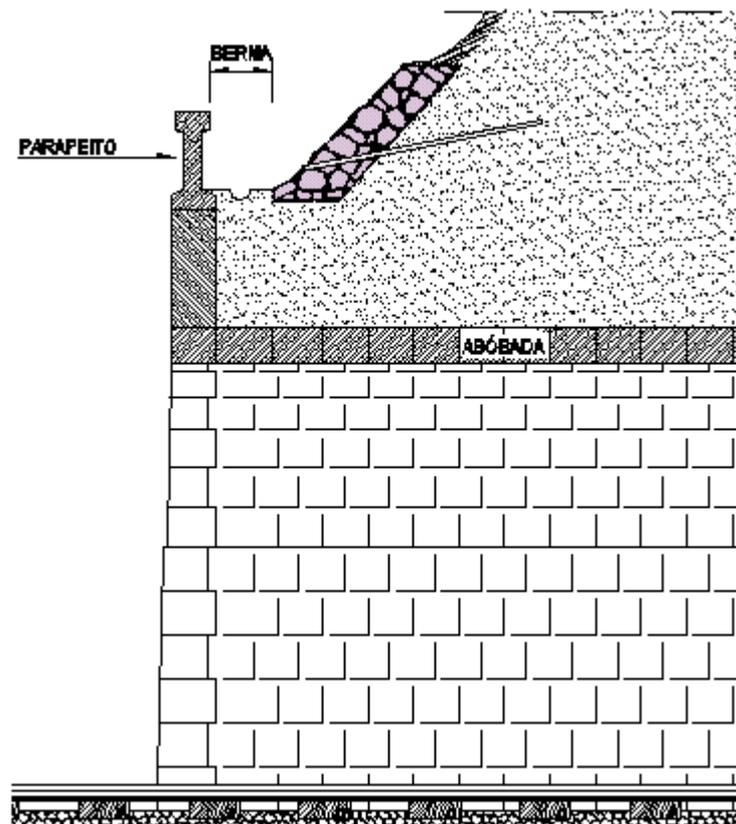


Fig.125 – Zona da testa e da boca (GEG)

## **Emboquilhamento de saída do túnel**

### ➤ **Caracterização:**

Existe uma boa acessibilidade, pois existe um arruamento imediatamente acima do talude frontal do emboquilhamento. Não existe qualquer vedação que impeça o acesso ao emboquilhamento além do pequeno muro que acompanha parcialmente o referido arruamento.

Os taludes são bastante inclinados e de altura considerável, merecendo uma protecção adequada. O local carece de vedações para impedir o despejo de lixos e entulhos e o arremesso de objectos para o emboquilhamento. Recomenda-se, por isso, a colocação de uma vedação metálica a envolver todo o perímetro acessível ao emboquilhamento. No lado direito, onde existe um acesso a uma propriedade agrícola privada, deveria ser colocado um portão que conjuntamente com a vedação já descrita, impedisse o acesso aos emboquilhamentos.

Uma das situações que forçosamente terá de ser corrigida é a existência de um colector de águas residuais de caudal constante e significativo, descarregado directamente no topo do emboquilhamento de saída do túnel. Não se sabe qual a natureza das águas em questão, tratando-se certamente de um exercício indevido e que deverá ser corrigido. A forma como são descarregadas as águas, o seu caudal e a sua agressividade não são compatíveis com os conceitos de estabilidade e de protecção dos taludes contra a erosão. Na proximidade desta tubagem, mas já acima da crista do talude, existe uma laje em betão que tapa um poço ou uma fossa. Deverão ser averiguadas as condições deste dispositivo no que diz respeito ao nível e tipo de água no interior do mesmo e detectar possíveis fugas ou desvios indevidos.

Aquando das visitas ao túnel detectou-se a ocorrência de um escorregamento no lado esquerdo, a cerca de 10m da boca do túnel (Fig.126). O incidente envolveu a queda de material rochoso e o desprendimento da parcela de terra vegetal localizada superiormente. Haverá tendência para a ocorrência de novos escorregamentos uma vez que o coberto vegetal é bastante reduzido, a inclinação é muito arrojada e os próprios materiais constituintes encontram-se alterados e fragilizados.



Fig.126 – Escorregamento recente do lado esquerdo (GEG)

➤ **Tratamento:**

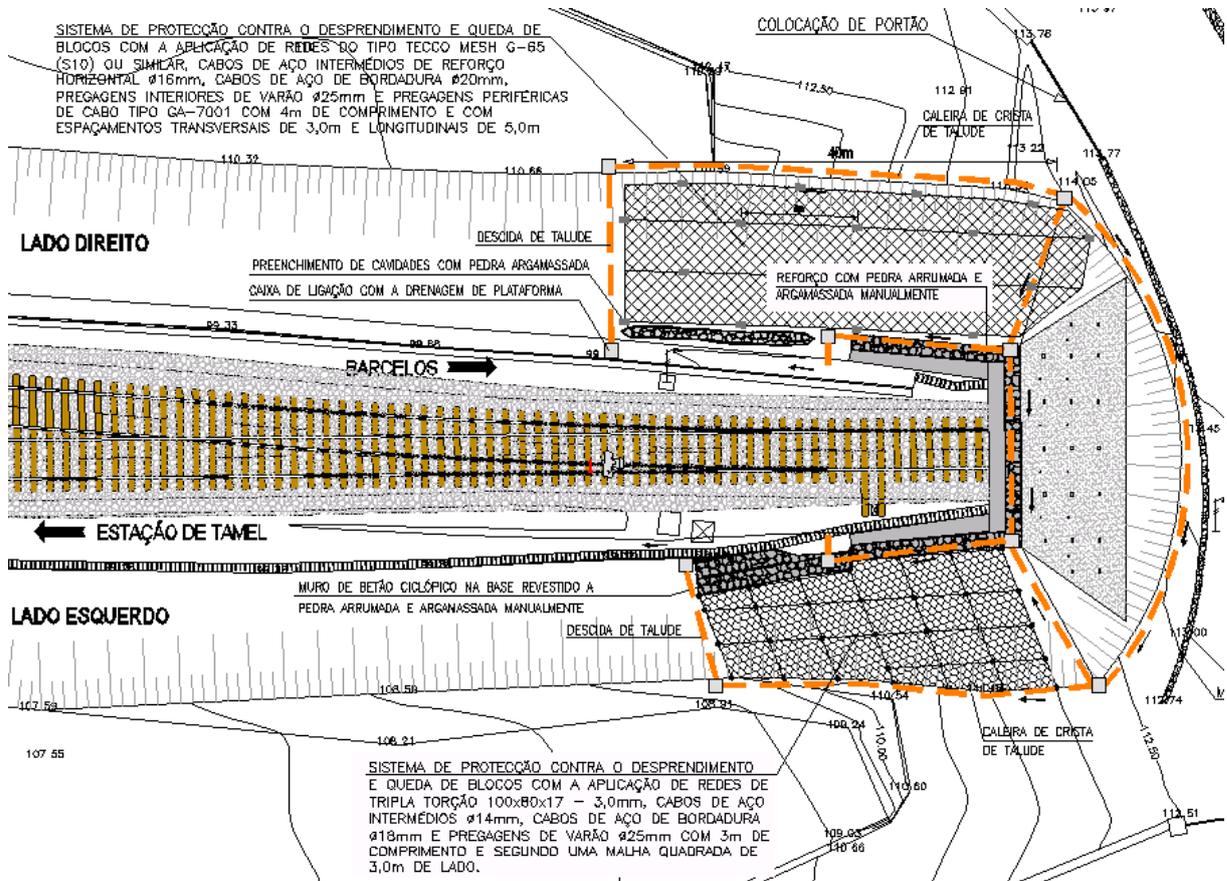


Fig.127 – Tratamento de taludes (planta), (GEG)

**(1) Estabilização dos taludes**

Relativamente a esta questão, a situação é preocupante, pois as inclinações são bastante arrojadas, os materiais são bastante heterogéneos e o coberto vegetal é bastante reduzido, havendo a tendência para a ocorrência de escorregamentos.

Como se desconhecem os limites de expropriação, o reperfilamento dos taludes não é apresentado como solução possível. Assim, terão de ser efectuados:

• **Tratamentos no talude do lado esquerdo**

No lado esquerdo a cerca de 10m da boca do túnel recomenda-se a execução de um muro de gravidade na base do talude e numa extensão de cerca de 6,0m a partir da extremidade do muro ala. O muro deverá ser executado em betão ciclópico e a superfície à vista deverá ser realizada com pedra de qualidade arrumada e argamassada manualmente.

A execução desta estrutura poderá implicar a ripagem do sistema de drenagem existente na plataforma de modo a afastar-se do talude.

Acima do muro deverão ser executadas pregagens e colocadas redes e cabos de protecção

contra a queda de blocos e, se necessário, mantas para promover a retenção dos materiais e a revegetação dos taludes. Esses dispositivos terão as seguintes características:

✓ Pregagens

As pregagens serão em aço A500 e deverão apresentar pelo menos uma ponta roscada e um diâmetro de 25mm. O comprimento dos varões será de 3,0m assim como o espaçamento longitudinal a aplicar entre pregagens.

As pregagens serão colocadas perpendicularmente aos taludes e com inclinação nunca inferior a 15° relativamente ao plano horizontal.

As peças metálicas de aperto (rosca e placa de fixação 150mmx150mmx10mm) deverão ser colocadas em obra com protecção anticorrosiva de galvanização a quente. O aperto final das pregagens será efectuado com uma chave dinamométrica, aplicando uma tensão de 20 a 40kN de modo a melhorar o confinamento estático do sistema ao talude e a limitar as possíveis deformações.

Face ao carácter definitivo das pregagens é fundamental considerar a protecção destes elementos com a colocação de centralizadores e de tubos corrugados em PVC. Os métodos de furação e de selagem deverão ser fiáveis e eficazes.

✓ Redes e cabos de protecção

Os cabos em aço galvanizado a serem aplicados terão 14mm de diâmetro. A rede de tripla torção será constituída por arame de aço galvanizado da classe 100x80x17 (3,0mm).

• **Tratamentos no talude do lado direito**

No talude do lado direito existe um denso e robusto coberto de vegetação ao qual está associado um sistema radicular compacto e ramificado que vai assegurando a aparente estabilidade do talude. Apesar da aparente estabilidade, esse talude também suscita alguma preocupação, pois a sua litologia está camuflada pela vegetação, havendo incertezas quanto ao tipo de materiais ocorrentes e ao estado de facturação e alteração do maciço rochoso. Apesar de não existirem dados concretos relativamente a este aspecto, o Projectista é da opinião que a vegetação prejudica a visibilidade da via e que a invade frequentemente, obrigando à realização de desmatações periódicas (Fig.128).

Assim, é sugerida a remoção controlada da vegetação, a necessária inspecção do maciço e o tratamento do talude, aplicando uma solução de cabos e redes metálicas pregadas e amarradas nos taludes do tipo *Tecco Mesh G-65 (S10)* ou similar recorrendo a pregagens de varão/cabo com 4m de profundidade.

Na base do talude, numa altura com cerca de 1,2m, onde é possível visualizar as características do terreno, será empreendida a limpeza e a decapagem dos materiais mais soltos para posteriormente se proceder ao recalçamento e preenchimento do maciço remanescente com pedra arrumada e argamassada manualmente. Este procedimento deverá ser executado numa extensão de cerca de 8m a partir da extremidade do muro ala.



Fig.128 – Talude do lado direito (GEG)

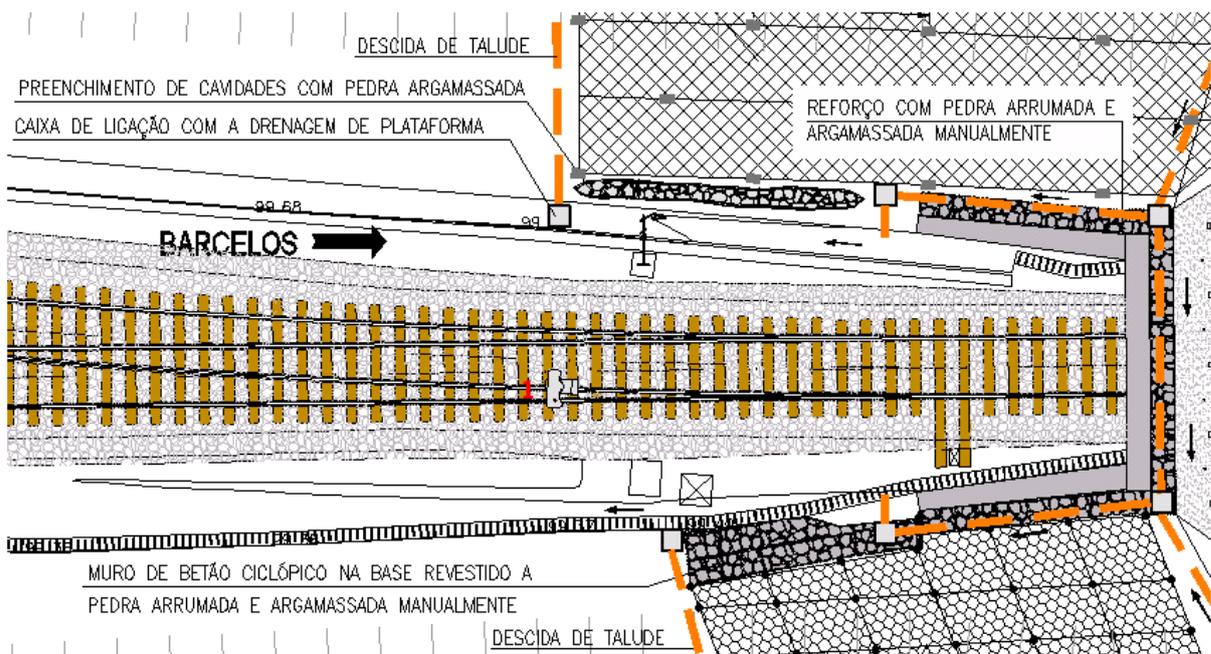


Fig.129 – Tratamento de taludes (planta - detalhe), (adapt. de GEG)

- **Tratamentos no talude frontal**

Relativamente ao talude frontal, o mesmo terá sido sujeito a um tratamento de erradicação da pouca vegetação remanescente.

Face à inclinação, natureza e condições de estabilidade do talude, recomenda-se o seu tratamento com a execução de um paramento de betão projectado armado e pregado ao maciço e revestido posteriormente com pedra arrumada e argamassada manualmente. A espessura da estrutura de betão projectado será de 15cm, executada em três sequências distintas e as pregagens terão um diâmetro de 25mm, inclinações de 10° e comprimentos de 6,0m (Fig.132,133 e 134).



Fig.130 – Aspecto geral do emboquilhamento (GEG)

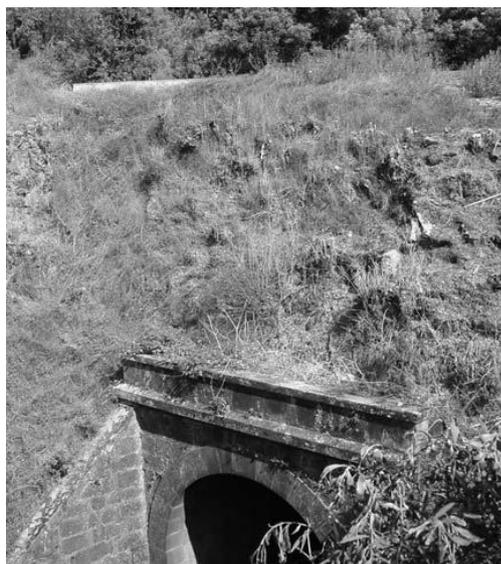


Fig.131 – Talude frontal (GEG)

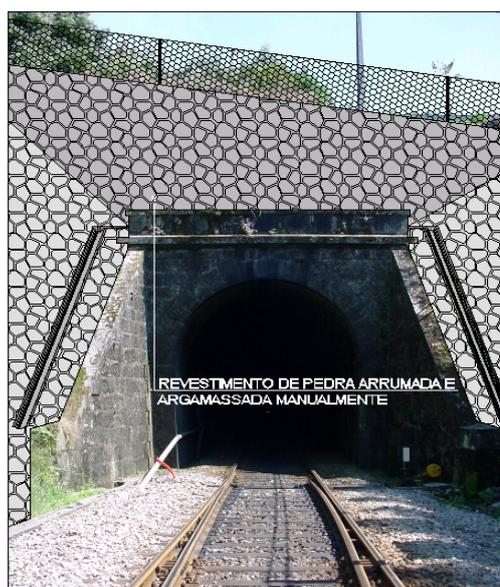


Fig.132 – Revestimento de pedra arrumada e argamassada manualmente (GEG)

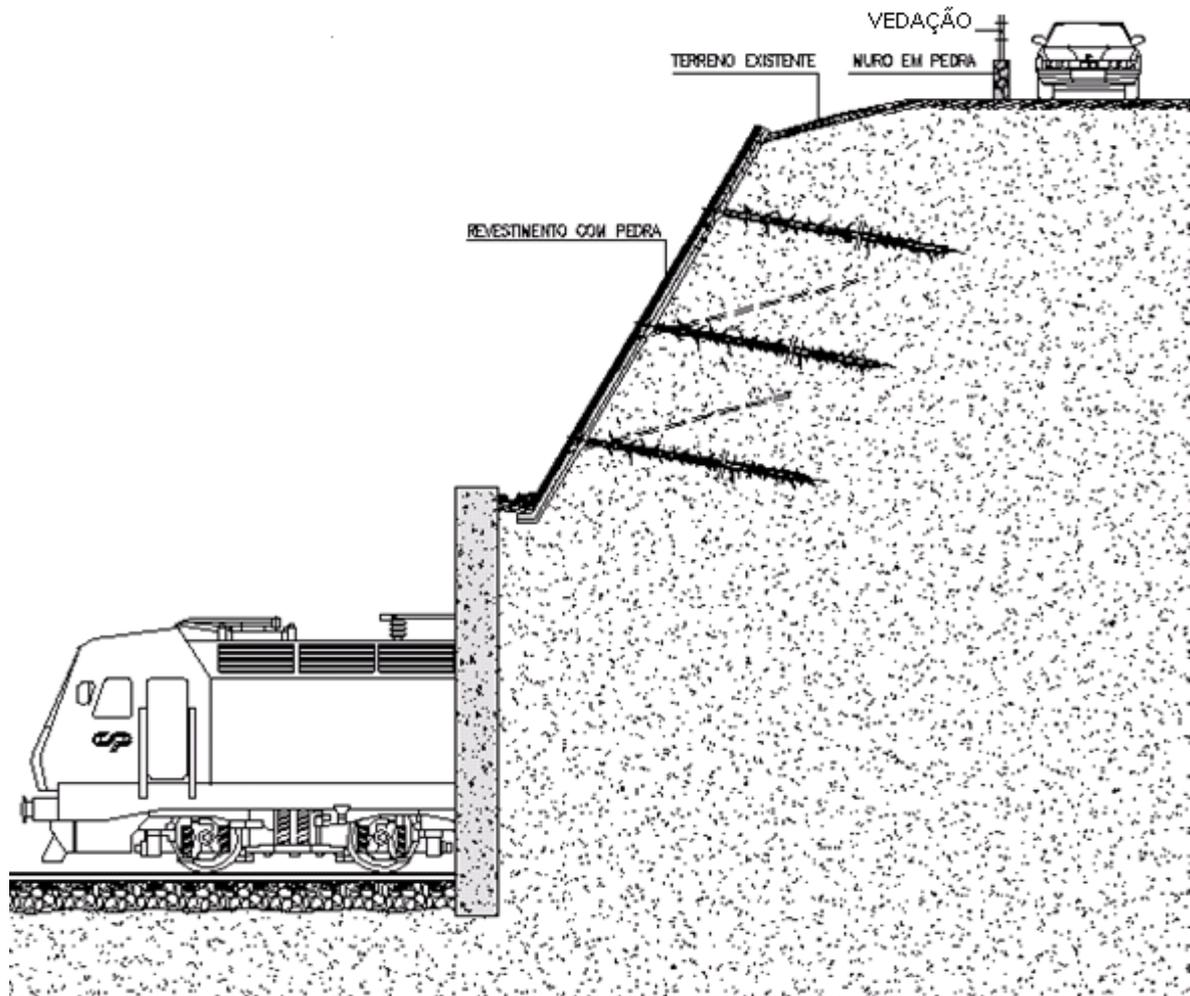


Fig.133 – Paramento de betão projectado armado e pregado (GEG)

## (2) Órgãos de drenagem

Recomenda-se a colocação de um conjunto de caleiras nas cristas e atrás do parapeito da boca do túnel de modo a captar as águas pluviais de escoamento superficial. O encaminhamento das águas será materializado com descidas de talude e caleiras executadas no tardo dos muros ala.

Será assegurada a colocação de caleiras para a captação e o encaminhamento das águas para o sistema de drenagem de pé de talude e da plataforma. Os diâmetros das caleiras em meia cana são os valores mínimos a ser garantidos.

A caleira de descida de talude que acompanha o muro ala deverá ser prolongada pelo tardo do novo muro em betão ciclópico a ser construído e descarregado, na sua extremidade, para a valeta de pé de talude.

Será fundamental a execução de drenos profundos (geodrenos) de modo a escoar as águas existentes no maciço e a encaminhá-las para a caleira a ser executada junto ao parapeito. Os mesmos serão posicionados alternadamente com as pregagens, com comprimentos de 4,0m e recorrendo a tubos perfurados constituídos em PP (polipropileno) ou PVC (cloreto de polivinil) do tipo *Wavin*, envolto em geotêxtil, com diâmetros de aproximadamente 50mm, (Fig.136).

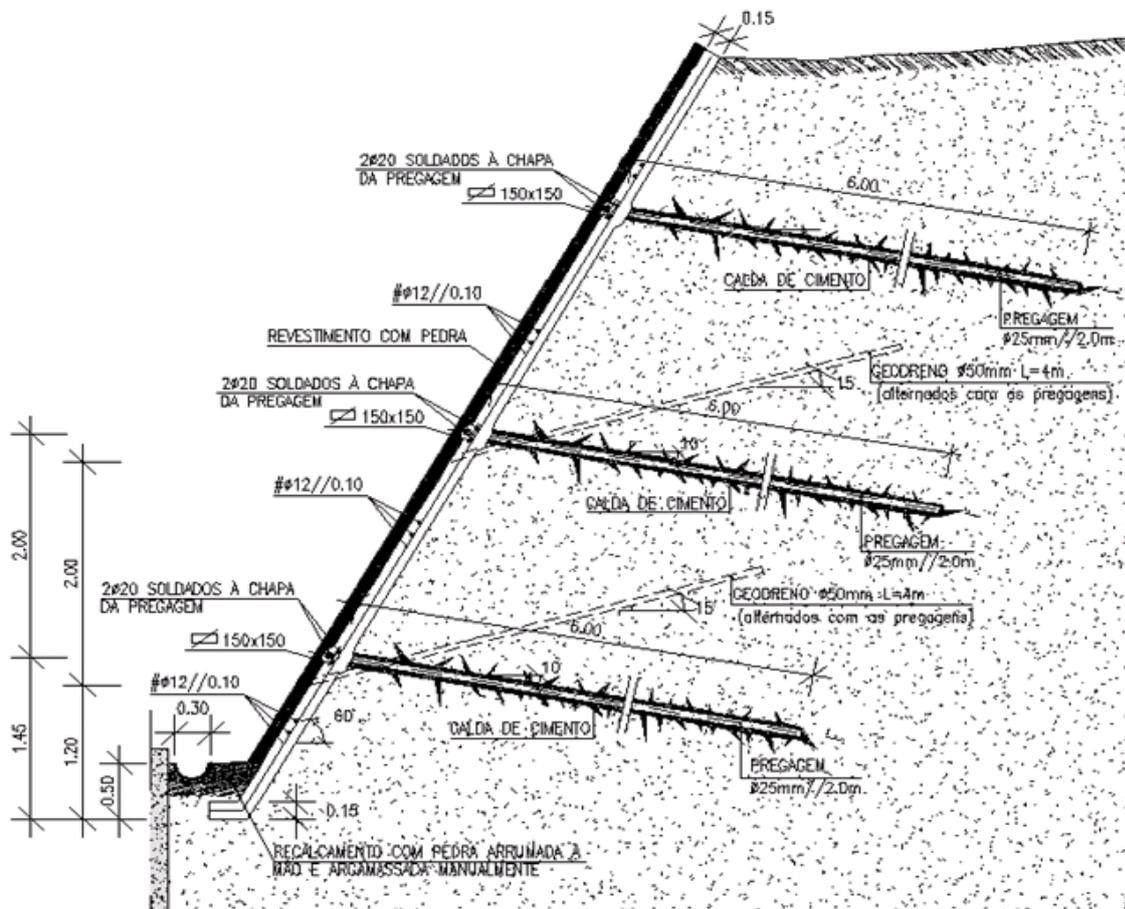


Fig.134 – Paramento de betão projectado armado e pregado: dimensionamento e armaduras (GEG)

O sistema de drenagem existente ao nível do sopé do talude, localizado no lado direito, está completamente obstruído com detritos e depósitos arrastados pelas águas e provenientes dos desprendimentos e escorregamentos ocorridos nos taludes. O mesmo encontra-se constantemente preenchido com bastante água e com um escoamento praticamente nulo. Será importante repor as condições de limpeza nas valetas e na base dos taludes e reformular os sistemas de escoamento, visto o existente ser insuficiente (Fig.135 e 136).

Dada a tipologia dos taludes e materiais ocorrentes será fundamental que os serviços de manutenção da linha-férrea façam a limpeza periódica dos diversos dispositivos de drenagem nomeadamente as caixas de derivação, descidas de taludes, passagens hidráulicas, valetas, caleiras, etc.

As caixas de ligação e dissipação de energia a serem colocadas deverão ser preenchidas com cerca de 10cm de brita 20-40, garantindo ainda uma altura livre de 10cm entre nível de brita e as entradas ou saídas das caleiras. Será ainda recomendável que as mesmas permanecerem tapadas de modo a impedir ou a dificultar a entrada de detritos para o seu interior.



Fig.135 – Valeta de pé de talude alagada (GEG)



Fig.136 – Valeta obstruída (GEG)

#### 6.4. TRATAMENTO DOS EMBOQUILHAMENTOS DO TÚNEL DE STA. LUCRÉCIA

Aquando das últimas visitas diurnas efectuadas ao túnel, os taludes de emboquilhamento estavam praticamente cobertos de uma densa vegetação. Deverá ser realizada a desmatação dos taludes e feita uma aferição em obra das condições de estabilidade dos taludes laterais e frontais, de acordo com as instruções da Fiscalização. Mediante essas condições as soluções e as medidas preconizadas poderão ter de ser reavaliadas.



Fig.137 – Boca de entrada (GEG)



Fig.138 – Boca de saída (GEG)

Seguidamente apresentam-se os tratamentos a efectuar nos emboquilhamentos de entrada e de saída.

#### Emboquilhamento de entrada do túnel

##### ➤ Caracterização dos taludes:

Verificou-se a existência de taludes inclinados, cobertos de vegetação e onde se destacam alguns afloramentos rochosos. Esses afloramentos são mais evidentes no lado direito junto à extremidade do muro ala. Quanto à estabilidade dos taludes, constatou-se que existem indícios de escorregamentos de características superficiais.

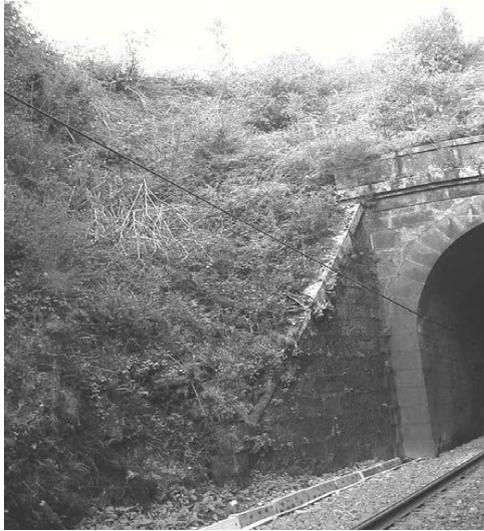


Fig.139 – Muro ala existente do lado esquerdo (GEG)



Fig.140 – Muro ala existente do lado direito (GEG)

➤ Tratamento:

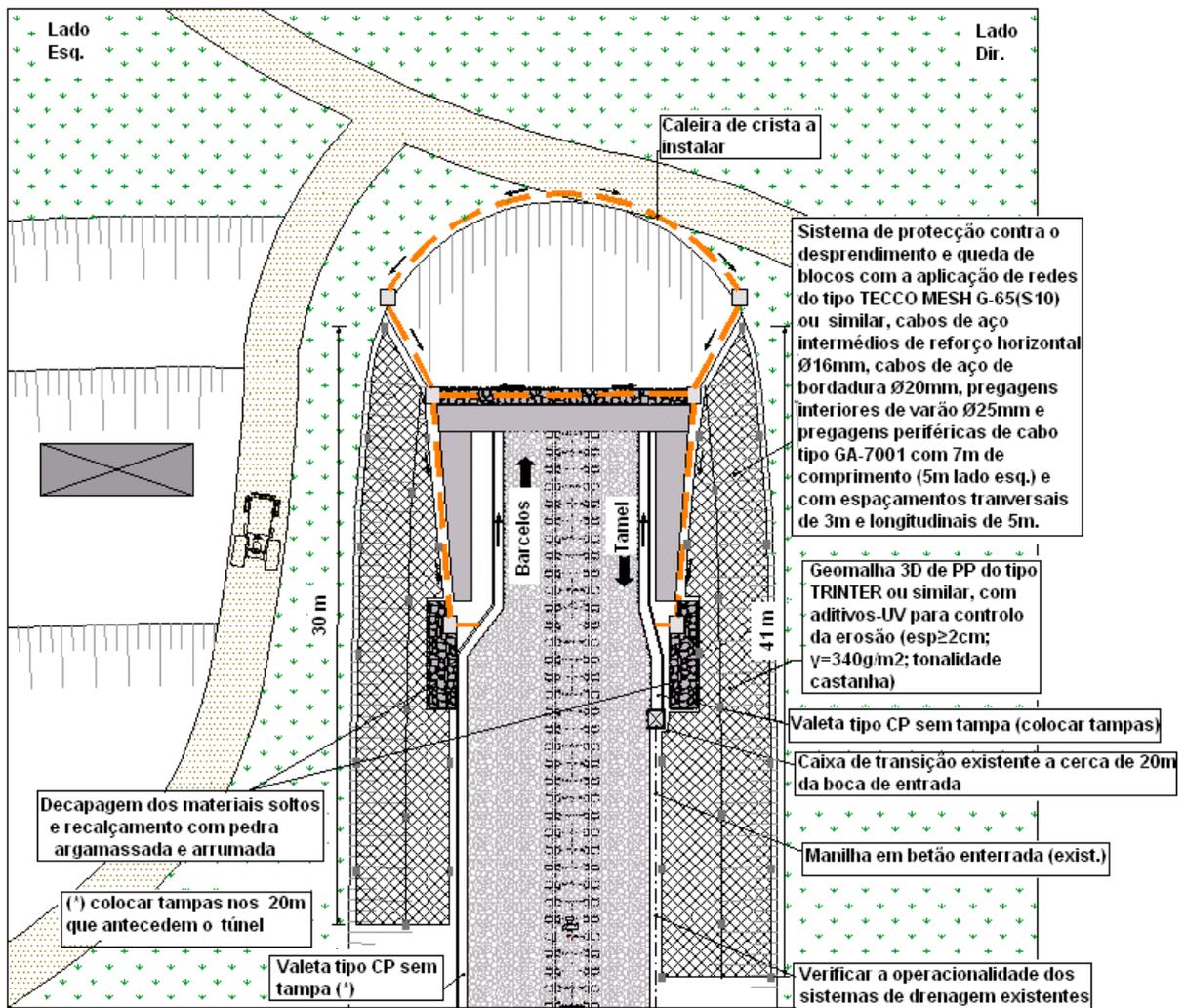


Fig.141 – Tratamento de taludes (GEG)

**(1) Estabilização dos taludes**

O sopé dos taludes encontra-se, em ambos os lados, preenchido com material solto e pouco estável devido aos efeitos erosivos e de degradação associados à passagem da água. Nestes casos será efectuada uma decapagem desses materiais e um posterior recalçamento com pedra arrumada e argamassada manualmente. Esta operação é aplicável aos taludes de ambos os lados. Desta forma, protegem-se os taludes contra a erosão, evitando o arrastamento de sedimentos que possam causar prejuízos por obstrução ao sistema de drenagem do pé de talude e a contaminação do balastro.

Caso venha a ser necessário para garantir a protecção e a conservação do sistema de drenagem a instalar serão executados reforços e recalçamentos na envoltória imediata da estrutura da boca do túnel (incluindo os muros alas), com o recurso a pedra arrumada e argamassada manualmente.

No lado direito, numa extensão com cerca de 41m, serão aplicados sistemas de protecção e estabilização: instalação de sistemas de redes tipo *Tecco Mesh G-65 (S10)*, pregagens de varão/cabo com 7m de profundidade e geomalhas do tipo *Tensiter*. A geomalha é tridimensional em polipropileno com aditivos U-V, tem espessura não inferior a 2cm, um peso de 340g/m e tonalidade acastanhada.

No lado esquerdo, numa extensão com cerca de 30m, serão aplicados sistemas de protecção e estabilização semelhantes ao preconizado para o lado direito, com excepção das pregagens de varão/cabo que deverão apresentar 5m de profundidade.

Na boca de entrada do túnel existe uma estrutura em pedra que se encontra parcialmente degradada, tendo ocorrido alguma fissuração relevante com perda e destacamento de material (Fig.142 e Fig.143). As fissuras e aberturas na alvenaria deverão ser limpas à semelhança daquilo que se preconiza para a beneficiação no interior do túnel, (Cap.3, ponto 3.3.1.).



Fig.142 – Fissura e desprendimento na arquivolta (GEG)

Fig.143 – Fissura na transição para o cunhal (GEG)

As pregagens terão as seguintes características:

➤ **Posicionamento:**

- Exteriormente nos muros alas e interiormente nos primeiros metros de sustimento

Para compensar o efeito de compressão/esmagamento da alvenaria na boca de saída, principalmente na zona da abóbada, recomenda-se a execução de dois pares de pregagens transversais de 5m no exterior nos muros ala e duas fiadas de quatro pregagens adicionais de 2,5m de comprimento nos primeiros 4m de sustimento no interior do túnel.

No talude frontal

Para a compensação da descompressão longitudinal da boca em relação ao túnel será executada uma viga de betão armado no talude frontal do emboquilhamento, a qual será amarrada em profundidade com recurso a 4 pregagens com 8m de comprimento. A viga será revestida a pedra arrumada e argamassada manualmente.

A execução da viga pregada, em alternativa a uma malha mais densa de pregagens ao nível do muro de testa, alivia, em termos construtivos, as preocupações que poderão ser criadas em relação às dificuldades de execução (intercepção com pregagens transversais, proximidade ao sustimento e contorno escavado, danos nos blocos de alvenaria, etc.), assegurando também um efeito de compressão favorável ao maciço que envolve superiormente o sustimento do túnel.

O posicionamento e a inclinação das perfurações e das pregagens terão ainda que ter em conta o necessário afastamento em relação ao contorno de escavação formado pelo túnel e o facto das selagens serem executadas por gravidade. Os posicionamentos apresentados são meramente indicativos, pois terão de ser compatibilizados com as pregagens transversais de reforço geral do sustimento executadas no interior do túnel, (Cap.3, ponto 3.3.2.).

➤ **Tipo:**

As pregagens referidas serão em aço A500, com protecção anticorrosiva e diâmetro de 25mm.

➤ **Selagem:**

A selagem será realizada com calda de cimento, sem pressões de injeção.

➤ **Aperto:**

O varão de aço deverá apresentar uma das extremidades cortada em bisel e a outra munida de rosca, de modo a proceder-se a um aperto final (ligeiro) contra a placa de fixação com recurso a uma chave dinamométrica, permitindo desde logo pôr o elemento em tensão, controlando melhor eventuais deformações.

No caso das pregagens a serem executadas contra os muros ala, o tensionamento ou aperto da pregagem não se pretende muito elevado por se tratar de uma alvenaria em pedra, podendo provocar movimentos no bloco ou blocos que recebem a pregagem.

Caso se verifique necessário, a ligação à alvenaria deverá fazer-se com uma almofada de betão de modo a garantir uma distribuição uniforme das cargas.

As placas de fixação em aço terão uma geometria quadrada com 25cm de aresta mínima, uma espessura de 10mm e deverão ser galvanizadas, assim como as rótulas e porcas para aperto.

➤ **Recomendações:**

Alerta-se para a necessidade de serem cumpridos critérios estéticos na execução destes trabalhos, no sentido de assegurar a realização de uma malha de pregagens com uma geometria bem definida e também uma boa execução de trabalhos de modo a evitar, por exemplo, escorrimento de caldas pelas paredes.

A viga de betão armado deverá ser executada contra o terreno previamente preparado para o efeito e revestido a pedra arrumada e argamassada manualmente.

Será importante referir que as soluções estudadas não consideraram alterações geométricas nos taludes de forma a não comprometer os limites de expropriação existentes, os quais são desconhecidos.

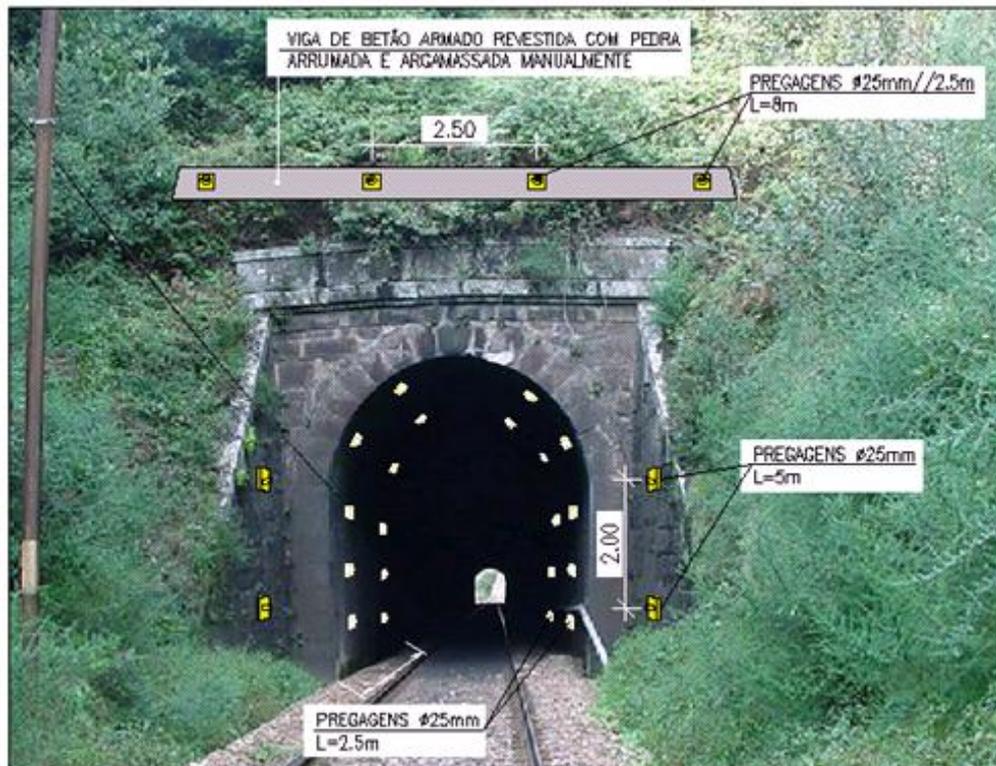


Fig.144 – Execução de pregagens (GEG)

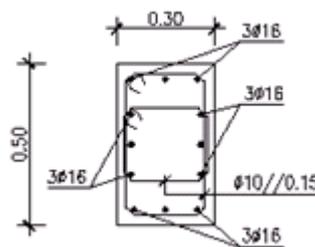


Fig.145 – Viga pregada (armaduras) (GEG)

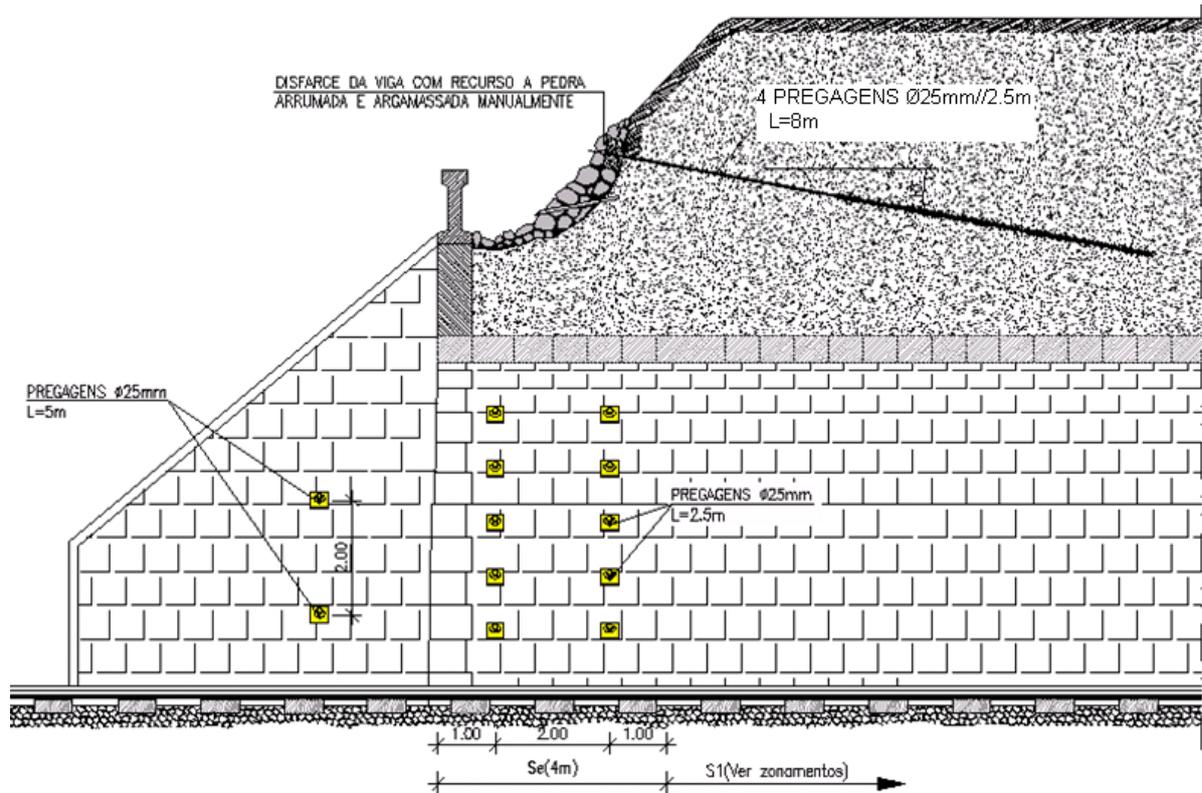


Fig.146 – Reforço da boca do túnel (GEG)

## (2) Drenagem

Não existem quaisquer órgãos de drenagem superficial ou profunda nos taludes. Ao nível da ferrovia existem valetas do tipo CP destapadas, em ambos os lados da via. A cerca de 25m da entrada do túnel, a valeta existente no lado direito sofre uma transição para uma manilha de betão enterrada, (Fig.148). Assim, recomenda-se a instalação de caleiras nas cristas, devidamente encaminhadas para as valetas de pé de talude. Também é recomendada a desobstrução de todo o sistema existente e a verificação da sua operacionalidade.



Fig.147 – Drenagem à entrada do túnel (lado esquerdo) (GEG)



Fig.148 – Caixa de ligação da valeta para a manilha (GEG)

Deverão ser corrigidas as ligações das valetas existentes à entrada do túnel com as caleiras no interior do túnel (Fig.147). As valetas deverão ser reposicionadas de acordo com a nova rasante rebaixada.

A execução de drenos profundos ao longo dos taludes poderia acarretar alterações significativas no nível freático, com possíveis repercussões no nível de água dos poços e nas próprias condições agrícolas existentes. Assim, não serão executados drenos profundos nestes taludes.

Após a desmatação dos taludes e caso seja detectada uma linha de água ou mesmo um despejo de água para esta zona, deverá ser previsto um sistema de encaminhamento ou de desvio, de modo a corrigir a situação.

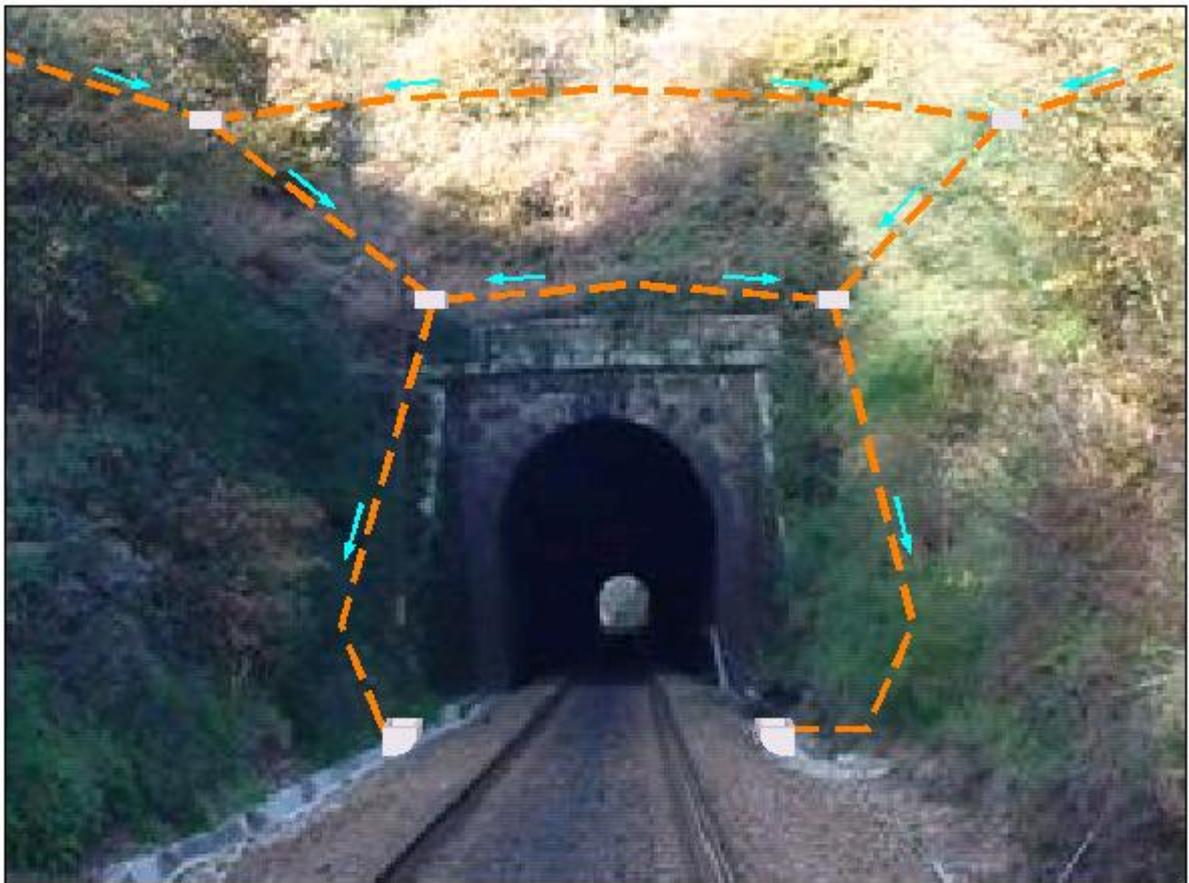


Fig.149 – Drenagem (GEG)

### **Emboquilhamento de saída do túnel**

#### ➤ **Caracterização:**

Verificou-se a existência de uma habitação na crista do talude de emboquilhamento localizado no lado direito da via. O talude em questão apresenta, no trecho localizado imediatamente a seguir ao muro ala, uma altura e uma inclinação bastante arrojadas, sendo o maciço constituído por rocha fracturada, material mais alterado e uma cobertura de vegetação.

➤ **Tratamento:**

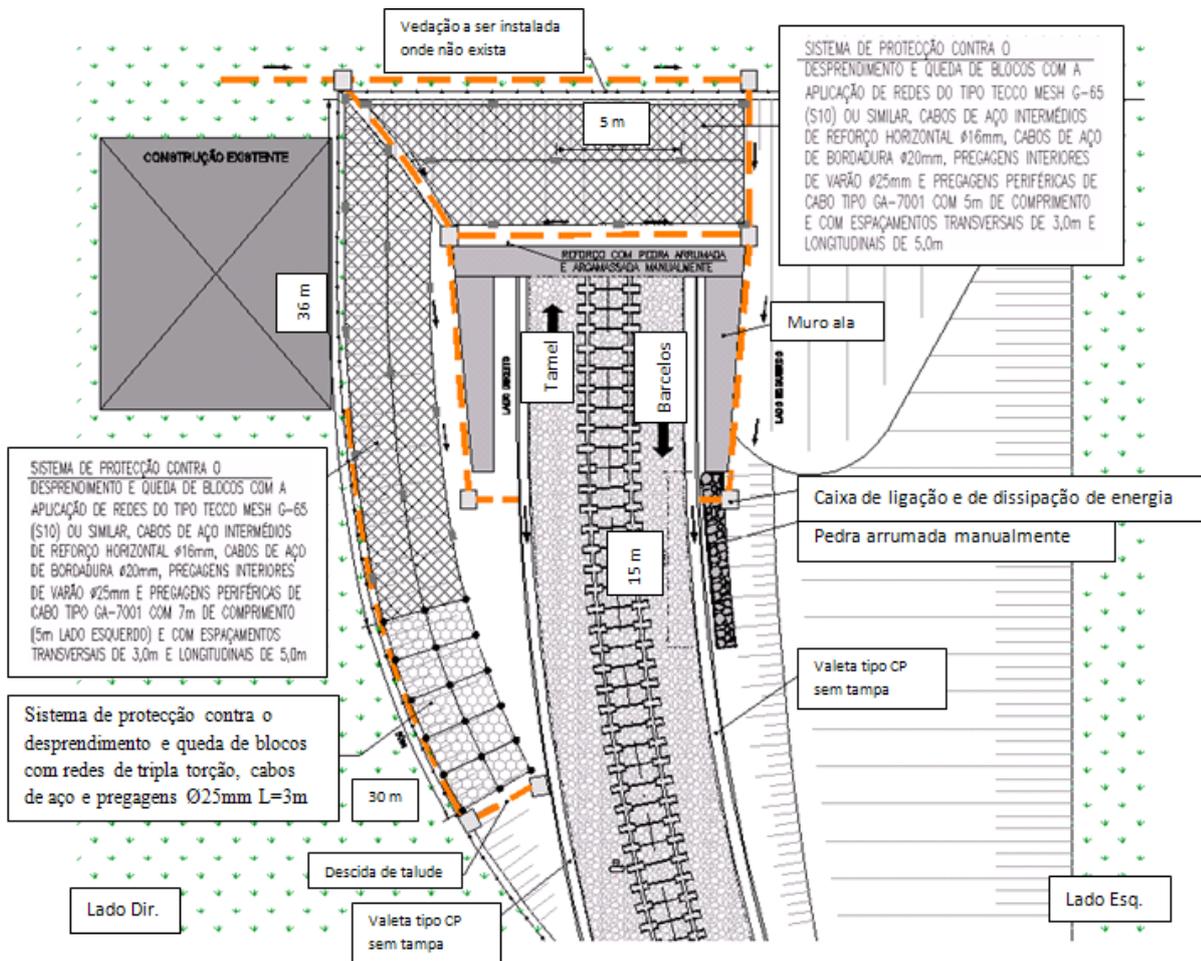


Fig.150 – Tratamento dos taludes (GEG)

(1) **Estabilização dos taludes**

Terão de ser efectuados:

• **Tratamentos no talude do lado direito**

Recomenda-se para este talude direito (extensão aproximada de 36m) a instalação de sistemas de redes tipo *Tecco Mesh G-65 (S10)*, pregagens de varão/cabo com 7m de profundidade e geomalhas do tipo *Trinter*. Também deverá ser aplicada uma solução de redes de tripla torção e cabos de aço pregados ao maciço numa extensão com cerca de 30m (Fig.151).

• **Tratamentos no talude frontal**

Para o talude frontal é recomendada a instalação de sistemas de redes tipo *Tecco Mesh G-65 (S10)*, pregagens de varão/cabo com 5m de profundidade e geomalhas do tipo *Trinter* ou similar.

• **Tratamentos no talude do lado esquerdo**

A pequena plataforma existente ao longo da caleira deverá ser ligeiramente decapada e regularizada para depois se realizar um assentamento de pedra de forma a consolidar o

terreno.

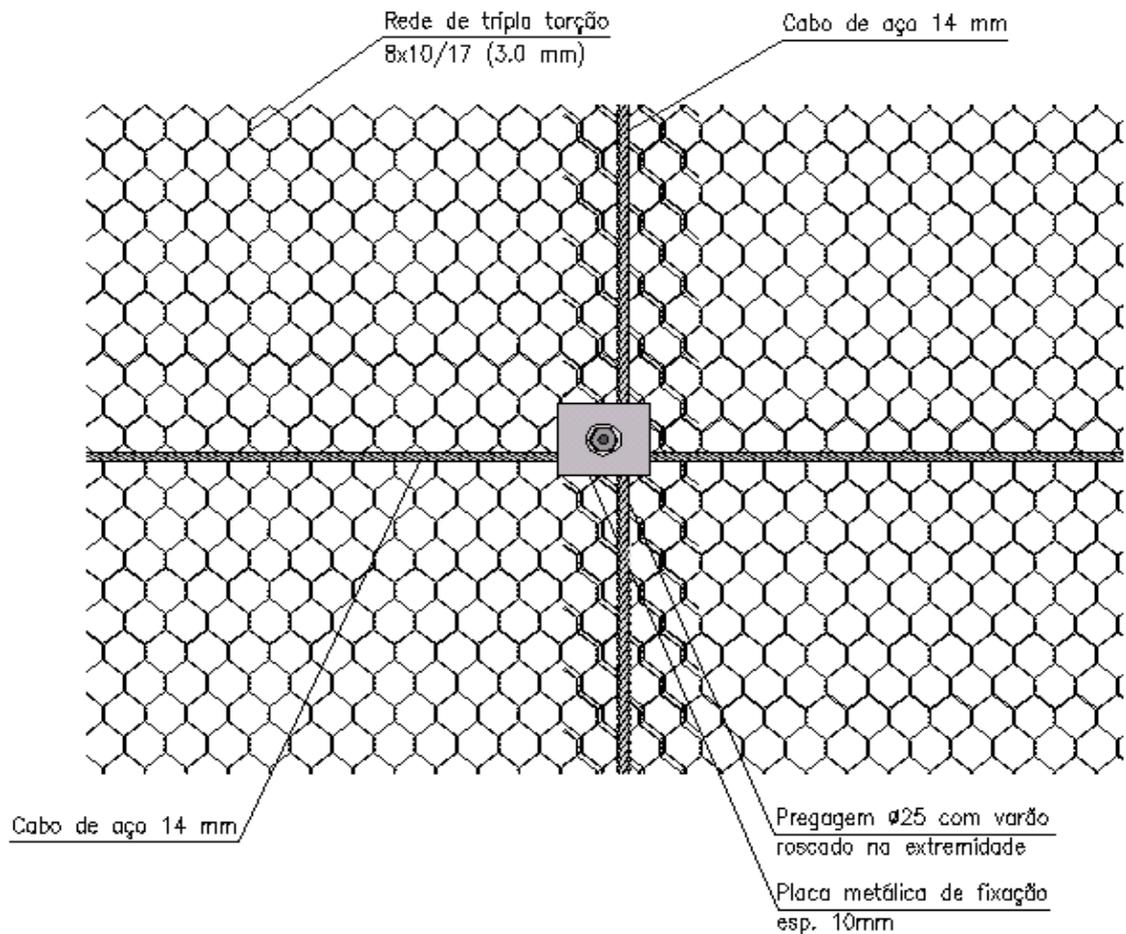


Fig.151 – Sistema de estabilização de taludes (GEG)

## (2) Drenagem

A drenagem será assegurada pela colocação de caleiras para captação e encaminhamento das águas para o sistema de drenagem de pé de talude e da plataforma. Os diâmetros indicados para as caleiras em meia cana são os valores mínimos a serem garantidos.

O real posicionamento das caleiras, descidas de talude e caixas de ligação deverá ser aferido em obra, de acordo com as instruções da Fiscalização.

Sugere-se que sejam tapadas as valetas com as tampas apropriadas, de modo a dificultar a sua obstrução na eventualidade de ocorrerem desprendimentos ou arrastamento de materiais soltos e de balastro (Fig.152).

Será importante proceder ao rebaixamento e reposição das valetas e ainda à limpeza e à reabilitação dos dispositivos de drenagem existentes (Fig.153). As reabilitações poderão ser realizadas com recurso a pedra arrumada e argamassada manualmente. O rebaixamento das valetas será estabelecido em função do rebaixamento da via, numa extensão de aproximadamente 100m e com inclinações na ordem dos 1,1%.



Fig.152 – Aspecto da caleira existente à saída do túnel (GEG)

Fig.153 – Sistema de drenagem obstruído (GEG)

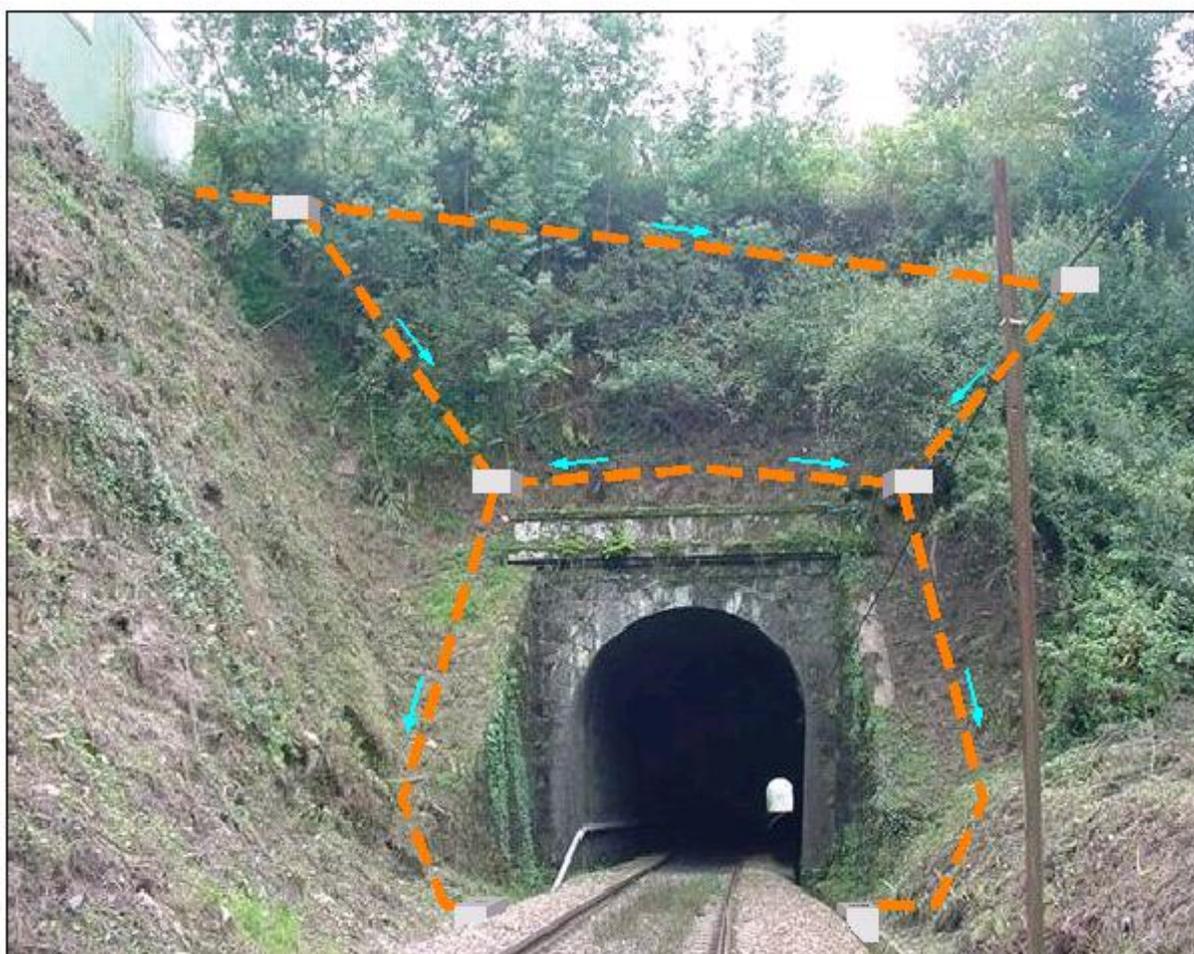


Fig.154 – Drenagem (GEG)

## 6.5. TRATAMENTO DOS EMBOQUILHAMENTOS DO TÚNEL DE CAMINHA

### **Emboquilhamento de entrada do túnel**

#### ➤ **Caracterização:**

O emboquilhamento de entrada apresenta uma matriz global rochosa constituída por material de granito homogéneo. Apesar do maciço rochoso ter boa qualidade e uma aparente estabilidade global, apresenta um significativo grau de fracturação e algumas falhas consideráveis. A maioria das fracturas está preenchida por vegetação mais ou menos densa, potenciando a progressiva descompressão do maciço.

O emboquilhamento encontra-se parcialmente revestido por um manto de vegetação, principalmente nos taludes laterais. Existe uma forte presença de água em todo o maciço envolvente, assinalada não só pelas observações efectuadas ao local, mas também pela existência de forte vegetação nos taludes do emboquilhamento e em toda a zona em geral.

A boca do túnel não tem qualquer revestimento, apresentando-se como um recorte irregular escavado no maciço rochoso envolvente.

Aparentemente não existe drenagem nas valetas da base dos taludes, pois é notável a grande quantidade de vegetação e materiais soltos devido às grandes concentrações de água nessas zonas (encharcamentos) e ao desgaste provocado pelas escorrências.

Os taludes apresentam declives bastante acentuados, em especial o talude frontal que tem uma altura considerável com cerca de 17m a partir da plataforma ferroviária, quase na vertical.

A presença de água e de vegetação nas fracturas do maciço criam pressões nestas que, aliadas à subverticalidade do talude, podem causar o desprendimento de blocos rochosos de dimensões variadas que uma vez caídos na linha férrea poderão provocar graves consequências. Para além da questão do desprendimento e da queda de blocos dos taludes, existe ainda a possibilidade de arremesso de objectos e pedras a partir da crista do talude frontal.

O facto da linha-férrea se encontrar encaixada numa depressão formada pelos dois taludes rochosos laterais e ter uma largura muito reduzida, condicionou e limitou significativamente a estrutura de reforço e protecção a realizar.

Na crista do talude esquerdo, numa zona próxima da boca do túnel, existe uma edificação.

➤ **Tratamento:**

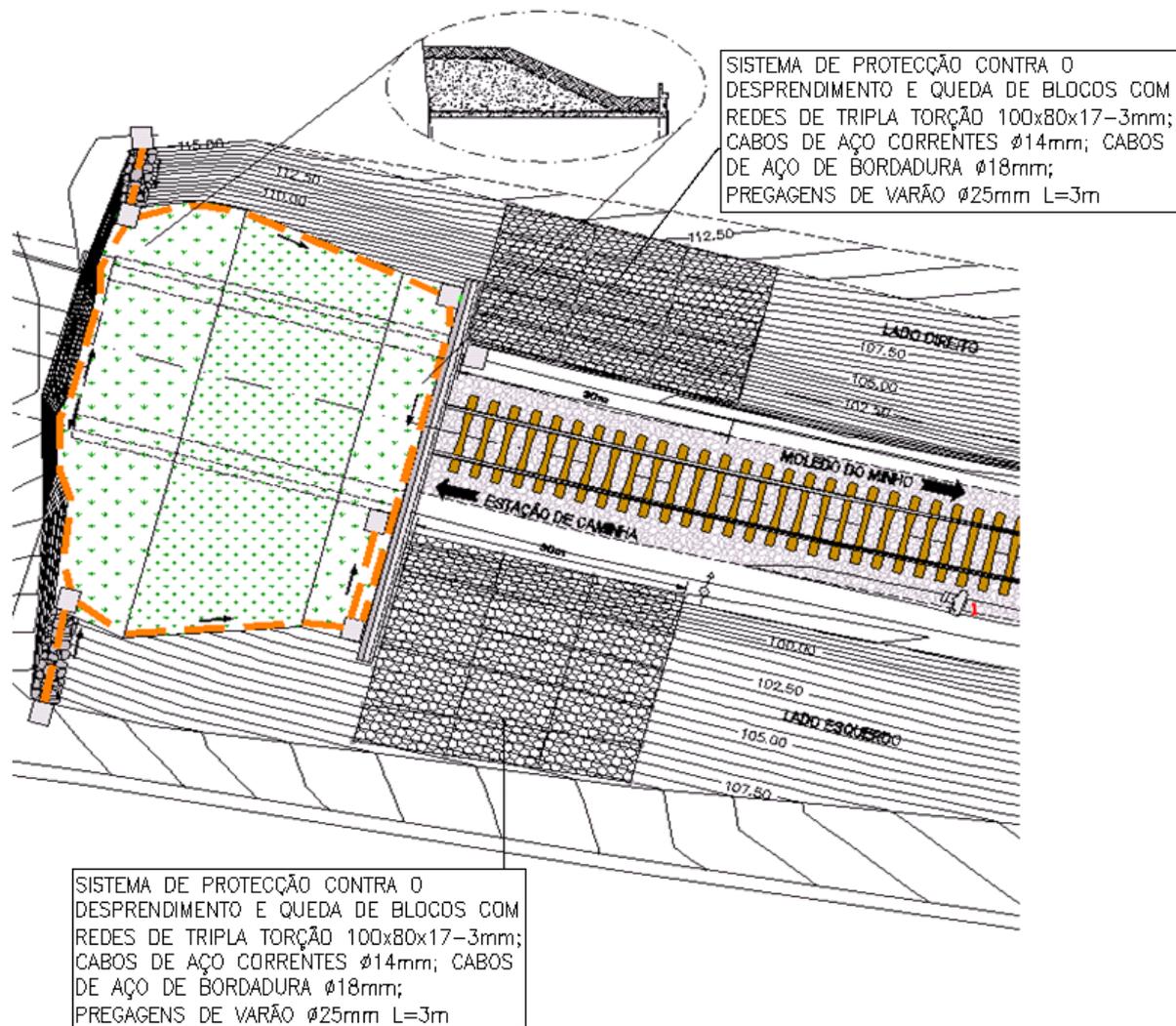


Fig.155 – Tratamento dos taludes (GEG)

(1) **Estabilização dos taludes**

Terão de ser efectuados:

• **Tratamentos no talude frontal**

Previu-se a realização do prolongamento do túnel com recurso a uma estrutura de betão armado executada com uma secção no intradorso semelhante à originalmente utilizada para a extensão revestida do túnel.

O método construtivo da estrutura a realizar será muito semelhante ao método *cut-and-cover*, ou método VCA (ver nota 2 de rodapé no Cap.2 no ponto 2.3), mas neste caso o talude já se encontra aberto e apenas se irá proceder à execução da estrutura do túnel e posterior cobertura.

A estrutura será constituída, essencialmente, por uma secção em túnel com cerca de 11m de comprimento e um novo muro testa a fechar o extradorso da referida secção, o qual será

aterrado e compactado convenientemente.

A geometria do referido aterro foi definida de modo a ser facilmente drenado e para poder amortecer e dissipar a energia dos potenciais blocos que se poderão desprender. Será, por isso, executado um aterro com altura variável de modo a apresentar maior altura na zona mais próxima da actual boca e altura menor junto ao muro de testa a executar. A maior altura foi determinada tendo em conta dois aspectos condicionantes para este caso: por um lado, quanto maior a altura de aterro maior será a área de talude protegida e menor será a probabilidade de queda de blocos; por outro, quanto maior a altura, maior serão os esforços nos hasteais da nova estrutura e nas fundações, as quais se encontram limitadas pelo maciço rochoso lateral e apenas podem ser implantadas para o interior do túnel. Assim, na zona junto ao emboquilhamento o aterro terá uma altura de 3,5m acima da abóbada do túnel, deixando ainda exposta uma altura de talude com cerca de 7m. Esta zona mais elevada apresenta uma banqueteta de aproximadamente 4,1m, a qual se considera suficiente para englobar todas as trajectórias de desprendimentos de blocos e sua total dissipação de energia. A zona seguinte do aterro é constituída por um talude com inclinação aproximada de 30° e comprimento de 5,2m, a qual culmina numa banqueteta de 2,0m junto ao muro testa, com uma altura de 0,75m acima da abóbada.

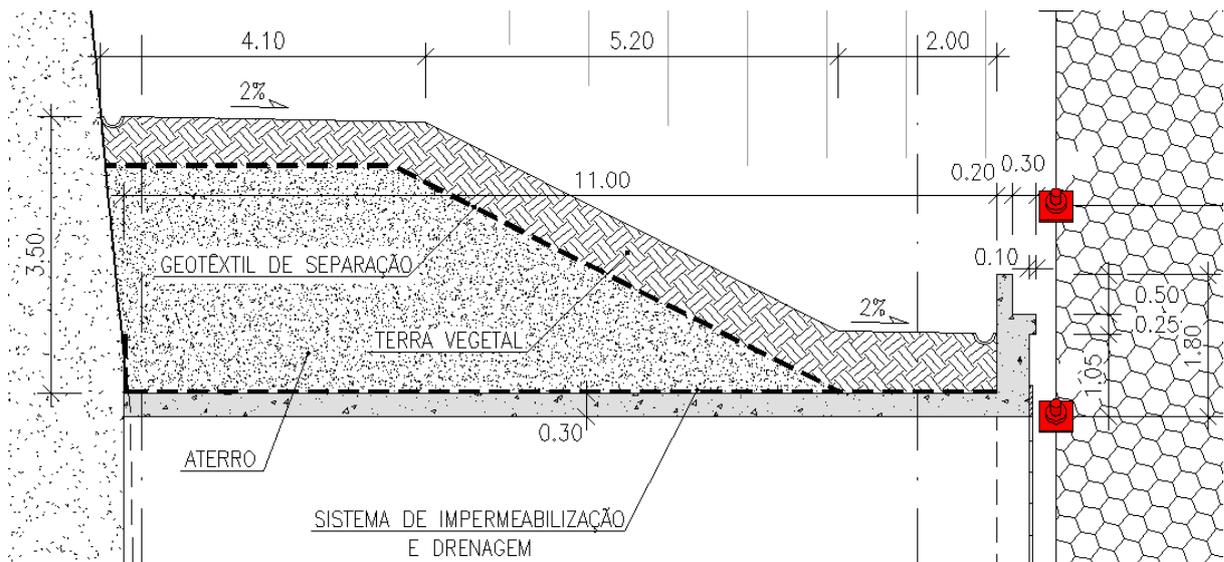


Fig.156 – Pormenor do aterro (adapt. de GEG)

Conforme já foi referido, a estrutura de betão armado apresenta uma extensão aproximada de 11m, sendo os hasteais implantados paralelamente ao eixo da linha a uma distância de aproximadamente 6,0m entre a face interior deles. A estrutura apresenta também uma altura de 6,0m acima do nível dos carris, valor que cumpre folgadoamente os gabaris mínimos exigidos. As paredes da estrutura e da abóbada serão realizadas em betão armado com uma espessura de 0,30m.

A abóbada tem uma geometria circular regular, sendo o raio no intradorso de 3,0m. A transição entre a abóbada e os hasteais é realizada no ponto de tangência da circunferência com a vertical da face interior dos hasteais.

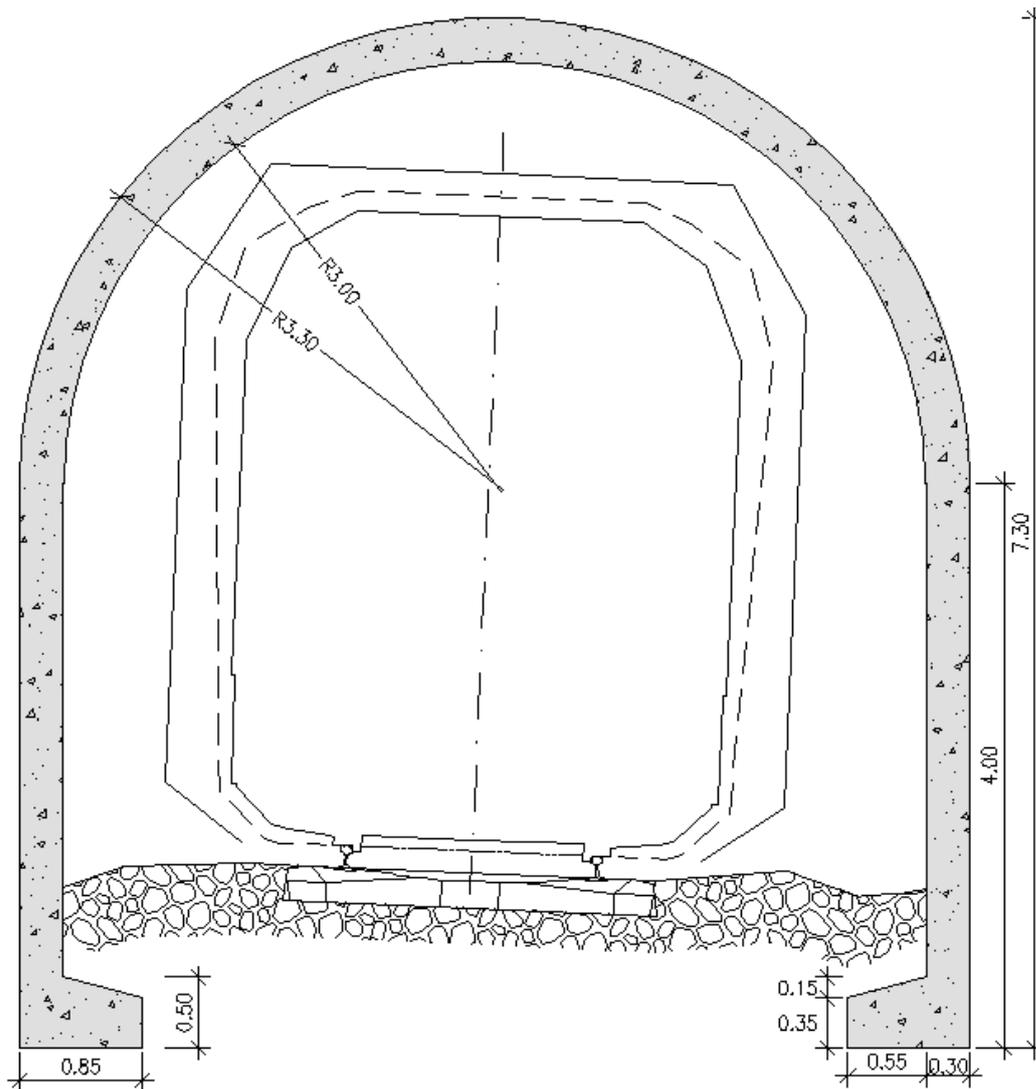


Fig.157 – Estrutura de betão armado (GEG)

A frente do túnel culminará num muro testa com 0,40m de espessura que servirá, para efectuar o fecho do túnel e conter o aterro adjacente. O muro testa será estruturalmente fixo ao pórtico do túnel através das ligações materializadas pelas armaduras de ambas as estruturas. Previamente à montagem e posicionamento das armaduras, deverão também ser cravados e selados ferrolhos ou chumbadouros na rocha dos taludes laterais para que se estabeleça uma melhor fixação do muro. Caso seja necessário, poderá recorrer-se a um adesivo do tipo *Concresive* 1460 para uma melhor união e selagem entre o maciço e o betão. No seu contorno superior realizar-se-á um parapeito em betão armado, com aproximadamente 1,50m de altura e com espessuras variáveis, seguindo um traçado semelhante aos parapeitos de alvenaria existentes noutros túneis da Linha do Minho.

Toda a face frontal do túnel, a permanecer à vista, deverá ser executada recorrendo a cofragens adequadas, de modo a assemelhar-se às antigas construções de alvenaria e ao traçado dos restantes túneis existentes ao longo da Linha do Minho. O contorno da boca do túnel (moldura) deverá ser realizado com uma largura de 0,40m e com 0,05m em alto-relevo.

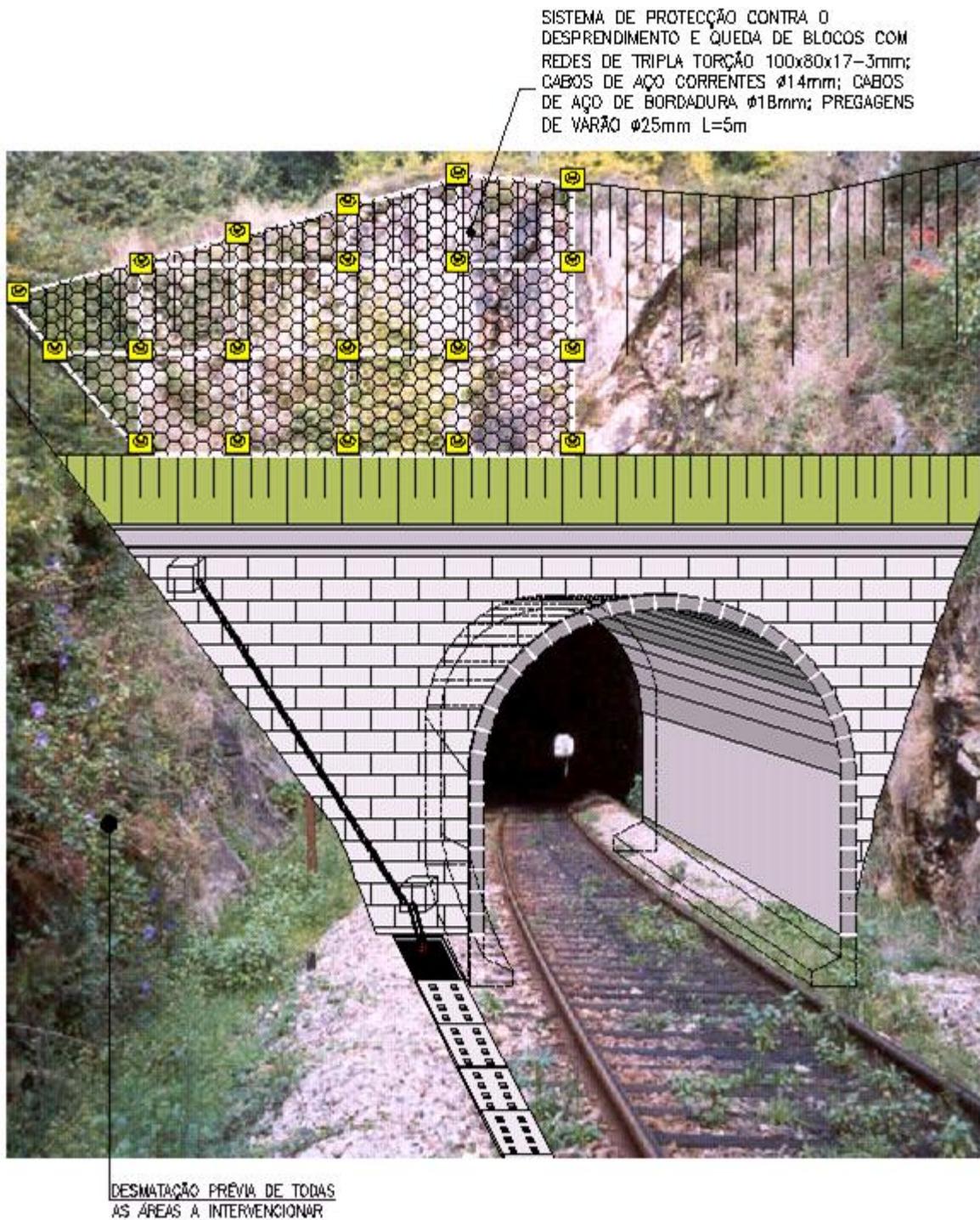


Fig.158 – Tratamento do talude frontal (GEG)

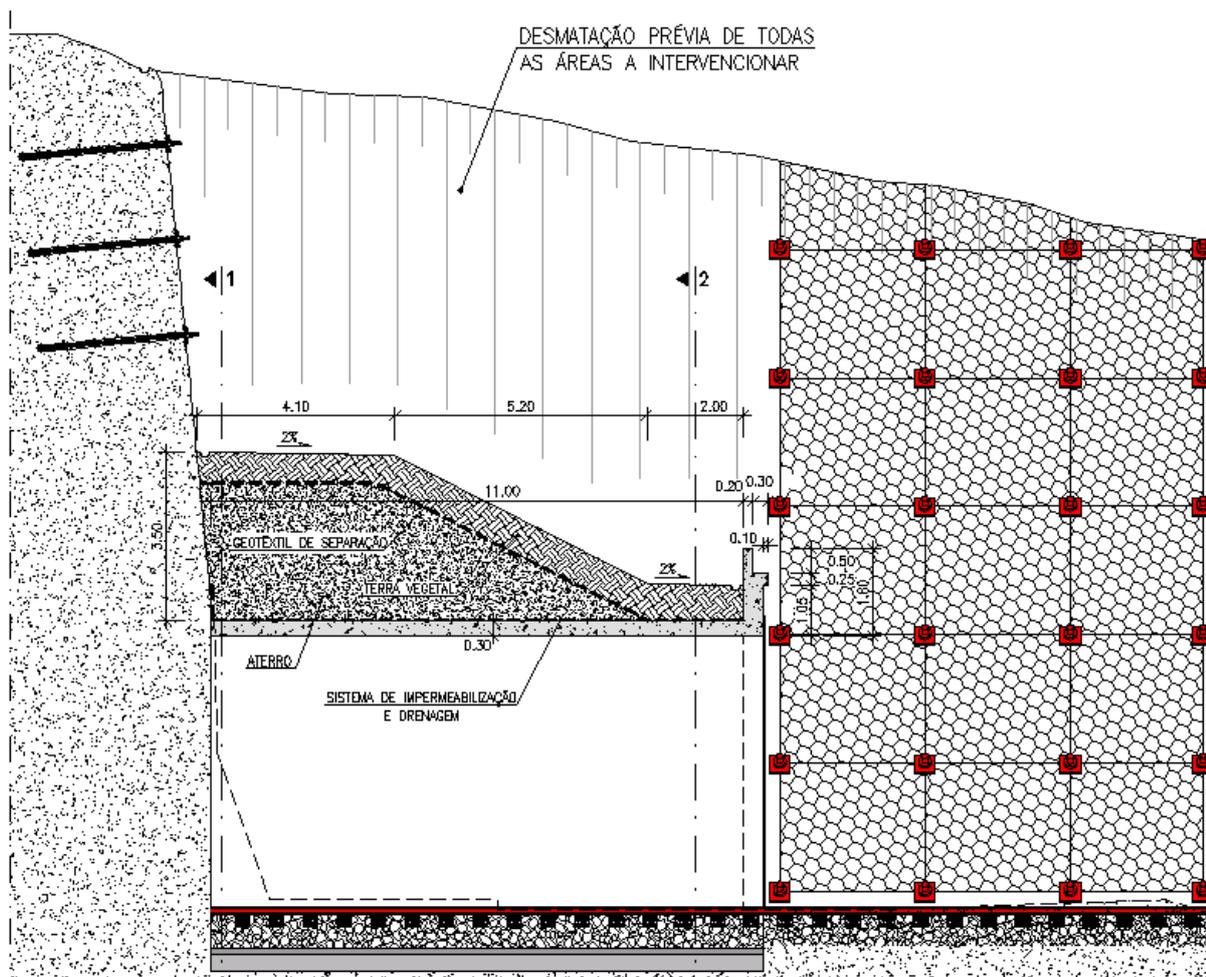


Fig.159 – Tratamento do talude frontal (corte transversal), (GEG)

Para além do aterro de amortecimento, poderá ser necessário proceder-se à estabilização pontual de alguns blocos que se apresentem instáveis e susceptíveis de se soltarem do maciço. Nestes casos devem ser efectuadas pregagens pontuais nessas zonas ou, caso se justifique, ser aplicada uma solução de cabos e redes metálicas pregadas e amarradas ao maciço, como aquele se recomenda para a metade esquerda do talude frontal.

- **Tratamentos nos taludes laterais**

Quanto aos taludes laterais localizados a seguir ao novo emboquilhamento, isto é, no corredor à frente da nova boca de entrada, serão sujeitos a uma estabilização com recurso a pregagens, cabos e redes de protecção contra a queda de blocos, numa extensão aproximada de 30m.

Seguidamente descrevem-se o tipo de pregagens, cabos e redes a usar no tratamento dos taludes frontal e laterais.

- **Pregagens**

As pregagens serão em aço A500, deverão apresentar pelo menos uma ponta roscada e um diâmetro de 25mm. O comprimento dos varões será definido para cada caso.

As peças metálicas de aperto (rosca e placa de fixação) deverão ser colocadas em obra com protecção anticorrosiva de galvanização a quente. Face ao carácter definitivo das pregagens é fundamental proteger estes elementos colocando centralizadores e tubos corrugados em PVC. Também é necessário usar métodos de furação e de selagem fiáveis e eficazes.

O aperto final das pregagens será efectuado com uma chave dinamométrica, aplicando uma tensão de 20 a 40kN, de modo a melhorar o confinamento estático do sistema ao maciço rochoso e a limitar as possíveis deformações.

- **Cabos**

Estes cabos serão em aço galvanizado e terão 14mm de diâmetro.

- **Rede**

A rede de tripla torção, usada para o tratamento dos taludes laterais e frontal, será constituída por arame de aço galvanizado da classe 100x80x17 (3,0mm).

Para além das redes e das pregagens, poderá ser benéfica a instalação de sistemas de protecção contra a erosão, de forma a promover a retenção dos materiais e revegetação adequada dos taludes e evitar o arrastamento de sedimentos que possam causar prejuízos pela obstrução do sistema de drenagem do pé de talude e pela contaminação do balastro.

Será ainda ponderada a colocação de mantas de protecção contra a erosão posicionadas entre a superfície dos taludes e as redes de tripla torção.

Numa fase inicial, ainda em obra, será importante garantir uma protecção de recurso contra a eventual ocorrência de intempéries (tela impermeável em rolo).

Relativamente à superfície irregular do maciço rochoso, será necessário proceder-se previamente, à sua regularização com recurso a uma camada de argamassa. Este tratamento tem como finalidade garantir uma boa selagem entre os dois elementos, garantindo a sua impermeabilização e a flexibilidade necessária da respectiva junta.

Em fase de exploração, deverão ser retirados os fragmentos ou blocos que eventualmente se desprendam e que ocupem o aterro de amortecimento.

## (2) Drenagem

Será necessário efectuar um bom sistema de recolha de águas, de modo a que estas não escurram em grandes quantidades pelos taludes, provocando uma maior degradação e erosão do maciço rochoso fracturado e consequentemente a diminuição da estabilidade e um substancial aumento das forças actuantes na estrutura projectada.

As banquetas a construir no aterro sobre o túnel, deverão apresentar uma pendente de 2%, encaminhando as águas para as caleiras de recolha que as conduzirão ao restante sistema de drenagem.

Além das caleiras situadas atrás do parapeito e junto da base do actual talude frontal, também deverão ser instaladas caleiras no sopé dos taludes laterais. Devido à inclinação dos taludes e ao posicionamento particular das caleiras de descida de talude superiores, poderá ser necessário reforçar a base de assentamento das caleiras com pedra arrumada e argamassada manualmente.

Em relação à drenagem interna, deverá ser impermeabilizada a estrutura do túnel no seu extradorso e colocada uma tela drenante envolvendo toda a estrutura do túnel, com a finalidade de recolher toda a água que se possa infiltrar através do aterro. Esta água será encaminhada para um esporão drenante a ser instalado na base do extradorso dos hasteais, sendo de seguida reencaminhada no sentido da nova boca do túnel e atravessando a base do muro testa para o sistema de drenagem de pé de talude, no exterior do túnel.

Quanto à caleira a executar na tardo do parapeito, a mesma será ligada, através de uma caixa, a um tubo colector a ser colocado na descida do talude imediatamente no tardo do muro testa, de modo a encaminhar as águas para a base do talude, onde existirá uma outra caixa de recepção de escoamento dessas águas e das provenientes do esporão drenante.

O esporão drenante será constituído por uma camada de brita envolta em geotêxtil do tipo *Polyfelt* TS50 e por um tubo circular de dupla parede corrugada exteriormente e com superfície interior lisa do tipo *Duralight* da *Fersil* ou similar, colocado no seu interior ao nível da base.

A impermeabilização da estrutura do túnel e do muro testa será realizada com recurso a uma tela asfáltica armada do tipo *Polyster* R50 V, constituída por uma mistura betuminosa, com betume polímero APP; resinas e filler; armaduras de feltro de fibra de vidro e de poliéster e, um acabamento nas faces com filme de polietileno e/ou areia. Antes da colocação da tela asfáltica deverá ser aplicado um primário com recurso a uma emulsão betuminosa do tipo *Imperkote* F, constituída por betumes e resinas, fillerizada e estabilizada com emulsionantes minerais coloidais que asseguram a sua estabilidade. A aplicação deve ser executada com cerca de 2cm e de acordo com as recomendações do fabricante, podendo-se aplicar com rolo, espátula ou pistola. Sobre a tela asfáltica será colocada uma tela drenante do tipo *Cordrain* 1100x16, constituída por uma estrutura alveolar em polietileno de alta densidade (PEAD) e um geotêxtil em fibra de polipropileno (PP). O sistema não só recolhe e evacua as águas de infiltração do aterro como também protege a camada asfáltica de impermeabilização, nomeadamente durante a realização do aterro. Deverão ser rigorosamente cumpridas as recomendações do fabricante relativamente à fixação das telas à estrutura de betão armado; à junção e sobreposição de telas adjacentes; aos remates a serem efectuados; às ligações com a drenagem na base e à execução do aterro, nomeadamente à sua compactação.

O tratamento impermeabilizante da ligação entre a nova secção do túnel e do maciço rochoso do actual emboquilhamento frontal merece um cuidado especial. Este deverá ser semelhante ao empreendido na ligação do muro testa ao maciço rochoso dos taludes laterais, mas com uma preocupação acrescida e mais exigente no que diz respeito à sua impermeabilização. Será necessário garantir a protecção estanque de todo este contorno, de modo a impedir a infiltração de água para o interior do túnel e para evitar que circulem águas abaixo da estrutura alveolar que constitui o sistema de drenagem no extradorso da nova secção de túnel. Para tal deverá ser utilizada um sistema combinado do tipo *Sikadur-Combiflex* da *Sika*, constituído por dois produtos distintos: uma cola adesiva de epoxi e uma membrana elástica.

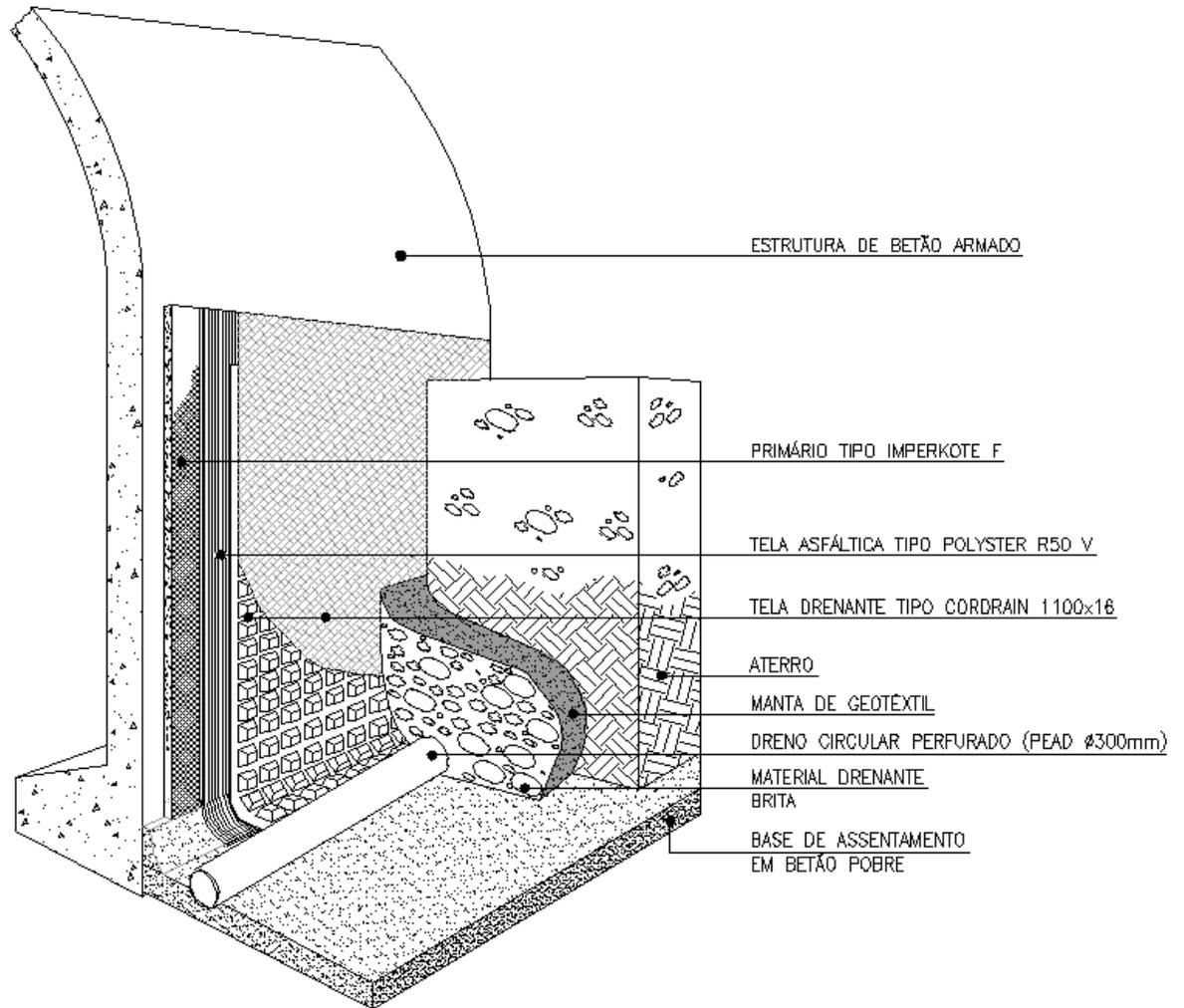


Fig.160 – Drenagem 1 (pormenor), (GEG)

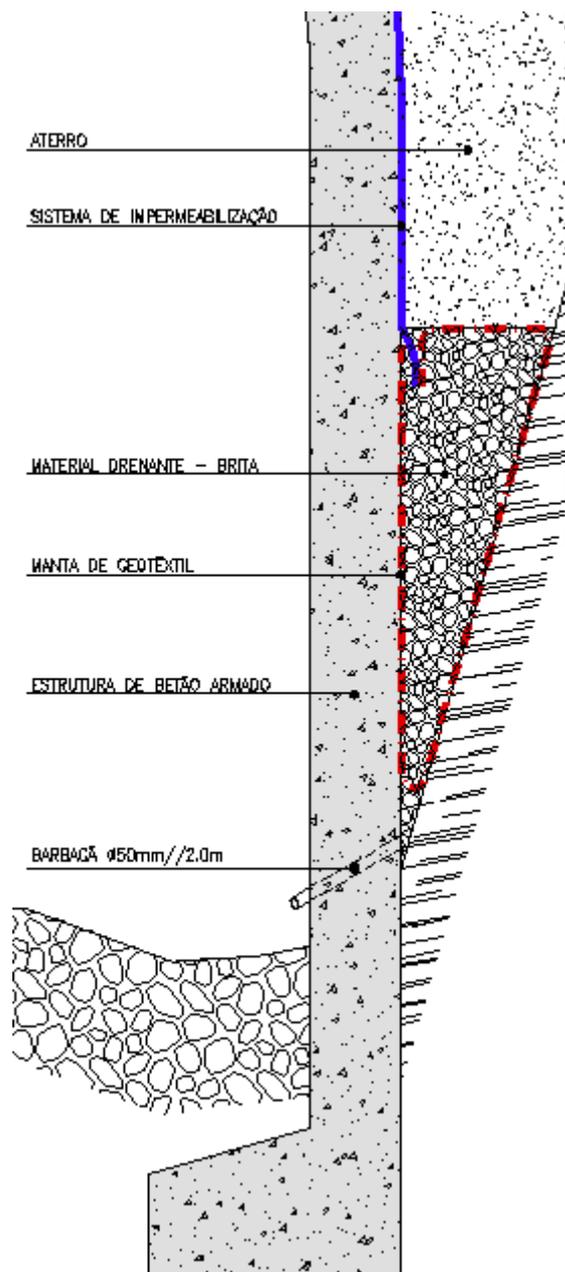


Fig.161 – Drenagem 2 (pormenor), (GEG)

### **Emboquilhamento de saída do túnel**

#### **➤ Caracterização:**

Na base dos taludes existe acumulação de materiais provenientes dos taludes, nomeadamente na proximidade do túnel. Por isso, o projectista sugere a aplicação de soluções combinadas de estabilização, de protecção contra a erosão e de drenagem. Será adoptado um tratamento centralizado na envolvente imediata da boca de saída.

➤ **Tratamento:**

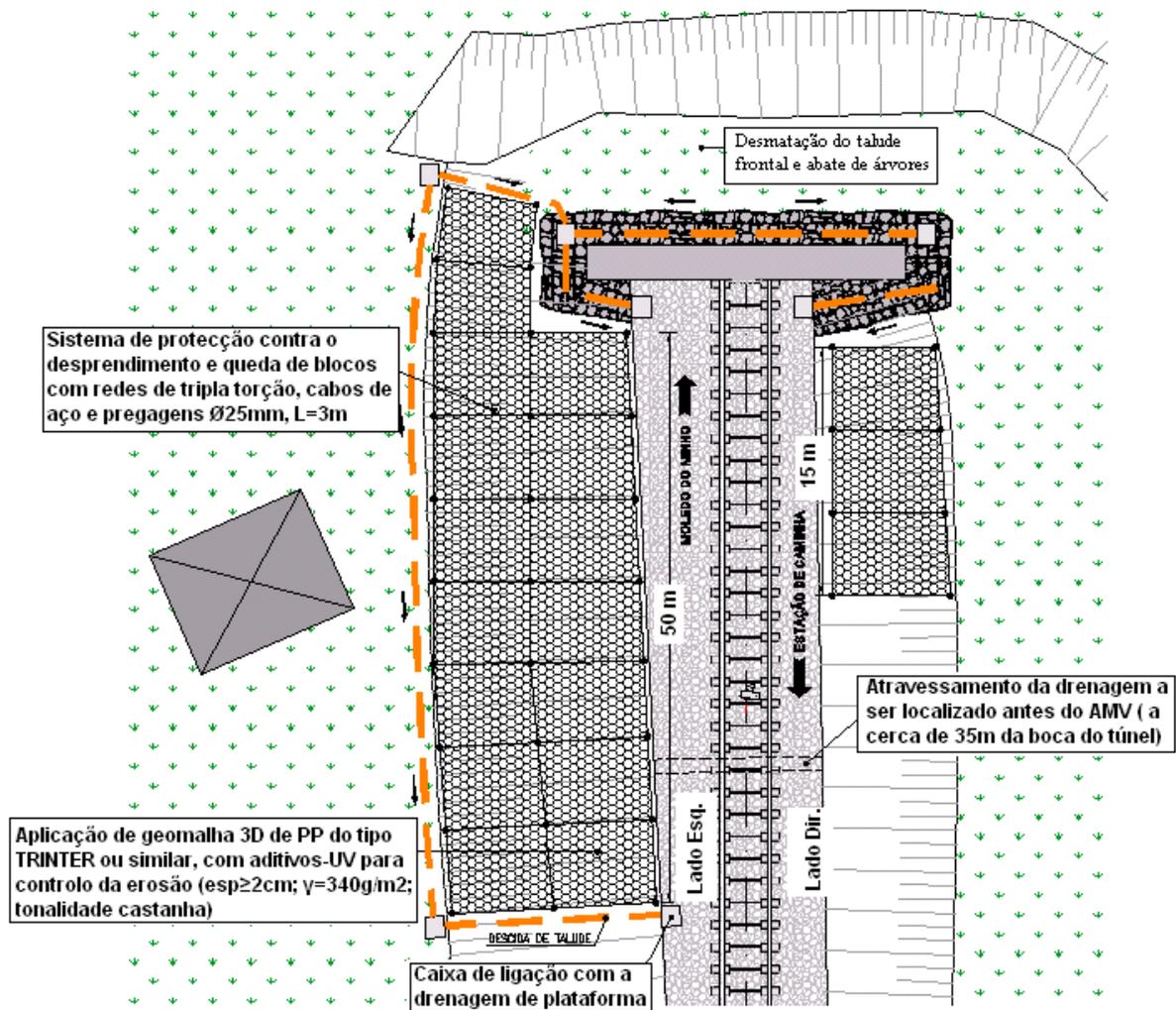


Fig.162 – Tratamento dos taludes (GEG)

**(1) Estabilização dos taludes**

Aplicar-se-ão pregagens, cabos de aço, redes e mantas (geomalhas) idênticos aos aplicados no emboquilhamento de entrada e já referidos.

Serão executados recalçamentos em pedra nomeadamente de protecção à drenagem superficial na zona adjacente à boca (tardoz e descidas de talude).

**(2) Drenagem**

Serão colocadas caleiras para captação e encaminhamento das águas para o sistema de drenagem de pé de talude e da plataforma. Os diâmetros indicados para as caleiras em meia cana são os valores mínimos a serem garantidos.

O real posicionamento das descidas de talude e o seu reforço com pedra arrumada e argamassada manualmente deverão ser ajustados em obra, com o acordo da Fiscalização.

Recomenda-se a limpeza e a reabilitação dos órgãos de drenagem existentes, impedindo a sua futura obstrução. Dada a tipologia dos taludes e materiais ocorrentes será fundamental que os serviços de manutenção da linha-férrea façam a limpeza periódica dos diversos dispositivos de drenagem nomeadamente as caixas de derivação, descidas de taludes, valetas, caleiras, etc.

Deverá proceder-se a operações de desmatização antes de iniciadas as intervenções de reparação e construção.

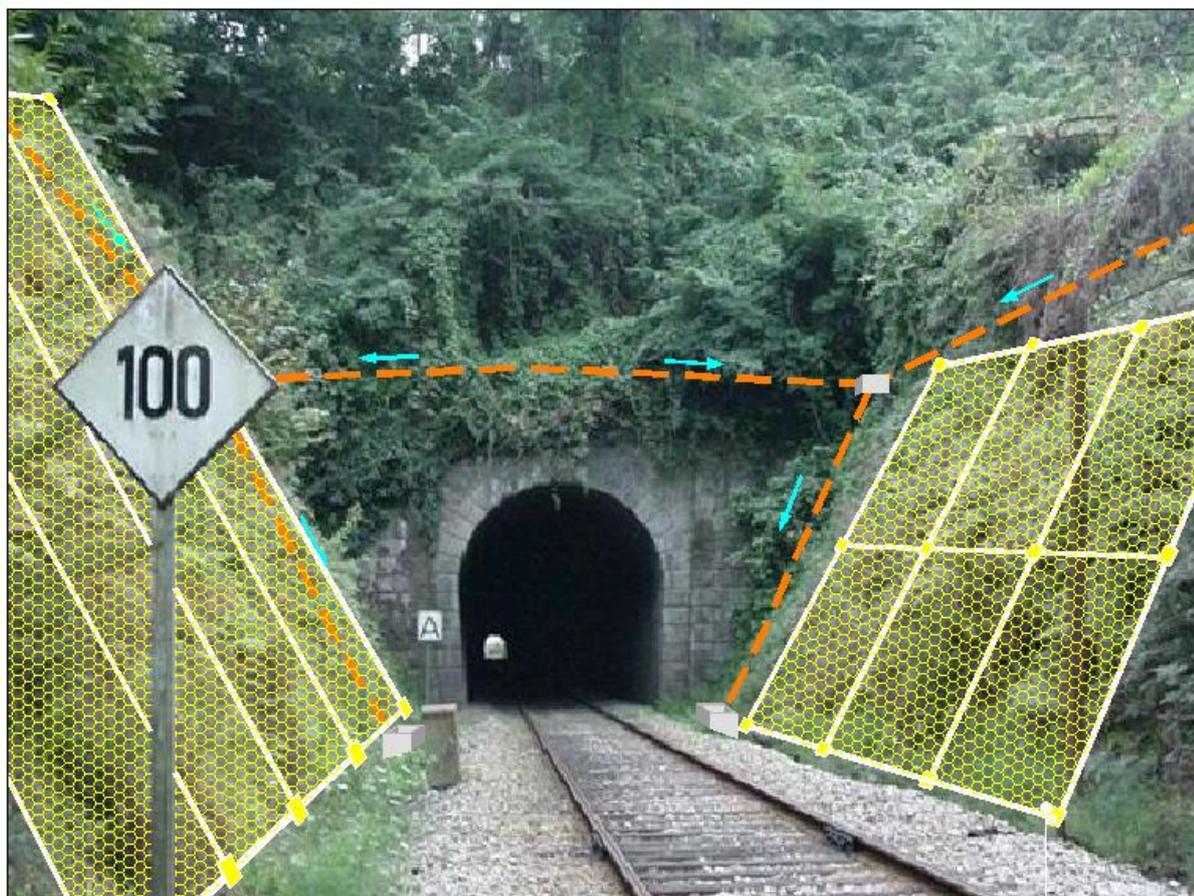


Fig.160 – Drenagem (GEG)

# 7

## IMPORTÂNCIA DA INSTRUMENTAÇÃO E DA MONITORIZAÇÃO

Segundo Souza & Ripper (1998), a manutenção de uma estrutura é o conjunto de actividades necessárias para garantia do seu desempenho satisfatório ao longo do tempo, ou seja, o conjunto de rotinas que tenham por finalidade o prolongamento da vida útil da obra, a um custo compensador. Os mesmos dizem que um bom programa de manutenção implica a definição de metodologias adequadas de operação, de controlo e de execução da obra assentes numa análise custo-benefício dessa manutenção.

Um plano de monitorização para os túneis deve ser traçado por forma a acompanhar e a controlar a evolução dos movimentos e as deformações da estrutura, desde o início da obra até à finalização dos trabalhos. Esse plano servirá, essencialmente, de aviso e de prevenção de incidentes.

O acompanhamento dos trabalhos deve ser realizado de forma cuidada e terá como principais objectivos: detectar antecipadamente algum indício de comportamento não esperado e aferir a influência das diversas operações a serem empreendidas no interior do túnel, nomeadamente ao nível dos trabalhos de perfuração e de desmonte da plataforma.

Será ainda fundamental supervisionar o comportamento e as características das argamassas de refechamento de juntas; das zonas impermeabilizadas das abóbadas; dos sistemas de drenagem; dos novos revestimentos; da fixação e selagem dos canais de drenagem; das espessuras de betão projectado; dos sistemas de sustentação provisória dos nichos; da contenção e suspensão da via aquando do rebaixamento da via e da plataforma, entre outros.

Este acompanhamento deverá ser assegurado pelo Adjudicatário recorrendo a pessoal especializado e deverá ser empreendido por via da observação directa com recurso a ferramentas e equipamentos adequados.

Para a fase de exploração também será benéfico introduzir instrumentação, por forma a avaliar no tempo, após terminada a beneficiação, a prestação das soluções que irão ser implementadas e a evolução ou reincidência das anomalias.

A localização e a disposição de todos os aparelhos de instrumentação serão definidas em obra de acordo com as indicações e aprovação da Fiscalização. Caso assim o entenda, a Fiscalização poderá decidir não instrumentar o túnel, nomeadamente para a fase de exploração.

Antes do início da construção, onde for aplicável, deverá ser realizado um levantamento de todas as anomalias existentes em edificações ou estruturas adjacentes à obra ou localizadas acima do

recobrimento do túnel e eventuais fendas pronunciadas no terreno envolvente. Este levantamento deverá ser acompanhado de registo fotográfico, ser repetido no final da execução da obra e, se necessário, em fases intermédias relevantes.

Conforme foi referido no Cap.4, será construído um gabari físico móvel para verificar as dimensões do intradorso do túnel e o cumprimento dos gabaris CRC/CPb+ e GLO. Este procedimento fará parte do programa de monitorização e incluirá: as montagens necessárias; as operações de verificação e os eventuais procedimentos adicionais de controlo e de rectificação. Antes de finalizadas as interdições e retomada a circulação ferroviária, o Adjudicatário deverá verificar o gabari CRC/CPb+. A verificação do GLO será realizada aquando o rebaixamento da via. Estas verificações serão realizadas de acordo com as instruções da Fiscalização.

É ainda recomendado que sejam garantidas inspecções regulares, nomeadamente nos dois primeiros anos de exploração e durante os períodos de intempéries mais severas. Essas inspecções deverão ser empreendidas ao nível dos taludes, dos dispositivos de drenagem e no interior do túnel, de forma a avaliar e, se necessário, corrigir a qualidade e a conformidade das intervenções.

A médio e longo prazo a manutenção e a conservação são essenciais para a continuidade da estabilidade das soluções aplicadas no túnel e nos taludes.

É fundamental haver um controlo da qualidade dos materiais, respeitando os procedimentos e os ensaios de acordo com o especificado no Caderno de Encargos.

Segundo a bibliografia encontrada, a manutenção e a reparação de estruturas subterrâneas têm tido uma importância crescente para a engenharia de túneis nas últimas décadas. Segundo Richards (1998), as razões para esse interesse são:

- O custo de reabilitação e manutenção - devido aos altos custos para a execução de reparações, levando em consideração os custos com transtornos, em alguns casos, a construção de um novo túnel seria mais económico do que executar maiores reparações. No entanto, uma inspecção bem planeada e um programa de manutenção preventiva podem prolongar consideravelmente a vida útil do túnel e, ao mesmo tempo atrasar ou evitar totalmente a necessidade de maiores trabalhos de recuperação
- A idade - muitos túneis no momento têm mais de 100 anos de idade e os sistemas de transporte cresceram em termos de tamanho, frequência e velocidade. Consequentemente, os túneis ficaram sujeitos a situações para os quais não foram originalmente projectados, o que gera a necessidade de grandes reparações ou total recuperação dos sistemas de suporte dos mesmos.
- A demanda subdimensionada - com o crescimento populacional, o avanço tecnológico e industrial, entre outros factores, surge a crescente necessidade de infra-estrutura.
- As novas tecnologias - tem havido significativos avanços nos projectos de suportes de túneis. Novos materiais têm sido desenvolvidos para a construção e reparação de túneis.

# 8

## PLANEAMENTO vs CUSTO

### 8.1. PLANEAMENTO VS CUSTO

Em termos de planeamento, esta obra tem particularidades nos métodos construtivos e nos prazos disponíveis que obrigarão a um acompanhamento constante das várias entidades envolvidas, uma comunicação e interacção contínuas entre o Projectista, a Fiscalização e o Adjudicatário.

Para as obras de reabilitação e beneficiação em particular serão as condições reais encontradas no terreno que em última análise ditarão quais as soluções a serem executadas. Assim, o planeamento traçado para a obra deverá ser flexível para poder ser reajustado perante essas condições. O Adjudicatário deverá garantir o seu cumprimento.

Conforme se pôde constatar, neste tipo de empreitada, as várias soluções preconizadas pelo Projectista têm de seguir uma determinada sequência de execução e o facto de se intervir nalguns elementos poderá interferir ou até mesmo causar danos noutros. Além disso, existem certos constrangimentos inerentes a este tipo de empreitadas, o maior deles prende-se com o facto de não haver interrupção da circulação ferroviária, existindo apenas certos períodos diários muito curtos para a execução das obras. É imperativo prever sistemas mecanizados de trabalho, nomeadamente, beneficiando e usufruindo da própria via-férrea com vista a dotar os processos construtivos de uma maior mobilidade e de um rendimento optimizado.

Outras questões também deverão ser tidas em conta no planeamento da obra, nomeadamente o acesso aos emboquilhamentos dos túneis e as afectações locais. Estes ficarão a cargo do Adjudicatário, a quem caberá ter em atenção a existência de habitações na proximidade dos túneis, devendo acautelar-se com os eventuais danos que a obra poderá provocar em habitações e infra-estruturas existentes, como sejam: fissuras e estragos nos pavimentos; ruídos; poeiras junto aos emboquilhamentos; intransitabilidade de caminhos agrícolas e de acessos locais; abertura de fendas nas paredes de edificações vizinhas e outros prejuízos de diversa ordem. Também deverá verificar os acessos aos emboquilhamentos dos túneis e arranjar soluções neste sentido, caso necessário, para a realização dos trabalhos dentro dos mesmos. A mesma responsabilidade impõe-se para as montagens dos respectivos estaleiros. Naturalmente, é imprescindível a obtenção prévia das respectivas licenças bem como veicular a informação às pessoas afectadas, nos termos previstos na lei.

A Fiscalização deverá desempenhar um papel fundamental no que diz respeito a proceder aos devidos ajustes em obra, caso assim o entenda, e a experimentar todas as soluções a serem aplicadas, segundo um plano a estabelecer pela mesma. Esta questão terá especial relevância nos aspectos relacionados com o rebaixamento da plataforma, com a execução dos nichos e com a drenagem.

O acompanhamento e a interacção contínuos por parte das várias entidades envolvidas permitirá ajustar

e otimizar os critérios e métodos construtivos recomendados, refinar as soluções preconizadas, procedendo aos ajustes necessários no plano de trabalhos, equipamentos, materiais e dosagens. Assim, otimizar-se-á a prestação da obra: contribuindo-se para a sua segurança e rentabilidade, reduzindo-se os custos, melhorando-se o controlo dos prazos e minimizando-se os efeitos retardadores das circunstâncias imprevistas.

Relativamente aos custos, uma parcela considerável dos gastos no sector da construção civil está relacionada com os materiais de reparação. Estes tornam-se mais onerosos por incorporarem as despesas associadas às técnicas de pesquisa, de fabrico e de aplicação dos mesmos.

Para além dos custos inerentes aos materiais e à mão-de-obra especializada existem outros factores que poderão tornar estas obras mais dispendiosas, como por exemplo, no caso de haver transtornos na circulação ferroviária (períodos de interdição maiores que os preconizados ou afrouxamentos na circulação de comboios) ou os obstáculos que existam no acesso aos túneis e no interior dos mesmos durante as obras (como aquando do rebaixamento da infra-estrutura de via que terá de ser executada com a permanência da mesma), dificultando, dessa forma, significativamente as manobras e implicando uma cota de trabalho elevada para os equipamentos.

Além disso, este tipo de empreitada também se torna mais moroso e conseqüentemente mais oneroso por ser realizado em períodos de interdição diários muito curtos e, neste caso, por haver a necessidade de rebaixar a via para a sua possível electrificação sem interrupção da circulação ferroviária.

Apesar das obras de reabilitação serem, em geral, mais onerosas do que as construções novas, muitas vezes, opta-se pela primeira. As principais diferenças entre um projecto de construção nova e um projecto de renovação de uma infra-estrutura ferroviária (adapt. de Eduardo Fortunato *et al*, Julho 2002), estão relacionadas com:

- As preocupações de aproveitar, tanto quanto possível, o existente;
- A redução das perturbações na exploração da via, aquando da realização das obras;
- O respeito pelas limitações físicas impostas pelas estruturas existentes;
- A impossibilidade de adoptar algumas técnicas de construção normalmente utilizadas quando se trata de uma construção nova;
- A manutenção de um elevado nível de segurança relativamente ao tráfego que continua a circular.

## **8.2. FASEAMENTO CONSTRUTIVO DOS TÚNEIS E EXEMPLO DE UM PLANEAMENTO DA EMPREITADA**

Seguidamente apresentar-se-á o faseamento construtivo previsto nos projectos de execução das obras analisadas. Refira-se que este faseamento poderá ser alterado caso a Fiscalização o entenda. As soluções preconizadas poderão sofrer alterações ou, eventualmente, poderão adoptar-se outras para além das previstas nos projectos de execução, mediante as condições reais da obra.

O faseamento construtivo será apresentado em forma de tabela e para os quatro túneis, já que estes tiveram um faseamento construtivo semelhante, salvo algumas excepções. Por isso, acrescentou-se uma coluna para indicar essas excepções para cada túnel. Nesta tabela os túneis serão designados através das letras de A a D, conforme referido no ponto 2.2.2.2. no Cap.2.

Tabela 41 – Indicação do faseamento construtivo para os túneis (adapt. de GEG)

<b>1. Fase 1 – Preparação da obra</b>	
1.1. Eventual instrumentação e implementação do plano de monitorização	A, B, C, D
1.2. Montagem do estaleiro e mobilização dos equipamentos	
1.3. Preparação das composições de apoio e montagem do gabari físico móvel	
1.4. Preparação dos materiais a serem utilizados na obra	
1.5. Levantamento de confirmação do gabari existente	
1.6. Protecção do balastro com manta de geotêxtil	
1.7. Montagem das cofragens e entivações para execução dos nichos	
1.8. Marcação no sustimento dos nichos a serem executados	
1.9. Remoção das placas decamétricas e marcação provisória das mesmas	
<b>2. Fase 2 – Obras de Beneficiação</b>	
2.1. Limpeza completa do revestimento do túnel com jacto de areia/água	A, B, C, D
2.2. Trabalhos de reparação localizada do sustimento:	
Refechamento de juntas	A, B, C, D
Reparação do sustimento	A, C, D
Injecção nos hasteais	B, C, D
Preenchimento de cavidades no sustimento	A
Preenchimento de vazios na abóbada	B, C, D
Corte de “bicos” e regularização dos hasteais rochosos	B, D
2.3. Reforço geral do sustimento	
Ensaio prévios necessários	A, B, C, D
Localização dos pontos de pregagens com recurso a tintas apropriadas	
Execução das pregagens	
Protecção das cabeças das pregagens com tampões de plástico	
Execução das telas e dos drenos de captação de águas	
1ª Projecção de betão	
Colocação e fixação dos canais e telas de drenagem	
Colocação dos cones ou prateleiras de recolha de água	
Ligação dos canais aos drenos profundos e perfurações	
Colocação e fixação dos painéis de malha electrossoldada	
Soldagem das placas de fixação das pregagens e malhas	
2ª Projecção de betão	
Projecção final betão projectado	
Passagem do gabari físico móvel	
2.4. Estabilização dos emboquilhamentos e acabamentos exteriores:	
Trabalhos de desmatação	A, B, C, D
Limpeza do sistema de drenagem	C
Trabalhos de terraplenagens necessários	
Instalação dos sistemas de estabilização (redes, pregagens, mantas, etc)	A, B, C, D
Execução de reforços e muros com pedra argamassada	
Execução de estruturas de reforço e betão armado	
Execução de aterros	A, B, C

Execução de caleiras de crista, descidas de talude e caixas de recepção	A, B, C, D
Aplicação de mantas/geomalhas de protecção contra a erosão	B, C
Limpeza e reformulação do sistema de drenagem de pé de talude	A, B, C, D
Colocação de placa identificativa do túnel	A, B, C, D
<b>2.5. Outros trabalhos:</b>	
Execução dos nichos e câmaras de serviço	A, B, C, D
Execução de câmara de serviço	B
Piquetagem da via	A, B, C, D
Rebaixamento da via e da plataforma	
Execução de reforços na base dos hasteais	
Colocação dos monoblocos e drenos ao longo da base dos hasteais	
Reposição e correcção da infra-estrutura da via	
Execução dos maciços para as placas decamétricas	
<b>3. Fase 3 - Acabamentos e trabalhos finais</b>	
3.1. Pintura dos nichos e das bandas de segurança	A, B, C, D
3.2. Reposição das placas decamétricas	
3.3. Verificação final do gabari	
3.4. Instrumentação do túnel para a fase de exploração	
3.5. Colocação de vedações definitivas	
3.6. Remoção de equipamentos, ferramentas e materiais	
3.7. Desmontagem do estaleiro	

O planeamento da empreitada apresentado é meramente indicativo, pois este não é da responsabilidade do Projectista (GEG) mas sim do Adjudicatário. Nele apenas se indicam as tarefas principais, a sua ordem de execução e a sua duração (em dias).

Id	Nome da tarefa	Duração
1	Preparação da obra / montagem do estaleiro (Tamel, Lucrecia & Carreira)	3 semanas
2	<b>Túnel de Tamel</b>	<b>495 dias</b>
3	Tamel - Limpeza completa do revestimento do túnel	8 semanas
4	Tamel - Drenagem transversal do sustimento	24 semanas
5	Tamel - Trabalhos de reparação localizada do sustimento	2 semanas
6	Tamel - Reforço geral do sustimento	30 semanas
7	Tamel - Estabilização dos emboquilhamentos	8 semanas
8	Tamel - Execução dos nichos e câmara de serviço	15 semanas
9	<u>Tamel - Conclusão das obras de beneficiação (fosco)</u>	0 dias
10	Tamel - Trabalhos de via, plataforma e drenagem longitudinal	30 semanas
11	Tamel - Execução de reforços na base dos hasteais	9 semanas
12	<u>Tamel - Conclusão das obras de via</u>	0 dias
13	Tamel - Acabamentos e trabalhos finais	3 semanas
14	<u>Tamel - Conclusão da obra de beneficiação do túnel e de rebaixamento de via</u>	0 dias

15	<b>Túnel de Sta. Lucrecia</b>	<b>490 dias</b>
16	Sta. Lucrecia - Limpeza completa do revestimento do túnel	2 semanas
17	Sta. Lucrecia - Drenagem transversal do sustimento	2 semanas
18	Sta. Lucrecia - Trabalhos de reparação localizada do sustimento	3 semanas
19	Sta. Lucrecia - Reforço geral do sustimento	6 semanas
20	Sta. Lucrecia - Estabilização dos emboquilhamentos	3 semanas
21	Sta. Lucrecia - Execução dos nichos e câmara de serviço	3 semanas
22	<u>Sta. Lucrecia - Conclusão das obras de beneficiação (tosco)</u>	0 dias
23	Sta. Lucrecia - Trabalhos de via, plataforma e drenagem longitudinal	8 semanas
24	Sta. Lucrecia - Execução de reforços na base dos hasteais	3 semanas
25	<u>Sta. Lucrecia - Conclusão das obras de via</u>	0 dias
26	Sta. Lucrecia - Acabamentos e trabalhos finais	2 semanas
27	<u>Sta. Lucrecia - Conclusão da obra de beneficiação do túnel e de rebaixamento de via</u>	0 dias
28	<b>Túnel de S. Miguel da Carreira</b>	<b>525 dias</b>
29	S. Miguel da Carreira - Limpeza completa do revestimento do túnel	2 semanas
30	S. Miguel da Carreira - Drenagem transversal do sustimento	6 semanas
31	S. Miguel da Carreira - Trabalhos de reparação localizada do sustimento	3 semanas
32	S. Miguel da Carreira - Reforço geral do sustimento	4 semanas
33	S. Miguel da Carreira - Estabilização dos emboquilhamentos	3 semanas
34	S. Miguel da Carreira - Execução dos nichos e câmara de serviço	12 semanas
35	<u>S. Miguel da Carreira - Conclusão das obras de beneficiação (tosco)</u>	0 dias
36	S. Miguel da Carreira - Trabalhos de via, plataforma e drenagem longitudinal	9 semanas
37	S. Miguel da Carreira - Execução de reforços na base dos hasteais	4 semanas
38	<u>S. Miguel da Carreira - Conclusão das obras de via</u>	0 dias
39	S. Miguel da Carreira - Acabamentos e trabalhos finais	2 semanas
40	<u>S. Miguel da Carreira - Conclusão da obra de beneficiação do túnel e de rebaixamento de via</u>	0 dias
41	<b>Desmontagem do estaleiro (Tamel, Lucrecia &amp; Carreira)</b>	<b>2 semanas</b>
42	<b>Túnel de Caminha</b>	<b>210 dias</b>
43	Caminha - Preparação da obra / montagem do estaleiro	3 semanas
44	Caminha - Limpeza completa do revestimento do túnel	4 semanas
45	Caminha - Drenagem transversal do sustimento	8 semanas
46	Caminha - Trabalhos de reparação localizada do sustimento	3 semanas
47	Caminha - Reforço geral do sustimento	15 semanas
48	Caminha - Estabilização dos emboquilhamentos	12 semanas
49	Caminha - Execução dos nichos e câmara de serviço	8 semanas
50	<u>Caminha - Conclusão das obras de beneficiação (tosco)</u>	0 dias
51	Caminha - Trabalhos de via, plataforma e drenagem longitudinal	10 semanas
52	Caminha - Execução de reforços na base dos hasteais	4 semanas
53	<u>Caminha - Conclusão das obras de via</u>	0 dias
54	Caminha - Acabamentos e trabalhos finais	2 semanas
55	<u>Caminha - Conclusão da obra de beneficiação do túnel e de rebaixamento de via</u>	0 dias
56	<b>Desmontagem do estaleiro (Caminha)</b>	<b>2 semanas</b>
57	<b>Conclusão da obra</b>	<b>0 dias</b>

Segundo este planeamento, constata-se que o primeiro túnel a ser reabilitado seria o de Tamel e a respectiva obra teria a duração aproximada de 495 dias. Seguiu-se o túnel de Sta. Lucrecia com a duração aproximada de 490 dias. O de São Miguel da Carreira seria o terceiro e teria a duração aproximada de 525, que inclui a desmontagem do estaleiro dos túneis de Tamel, Sta, Lucrecia e São Miguel da Carreira, com a duração de duas semanas. Por fim, o túnel de Caminha seria o último a ser reabilitado e a obra demoraria 210 dias a ser executada, incluindo a desmontagem do estaleiro com a duração de duas semanas.

Abaixo mostra-se o diagrama de *Gantt* resultante. Embora não seja visível a informação, nele pode constatar-se que as 4 obras teriam a duração total de 38 meses, se tudo corresse conforme o programado.

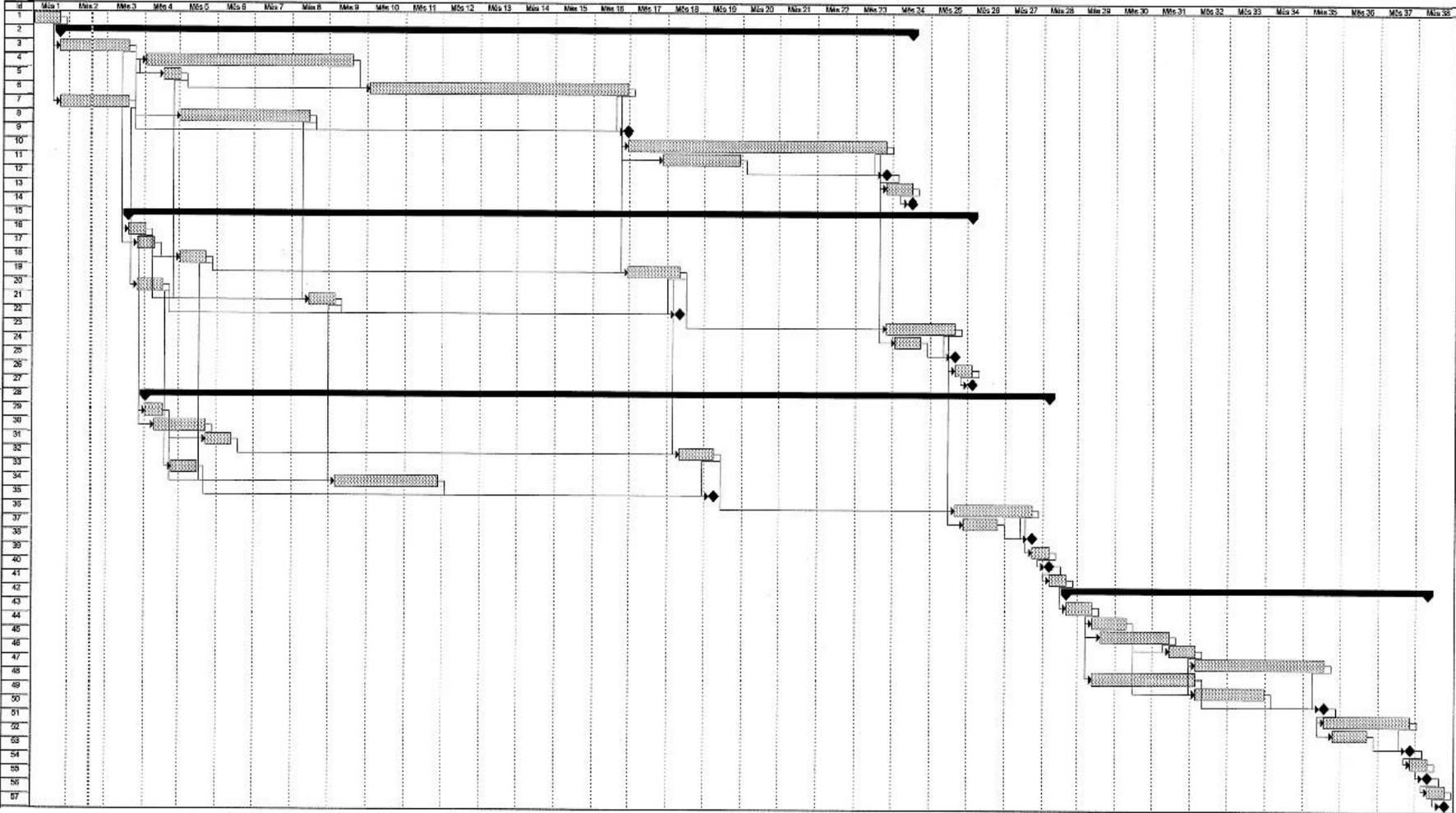


Fig.164 – Planeamento da obra: Diagrama de Gantt (adapt. de GEG)



# 9

## SUGESTÕES DE PRÓXIMAS PESQUISAS

Conforme já referido, o actual nível de conhecimento relativamente à aplicação de algumas soluções preconizadas para as obras de reabilitação de túneis ferroviários, é escasso e o processo em si é algo impreciso. É também digno de nota que não existe quase bibliografia disponível sobre este tema de reabilitação de túneis ferroviários ou de obras subterrâneas em geral, principalmente em Portugal.

Além da dissertação apresentada, sugere-se que sejam elaborados mais trabalhos neste âmbito, como por exemplo, sobre os túneis da Linha do Douro, ou outros. Também seria interessante enquadrar a experiência portuguesa sobre esta temática comparativamente à experiência internacional.

**BIBLIOGRAFIA**

- ARMESTO, J.; ORDÓÑEZ, C.; ALEJANO, L.; ARIAS, P. (2009). *Terrestrial laser scanning used to determine the geometry of a granite stability analysis purposes*. *Geomorphology* 106. p. 271-277.
- CARVALHO, Pedro et al. (1991). Taludes de rodovias, orientação para diagnóstico e soluções de seus problemas. In *Manual de taludes*, Editora departamento de estradas de rodagem do estado de São Paulo, São Paulo.
- CELESTINO, T.B. (1997). *Auscultação de Longo Prazo e Manutenção de Túneis*. 2º Simpósio de Túneis Urbanos (TURB97), São Paulo, SP, pp.101-120.
- DA COSTA, Nunes. (2006). Capítulo 3 – Introdução à descrição e classificação das rochas. In *Fundamentos de geotecnia*, Universidade Nova de Lisboa.
- DALMOLIN, Q.; DOS SANTOS, D. R. (2004). *Sistema lasercanning: conceitos e princípios de funcionamento*. Departamento de Geomática. Ed. UFPR. 3ed. Curitiba. 97p.
- DEC-FTUC (2006). *Apontamentos de geologia da engenharia*.
- DEC-FTUC (2006). *Apontamentos de Mecânica das Rochas, blocos soltos*.
- DEC-FTUC, Mecânica dos Solos (2005). *Apontamentos sobre estabilidade de taludes*.
- DNER (1994). *Manual de Inspeção de Obras-de-Arte Especiais*. Departamento Nacional de Estradas e Rodagem, Rio de Janeiro, 48 p.
- FERNADES, Francisco, LOURENÇO, Paulo. (2007). *Aplicações do georadar na reabilitação e detecção de anomalias*. Congresso Construção 2007 - 3.º Congresso Nacional, 17 a 19 de Dezembro, Coimbra, Portugal, Universidade de Coimbra, Coimbra.
- FHA (2003). *Highway and Rail Transit Tunnel Maintenance and Rehabilitation Manual*. Federal Highway Administration, U.S. Department of transportation, United States, 103 p.
- FORTUNATO, Eduardo et al. (Julho 2002). *Modernização e renovação de infra-estruturas ferroviárias*. Revista da Sociedade Portuguesa de Geotecnia.
- GEG (2007). *Projecto de execução para a beneficiação e reforço de túneis para a Linha do Minho: São Miguel da Carreira, Tamel, Sta. Lucrecia e Caminha*.
- GOMES, Carlos. (2008). *Túnel Ferroviário do Rossio - Acompanhamento e Análise das Obras de Reabilitação*. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- HAACK, A. (1998). *Maintenance and Repair of Underground Structures and Tunnels*. World Tunnel Congress'98 on Tunnels and Metropolises, São Paulo, SP, 1: 459-475.
- HAACK, A., SCHREYER, J. & JACKEL, G. (1995). *State-of-the-art on Non-Destructive Testing Methods for Determining the State of a Tunnel Lining*. *Tunnelling & Underground Space technology*, 10: 413-431.
- ITA (1991). *Report on the Damaging Effects of Water on Tunnels During their Working Life*. *Tunnelling & Underground Space technology*, 6: 11-76.
- ITA (2001). *Study of Methods for Repair of Tunnel Lining*. International Tunnelling Association, Working Group N.º.6, Maintenance and Repair, Lausanne, Switzerland.

- LADEIRA, L.F. (1986). *Técnicas de Análise em Estabilidade de Taludes*. Curso de Estabilidade de Taludes. Módulo 1, Universidade de Aveiro.
- LEICA (2005). *Cyrax Cyclone* versões 5.1 e 5.2 e scanner terrestre HDS3000. Leica Geosystems HDS LLC. Conjunto de programas e equipamentos.
- LEMO, Karoline. (2005). *Manutenção e reabilitação de túneis*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília.
- LNEC (1985) *Paredes Moldadas, Especialização e Aperfeiçoamento*, Edifícios, S229; Lisboa.
- LOPES, Isabel et al. (Março 2008). *O método das ondas superficiais*. Revista da Sociedade Portuguesa de Geotecnia.
- MAILVAGANAM, N. P. (2004). *Reparo e reabilitação: aspectos e Tendências*. e-Mat, Revista de Ciência e Tecnologia de Materiais de Construção Civil, 1(1): 1-9.
- MAINWARING, G. (2000). *Repair, Refurbish or Replace*. *Tunnels & Tunnelling International*, 32(12): 26-28.
- MIRANDA, Tiago et al. (2006). *Determinação de Parâmetros Geomecânicos em Formações Rochosas e Maciços Heterogêneos*. Revista de Engenharia Civil da Universidade do Minho, Número 25, pág. 17.
- NAGALLI, A.; FIORI, A. P.; ROSTIROLLA, S. P.; PIERIN, A. R. H. (2008). *Utilização de 3D laser scanner para aquisição de dados geológico-estruturais no desenvolvimento de modelo geomecânico - Estudo de caso da Mina Saivá, Paraná*. Anais do 44º Congresso Brasileiro de Geologia. Curitiba.
- NAGALLI, André. (2010). *Estabilidade de taludes em rocha com aplicação de escâner a laser – caso da mina saivá, rio branco do sul, pr*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná
- NAUMANN, J. & HAARDT, P. (2003). *Non-Destructive Testing in Civil Engineering 2003* . International Symposium (NDT – CE2003), Berlin, Germany, pp.16-19.
- Quadro III do RBLH - *Regulamento de Betões de Ligantes Hidráulicos*
- REBAP – *Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-Esforçado*
- REFER - *Directório da rede 2011*
- RICHARDS, J.A. (1998). *Inspection, Maintenance and Repair If Tunnels: International Lessons and Practice*. *Tunnelling & Underground Space technology*, 13: 369-375.
- ROCHA, Manuel (1977) – “Alguns problemas relativos à mecânica das rochas dos materiais de baixa resistência”. Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 25 p. (Memória 491).
- ROQUE, João. (2002). *Reabilitação estrutural de paredes antigas de alvenaria*. Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho.
- SCHUEREMANS, L.; GENECHTEN, B. V. (2009). *The use of 3D-laser scanning in assessing the safety of masonry vaults – A case study on the church of Saint Jacobs*. *Optics and Lasers in Engineering* 47. p. 329-335.
- SILVA, P. F. A. (1997). *Concreto Projetado para Túneis*. Ed. Pini, São Paulo, SP, 92p.
- SOUZA, V., C. & RIPPER T. (1998). *Reforço, Patologia e Recuperação de Estruturas de Concreto*. Ed Pini, São Paulo, SP, 255 p.

STURZENEGGER, M.; SARTORI, M.; JABOYEDOFF, M.; STEAD, D. (2007). *Regional deterministic characterization of fracture networks and its application to GIS based rock fall risk assessment*. Engineering Geology 94. p. 201-214.

Union Internationale des Chemins de fer (UIC) (1994). *Ouvrages en terre et couhes d'assise erroviaires*.

VALLEJO, L.; Ferrer, M; Ortuño, L e Oteo, C. (2002) – “Ingeniería Geológica”. Prentice Hall, 715 p.

[hds.leica-geosystems.com](http://hds.leica-geosystems.com)

[www.degussa-hpp.com](http://www.degussa-hpp.com)

[www.esteio.com.br](http://www.esteio.com.br)

[www.fersil.com](http://www.fersil.com)

[www.fortius.be](http://www.fortius.be)

[www.hilti.us](http://www.hilti.us)

[www.refer.pt](http://www.refer.pt)

[www.sika.com](http://www.sika.com)

[www.tecnocrete.pt](http://www.tecnocrete.pt)

[www.wavin.com](http://www.wavin.com)

# **ANEXOS**

A técnica de laser radar consiste na emissão de feixes de luz (pulsos de laser) com comprimento de onda no campo óptico, ou próximo do domínio infravermelho, os quais atingem directamente o objecto (DALMOLIN e DOS SANTOS, 2004). A distância entre o ponto de emissão do laser (equipamento) e o objecto é calculada através da medida do tempo de retorno do sinal emitido, inferindo-se suas distâncias e ângulos. É então estabelecido um sistema de coordenadas cilíndricas tendo-se o equipamento no centro (origem) deste, permitindo assim calcular as respectivas coordenadas X, Y e Z a cada ponto da nuvem de pontos obtida (ARMESTO *et al.*, 2009).

A obtenção adequada dos dados deve, ainda na fase de planeamento, estar atenta a aspectos como: iluminação; posicionamento e número de estações (locais onde o equipamento será instalado); presença de anteparos e áreas de sombreamento; resolução da malha de pontos e sistema de referência adoptado.

A questão do posicionamento das estações deve obedecer às especificações técnicas dos equipamentos: distância do equipamento ao objecto a ser imageado, incidência de luz no objecto (contraste), disponibilidade de tempo e autonomia dos equipamentos, resolução da malha, entre outras. O número de estações deve ser suficiente para que não existam falhas significativas na imagem obtida, de forma a não prejudicar futuras análises. Armesto *et al.* (2009) recomendam a utilização de apenas dois posicionamentos distintos dos equipamentos (estações) como necessários e suficientes para aplicações da tecnologia em geomorfologia.

Uma vez que o equipamento promove a leitura através da emissão e reflexão de feixes de luz apenas são observados e obtidos dados referentes à superfície do objecto. Assim, a presença de anteparos (árvores, pessoas ou outros) entre o scanner e o objecto impede a obtenção de dados do objecto. Este é considerado, por diversos autores (STURZENEGGER e STEAD, 2009; NAGALLI *et al.*, 2008; DALMOLIN e DOS SANTOS, 2004), como um importante fenómeno a ser observado na realização dos ensaios. De forma similar, áreas de sombreamento causadas pelo próprio objecto impedem a obtenção de uma malha contínua de pontos, propiciando lacunas nesta. Este efeito pode ser minimizado/solucionado pela utilização de mais de uma estação (posicionamento do equipamento).

Um dos programas utilizados na interface usuário/scanner é o *Cyclone* (LEICA, 2005), versões 5.1 e 5.2, o qual permite que durante o processo de aquisição da imagem haja o ajuste de contraste (incidência da luz no equipamento) da mesma, em função da luminosidade local no momento da scannerização. É possível o usuário definir dentro de uma escala pré-definida, que varia de 1 a 10mm, a mais adequada à aquisição da imagem em função da situação de imageamento, isto é em área interna (*indoor*) ou externa (*outdoor*).

A resolução da malha a ser obtida é função das características de cada scanner. Em geral, os equipamentos mais utilizados no mercado para uso externo permitem precisões da ordem de milímetros, em função da distância scanner/objecto. Todavia, quanto maior a resolução da malha, maior o tempo de aquisição destes dados.

A versatilidade do método está condicionada à interacção entre o programa de processamento e o tratamento da nuvem de pontos gerada e os demais programas. Especialmente quando se trata de análises geológico-estruturais, são necessários programas específicos e, caso não exista esta compatibilidade entre os programas, o emprego das imagens digitais torna-se limitado, como relatado por Schueremans e Genechten (2009).

Uma das vantagens que se apresenta no pós-processamento dos dados, apontada por Sturzenegger e Stead (2009) e Nagalli *et al.* (2008), é a possibilidade de se analisar estruturas geológicas sob diversas perspectivas. Os programas utilizados, em geral, permitem uma visualização completa da malha gerada, permitindo a rotação e zoom da nuvem de pontos. A visualização de detalhe pode possibilitar a identificação de estruturas ou processos até então desconhecidos.

Sturzenegger e Stead (2009) concluíram, através da comparação de atitudes de descontinuidades obtidas a partir de scanner terrestre e clinômetros (*compass clinometer*), que os erros máximos associados a medidas de mergulho e direcção de mergulho são de 4° e 8°, respectivamente. Desta forma, a exactidão dos dados obtidos com o laser radar permite que estes sejam utilizados para fins geotécnicos, considerando a natural variabilidade da orientação destas descontinuidades. Os maiores erros de medição estiveram associados às superfícies curvas, situações em que é inevitável, em termos práticos, esta diferença (STURZENEGGER e STEAD, 2009; NAGALLI *et al.*, 2008).

Túnel de São Miguel da Carreira

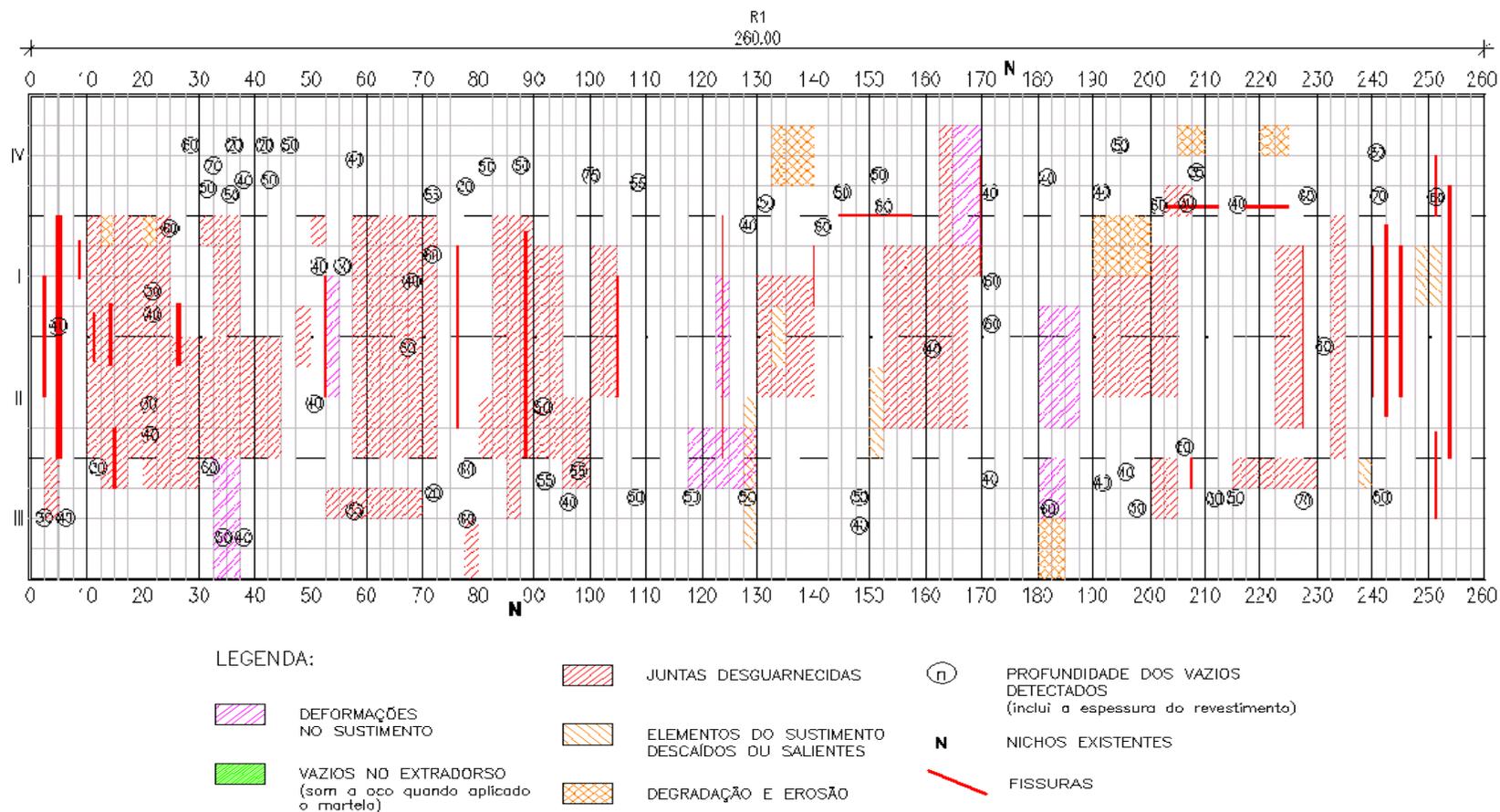


Fig.1 – Zonamento das anomalias para o Túnel de São Miguel da Carreira

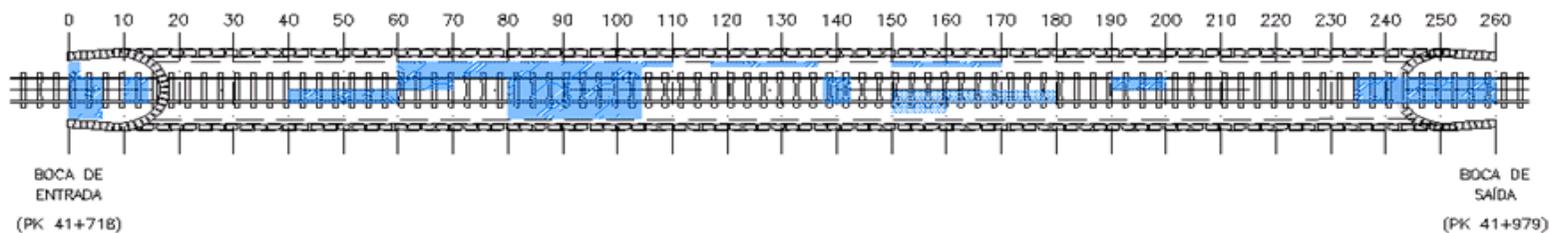


Fig.2 – Zonas molhadas na plataforma do Túnel de São Miguel da Carreira

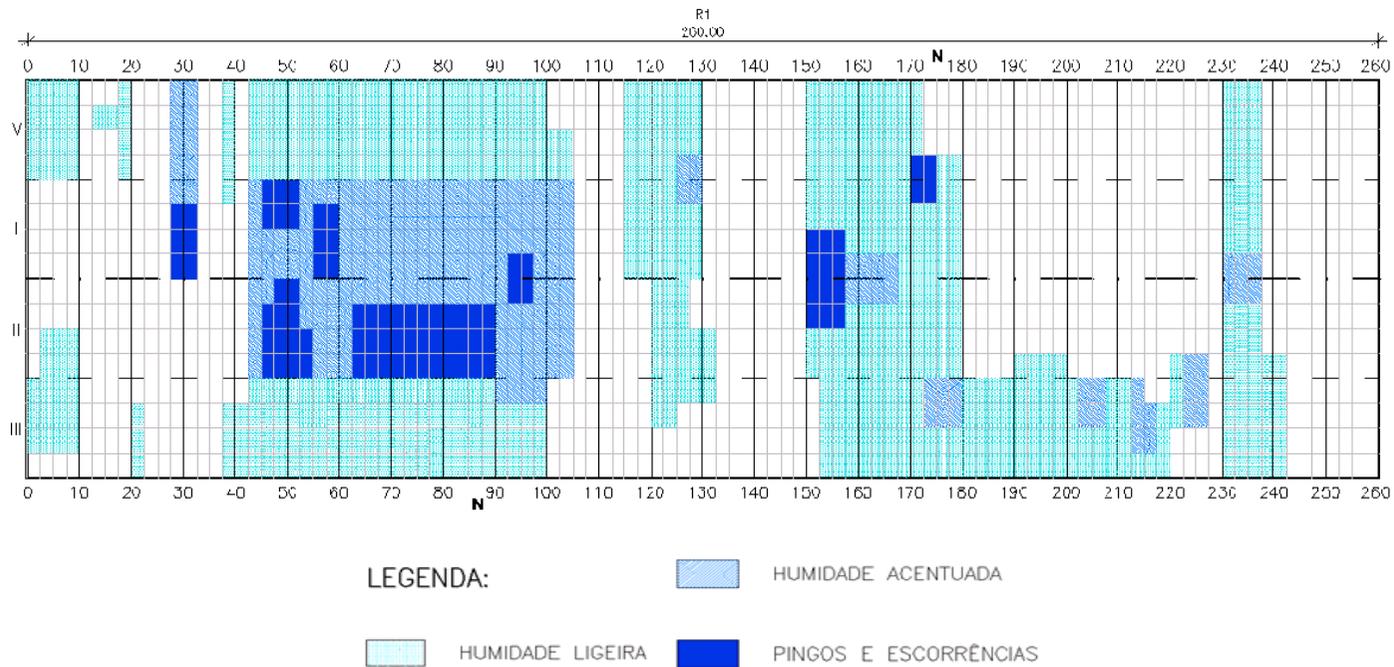
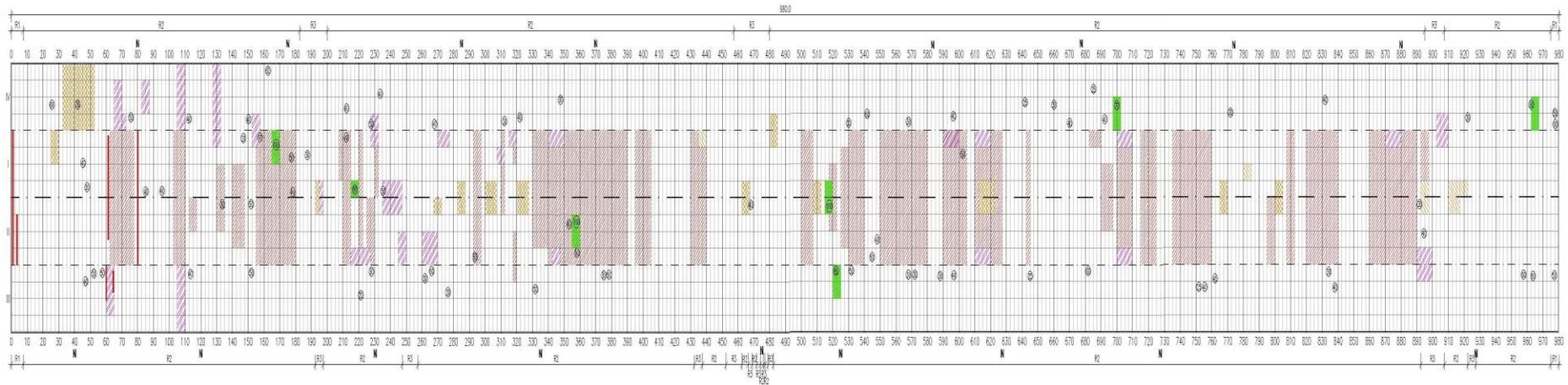


Fig.3 – Zonamento das infiltrações de águas para o Túnel de São Miguel da Carreira

# Túnel de Tamel



**LEGENDA:**

DEFORMAÇÕES  
NO SUSTIMENTO

VAZIOS NO EXTRADORSO  
(som a oco quando aplicado  
o martelo)

JUNTAS DESGUARNECIDAS

ELEMENTOS DO SUSTIMENTO  
DESCAÍDOS OU SALIENTES

DEGRADAÇÃO E EROSÃO

PROFUNDIDADE DOS VAZIOS  
DETECTADOS  
(inclui a espessura do revestimento)

NICHOS EXISTENTES

FISSURAS

Fig.4 – Zonamento das anomalias para o Túnel de Tamel

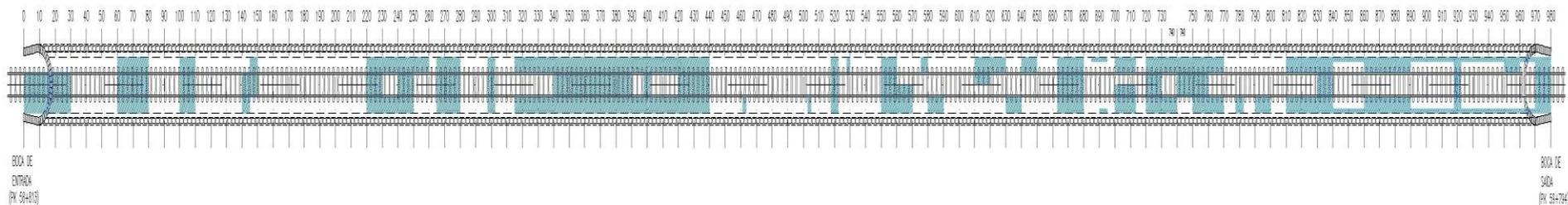


Fig.5 – Zonas molhadas na plataforma do Túnel de Tamel

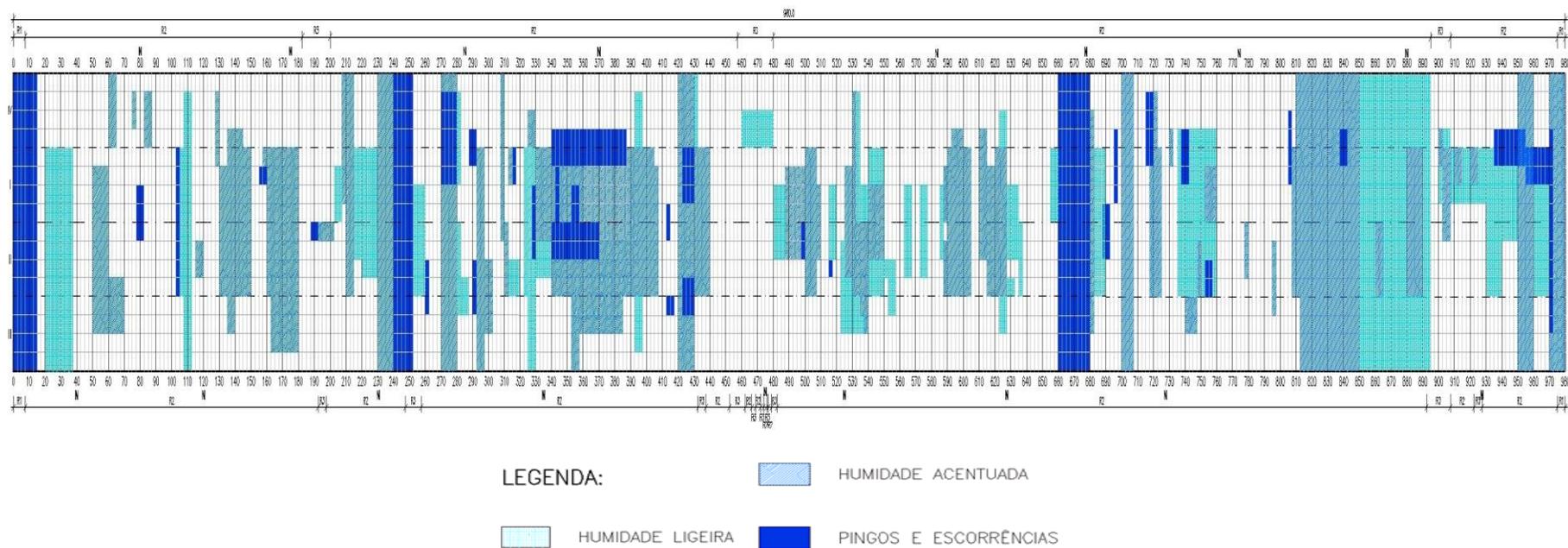


Fig.6 – Zonamento das infiltrações para o Túnel de Tamel

# Túnel de Sta. Lucrecia

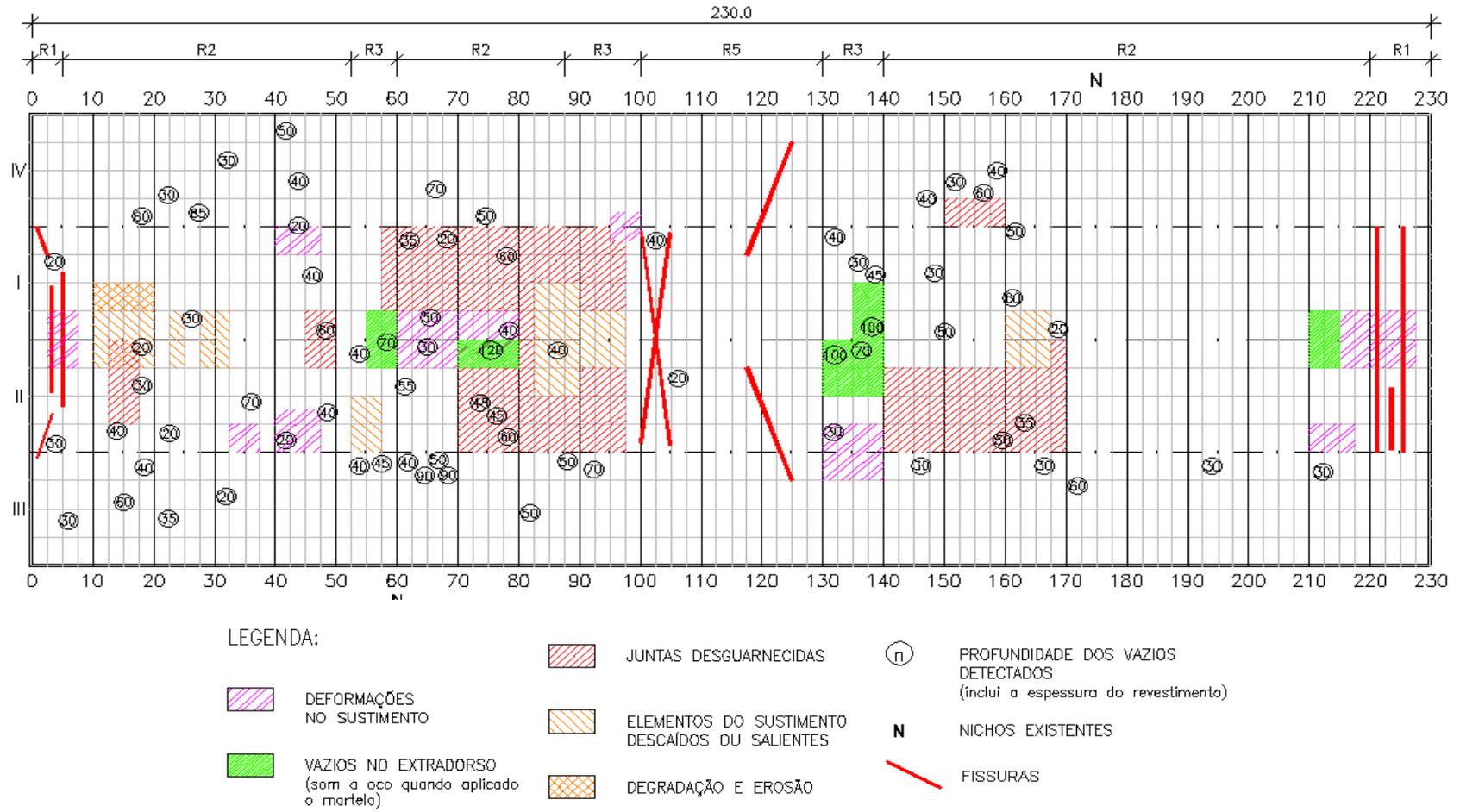


Fig.7 – Zonamento das anomalias para o Túnel de Sta. Lucrecia

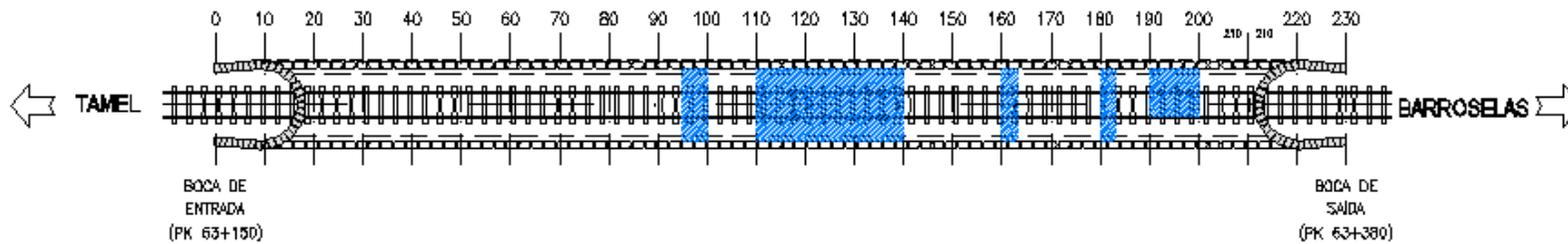


Fig.8 – Zonas molhadas na plataforma do Túnel de Sta. Lucrecia

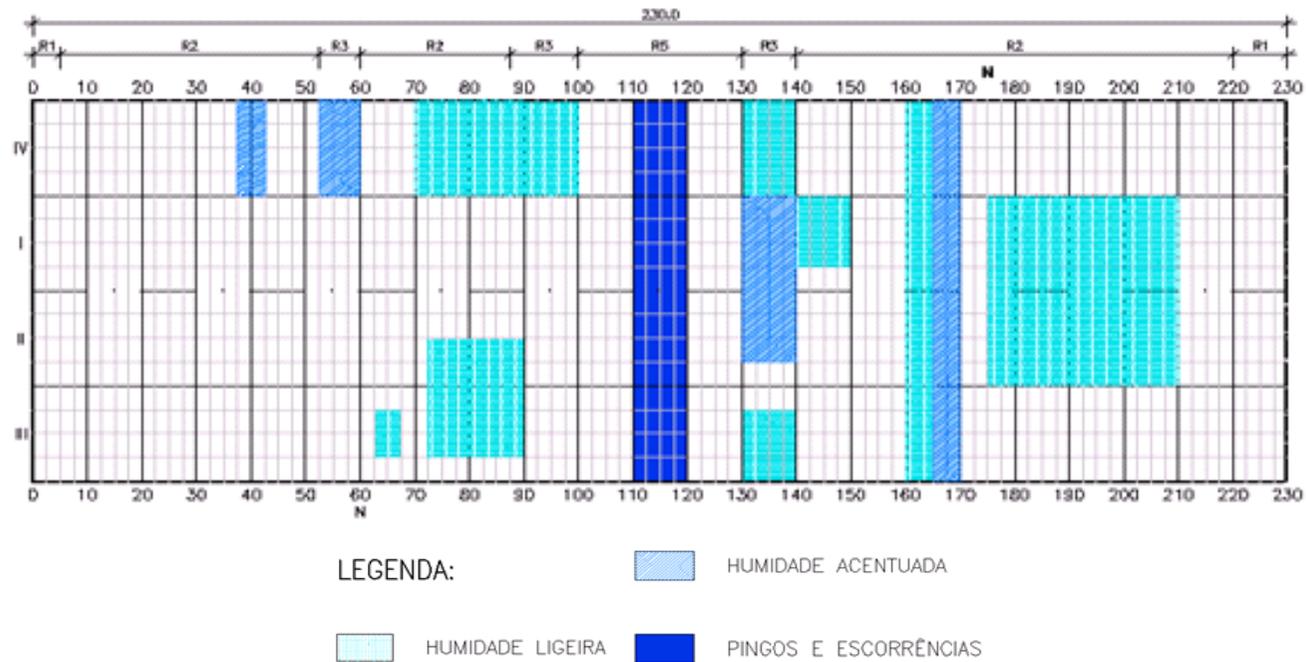
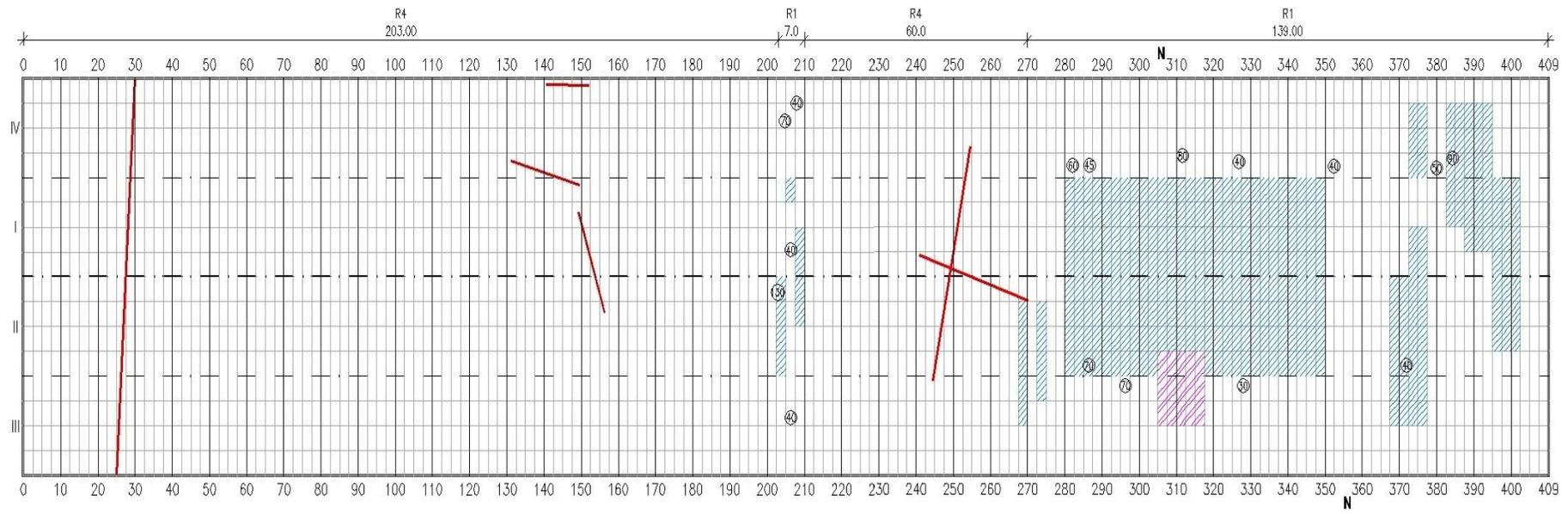


Fig.9 – Zonamento das infiltrações para o Túnel de Sta. Lucrecia

# Túnel de Caminha



- PATOLOGIAS:**
-  DEFORMAÇÕES NO SUSTIMENTO
  -  JUNTAS DESGUARNECIDAS
  -  PROFUNDIDADE DOS VAZIOS DETECTADOS
  -  VAZIOS NO EXTRADORSO (som a oco quando aplicado o martelo)
  -  ELEMENTOS DO SUSTIMENTO DESCAIDOS OU SALIENTES
  -  NICHOS EXISTENTES
  -  DEGRADAÇÃO E EROSÃO
  -  FISSURAS

Fig.10 – Zonamento das anomalias para o de Caminha

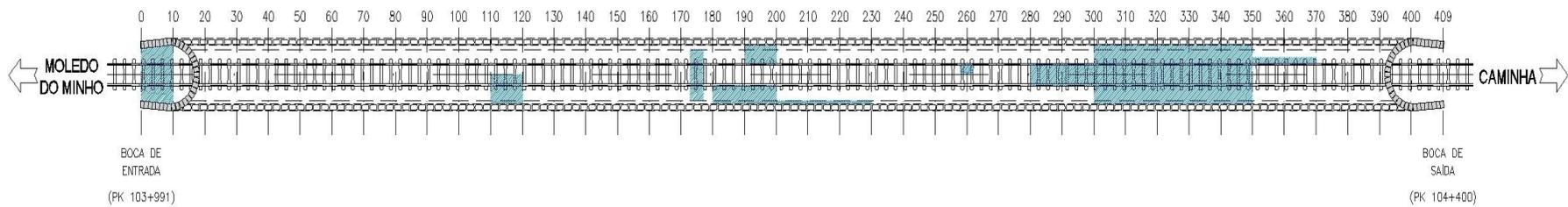


Fig.11 – Zonas molhadas na plataforma do Túnel de Caminha

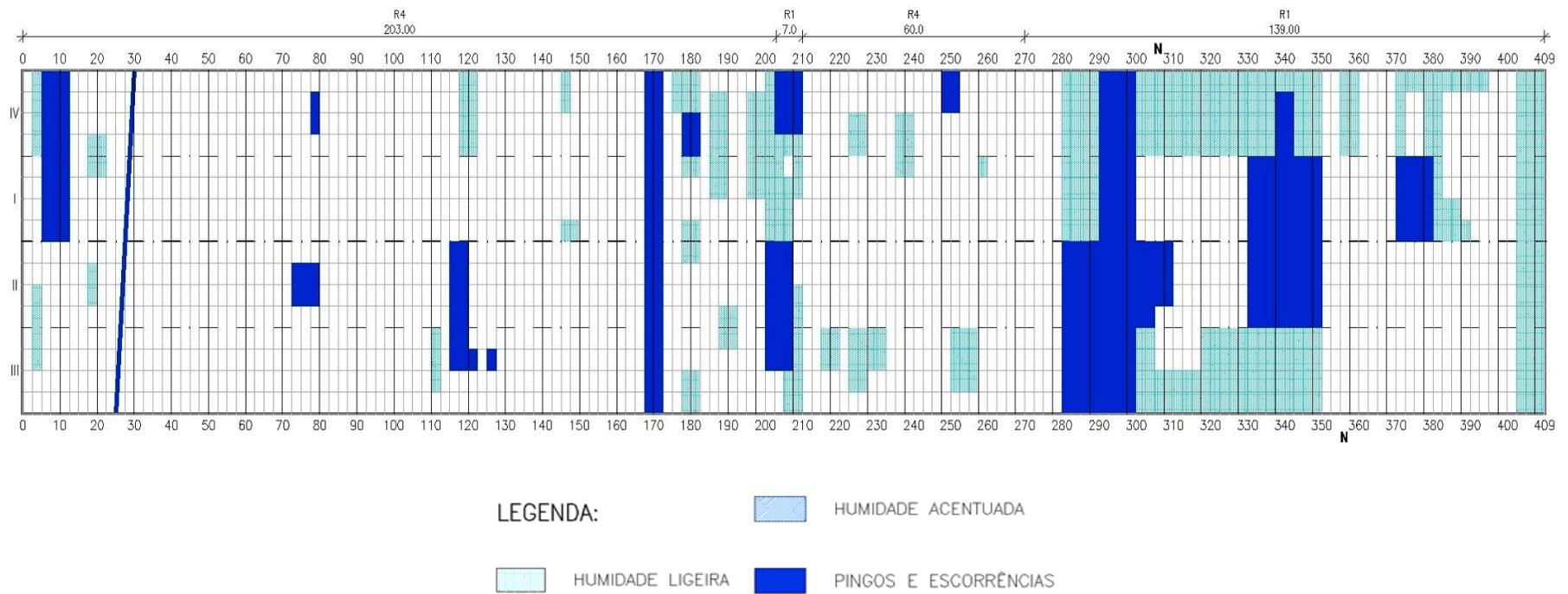
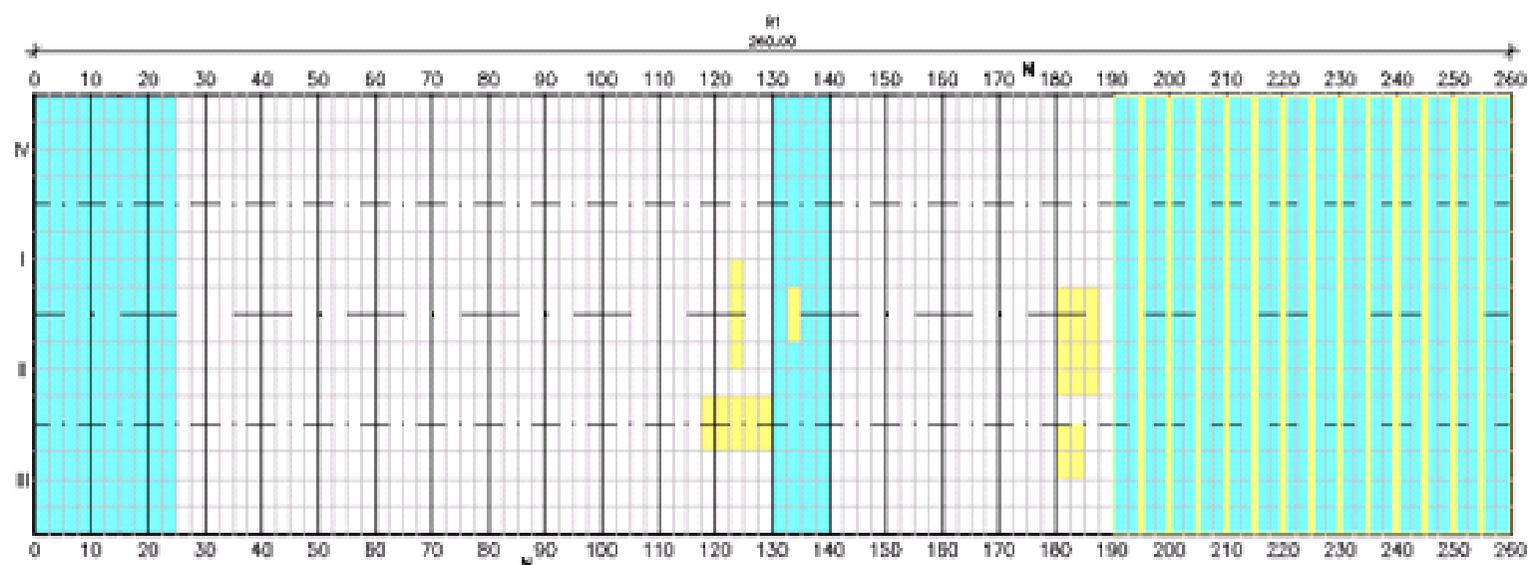


Fig.12 – Zonamento das infiltrações para o Túnel de Caminha

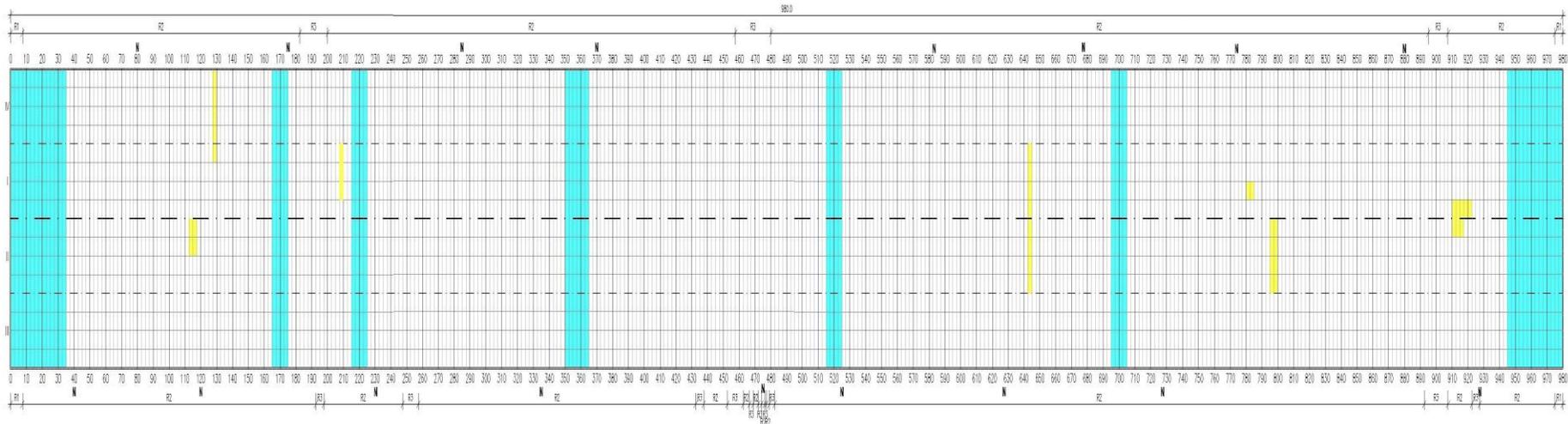
## REFORÇO LOCALIZADO E REFORÇO GERAL DO SUSTIMENTO: ZONAMENTOS



LEGENDA:

- REPARAÇÃO E REFECHAMENTO DE JUNTAS
- PREENCHIMENTO E SELAGEM DE VAZIOS NO EXTRADORSO

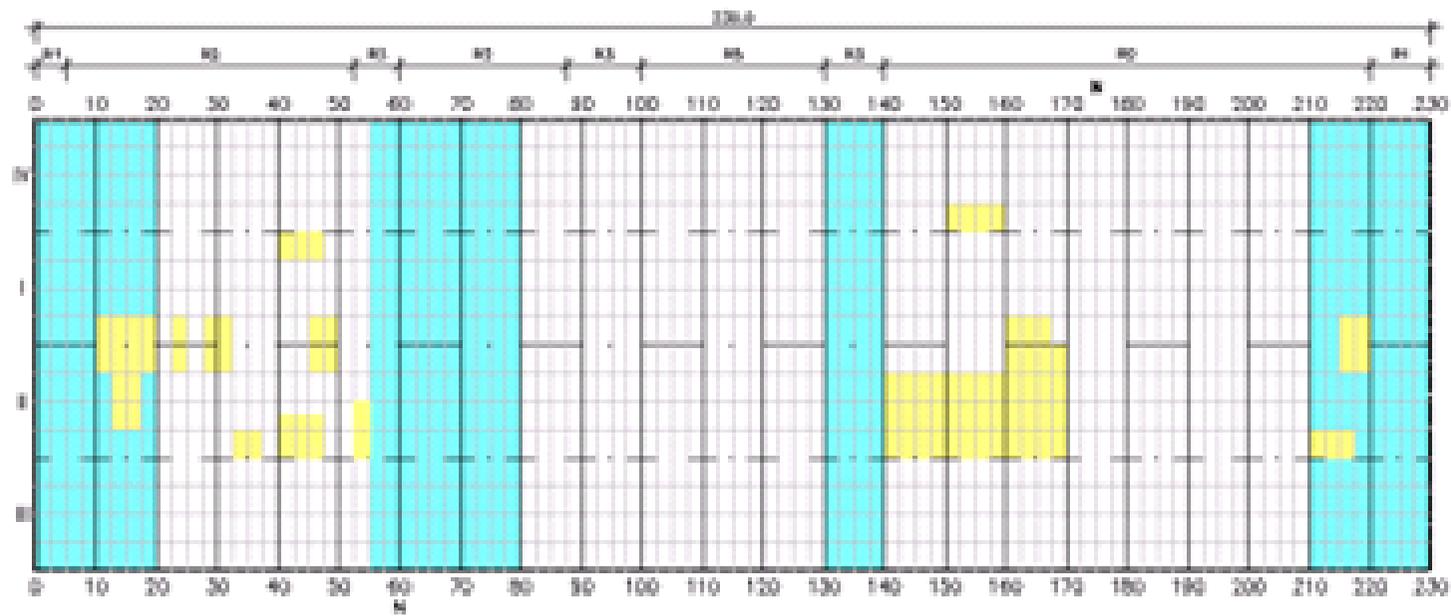
Fig.1 – Zonamento das soluções de reforço local para o Túnel de São Miguel da Carreira



**LEGENDA:**

- REPARAÇÃO E REFECHAMENTO DE JUNTAS
- PREENCHIMENTO E SELAGEM DE VAZIOS NO EXTRADORSO

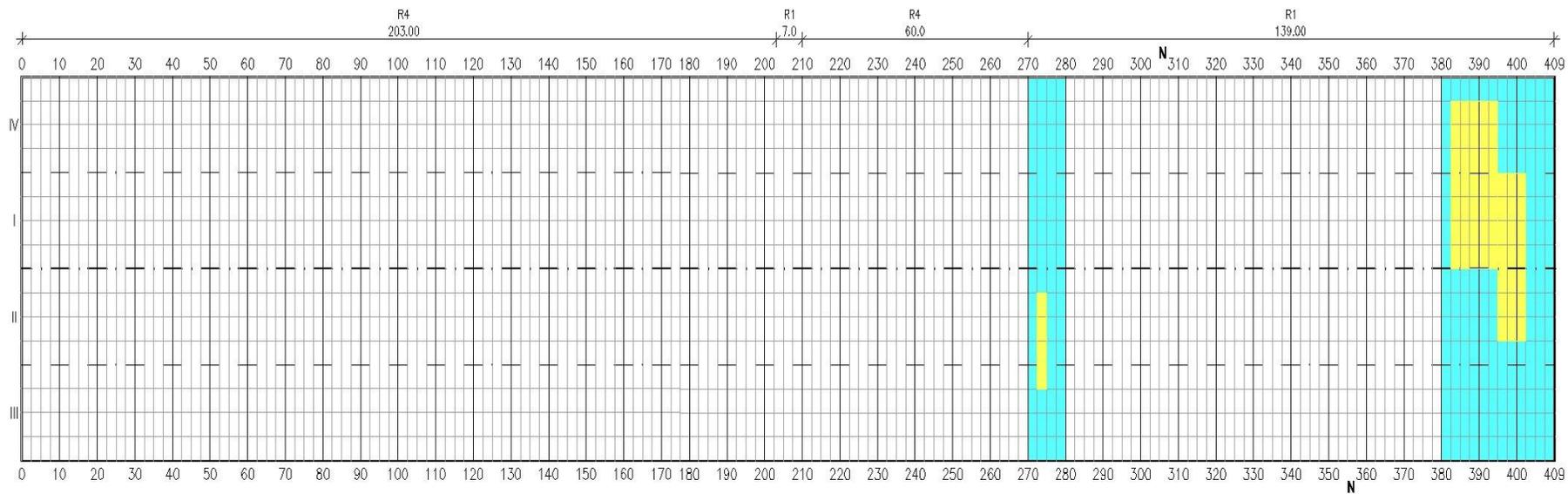
Fig.2 – Zonamento das soluções de reforço local para o Túnel de Tamel



LEGENDA:

- REPARAÇÃO E REFECHAMENTO DE JUNTAS
- PREENCHIMENTO E SELAGEM DE VAZIOS NO EXTRADORSO

Fig.3 – Zonamento das soluções de reforço local para o Túnel de Sta. Lucrecia



LEGENDA:

- REPARAÇÃO E REFECHAMENTO DE JUNTAS
- PREENCHIMENTO E SELAGEM DE VAZIOS NO EXTRADORSO

Fig.4 – Zonamento das soluções de reforço local para o Túnel de Caminha

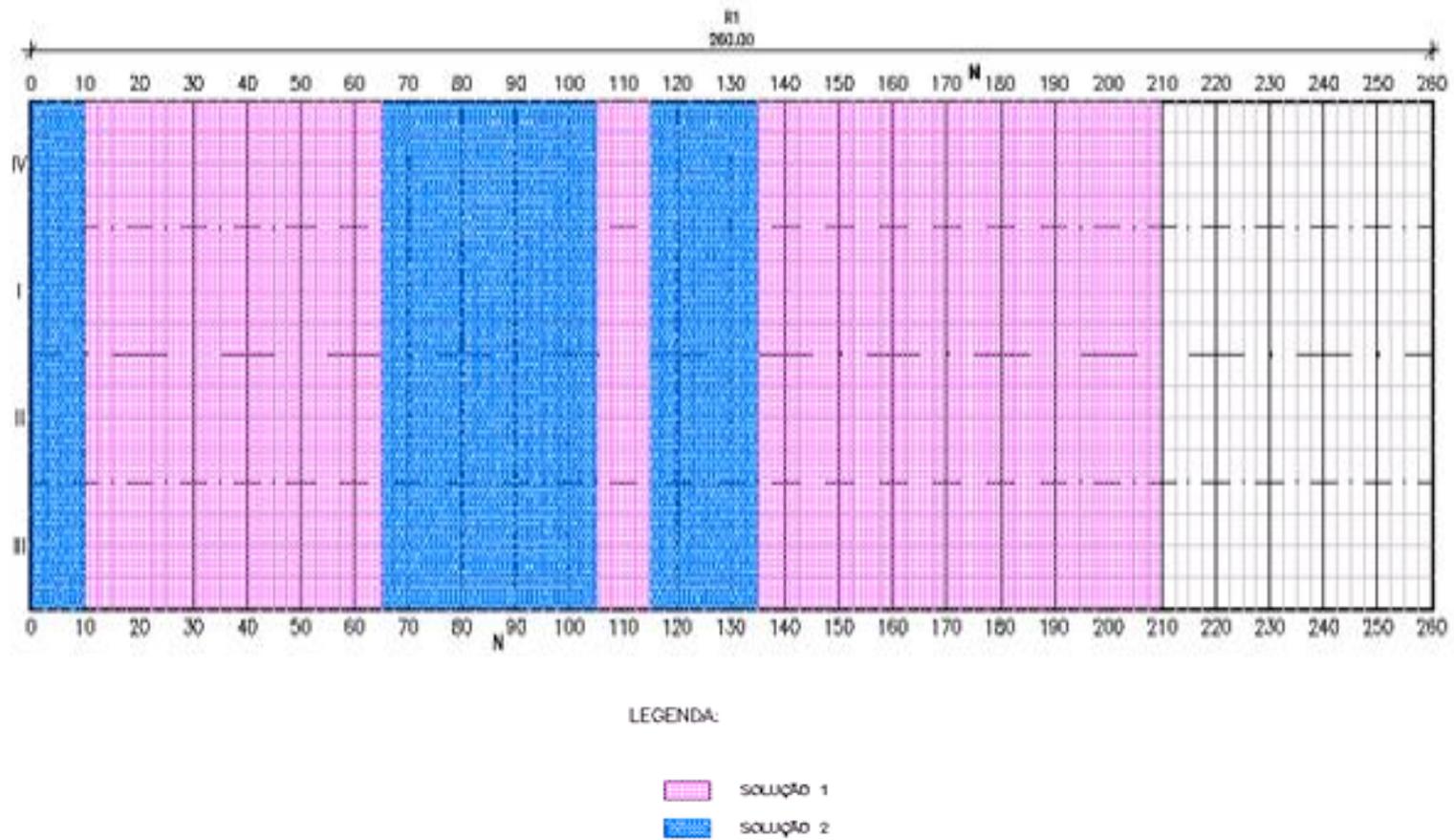
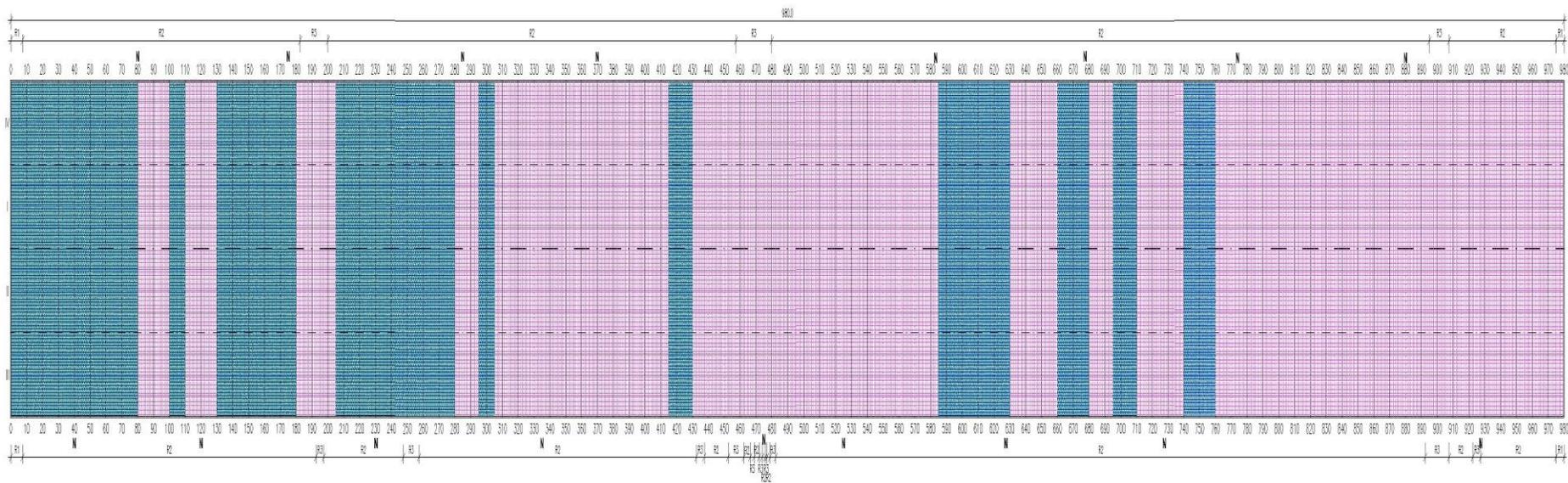


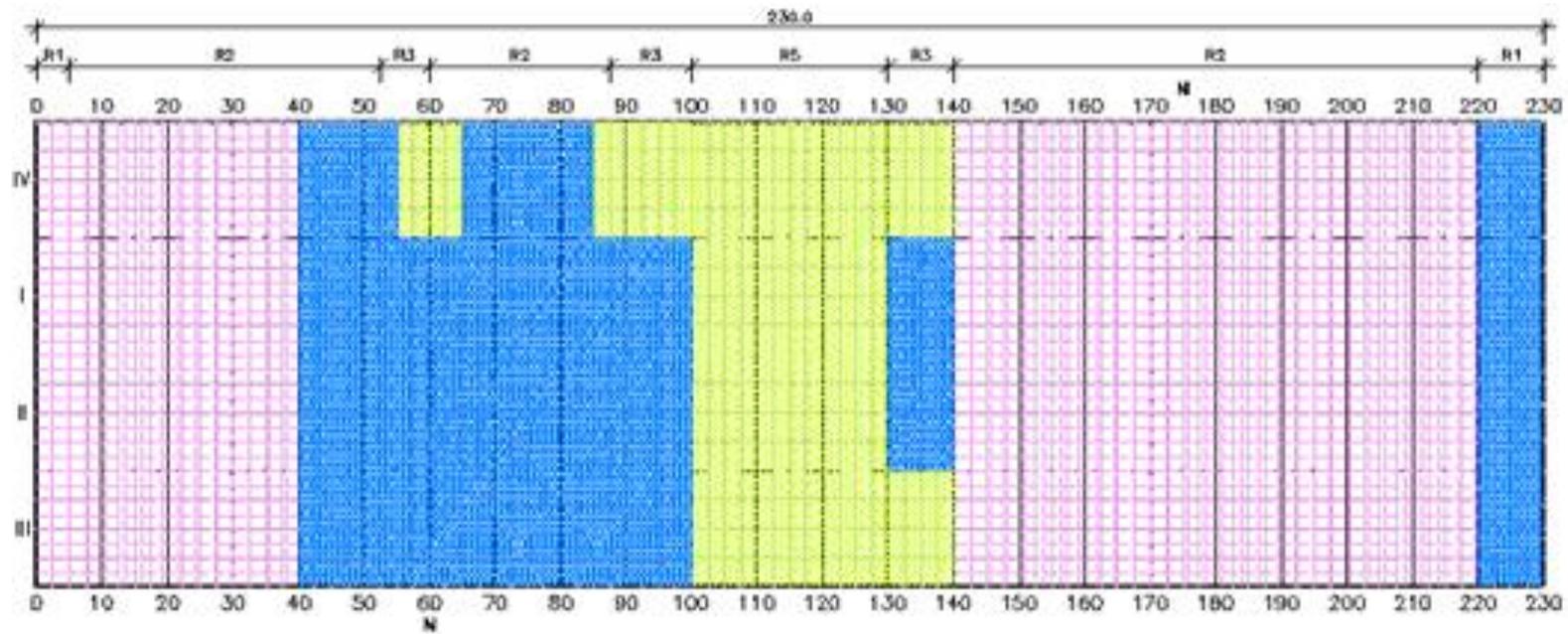
Fig.5 – Zonamento das soluções de reforço geral para o Túnel de São Miguel da Carreira



SOLUÇÕES DE REFORÇO GERAL:

- |                                                                                     |           |                                                                                       |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
|    | SOLUÇÃO 1 |    | SOLUÇÃO 3 |
|  | SOLUÇÃO 2 |  | SOLUÇÃO 4 |

Fig.6 – Zonamento das soluções de reforço geral para o Túnel de Tamel



SOLUÇÕES DE REFORÇO GERAL:

- |                                                                                      |           |                                                                                       |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
|  | SOLUÇÃO 1 |  | SOLUÇÃO 3 |
|  | SOLUÇÃO 2 |  | SOLUÇÃO 4 |

Fig.7 – Zonamento das soluções de reforço geral para o Túnel de Sta. Lucrécia

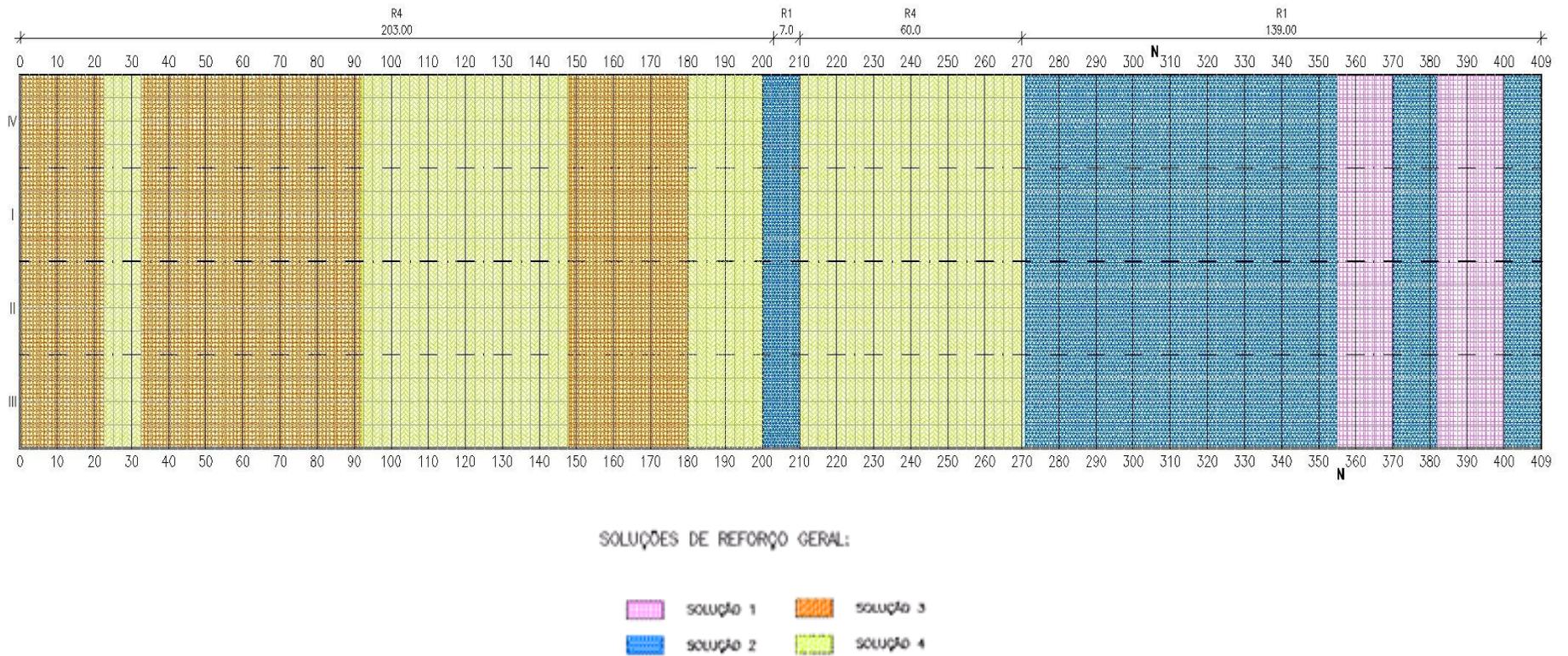
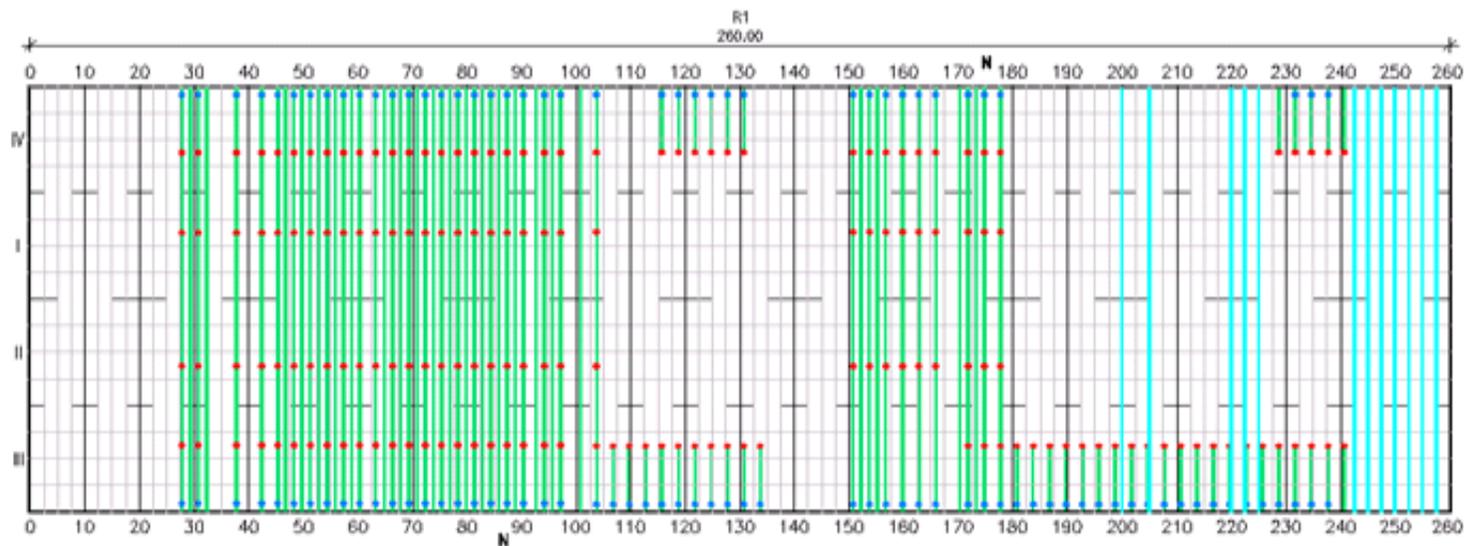


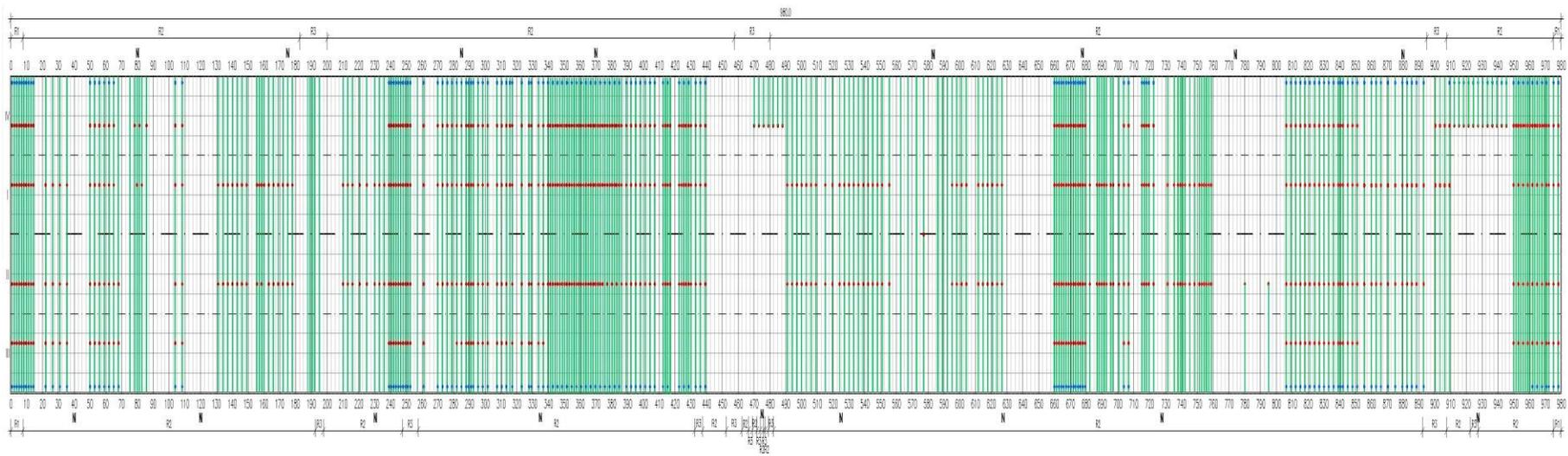
Fig.8 – Zonamento das soluções de reforço geral para o Túnel de Caminha



LEGENDA:

- BANDAS DE DRENAGEM TIPO ALVA/DELTA PT
  - RASGOS NA ALVENARIA COM CANAIS TIPO ALVA
- - GEODRENOS PROFUNDOS (3.0m)
  - - PERFURAÇÕES (0.8m)

Fig.9 – Zonamento das soluções de drenagem para o Túnel de São Miguel da Carreira



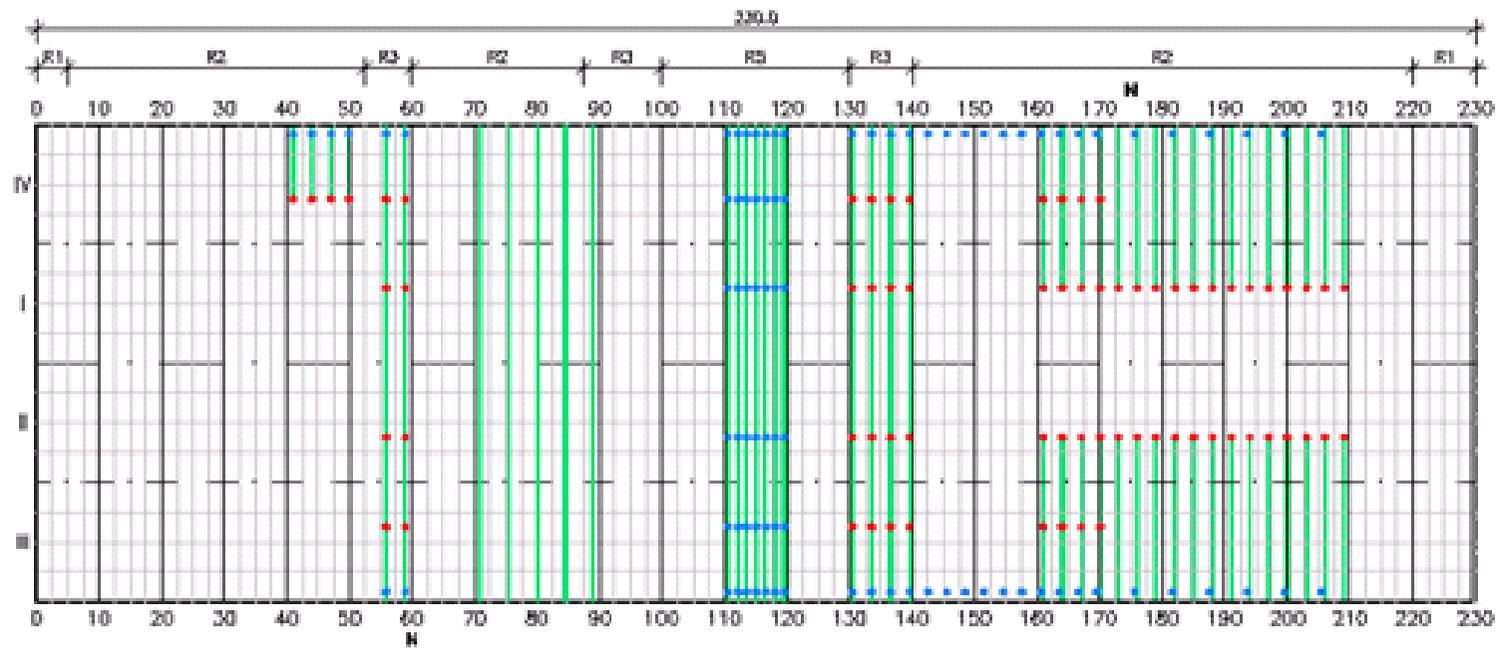
LEGENDA:

- BANDAS DE DRENAGEM TIPO ALIVA/DELTA PT

— RASGOS NA ALVENARIA COM CANAIS TIPO ALMA
- - GEODRENOS PROFUNDOS (3.0m)

● - PERFURAÇÕES (0.8m)

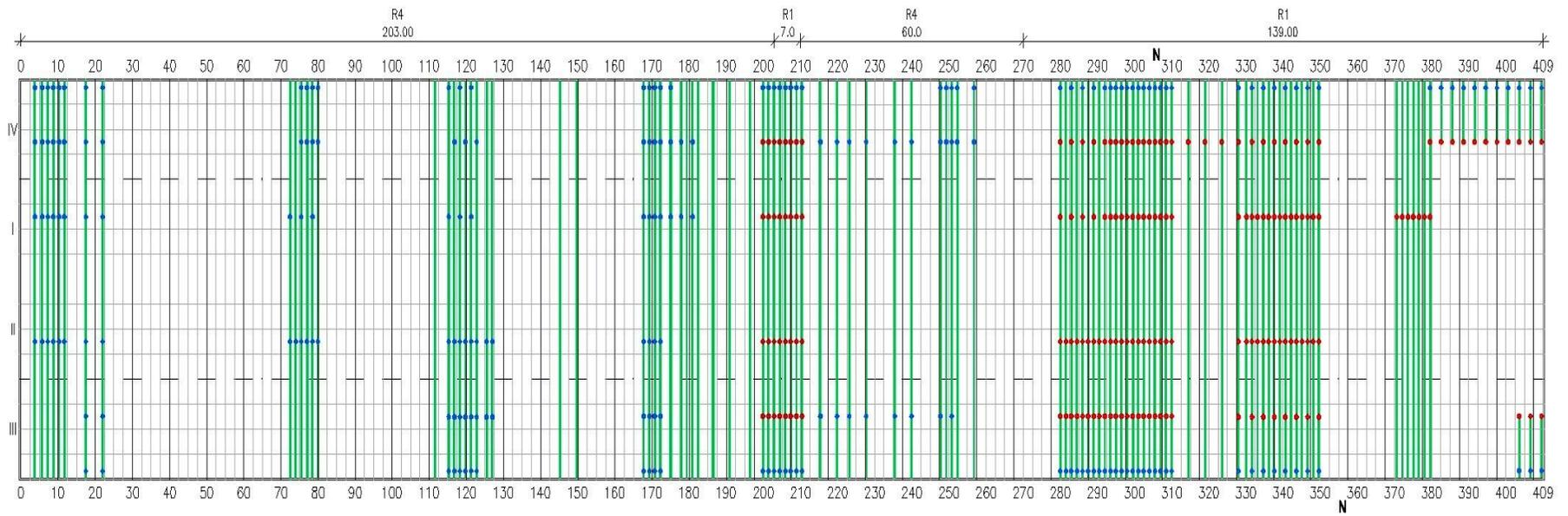
Fig.10 – Zonamento das soluções de drenagem para o Túnel de Tamel



LEGENDA:

- - BANDAS DE DRENAGEM TIPO ALIVA/DELTA PT
- - GEODRENOS PROFUNDOS (3.0m)
- - RASGOS NA ALVENARIA COM CANAIS TIPO ALMA
- - PERFURAÇÕES (0.8m)

Fig.11 – Zonamento das soluções de drenagem para o Túnel de Sta. Lucrecia



LEGENDA:

- - BANDAS DE DRENAGEM TIPO ALVA/DELTA PT

— - RASGOS NA ALVENARIA COM CANAIS TIPO ALMA
- - GEODRENOS PROFUNDOS (3.0m)

● - PERFURAÇÕES (0.8m)

Fig.13 – Zonamento das soluções de drenagem para o Túnel de Caminha

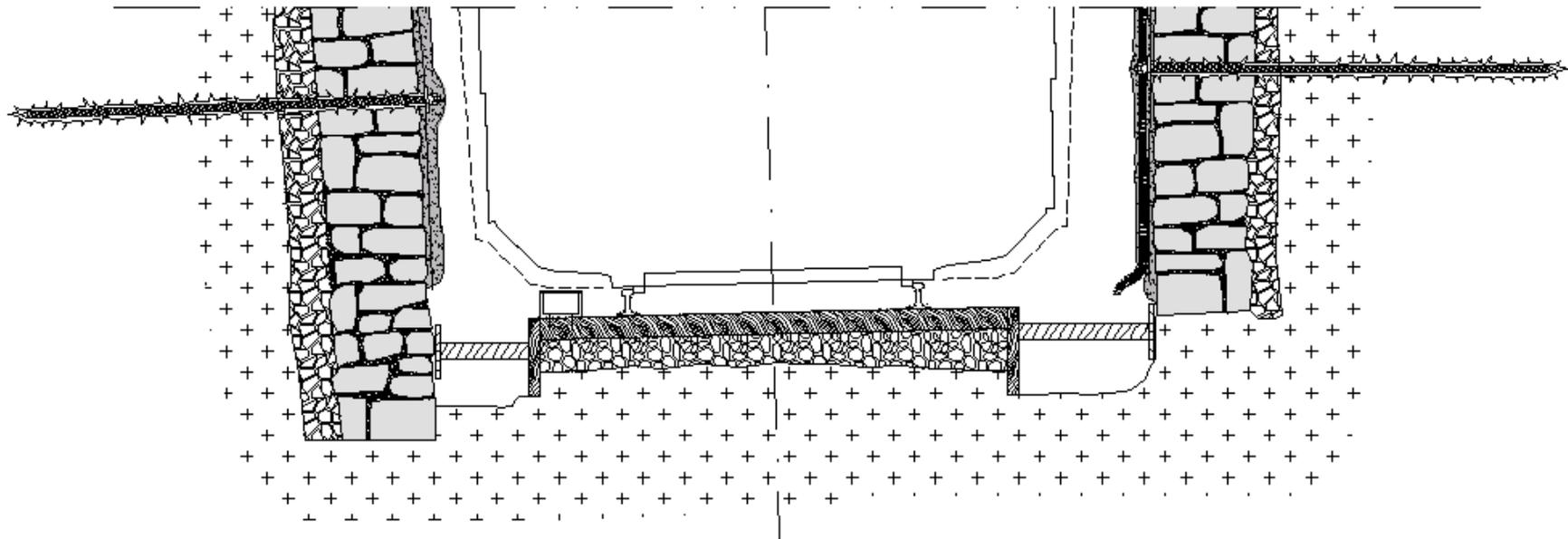
## REBAIXAMENTO DA PLATAFORMA: FASEAMENTO CONSTRUTIVO PARA ZONAS REVESTIDAS A ALVENARIA

### NOTAS DE PROJECTO:

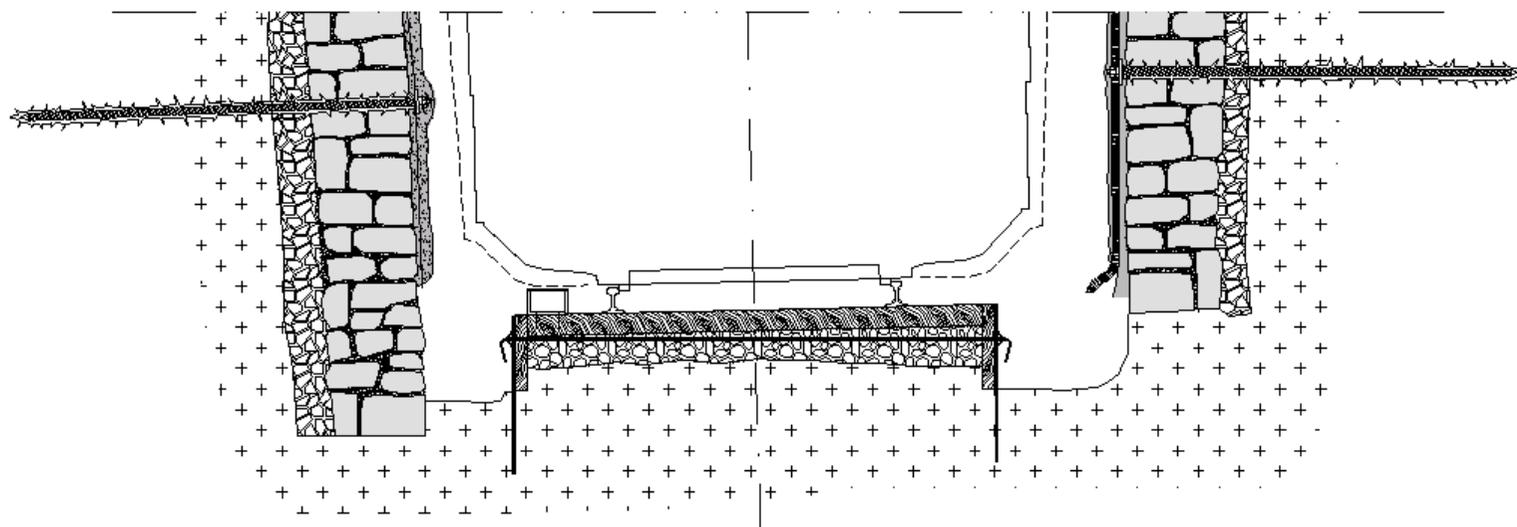
- Para as operações de rebaixamento da plataforma, deverá o Adjudicatário apresentar, de acordo com os períodos de trabalho a serem disponibilizados pela REFER, um plano de trabalhos com as metodologias e os procedimentos de suspensão provisória da via a serem adoptados, nomeadamente com a referência dos comprimentos dos trechos;
- Os procedimentos representados neste desenho relativamente à contenção da via para colocação dos sistemas de drenagem são apenas indicativos, devendo o Adjudicatário apresentar um plano de trabalhos para a sustentação da via;
- O faseamento construtivo representado é aplicável às zonas revestidas a alvenaria e admitindo a solução de drenagem de referência, isto é, em que se instalam monoblocos do lado esquerdo e se colocam drenos circulares enterrados do lado direito, com eventuais reforços em betão armado e pregagens. Este faseamento admite como já empreendidos os trabalhos de beneficiação do sustimento necessários, quer por reparações pontuais, quer por reforços gerais e contínuos;
- As madeiras a serem empregues nos escoramentos, contraventamentos, emendas, calços, cunhas e reforços necessários deverão de primeira escolha, duras, devidamente secas, não ardidas nem cardidas, sem nós viciosas, isentas de caruncho, fendas ou falhas que possam comprometer a sua resistência;
- As escavações a serem empreendidas lateralmente à via, deverão ser empreendidas de forma faseada de acordo com os períodos de interdição disponíveis, tendo em conta as condições locais do maciço a ser escavado e do sustimento envolvente e da envergadura da escavação (rebaixamento necessário). O objectivo é sempre de remover o balastro, escavar o maciço e empreender de imediato os sistemas de entivação e escoramento necessários;
- Como referência, para os trabalhos de escavação a serem empreendidos num maciço estável e seco, envolvido por um sustimento confinado e aparentemente sem patologias estruturais relevantes, e com profundidades de rebaixamento inferiores a 30cm, poderão tomar-se trechos contínuos (sempre de acordo com os tempos disponíveis e tomando os devidos cuidados de execução).
- Nos casos em que os rebaixamentos têm uma envergadura relevante e tanto o maciço como o sustimento possam apresentar-se de alguma forma fragilizados, deverão adoptar-se trechos alternados e com comprimentos inferiores a 3,0m e afastados entre si de igual distância, ou, como alternativa, trechos consecutivos de 3,0m, passando para o trecho seguinte apenas quando o anterior estiver devidamente entivado e escorado;
- Se nos períodos de execução destes trabalhos afluírem águas nas valetas existentes, as quais possam complicar ou mesmo comprometer os trabalhos no interior do túnel, deverão ser executados desvios ou, se necessário, poços de bombagem a montante do escoamento, no exterior do túnel, de modo a captar e a desviar convenientemente as águas. Não havendo alternativa, o desvio poderá ser efectuado ao longo do túnel, desde que de forma entubada em toda a extensão do túnel e sem que isso acarrete interferências com a circulação ferroviária;
- Caso se confirmem estes cenários, deverão ser executados poços de bombagem nas bocas de entrada de todos os túneis exceptuando o Túnel de Tarnel. No Túnel de Tarnel, deverá iniciar-se todo o processo de escavação, entivação, escoramento e colocação dos dispositivos de drenagem e de reforço a partir do ponto mais alto, o qual fica numa posição intermédia do túnel;
- Se no fundo das escavações a serem executadas no interior do túnel afluir água, a mesma deve ser bombeada para jusante do escoamento com a potência apropriada e aplicando os chupadouros fora da zona directa de trabalho.

## FASEAMENTO CONSTRUTIVO PARA ZONAS REVESTIDAS A ALVENARIA:

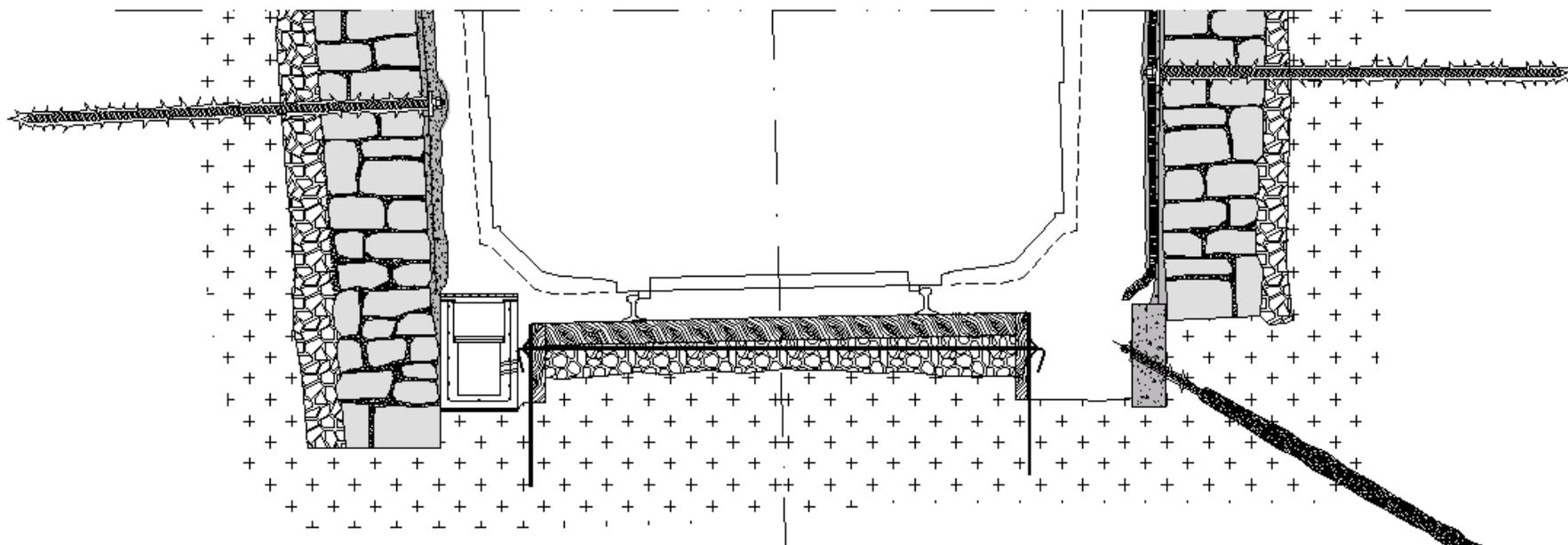
- FASE 1 – NOVO ALINHAMENTO DA VIA ATRAVÉS DE UM DESGUARNECIMENTO PARCIAL (PRELIMINAR) ATÉ 15cm DE ESPESSURA DE BALASTRO;
- DESVIO PROVISÓRIO DOS CABOS QUE SE ENCONTRAM ENTERRADOS NO BALASTRO;
  - ESCAVAÇÃO LATERAL COM A PROFUNDIDADE NECESSÁRIA À EXECUÇÃO DOS TRABALHOS DE RECALÇAMENTO DOS HASTEAIS E À COLOCAÇÃO DOS MONOBLOCOS PRÉ-FABRICADOS E DRENOS CIRCULARES;
  - COLOCAÇÃO, EM AMBOS OS LADOS DA VIA, DOS PAINÉIS DE MADEIRA ESCORADOS PROVISORIAMENTE CONTRA OS HASTEAIS.



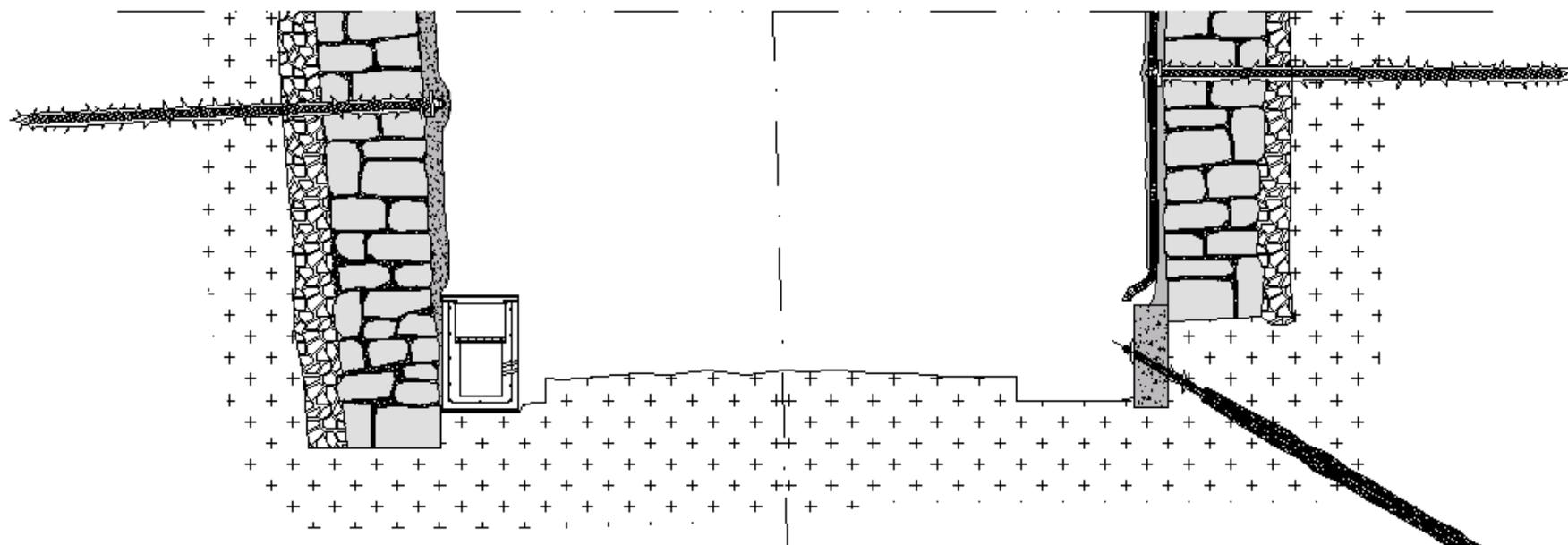
- FASE 2 – CRAVAÇÃO DE VARÕES DE AÇO NA PLATAFORMA, POSICIONADOS VERTICALMENTE JUNTO À FACE EXTERIOR DOS TAIPAIS DE MADEIRA;
- UNIÃO E FIXAÇÃO DOS PAINÉIS COM RECURSO A ESTICADORES DE COFRAGEM. SISTEMA CONSTITUIDO PELAS TIGES (VARÃO OU VERGUINHA DE AÇO) E CASTANHETAS DE SERRILHA OU DE CUNHA;
  - O ADJUDICATÁRIO DEVERÁ APRESENTAR UMA SOLUÇÃO DE CONTENÇÃO DA PLATAFORMA, PODENDO ALTERAR OU COMPLEMENTAR AS INDICAÇÕES SUGERIDAS NO PROJECTO NOMEADAMENTE NO QUE DIZ RESPEITO À OPERAÇÃO DE ATIRANTAR OS PAINÉIS, SEJA PELA UTILIZAÇÃO DE OUTROS DISPOSITIVOS COMO TÚRBILHÕES, PLACAS OU PORCAS SEXTAVADAS OU PELA ADOÇÃO DE OUTRO MÉTODO DE CONTENÇÃO;
  - TENSIONAMENTO DOS ESTICADORES COM RECURSO A MACACO TENSOR OU DE ROSCA;
  - REMOÇÃO DOS TRAVAMENTOS DE MADEIRA COLOCADOS INICIALMENTE CONTRA OS HASTEAIS.



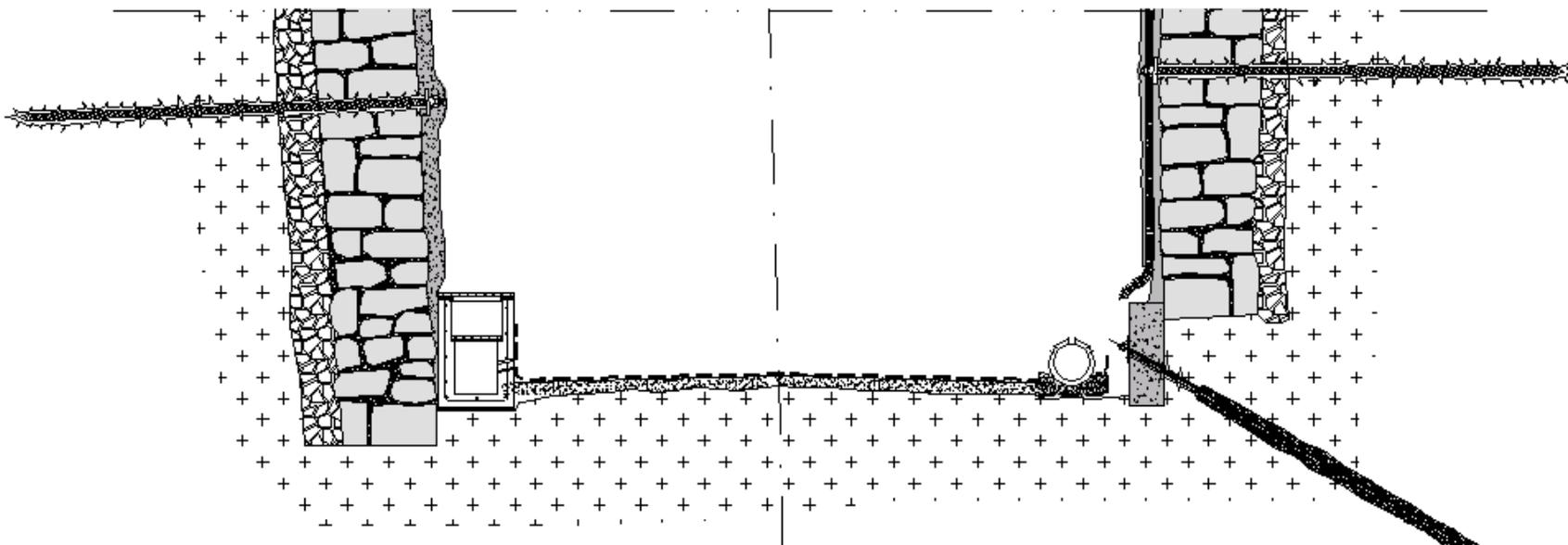
- FASE 3 - REGULARIZAÇÃO DA BASE DE ASSENTAMENTO COM COLOCAÇÃO DE UMA CAMADA MÍNIMA DE 5cm DE BETONILHA (BETÃO POBRE) COM 200kg DE CIMENTO POR m<sup>3</sup> DE ARGAMASSA;
- COLOCAÇÃO DOS ELEMENTOS PRÉ-FABRICADOS NAS POSIÇÕES CORRECTAS E SELAGEM DAS JUNTAS COM ARGAMASSA DE CIMENTO E AREIA AO TRAÇO 1:4;
  - EXECUÇÃO DO REFORÇO DA SOLEIRA DO HASTEAL;
  - PREENCHIMENTO DO ESPAÇO EXISTENTE ENTRE OS MONOBLOCOS E OS HASTEAIS COM O MESMO TIPO DE ARGAMASSA.
  - DESVIO DEFINITIVO DOS CABOS PARA O CIRCUITO INTERIOR DOS MONOBLOCOS;
  - REMOÇÃO DOS CANALETES PARA CAMINHOS PROVISÓRIOS DE CABOS;



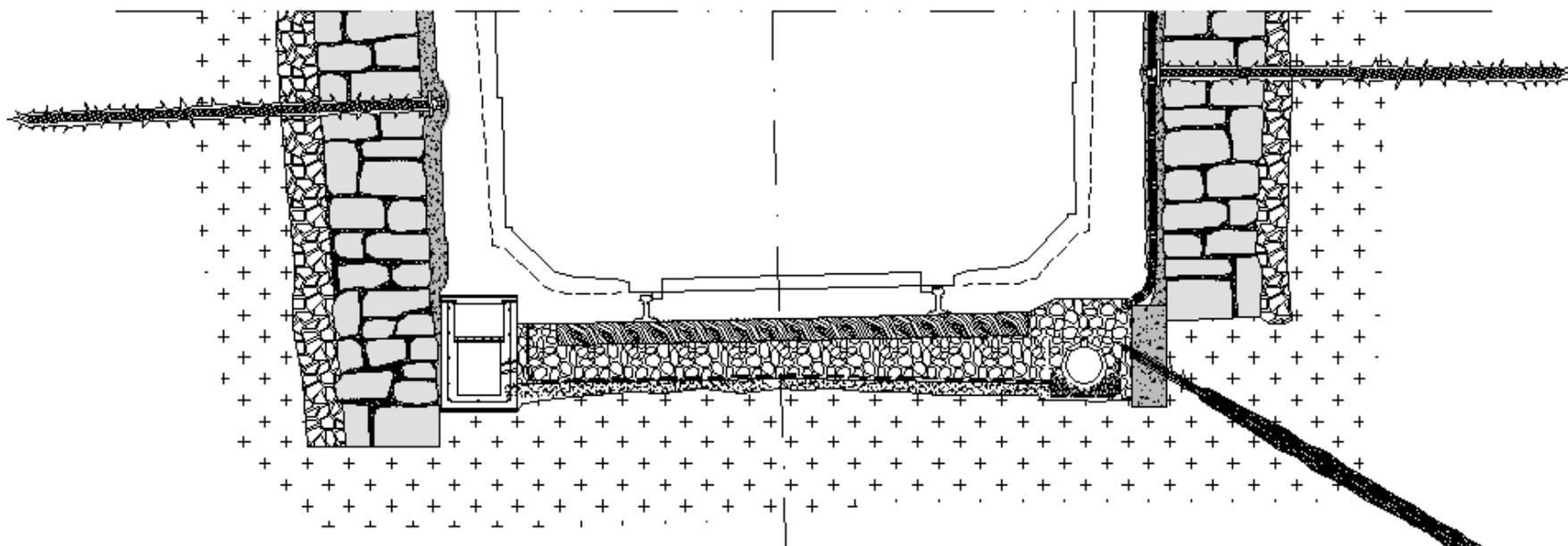
- FASE 4 - DESACTIVAÇÃO E REMOÇÃO DOS DISPOSITIVOS PROMISÓRIOS DE CONTENÇÃO DA VIA;  
- OPERAÇÕES DE DESGUARNECIMENTO DE BALASTRO;  
- LEVANTAMENTO DA VIA EXISTENTE (DESMONTAGEM DE JUNTAS POR DESAPERTO DOS ELEMENTOS CONSTITUINTES, DESAPERTO E RIPAGEM DOS CARRIS PARA O EXTERIOR DOS TÚNEIS, LEVANTAMENTO DAS TRAVESSAS DE MADEIRA);

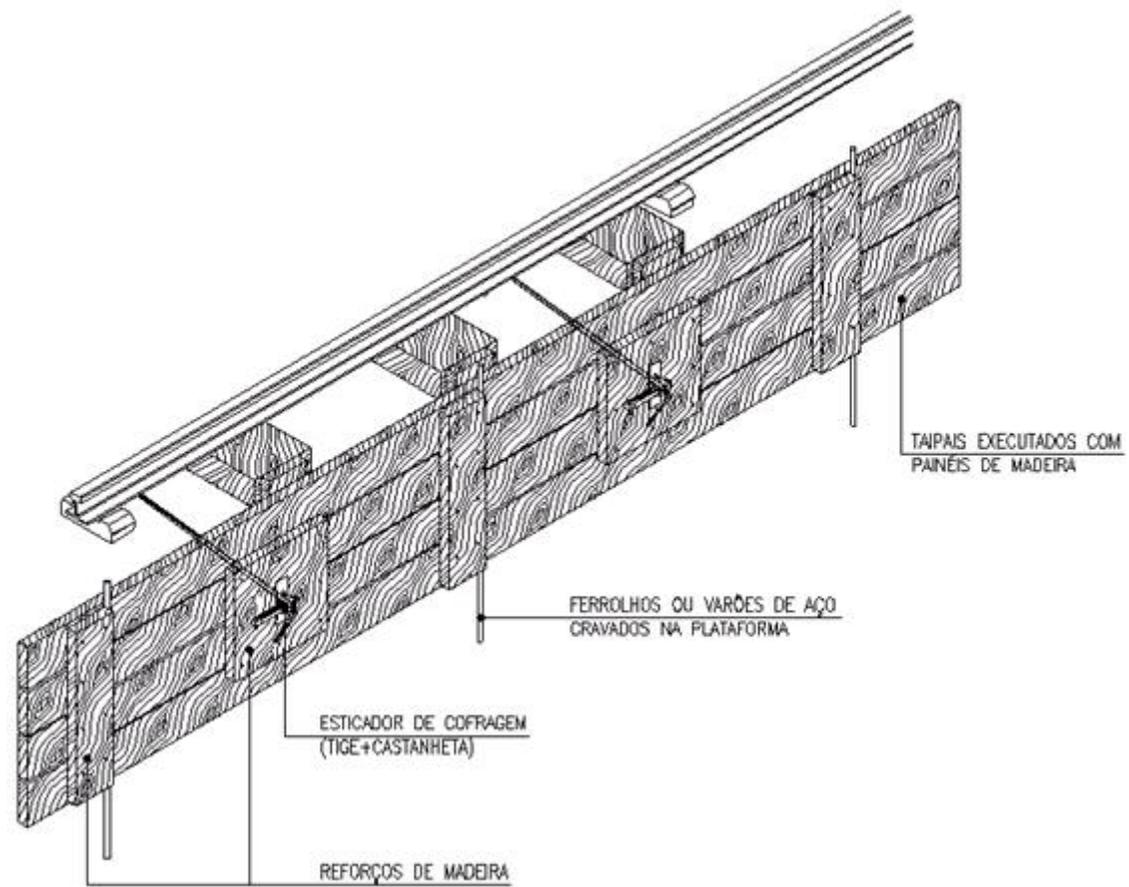


- FASE 5 – REBAIXAMENTO DA PLATAFORMA (LEITO DA VIA) POR ESCAVAÇÃO OU ESCARIFICAÇÃO;  
– COLOCAÇÃO DOS DRENOS CIRCULARES LONGITUDINAIS, MATERIAL DRENANTE E GEOTÊXTIL;  
– REGULARIZAÇÃO DA BASE COM CAMADA DE SUB-BALASTRO;  
– COLOCAÇÃO DE MANTA DE GEOTÊXTIL;  
– AJUSTE DOS CANAIS DE DRENAGEM EXISTENTES AO LONGO DOS HASTEIS.



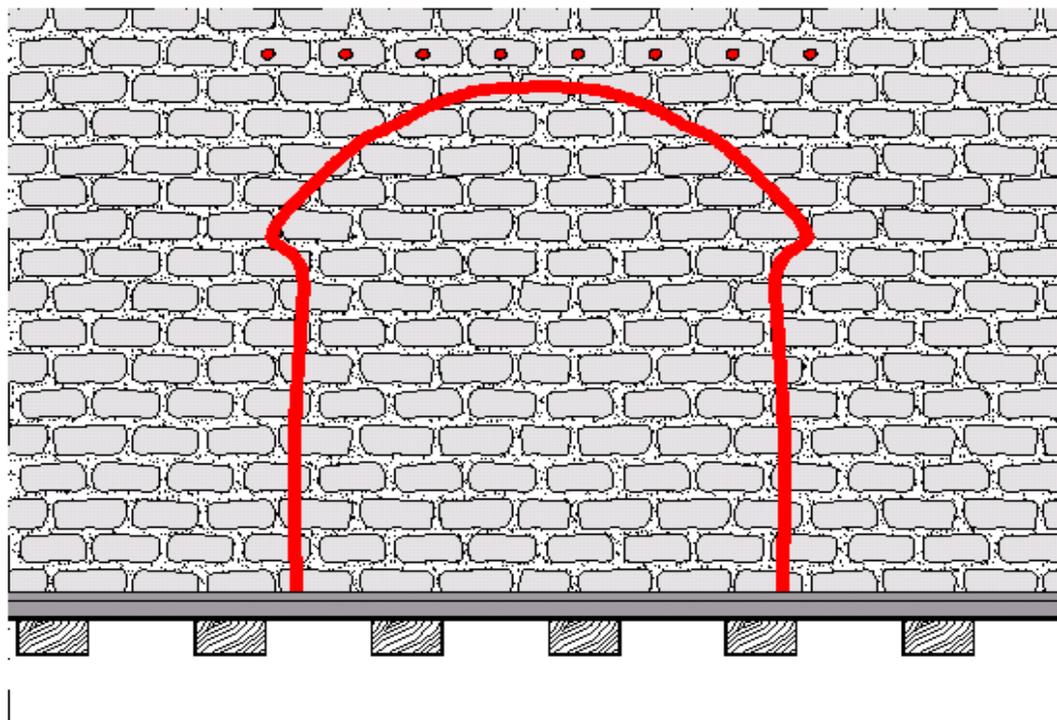
- FASE 6 – ASSENTAMENTO DA VIA (ESPALHAMENTO DE BALASTRO E DISTRIBUIÇÃO DOS CARRIS E DAS TRAVESSAS);
- DESCARGA E REGULARIZAÇÃO DE BALASTRO;
  - ATAQUES DE ENCHIMENTO E NIVELAMENTO QUE PERMITAM A COLOCAÇÃO DA VIA À COTA DE PROJECTO;
  - REGULARIZAÇÃO DO PERFIL DO BALASTRO E LIMPEZA DAS TRAVESSAS E DOS CARRIS;
  - ATAQUES DEFINITIVOS E REGULARIZAÇÃO DE FOLGAS.



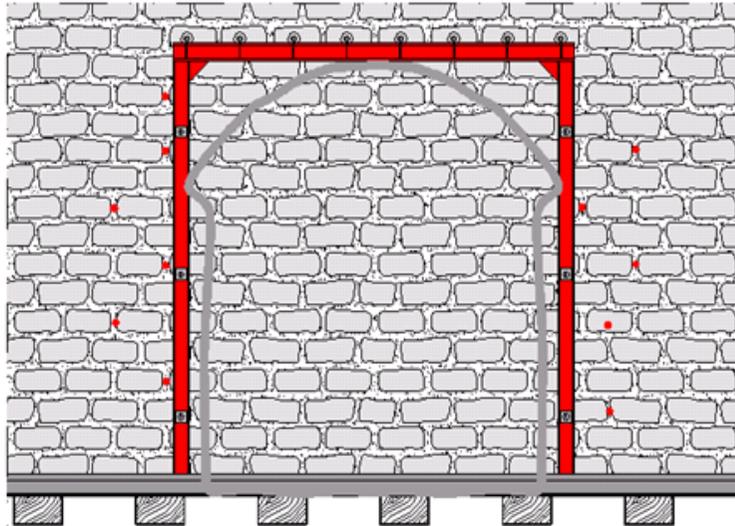


## FASEAMENTO CONSTRUTIVO DOS NICHOS PARA ZONAS REVESTIDAS

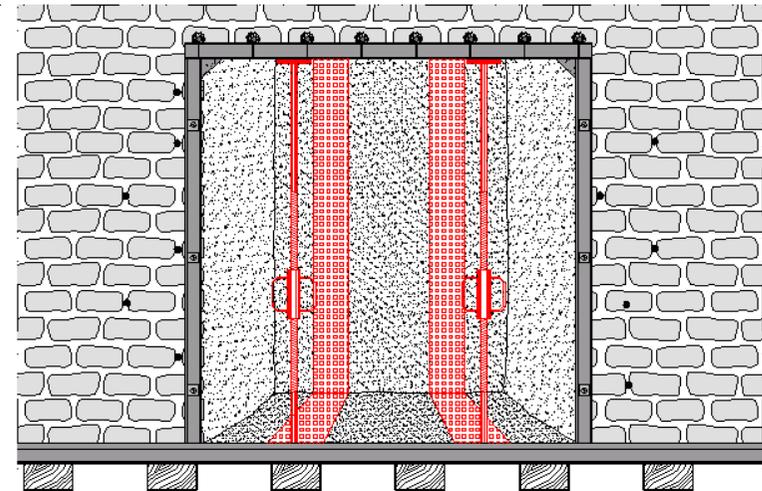
- FASE 1 – REPARAÇÕES NECESSÁRIAS NA ZONA ENVOLVENTE;
- EXECUÇÃO DA PINTURA DE MARCAÇÃO;
  - PROJEÇÃO DE BETÃO NO CONTO RNO DA ÁREA A SER DEMOLIDA;
  - FURAÇÃO ACIMA DO NICHU PARA EXECUÇÃO DAS PREGAGENS.



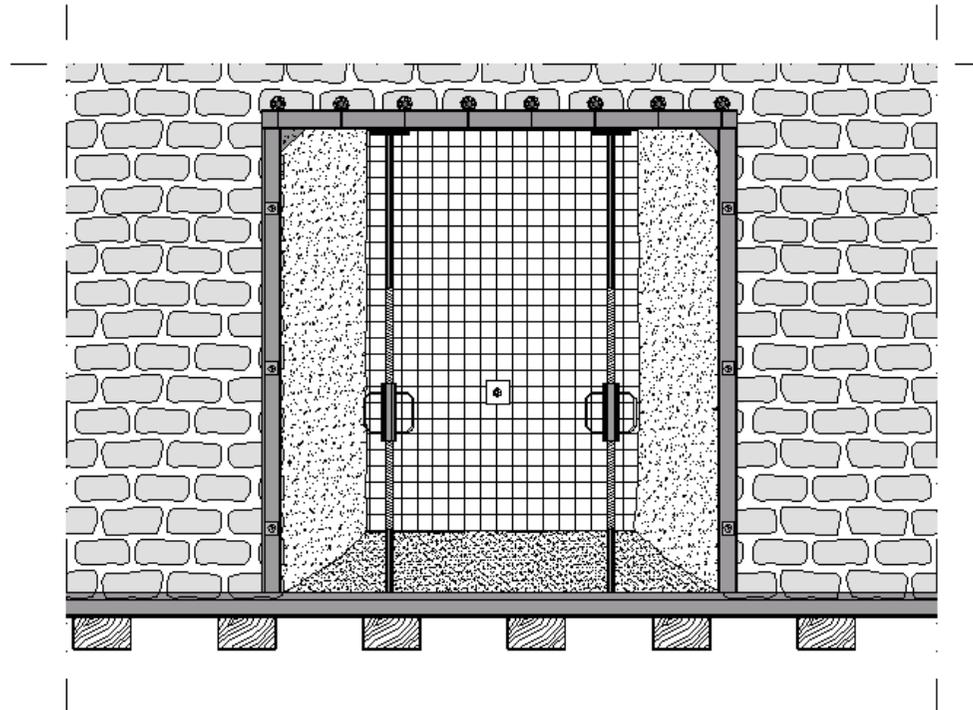
- FASE 2 – INSTALAÇÃO E SELAGEM DAS PREGAGENS DE CORDAMENTO;
- MONTAGEM E FIXAÇÃO DO PÓRTICO CONSTITUÍDO POR 3 PERFIS HEB120;
  - EXECUÇÃO E APERTO DAS PREGAGENS LATERAIS;
  - INJEÇÃO DE CALDA ATRAVÉS DE FUROS PARA PREENCHIMENTO DE VAZIOS E CONFINAMENTO DA ESTRUTURA DE ALVENARIA NA ENVOLVENTE À ÁREA A SER DESMONTADA.



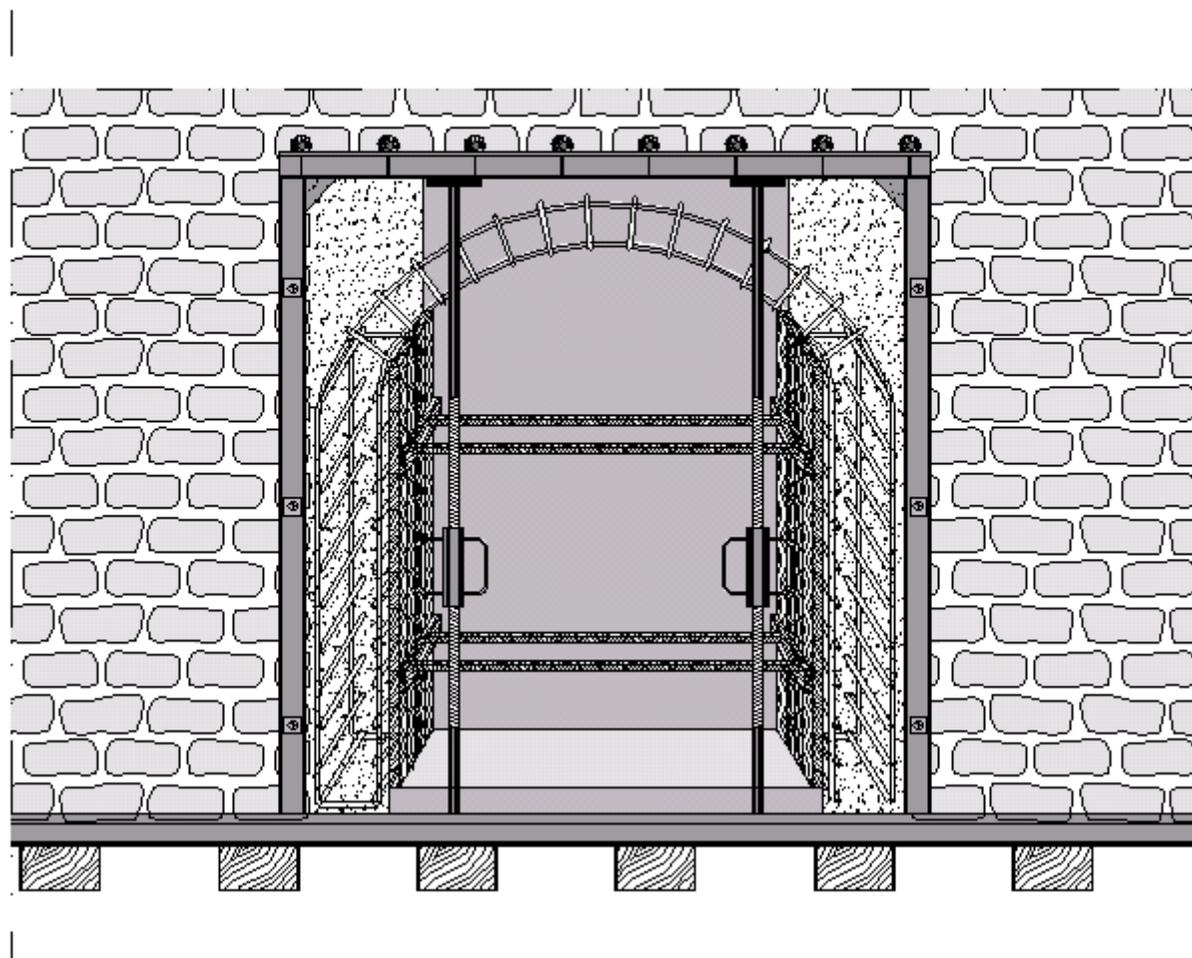
- FASE 3 – DESMONTE FASEADO DA ALVENARIA;
- COLOCAÇÃO DE SISTEMAS DE ESCORAMENTO E SUPORTE COMPLEMENTARES PARA APOIO DA ZONA POSTERIOR DOS BLOCOS DE ALVENARIA;
  - CORTE DAS PEDRAS LATERAIS COM DISCO DE DIAMANTE;
  - ESCAVAÇÃO FASEADA DO MACIÇO NO EXTRADORSO DO HASTEAL COM APROX. 1.30m DE PROFUNDIDADE;
  - COLOCAÇÃO DO SISTEMA DE DRENAGEM DO TARDOZ E DA LAJE DE FUNDO DO NICHU.



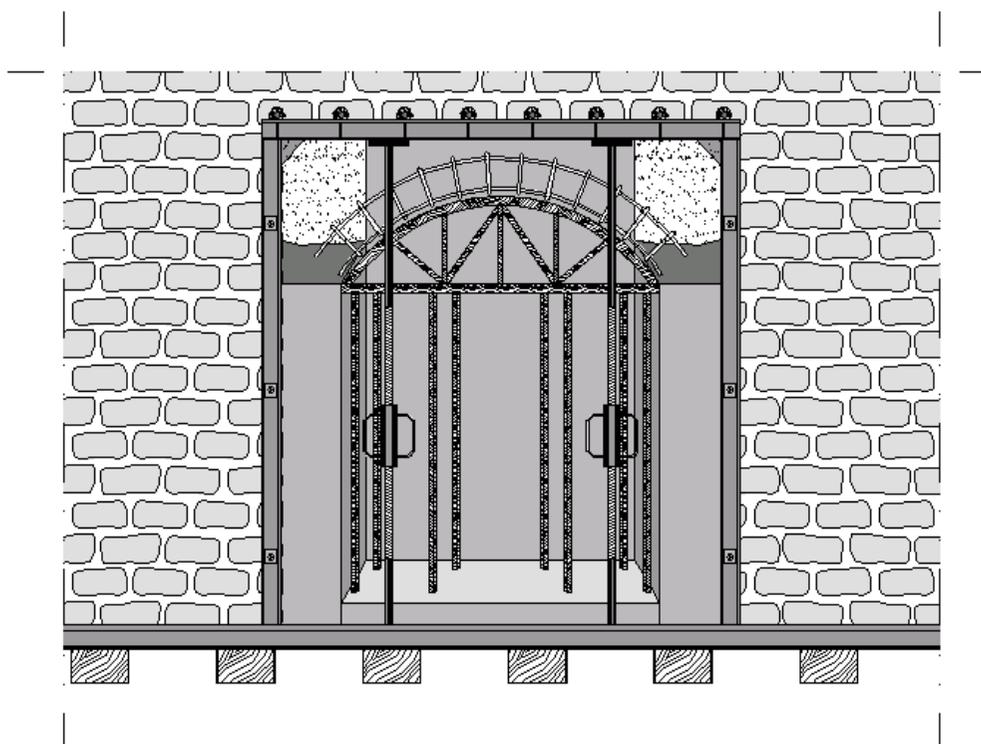
- FASE 4 – ANÁLISE DAS CONDIÇÕES DE SUSTENTABILIDADE DO MACIÇO E IMPLEMENTAÇÃO DE MEDIDAS COMPLEMENTARES DE ESTABILIZAÇÃO CONFORME SE VERIFICAR NECESSÁRIO;
- APLICAÇÃO DE MALHA ELECTROSSOLDADA COM BETÃO PROJECTADO (RECALÇAMENTOS E PROJEÇÃO DE BETÃO);
  - AFERIÇÃO DA NECESSIDADE DE ADOPTAR REFORÇOS ADICIONAIS.



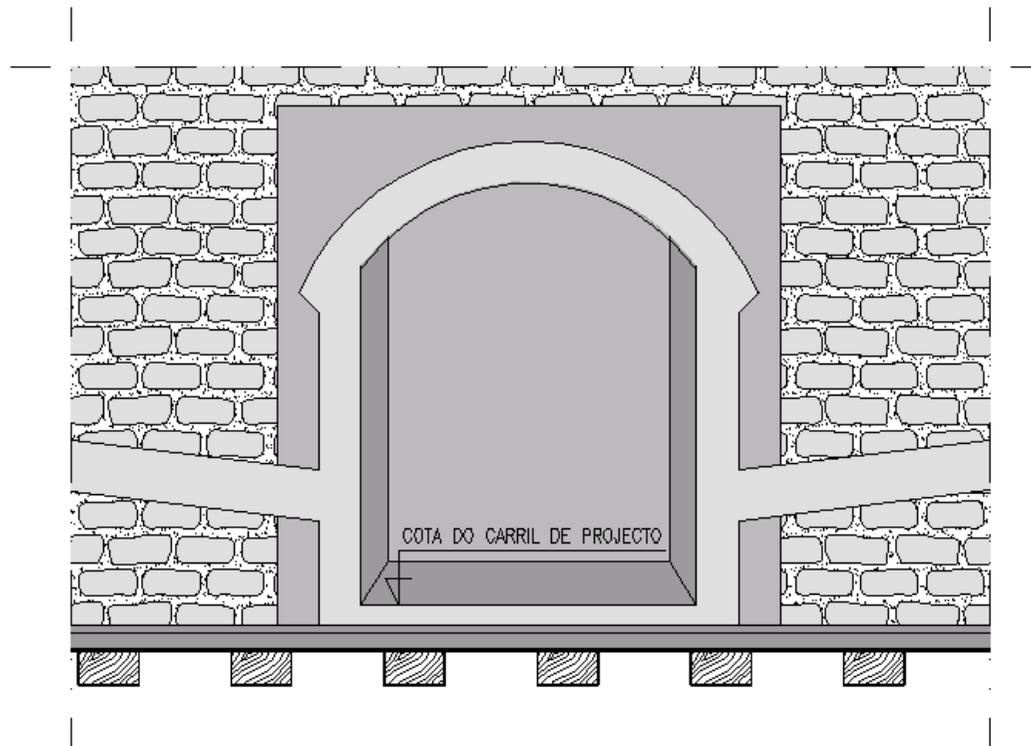
FASE 5 – EXECUÇÃO DA LAJE DE PAVIMENTO;  
– COLOCAÇÃO DA ARMADURA E DAS COFRAGENS.



FASE 6 – BETONAGEM FASEADA DA ESTRUTURA (MÉTODO ASCENDENTE).

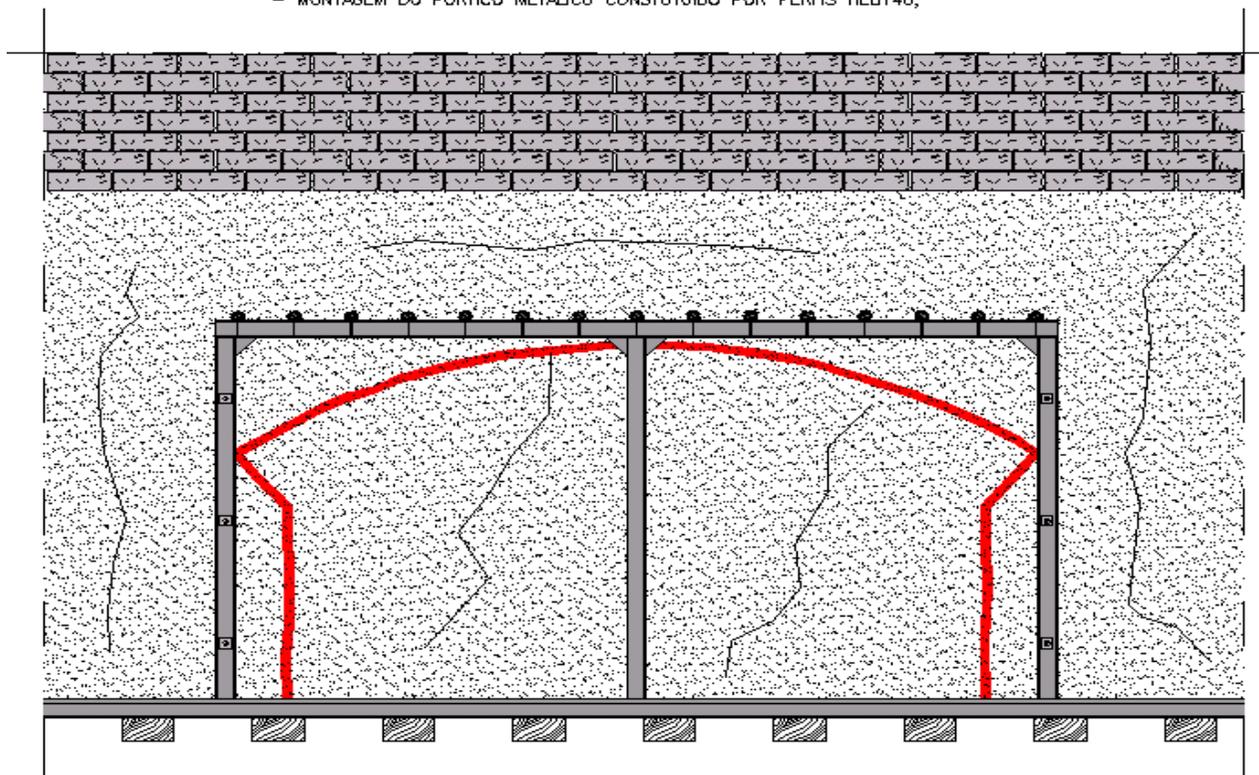


- FASE 7 – REMOÇÃO DAS ESTRUTURAS DE SUORTE PROVISÓRIAS;  
- ACABAMENTO FINAL DO NICHOS COM REBOCO E REGULARIZAÇÃO COM ARGAMASSA;  
- PINTURA COM TINTA BRANCA REFLECTORA.

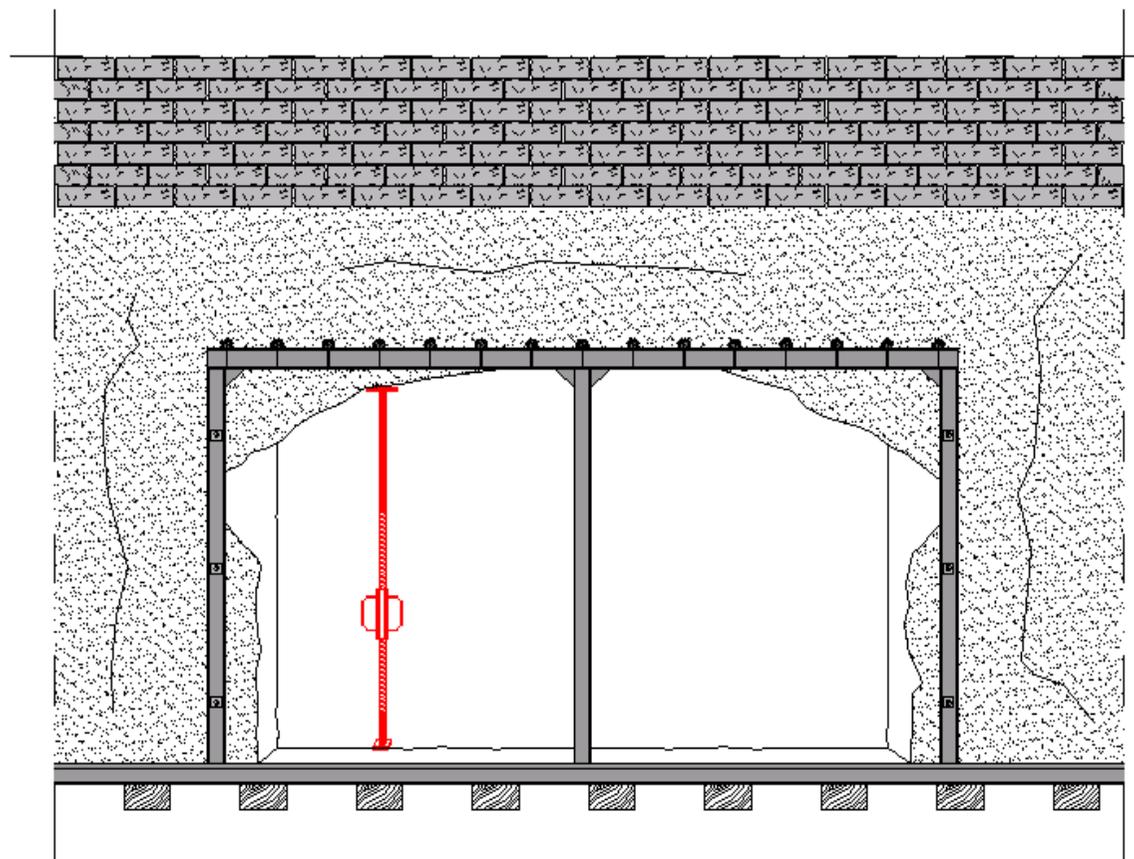


## FASEAMENTO CONSTRUTIVO DA CÂMARA DE SERVIÇO

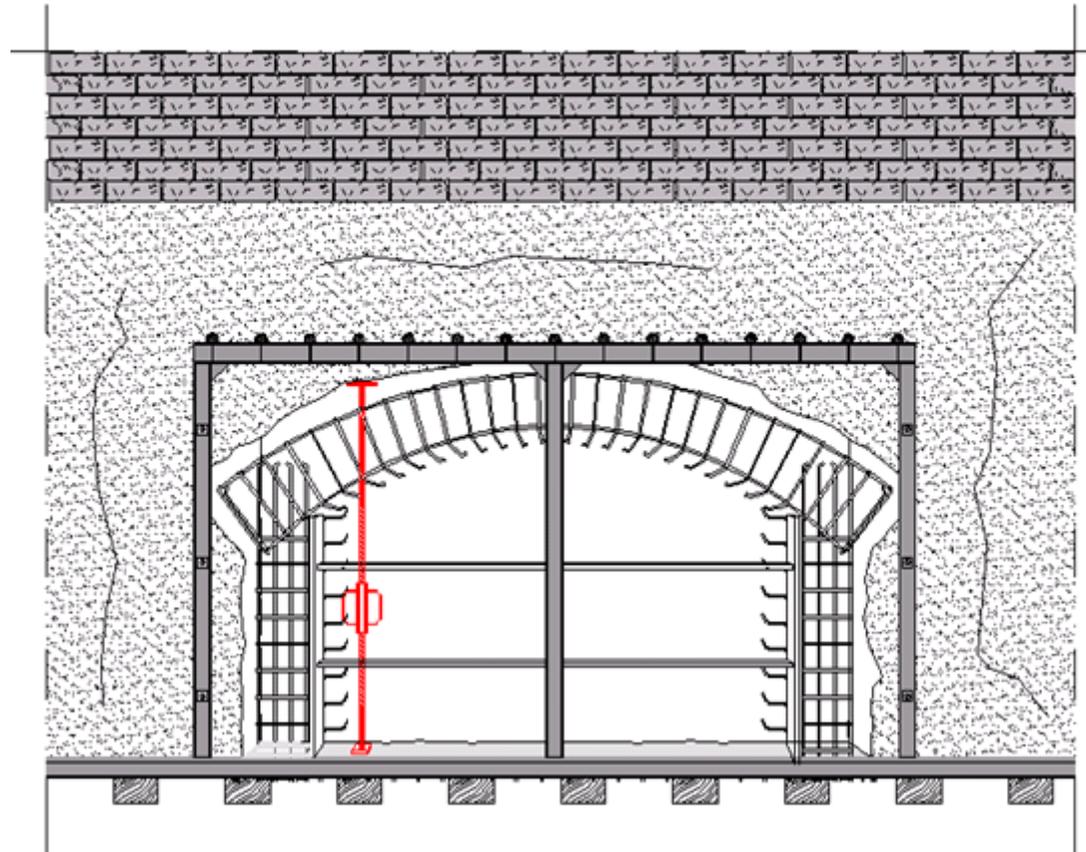
- FASE 1 – REPARAÇÕES NECESSÁRIAS NA ZONA ENVOLVENTE (NOMEADAMENTE A ALVENARIA NA ABÓBADA);
- EXECUÇÃO DA PINTURA DE MARCAÇÃO;
  - FURAÇÃO ACIMA DA CÂMARA PARA EXECUÇÃO DAS PREGAGENS.
  - INSTALAÇÃO DE 15 PREGAGENS  $\varnothing 50\text{mm}/0,40\text{m}$ ;
  - MONTAGEM DO PÓRTICO METÁLICO CONSTITUÍDO POR PERFIS HEB140;



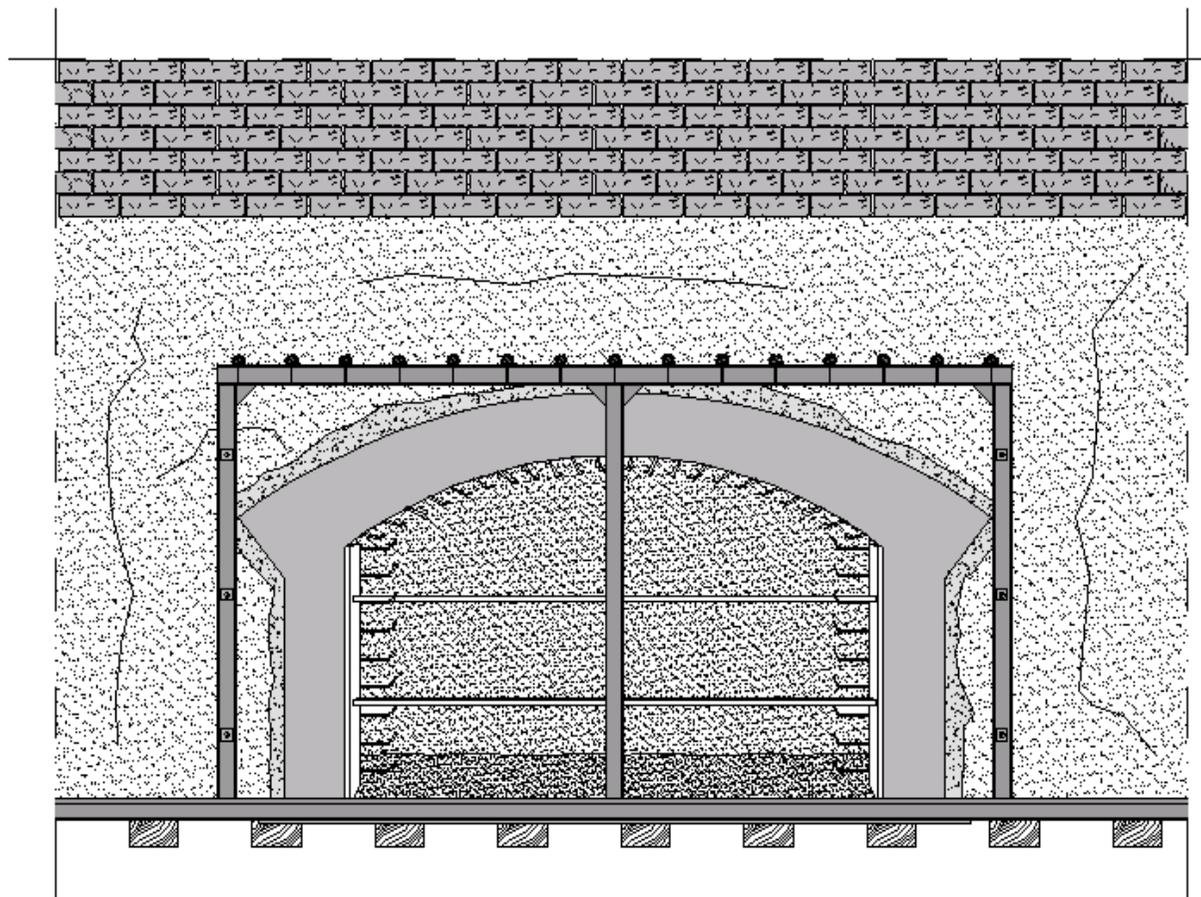
- FASE 2 - CORTE DO MACIÇO COM DISCO DE DIAMANTE;
- DESMONTE DO MACIÇO NECESSÁRIO À EXECUÇÃO DO PÓRTICO FRONTAL EXTERIOR EM BETÃO ARMADO;
  - COLOCAÇÃO DE SISTEMAS DE ESCORAMENTO E SUPORTE COMPLEMENTARES PARA APOIO DA ZONA POSTERIOR DO MACIÇO ENCAIXANTE;



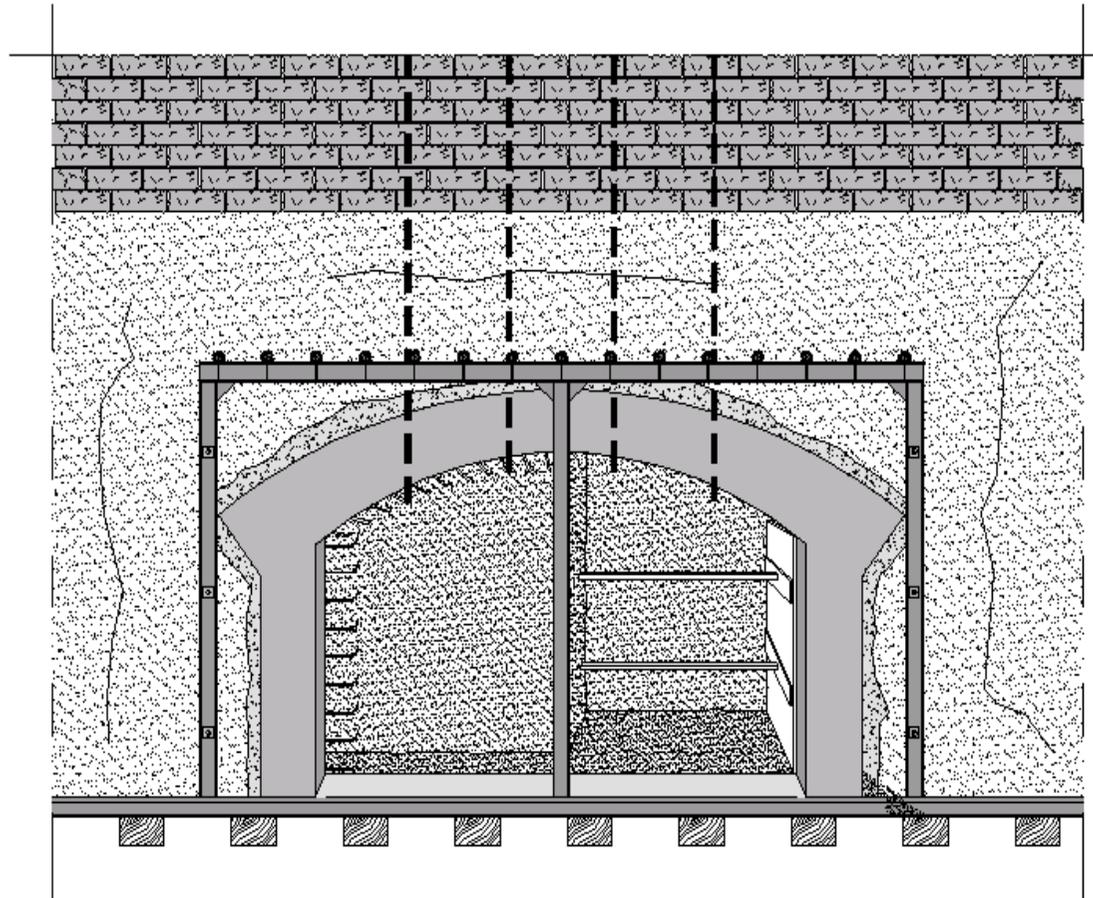
FASE 3 – COLOCAÇÃO DA ARMADURA E DAS COFRAGENS;



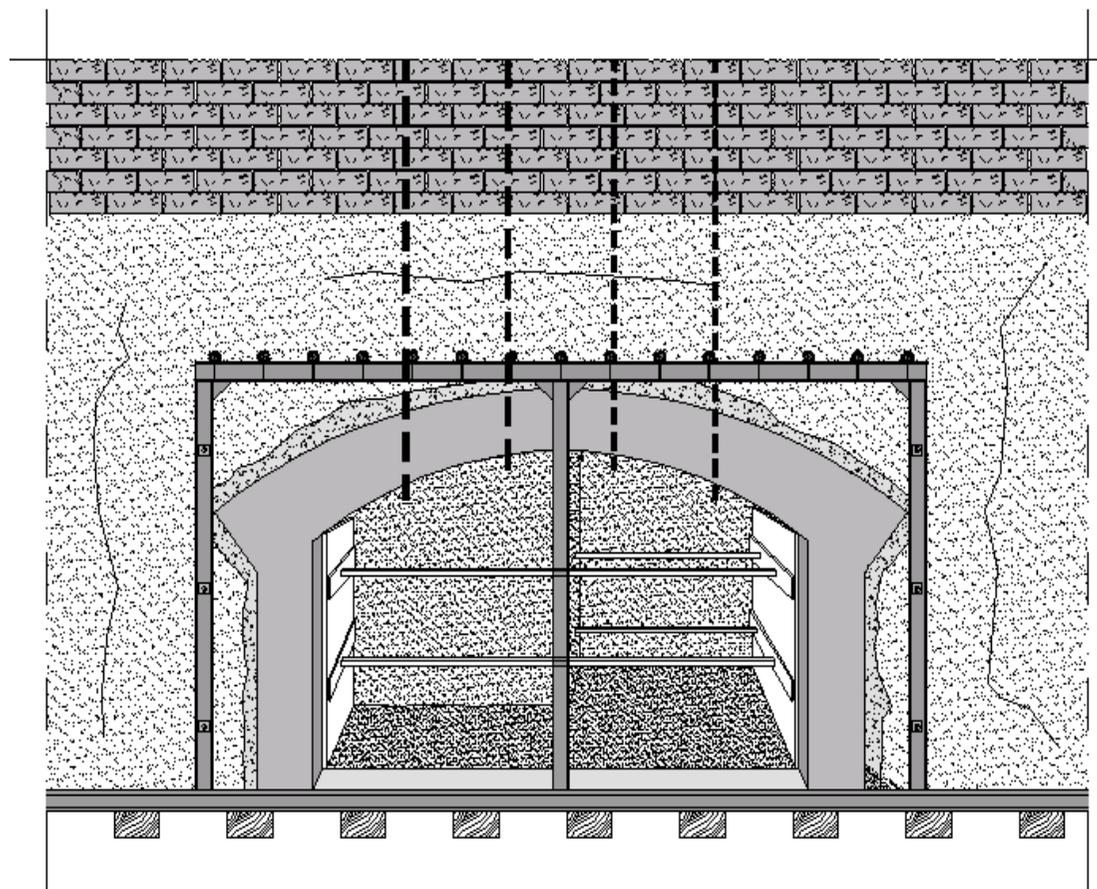
- FASE 4 - BETONAGEM FASEADA DO PÓRTICO EXTERIOR, PRIMEIRAMENTE A SOLEIRA, DEPOIS AS PAREDES LATERAIS E FINALMENTE O ARCO DA ABÓBADA;
- CONSOLIDAÇÃO DO PREENCHIMENTO DO ESPAÇO EXISTENTE ENTRE O MACIÇO ESCAVADO E O PÓRTICO DE BETÃO (SE NECESSÁRIO).



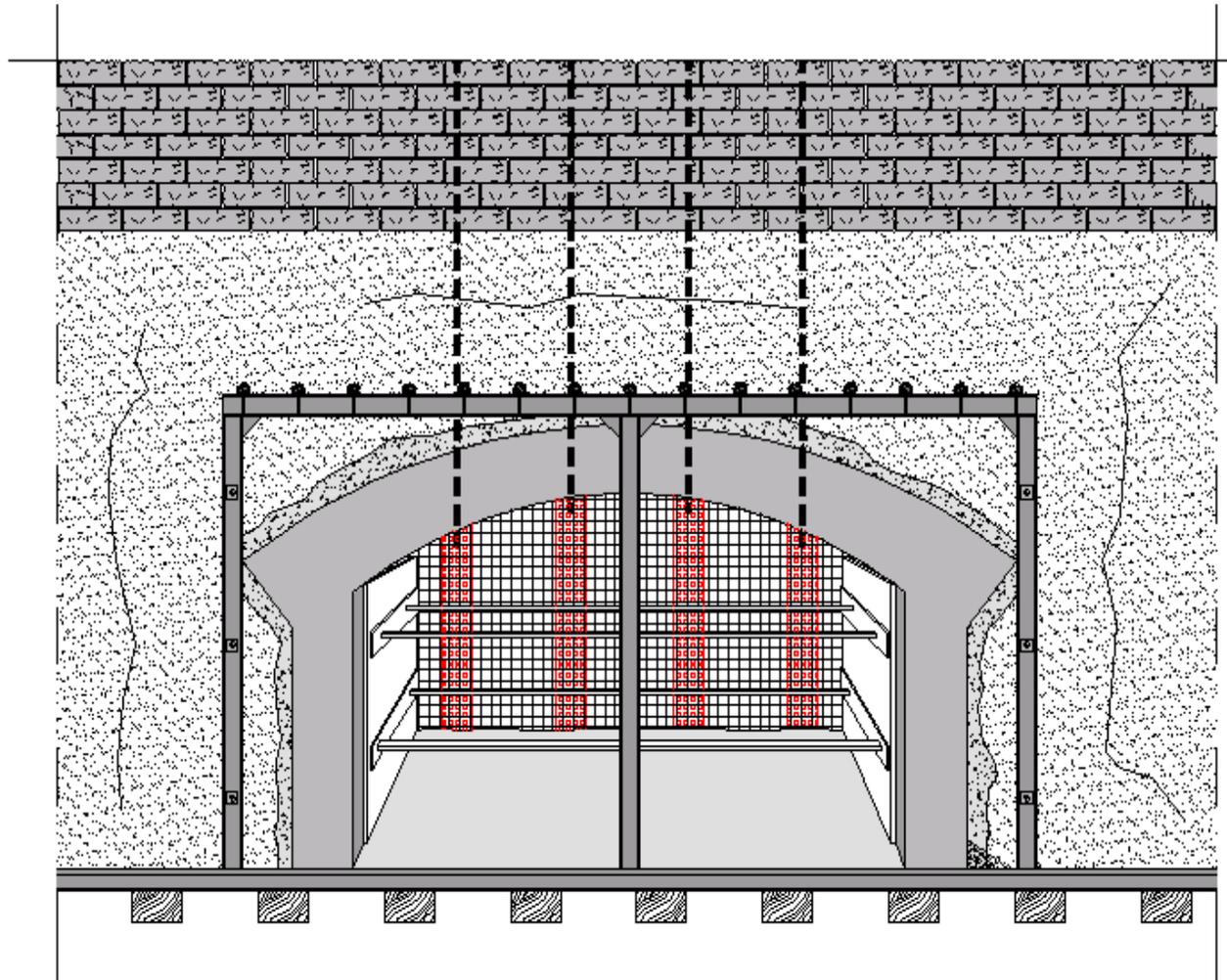
- FASE 5 - EXECUÇÃO FASEADA DA ESCAVAÇÃO INTERMÉDIA;  
- EXECUÇÃO DE UMA FIADA DE 4 PREGAGENS SUBVERTICAIS;  
- PROJEÇÃO DE BETÃO DE PROTECÇÃO.



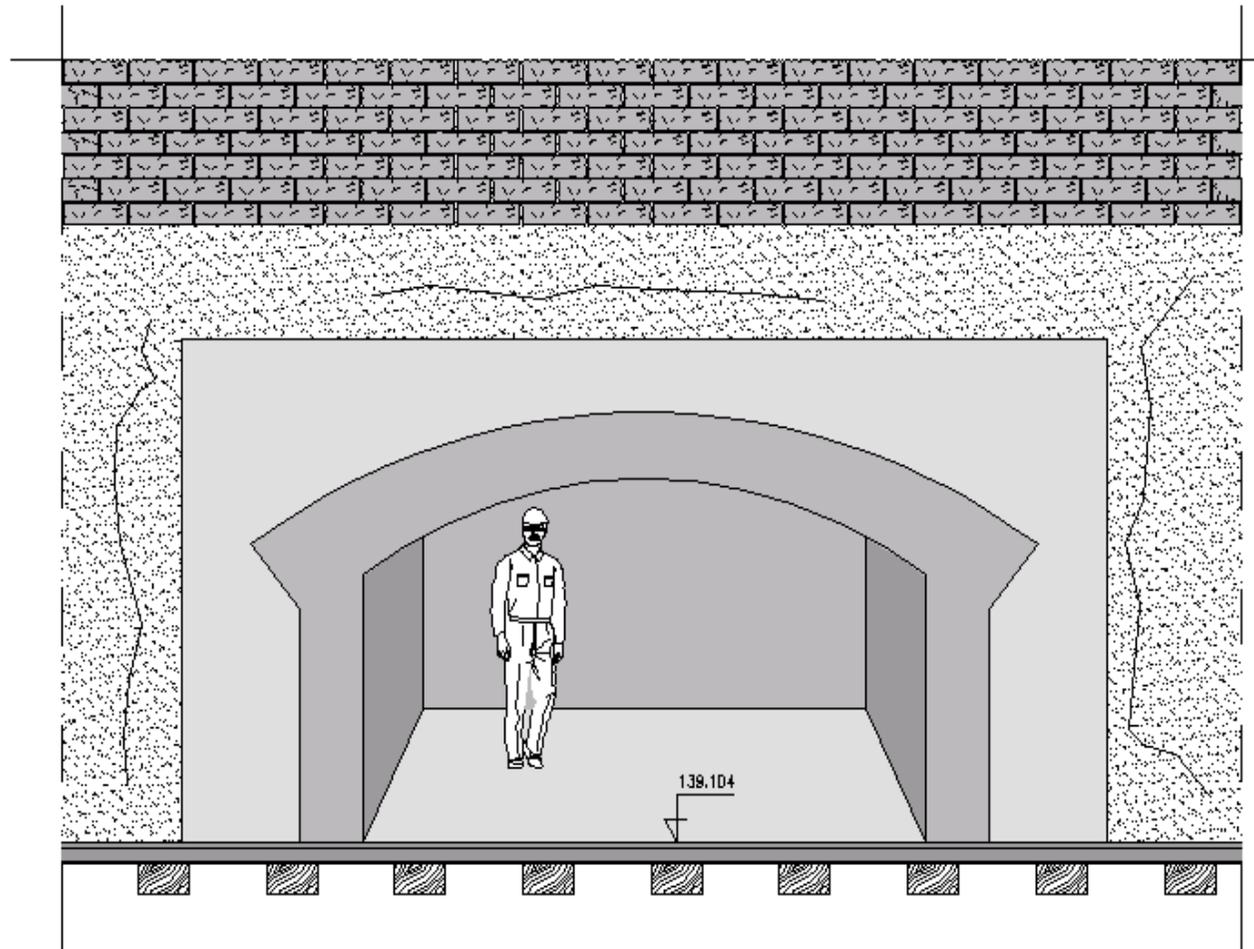
- FASE 6 - EXECUÇÃO FASEADA DA ESCAVAÇÃO POSTERIOR;  
- EXECUÇÃO DE MAIS UMA FIADA DE 4 PREGAGENS SUBVERTICAIS;  
- PROJEÇÃO DE BETÃO DE PROTECÇÃO.



- FASE 7 - EXECUÇÃO DE DRENOS, CASO SEJA NECESSÁRIO;  
- INSTALAÇÃO DO SISTEMA DE DRENAGEM DE TARDÓZ E DA LAJE TERREIA;  
- MONTAGEM DAS ARMADURAS E DAS COFRAGENS DA PAREDE DE FUNDO;

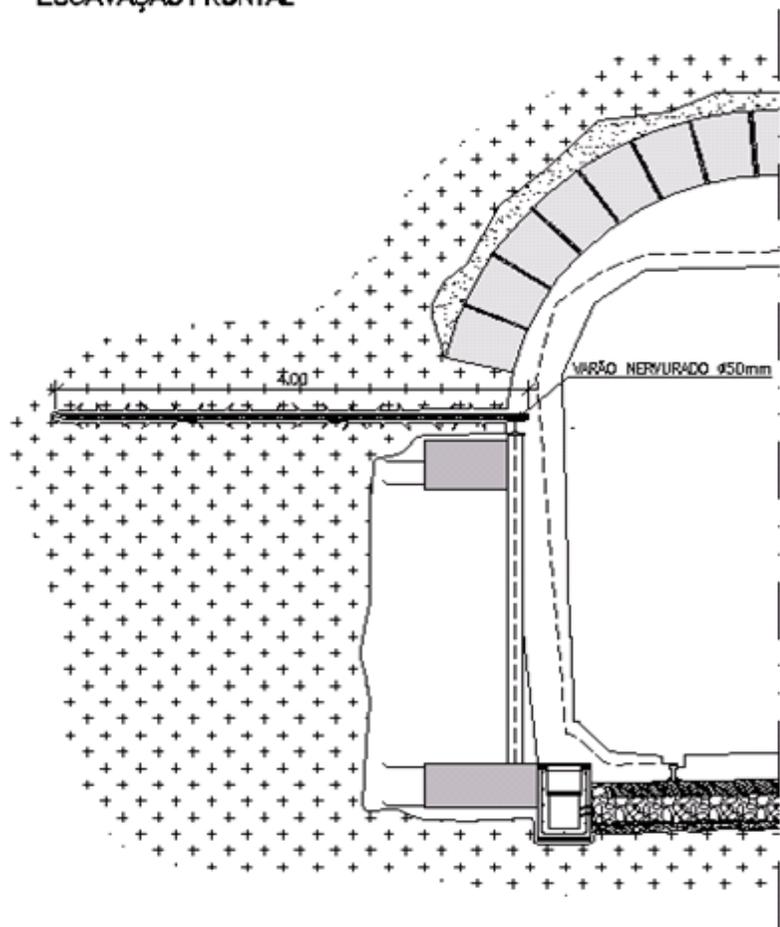


- FASE B - COLOCAÇÃO DA ARMADURA E DAS COFRAGENS PARA A EXECUÇÃO DA RESTANTE ESTRUTURA DA CÂMARA E BETONAGEM;
- REMOÇÃO DOS MOLDES, ESCORAMENTOS E RESTANTES DISPOSITIVOS PROVISÓRIOS;
  - ACABAMENTOS FINAIS E PINTURAS DE SINALIZAÇÃO.



# PERFIS TRANSVERSAIS REPRESENTATIVOS DAS FASES DE ESCAVAÇÃO

Exc.: SE  
ESCAVAÇÃO FRONTAL



ESCAVAÇÃO INTERMÉDIA

