

MARIA DE FÁTIMA MOURA TEIXEIRA



**PASSAGENS INFERIORES PELO MÉTODO DE DESLIZE POR PRESSÃO
HIDRÁULICA**



PORTO, 2008

LIBRARY
UNIVERSITY OF
TORONTO

MARIA DE FÁTIMA MOURA TEIXEIRA

**PASSAGENS INFERIORES PELO MÉTODO DE DESLIZE POR PRESSÃO
HIDRÁULICA**



PORTO, 2008

MARIA DE FÁTIMA MOURA TEIXEIRA

**PASSAGENS INFERIORES PELO MÉTODO DE DESLIZE POR PRESSÃO
HIDRÁULICA**

“Monografia apresentada à Universidade Fernando Pessoa como parte dos requisitos para obtenção do grau de licenciado em Engenharia Civil.”



PORTO, 2008

Sumário

Esta monografia tem como objectivo descrever o método de deslize por pressão hidráulica em passagens inferiores de um caminho-de-ferro em exploração. Este método é conjugado com a aplicação de um sistema de suspensão da via-férrea.

O deslize por pressão hidráulica é um processo construtivo que coloca uma estrutura de betão armado, tipo quadro fechado, construído previamente junto à via-férrea e posteriormente empurrado para a sua posição definitiva.

O deslize é conseguido através de macacos hidráulicos aplicados à estrutura de betão armado do tipo quadro fechado. Os macacos hidráulicos são agrupados em um ou mais conjuntos, dependendo da dimensão da estrutura a deslizar, sendo estes macacos apoiados no terreno que lhes fica no tardo, através de uma estrutura de betão armado denominado por muros de reacção, os quais mobilizam o impulso passivo do terreno.

Agradecimentos

Agradeço, a todos aqueles que, de alguma forma, possibilitaram ou tornaram a realização deste trabalho mais fácil, e o tornaram igualmente possível, nomeadamente:

À Instituição Universidade Fernando Pessoa, Faculdade de Engenharia;

À minha família, pela disponibilidade e apoio que sempre deram;

Ao Senhor Engenheiro Beirão Reis, pelo apoio e fornecimento de alguns elementos que apesar de estarem no domínio público permitiram um valor acrescentado ao trabalho;

Ao Senhor Engenheiro Faria de Bastos, que me incentivou a cada momento e me deu ânimo para terminar mais esta etapa da minha formação;

Por último o agradecimento muito sincero para o Senhor Engenheiro João Guerra, que orientou esta prova com o máximo de disponibilidade e que sem o seu contributo, a prova não teria este rumo.

A todos um bem hajam.

Índice Geral

SUMÁRIO	I
AGRADECIMENTOS	II
ÍNDICE GERAL	III
ÍNDICE DE FIGURAS	IV
ÍNDICE DE SIGLAS E ABREVIATURAS	VI
INTRODUÇÃO	1
1.1. GENERALIDADES	1
1.2. BREVE EVOLUÇÃO DOS CAMINHOS-DE-FERRO EM PORTUGAL	5
CAPÍTULO I – TIPOS DE MÉTODOS DE EXECUÇÃO DE PASSAGENS INFERIORES À VIA-FÉRREA	10
1.1. PASSAGEM INFERIOR EXECUTADA PELO MÉTODO TRADICIONAL	10
1.2. PASSAGEM INFERIOR EXECUTADA PELO MÉTODO DE DESLIZE POR PRESSÃO HIDRÁULICA	16
CAPÍTULO II - ADAPTAÇÃO DO PROJECTO DE ESTRUTURAS	22
2.1. BISÉIS DE ATAQUE E CAUDAS	22
2.2 - ELEMENTOS DE OBRA DE APOIO	25
2.2.1- PLATAFORMA DE DESLIZAMENTO	25
2.2.2- MACIÇOS DE APOIO	28
2.2.3. MUROS DE REACÇÃO	29
2.2- OUTROS ELEMENTOS ALTERNATIVOS / PROVISÓRIOS	32
2.3. DEMOLIÇÕES	33
2.4. CONSTRUÇÃO DOS MUROS ALA	34
2.5. REBALASTRAGEM	35
CAPÍTULO III - EXECUÇÃO DO DESLIZE / ESCAVAÇÃO	38
3.1. MÉTODO DE DESLIZE DE UM QUADRO FECHADO	38
CAPITULO IV - SISTEMA DE SUSPENSÃO DE VIA	49
4.1. DESCRIÇÃO DA EXECUÇÃO DA SUSPENSÃO DA VIA-FÉRREA	49
CONCLUSÃO	55
BIBLIOGRAFIA	57

Índice de Figuras

Figura 1: Mapa Portugal com as linhas ferroviárias, previstas em 1952 [3]	6
Figura 2: Mapa Portugal com as linhas ferroviárias, em vigor [2]	9
Figura 3: Suspensão de via-férrea, vista superior [cedido pela Empreitada da linha de Carcavelos]	11
Figura 4: Suspensão de via-férrea [cedido pela Empreitada da linha de Carcavelos].....	11
Figura 5: Suspensão de via-férrea, vista inferior [cedido pela Empreitada da linha de Carcavelos]	12
Figura 6: entivação da plataforma de via/talude [cedido pela Empreitada da Linha do Douro]	13
Figura 7: Esquema em corte de uma estrutura em quadro fechado sob a via-férrea executada <i>in situ</i>	15
Figura 8: Passagem inferior executada pelo método tradicional [cedido pela Empreitada da Linha do Douro].....	16
Figura 9 : Execução da suspensão de via aplicada ao método de deslize [cedido pela Empreitada da Linha do Minho].....	17
Figura 10: Execução do quadro de deslize [cedido pela Empreitada da Linha do Douro].....	18
Figura 11 – Macacos hidráulicos [cedido pela Empreitada da Linha do Minho].....	19
Figura 12 – Esquema em corte de uma estrutura em quadro fechado sob a via-férrea executada por deslize por pressão hidráulica.....	20
Figura 13 – Pormenor dos biséis de ataque [cedido pela Empreitada da Linha do Douro].....	23
Figura 14 – Pormenor das caudas [cedido pela Empreitada da Linha do Douro]	23
Figura 15 – Esquema em corte longitudinal dos biséis de ataque e da cauda e da laje de fundo	24
Figura 16 – Pormenor dos biséis de ataque [cedido pela Empreitada da Linha do Douro].....	25
Figura 17 – Betonagem da laje de fundo do quadro sobre a laje de regularização [cedido pela Empreitada da Linha do Douro]	26
Figura 18 – Execução do quadro deslizante [cedido pela Empreitada da Linha do Minho]	27
Figura 19 – Laje de regularização com o murete [cedido pela Empreitada da Linha do Douro]	28
Figura 20 – Esquema da laje de regularização [cedido pela Empreitada da Linha do Douro].	28
Figura 21 – Maciços de apoio [cedido pela Empreitada da Linha do Minho].....	29
Figura 22 – Esquema do corte do muro de reacção	30
Figura 23 – Muro de reacção com o terreno natural no tardoz [cedido pela Empreitada da Linha do Douro].....	30
Figura 24 – Esquema da planta do muro de reacção	31
Figura 25 – Muro de reacção com taipal para aumentar o aterro [cedido pela Empreitada da Linha do Minho]	31
Figura 26 – Deslize da estrutura com betonagens sucessivas – fase inicial [cedido pela Empreitada da Linha do Douro] [4].....	32
Figura 27 – Deslize da estrutura com betonagens sucessivas - fase final [cedido pela Empreitada da Linha do Douro] [4].....	33
Figura 29 – Cauda que foi reaproveitada para executar uma escada [cedido pela Empreitada da Linha do Minho]	34
Figura 30 – Biséis de ataque [cedido pela Empreitada da Linha do Minho].....	35
Figura 31 – Muros ala já executas [cedido pela Empreitada da Linha do Minho]	35

Figura 32 – Rebalastragem manual [cedido pelo Sr. Eng. Beirão Reis]	36
Figura 33 – Rebalastragem mecânica, colocação de balastro com balastreiro [cedido pela Empreitada da Linha do Minho]	36
Figura 34 – Ataque do balastro, executado pela atacadeira [cedido pela Empreitada da Linha do Minho]	37
Figura 35 – Início da execução do deslize [cedido pela Empreitada da Linha do Douro]	38
Figura 36 – Início da escavação e da execução do deslize [cedido pela Empreitada da Linha do Douro e Linha do Minho]	39
Figura 37: Escavação pelo interior da passagem inferior [cedido pela Empreitada da Linha do Douro].....	40
Figura 38 : Colocação das prolongas [cedido pela Empreitada da Linha do Minho].....	41
Figura 39: Pormenores da escavação com equipamento mecânico [cedido pela Empreitada da Linha do Minho]	42
Figura 40: Conclusão da escavação e do deslize [cedido pela Empreitada da Linha do Minho]	42
Figura 41: Pormenores dos macacos hidráulicos [cedido pela Empreitada da Linha do Minho]	43
Figura 42: Casa das máquinas de manobra dos macacos [cedido pela Empreitada da Linha do Minho]	44
Figura 43: Pormenor que evidencia o deslize [cedido pela Empreitada da Linha do Minho]..	44
Figura 44: Levantar a via-férrea com um tensor e pormenor da cunha de madeira [cedido pela Empreitada da Linha do Minho].....	45
Figura 45: Esquema do quadro deslize na posição inicial.	46
Figura 46: Esquema do quadro deslize na posição inicial com suspensão de via-férrea montada.....	46
Figura 47: Esquema em que o quadro de deslize se deslocou 4m.....	46
Figura 48: Esquema em que o quadro de deslize se deslocou 7m, as vigas de travamento dos biseis estão por baixo da via-férrea.....	47
Figura 49: Esquema em que o quadro de deslize se deslocou 8m.....	47
Figura 50: Esquema em que o quadro de deslize se deslocou 9m.....	47
Figura 51: Esquema em que o quadro de deslize se deslocou 11m, a via-férrea está toda apoiada no quadro deslizante.....	48
Figura 52: Esquema com a conclusão do deslize do quadro	48
Figura 53: Pormenores das carlingas que são os perfil metálico paralelo às travessas de madeira [cedido pela Empreitada da Linha do Minho]	50
Figura 54: Pormenores das longarinas que são os perfis metálicos paralelo ao carril [cedido pela Empreitada da Linha do Minho]	50
Figura 55: Pormenores das vigas mestras [cedido pela Empreitada da Linha do Minho].....	51
Figura 56: Pormenores das vigas de travamento horizontal [cedido pela Empreitada da Linha do Minho]	51
Figura 57: Pormenores da fixação dos perfis [cedido pela Empreitada da Linha do Minho] ..	52
Figura 58: Pormenores das travessas [cedido pela Empreitada da Linha do Minho].....	53
Figura 59: Pormenores da suspensão de via [cedido pela Empreitada da Linha do Minho]....	53
Figura 60: Esquema da suspensão de via-férrea.....	54

Índice de siglas e abreviaturas

t – Tonelada

X – Multiplicação

m – Metro ou metros

cm – Centímetro

Km – Quilómetro ou quilómetros

I.E.T 77 – Norma e Procedimentos de Segurança de Trabalhos na Infra-estrutura Ferroviária

W – Voltes

HEB – Perfil metálico

Introdução

I.1. Generalidades

O desenvolvimento do tráfego, tanto rodoviário com ferroviário, não admite a existência de cruzamentos ao mesmo nível, das estradas e passagens de peões com o caminho-de-ferro. Os motivos são evidentes, quer pelos inconvenientes que resultam para a circulação rodoviária com paragens constantes nas passagens de nível, quer pelos custos de manutenção e funcionamento das próprias passagens de nível, assim como pela restrição à velocidade dos comboios e principalmente pela exigência de segurança e assegurar a intercepção dos dois tráfegos. Apesar de todo o sistema de segurança implementado, continuam a existir muitos acidentes, normalmente por desrespeito dos condutores dos automóveis e das pessoas que atravessam a pé.

O facto de também existir uma rede ferroviária desajustada à realidade dos nossos dias originou que a REFER – Rede Ferroviária Nacional, E.P., empresa que tem gerido as infra-estruturas dos caminhos-de-ferro, iniciasse um conjunto de obras de requalificação das passagens de nível [12].

Quando se trata de executar passagens desniveladas em estradas rodoviárias, uma das soluções é executar um desvio com uma via alternativa. No caso do caminho-de-ferro não é viável aplicar a mesma solução, porque o traçado ferroviário exige curvas com grandes raios, o que origina grandes desvios e custos elevados. Há casos pontuais, em que as obras são significativas e morosas, onde se aplica o método idêntico, mas sempre com carácter excepcional, pois a via alternativa ou provisória requer grandes investimentos, disponibilidade de terrenos e infra estruturas muito significativas.

Assim, surgiu a necessidade de criar formas alternativas para executar o mesmo trabalho com a menor interferência possível e com menor custo. O desenvolvimento do método de deslize por pressão hidráulica em passagens inferiores ao caminho-de-ferro, aparece assim como alternativa mais racional e com custos tendencialmente mais ligeiros ou na falta de outras

alternativas provocadas pelos constrangimentos espaciais, rodoviários ou outros que tornariam mais difícil a execução da obra de melhoramento da via-férrea.

A construção de passagens desniveladas sob o caminho-de-ferro em exploração, em que a solução estrutural é um quadro de betão fechado, pode ser executadas pelo método tradicional ou pelo método de deslize por pressão hidráulica. Mais adiante se explica esta forma de execução de uma obra de engenharia nesta área.

A monografia vai abordar, e tentar explicar de forma a mais detalhada possível a execução de passagens inferiores ao caminho-de-ferro com circulação ferroviária pelo método tradicional, com as suas vantagens e inconvenientes. Este método conjugada a aplicação de um sistema de suspensão da via-férrea.

O segundo método de estudo, o de deslize das passagens inferiores por pressão hidráulica, será feita uma descrição da forma de execução do referido método, aplicado a uma estrutura de betão em quadro fechado. Este método também conjuga a aplicação do sistema de suspensão de via-férrea. Ao explanar este método considera-se fundamental para a sua inteligibilidade a referencia a vários itens que justificam e explicam a escolha e consequentemente a execução deste método. A saber:

- Equipamentos utilizados;
- Tempo de execução;
- Geotecnia;
- Alteração da estrutura de betão;
- Custos;
- Interface com a circulação ferroviária
- Vantagens e limitações da solução;

Independentemente dos métodos apresentados para construção de passagens inferiores mantendo a circulação ferroviária, é necessário como se disse, executar o sistema de suspensão de via-férrea. Este sistema, é destinado ao suporte temporário de suspensão da via-férrea durante a construção da passagem inferior no caso do método tradicional, e do método de deslize, durante o tempo necessário para se executar o deslize do quadro de betão [11]. Mais adiante se explica mais pormenorizadamente este procedimento.

Foi em 1978 que a Empresa Keller [9] introduziu pela primeira vez em Portugal a aplicação do método de deslize em obras de arte¹. No entanto, nos dias de hoje, ainda se verifica com regularidade que os projectistas não adoptam este tipo de solução. O que sucede normalmente é executarem projectos das passagens inferiores, prevendo a construção de um quadro de betão fechado executado pelo método tradicional. Apenas só à posteriori, já na fase de execução de obra, a Entidade Executante apresenta esta solução, a de executar a passagem inferior pelo método de deslize. Esta variante na execução da obra, apresenta-se assim como unicamente uma solução de recurso e não pensada na fase de estudo.

Não estando nos planos iniciais, os projectistas normalmente não apresentam esta solução, não no histórico nem manuais a furados para a utilização deste método. Na maior parte das vezes são as empresas de execução de empreitadas que acabam na pratica por propor esta solução.

Este foi o maior desafio que se teve na elaboração deste trabalho, o de dar a conhecer de forma estruturada o método, defendendo-se este como uma opção estrutural e não uma mera opção de recurso, portanto logo com prejuízo para o plano geral de execução onde não se pode planear todas as valências a ele utilizadas.

O método de deslize é desenvolvido pelas empresas que o aplicam por ser um método não discutido academicamente, apenas fica na percepção do executante e na sua experiência exclusiva, a tomada de opção na utilização de materiais ou métodos de execução, por isso

¹ Entende-se por obra de arte, as pontes, os viadutos e todas as estruturas especiais, assim como todas as construções complexas que tenham no processo de execução obras de engenharia.

existem pequenas diferenças entre eles, nomeadamente, execução das vigas de travamento que podem ser executadas em betão ou com perfis metálicos; as prolongas podem ser substituídas por betonagem consecutivas; e o sistema de suspensão de via pode ser feito com um reforço dos carris fixos com abraçadeiras ou com uma estrutura de vigas metálicas ortogonais [4]. Todo este sistema é explicado mais à frente.

O método de deslize por pressão hidráulica e o sistema de suspensão de via que se aplica é referido aqui a título de exemplo pela Empresa Tecnimpulso, por se considerar que é pioneira na utilização deste método e por haver diferenças entre todas elas em relação aos métodos, é mais claro a utilização e explicação de um método específico.

Ao longo desta monografia existem referências de algumas obras executadas com este método no país. No artigo elaborado pelo “Eng. José Carlos Silva Pereira - Deslize de quadros fechados em betão para a construção de passagens inferiores a estradas e caminho-de-ferro” [8], o autor faz referência a obras que já se executaram no estrangeiro com este método, tais como:

Passagem inferior em Glastrup- Dinamarca: Pela primeira vez construí-se uma passagem inferior para uma auto-estrada, sob uma via-férrea quádrupla, constituída por dois quadros fechados, com uma secção de 19,30 X 7,22m e um comprimento de 29m. O deslize do primeiro quadro efectuou-se de 24/03/1975 a 14/04/1975, a uma velocidade de 10cm/h. Depois de desmontada e tornada a montar a suspensão da via para a introdução do segundo quadro o seu deslize efectuou-se de 25/04/1975 a 03/05/1975 a uma velocidade de 12cm/h. Cada quadro pesava 2900 toneladas.

Passagem inferior em Wissen-Luhe – Alemanha: De 3 a 12 /11/ 1975 procedeu-se ao deslize, de um quadro fechado constituído por dois troços com secção de 14 X 6,93 m, e um comprimento de 42 m, um no seguimento do outro. A penetração foi feita a uma velocidade de 29 cm/h e o peso total do conjunto dos quadros ultrapassou pela primeira vez as 5000 toneladas.

Passagem inferior em Germiston – Africa do Sul: o deslize foi feito em terrenos de constituição arenosa, pelo que o desmonte se fez avançando em relação à posição do quadro em cada instante, depois de definido um plano perfeitamente horizontal. O comprimento total do atravessamento foi de cerca de 46 metros. Como o espaço disponível não era suficiente foi o quadro introduzido em dois troços. Construiu-se a 1ª metade e depois de introduzida (04 a 22/05/1976), no espaço deixado livre foi construída a segunda metade. Os dois troços foram depois introduzidos em conjunto (11/08 a 05/09/1976). O quadro tinha uma secção de 23.09 X 6,20 metros.

I.2. Breve evolução dos caminhos-de-ferro em Portugal

O Estado e a Companhia Central Peninsular dos Caminhos-de-ferro em Portugal assinam o primeiro contrato a 13 de Maio de 1853, para a construção de uma linha-férrea de Lisboa a fronteira de Espanha (Valência), passando por Santarém com uma bitola² de 1,44 metros.

A primeira inauguração oficial dos caminhos-de-ferro em Portugal foi 28 de Outubro de 1856, com a linha que liga Lisboa - Santa Apolónia ao Carregado, com a Companhia Central e Peninsular dos Caminhos-de-ferro em Portugal. Tendo este percurso cerca de 40 quilómetros demorado na altura 40 minutos [2].

É em 1857 que se dá a dissolução da Companhia Central Peninsular dos Caminhos-de-ferro e assim acaba o acordo com o Governo, devido à alegada falta de pagamento por parte da Companhia a empreiteiros, ficando o Governo directamente responsável pela continuação dos trabalhos [7].

Em 1860 é fundada a Companhia Real dos Caminhos-de-ferro, que se propõe explorar as Linhas do Norte e do Leste, é esta a empresa que mais tarde dá origem à CP – Caminhos-de-ferro Portugueses. É também com a Companhia Real dos Caminho-de-ferro que se iniciou a execução da via-férrea com a bitola Ibérica de largura 1,67 m entre carril, esta mudança dá-se devido à influência e experiência que do seu administrador Marques de Salamanca tinha a nível internacional [7].

Mas foi em 7 de Julho de 1864 que a Companhia Real dos Caminhos-de-ferro Portugueses, concluí a ligação Lisboa ao Porto a denominada Linha do Norte, sendo esta linha já executada com a bitola ibérica de 1,67 metros entre carril. Os caminhos-de-ferro foram-se desenvolvendo sendo executadas a linha a Sul, a linha a Norte e para o interior do país. Continuando a desenvolver-se ao logo dos tempos, não só na construção de linhas bem como, mais tarde, na sua electrificação e material circulante.

² É a diferença entre carris e usada neste tempo, hoje tem distancias diferentes.

No início do século XX a rede ferroviária Portuguesa tinha 2 354 km de extensão, nela opera linhas ferroviárias privadas, sob a estrutura jurídica de sociedades anónimas, e os Caminhos-de-ferro do Estado, reordenados sob uma Administração dos Caminhos-de-ferro com duas direcções, a direcção dos Caminhos-de-ferro do Sul e Sueste e a Direcção dos Caminhos-de-ferro do Minho e Douro [5]. É em 1927 que é fundada a empresa CP.

Em 1945 o Governo substitui todas as concessões das vias-férreas, existentes à data, de forma a conseguir uma maior eficiência económica nos transportes ferroviários. Assim a partir do dia 1 de Janeiro de 1947 todas as linhas-férreas passam a estar integradas na CP com a excepção da linha de Cascais.



Figura 1: Mapa Portugal com as linhas ferroviárias, previstas em 1952 [3]

Mas foi em 1951 que se assinou o contrato de concessão única entre a CP – Caminho-de-ferro Portugueses e o Governo Português. Foi a partir desta data que o Governo fez grandes investimento no caminho-de-ferro até aos anos setenta.

No final dos anos setenta que o investimento para o caminho-de-ferro começa a ser bastante reduzido, limitando-se praticamente à manutenção das linhas existente e à aquisição de algum material circulante.

Devido a factores de carácter económico e social o investimento no caminho-de-ferro estagnou, durante uma década e no final da década de 80 é que voltará a existir um interesse pela ferrovia, passando não só por realizar novas linhas, principalmente junto às grandes cidades como também na renovação das linhas existente [1]. Para que os caminhos-de-ferro sejam competitivos com as auto-estradas há necessidade de desenvolver toda a rede ferroviária dando aos seus utentes maior conforto, segurança e rapidez.

A opção estratégica na década de oitenta e noventa apesar de algum esforço não foi clara. O encerramento de alguns troços acabou por não dar outra alternativa às populações, para além da rodoviária. Não cabe aqui neste âmbito comentar ou criticar as opções económicas das diversas alternativas de transporte.

A renovação das linhas existentes consiste numa optimização seu do traçado, remodelação de estações, sistemas automáticos de sinalização e controlo automático de velocidade e suprimir passagens de nível, criando passagens desniveladas. Estas passagens desniveladas de acordo com a envolvente podem ser superiores, sobre o caminho-de-ferro ou inferiores sob o caminho-de-ferro [10]. Aqui nesta área, a da renovação, sempre foi feito investimento, com o intuito de minimizar os riscos e desimpedir os cruzamentos das linhas com as estradas.

Nas obras de renovação que a REFER-EP tem vindo a executar, uma grande parte das passagens inferiores são executadas pelo método de deslize por pressão hidráulica. Este processo permite a circulação de comboios, sendo necessário fazer uma suspensão da via-férrea.

Apesar de cada vez mais ser utilizado este método, continua a ser comum que se executem os estudos com base no método tradicional para de seguida se implementar no momento em que as obras já estão a decorrer que se aplica o recurso ao método de deslize por pressão hidráulica.

A execução da passagem inferior pelo método de deslize tem menor interferência com a via-férrea, comparando com que o método tradicional. A tradição dos projectistas não é, propor de início tal método.

Pelo método tradicional a interferência com a circulação ferroviária acontece durante toda a construção da estrutura de betão mais ainda adicionando o tempo necessário para o betão ganhar a resistência para suportar as cargas definitivas previstas em projecto. Pelo método de deslize a interferência ferroviária só acontece no tempo necessário para o deslize da estrutura, que é incomparavelmente inferior.

A Figura 2 representa o traçado actual das várias linhas de ferro existentes no nosso país, em que algumas delas se encontram em renovação ou com supressão de passagens de nível.

Capítulo I – Tipos de métodos de execução de passagens inferiores à via-férrea

A área de estudo centra-se como se disse apenas nas passagens inferiores nas vias ferroviárias. Para executar estas passagens inferiores, a solução estrutural é um quadro de betão fechado, e para isso, usam-se dois métodos de construção, a saber:

- Método tradicional – Este método constrói a infra-estrutura necessária no local;
- Método de deslize por pressão hidráulica – Este método constrói a infra-estrutura necessária junto ou próxima do local, para depois de pronta deslizar para a sua posição definitiva.

As passagens inferiores que se constroem nas vias-férreas em que continua a existir circulação ferroviária, independentemente do método utilizado, necessitam sempre de uma suspensão de via-férrea. Nestes termos é impossível executar qualquer obra com algum significado sem a utilização deste sistema.

1.1. Passagem inferior executada pelo método tradicional

Quando se iniciam os trabalhos junto da via-férrea em exploração, por questões de segurança e de acordo com as I.E.T.77, Normas e Procedimentos de Segurança em Trabalhos na Infra-estrutura Ferroviária [6], é necessário implementar afrouxamentos à velocidade dos comboios. Os procedimentos utilizados nestes afrouxamentos, para além de serem obrigatório, são normais e correspondem basicamente à mudança ou implementação de sinalética complementar. Após implementação do afrouxamento iniciou-se a execução da suspensão de via-férrea. A suspensão de via é executada para sustentar a via-férrea enquanto se executa a

estrutura da obra de arte [Figura 3], esta actividade é desenvolvida no Capítulo IV desta monografia.

As Figuras 4 e 5³, têm uma perspectiva da suspensão de via após a escavação com vista por baixo da via-férrea. A suspensão de via, está apoiada por um lado, nas estacas/pilares que foram executados para este fim e do outro lado num muro de alvenaria de granito existente no local.



Figura 3: Suspensão de via-férrea, vista superior [cedido pela Empreitada da linha de Carcavelos]



Figura 4: Suspensão de via-férrea [cedido pela Empreitada da linha de Carcavelos]

³ Optou-se por considerar figura o conjunto de duas fotografias relacionadas ou apenas de uma. Na maior parte das vezes a figura compõe-se normalmente com uma fotografia mais geral do motivo e outra com o pormenor.

Na Figura 5, mostra a execução, pelo método tradicional, de uma passagem inferior em que a laje de fundo já está executada, com os ferros em espera para a execução das paredes laterais da estrutura. No pormenor da estrutura de suspensão de via, consegue-se visualizar as travessas de madeira, as carlingas e vigas mestras, que se apoiam numa viga transversal e por sua vez descarregam nas estacas/pilares.

Após execução da suspensão da via iniciou-se a escavação e a execução da entivação provisória dos taludes da plataforma de via [Figura 6].

O tipo de entivação a executar depende da largura da plataforma de via, do tipo de solos e da altura da obra de arte. Normalmente recorre-se a um sistema de entivação do “tipo Berlim”⁴ [Figura 6].



Figura 5: Suspensão de via-férrea, vista inferior [cedido pela Empreitada da linha de Carcavelos]

⁴ Um tipo de executar de entivação de um talude.



Figura 6: Entivação da plataforma de via/talude [cedido pela Empreitada da Linha do Douro]

Após a implementação do afrouxamento e da execução da suspensão de via, da conclusão da entivação e da escavação deu-se início à construção da estrutura de betão da passagem inferior.

A execução do quadro de betão *in situ* implica que a maioria dos trabalhos se execute com interdição de via, corte de tensão e a supressão dos comboios devido ao elevado tráfego ferroviário, o que normalmente só é possível durante a noite e num período de tempo muito reduzido. Estes procedimentos fazem parte de um protocolo de execução. Parecendo actos simples, são sempre coordenados para que causem a menor espera possível. Todos estes procedimentos são feitos ou acompanhados por especialistas, pois revestem de alguma perigosidade, as linhas têm catenária com corrente de 25 000 W de potência, o que obriga a procedimentos muito restritos e obrigatórios. A título de exemplo, não basta desligar a corrente eléctrica, pois a catenária continua com corrente eléctrica superior a 5000 W provocando perigo de morte, para fazer a descarga desta energia é necessário colocar varas de terra.⁵

⁵ Após desligar a catenária, as varas de terra são ligadas a um dos cabos da catenária e ao carril para se efectuar a descarga da energia acumulada.

Este método tradicional é geralmente muito complicado devido aos seus condicionalismos, e acaba por ter algumas desvantagens:

A interferência da construção da passagem inferior com a circulação ferroviária é elevada, demora tempo, está condicionada a paragens constantes e, o período de execução é geralmente muito longo, tornando o risco de acidentes mais elevado. Para utilizar o tempo de menor tráfego, os trabalhos executam-se, na maior parte, em período nocturno com corte de via e catenária. Se os custos sociais e de compromisso são mais pequenos, os custos de execução são substancialmente superiores.

Mesmo assim, á necessidade de suprimir comboios para executar alguns dos trabalhos, geralmente são os de mercadorias, mas com custos igualmente elevados.

A suspensão de via tem que suster um comprimento de carril que abranja a largura da estrutura do quadro de betão mais a largura necessária a para a execução das paredes da estrutura, o que torna uma extensão de frente de trabalho grande, provocando maior risco s acidentes.

O volume de escavação engloba o volume do quadro mais o volume da largura para a execução das paredes laterais do quadro, o que obriga a trabalhos mais complexos e volumosos, logo custos adicionais. Normalmente há grande dificuldade na escavação, devido a esta escavação no início ser manual e/ou com equipamentos mecânicos de pequena capacidade e ainda devido à execução da entivação.

As betonagens têm que ser executadas igualmente com interdição de via-férrea, considerando os constrangimentos já referidos anteriormente.

Por sua vez o aterro da zona entre a estrutura de betão armado e a entivação, é uma zona de difícil compactação, o que normalmente com o decorrer do tempo e com a passagem dos comboios, provoca assentamentos na plataforma da via, levando a uma constante manutenção, isto é, a sucessivos ataques mecânicos da via-férrea.

Por ultimo o custo é elevado, não só devido à sua duração de execução, como também pelo período alargado de interferência na circulação ferroviária. Agravando-se ainda com maior necessidade de se fazer manutenção futura.

A Figura 7, visualiza o que atrás se disse, a identificação do sistema de suspensão de via e o quadro fechado, com os respectivos passeios rodoviários.

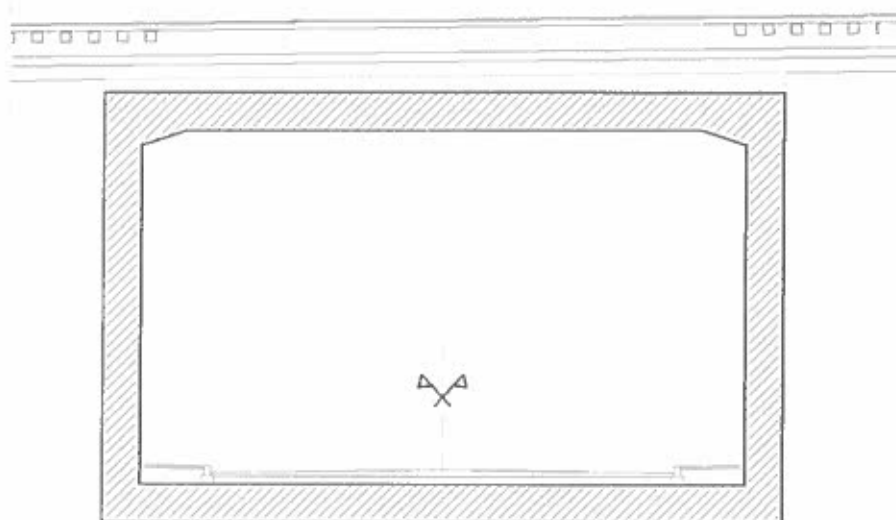


Figura 7: Esquema em corte de uma estrutura em quadro fechado sob a via-férrea executada *in situ*
[elaboração da autora]

Exemplo da Figura 8 a que se refere à execução, na Linha do Douro, de uma passagem inferior rodoviária ao caminho-de-ferro com circulação ferroviária, em que a duração da execução da obra foi de 14 semanas e feita nas seguintes condições:

- A estrutura de betão é um quadro fechado com as dimensões de 8,00 m X 6,20 m e de comprimento de 12,35 m;
- Os solos escavados são saibros compactados;

- A suspensão da via com um comprimento total de 14 m, e divididos entre a largura do quadro mais a espessura da parede de betão (0.80 m) mais a largura para os trabalhadores executarem o trabalho (em segurança), com aproximadamente 1,50 m e o restante comprimento de suspensão é para apoio de toda a estrutura da suspensão;
- A interferência da construção na circulação ferroviária foi de 12 semanas.



Figura 8: Passagem inferior executada pelo método tradicional [cedido pela Empreitada da Linha do Douro]

1.2. Passagem inferior executada pelo método de deslize por pressão hidráulica

As construções das passagens inferiores são sempre um problema. A ideia de reduzir ao mínimo a interferência da construção na circulação dos comboios e dada à experiência que existia na técnica de cravação de tubos com macacos hidráulicos, surgiu o desafio de adaptar a mesma técnica mas a um quadro de betão “pré-fabricado”. Ser possível executar uma passagem inferior sem interrupção no tráfego ferroviário, seria o ideal.

A solução mais conveniente para a estrutura da passagem inferior era pois a de um quadro fechado e “pré-fabricado” com a parte frontal em bisel, e de forma a possibilitar a cravação da estrutura no terreno. Ao conjunto do quadro fechado com os biséis de ataque da frente e da cauda chama-se quadro deslizante.

Não há registos de data quanto à utilização desta expressão, quadro deslizante, começou a ser utilizada na prática. Em meados da década de setenta, há escritos no estrangeiro, alguns deles referidos neste trabalho.



Figura 9 : Execução da suspensão de via aplicada ao método de deslize [cedido pela Empreitada da Linha do Minho]

Este quadro deslizante que mostra a Figura 9, é construído ao lado da via-férrea e só depois é empurrado para o seu lugar definitivo, desta forma os condicionalismos e a interferência com a circulação ferroviária é reduzida ao mínimo.

As dimensões mais correntes dos quadros fechados que satisfazem os “gabarís” da circulação rodoviária não ultrapassam normalmente os 10 metros de vão e os 6 metros de altura. Os comprimentos podem ser desde os 7 metro e podendo chegar aos 35 metros. Esta variação de

comprimento, acontece em função do número de vias existentes a atravessar ou que estão previstas para construir. Por vezes executa-se um quadro com um comprimento superior ao necessário para as vias existentes à data, ficando já com uma plataforma preparada para um futuro aumento no número de vias-férreas, esta situação é frequente nas zonas das estações ferroviárias.

Após a conclusão da execução do quadro deslizante e após o tempo necessário para a cura do betão, pode-se iniciar a execução da suspensão de via-férrea. É nesta fase que se torna necessário implementar um afrouxamento na velocidade dos comboios.



Figura 10: Execução do quadro de deslize [cedido pela Empreitada da Linha do Douro]

Depois da suspensão da via executada inicia-se o deslize do quadro deslizante conforme Figura 10, com a ajuda dos macacos hidráulicos, para o lugar definitivo da passagem inferior, sendo em simultâneo executada também a escavação.

O deslize é feito através de macacos hidráulicos agrupados em um ou mais conjuntos, dependendo da dimensão da estrutura de betão. Estes macacos são aplicados à estrutura de betão. Os macacos hidráulicos têm como apoio um muro de reacção e o terreno que lhes fica

no tardo, os quais mobilizam o impulso passivo daquele terreno, seja ele um terreno natural ou um aterro adequado para o efeito [Figura 11].

A escavação do talude, isto é, da plataforma ferroviária foi realizada utilizando máquinas escavadoras de capacidade compatível com a dimensão do quadro deslizante e com as características adequadas ao tipo de terreno a escavar, já que é feita em simultâneo com o deslize.

As vantagens do processo construtivo de deslize por pressão hidráulica são basicamente as seguintes:

O reduzido grau de interferência da construção da passagem inferior com a circulação ferroviária, pois os trabalhos executam-se à margem da via-férrea, o que permite uma circulação ferroviária normal, sem restrições;

O reduzido tempo de execução do deslize, dependendo das circunstâncias, pode variar entre uma semana a um mês (de acordo com a dimensão do quadro deslizante e o tipo de solos a escavar);



Figura 11 – Macacos hidráulicos [cedido pela Empreitada da Linha do Minho]

A extensão que afecta a linha-férrea é confinada à extensão da obra de arte (quadro deslizante), portanto relativamente mais pequena que o método tradicional;

Não há interdição de via nem necessidade de cortes na corrente das catenárias, apenas limitação na velocidade das composições ferroviárias, mas numa fase adiantada da obra;

Entivação permanente das superfícies de corte da plataforma ferroviária pela estrutura do quadro deslizante, garantindo, assim, a sua estabilidade e conseqüentemente a segurança da circulação ferroviária;

Não existem espaços para aterro entre a estrutura e o talude/plataforma de via. A entivação do talude/plataforma de via é feita através do quadro deslizante;

Poucos ou até inexistentes os ataques de via após a conclusão dos trabalhos.

A execução de passagens inferiores ao caminho-de-ferro pelo método de deslize por pressão hidráulica em vias em exploração, evitou e minimizou a interferência da construção de obras de arte na exploração ferroviária e conseqüentemente maior comodidade para os utentes e maiores benefícios financeiros.

A Figura 12 demonstra claramente e de uma forma simples, o esquema de deslize.

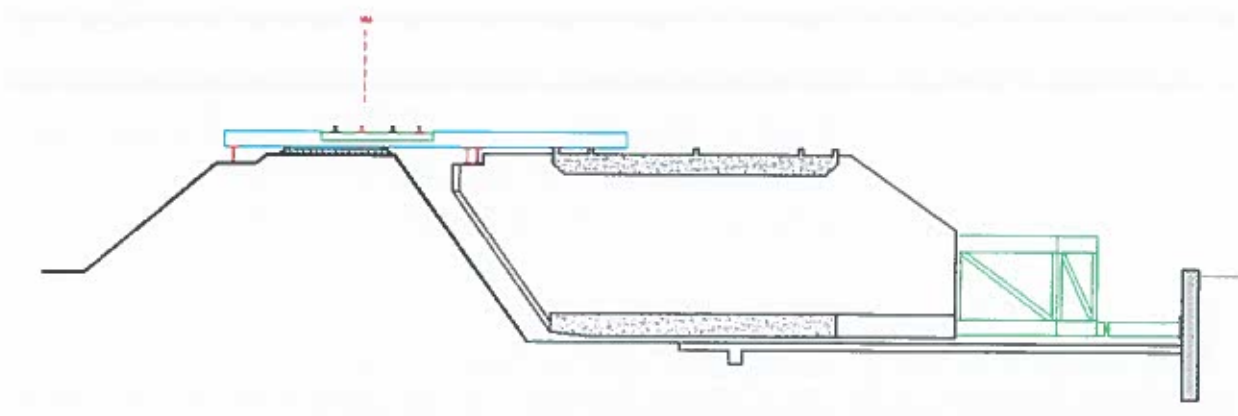


Figura 12 – Esquema em corte de uma estrutura em quadro fechado sob a via-férrea executada por deslize por pressão hidráulica [elaborado pela autora]

Na Linha do Minho executou-se uma passagem inferior ao caminho-de-ferro com aplicação do método de deslize por pressão hidráulica e o tempo de duração desta actividade foi de 10 semanas, nas seguintes condições:

A estrutura de betão era quadro fechado com as dimensões de 9,00 m X 6,20 m e de comprimento 13,00 m;

Os solos escavados eram saibros compactados;

A suspensão de via com comprimento total de 13 m, sendo da largura do quadro mais a espessura da parede de betão (0.75 m) e o restante comprimento de suspensão é para apoio de toda a estrutura da suspensão;

A interferência da construção na circulação ferroviária foi de duas semanas, em que uma semana de execução da suspensão da via e outra semana para a execução do deslize do quadro;

Capítulo II - Adaptação do projecto de estruturas

As passagens inferiores em que a solução estrutural é um quadro fechado e se prevê a execução pelo método tradicional, estes projectos são adaptados de forma a ser possível aplicar o método de deslize por pressão hidráulica à estrutura do quadro. Atrás já se referenciou este facto, mas sem explicação capaz para justificar tal procedimento, continua a serem feitos os projectos para o método tradicional e no fim muda-se o método.

2.1. Biséis de ataque e caudas

Para que a aplicação deste método construtivo se torne exequível e o objectivo de manutenção da estabilidade da plataforma ferroviária por auto-entivação seja alcançado, a configuração do quadro deslizante, tem uma estrutura essencialmente constituída pelo tabuleiro ferroviário apoiado em muros de testa fundados em ensoleiramento geral, no qual deverá conformar-se as características específicas, e que se passam a descrever:

Os muros de testa são prolongados para a dianteira e para a traseira, por parte dos muros ala, necessários à contenção dos taludes da plataforma ferroviária, respectivamente designados por biséis de ataque (prolongamento da dianteira) e caudas (prolongamento da traseira);

Os tarozes dos muros de testa e seus prolongamentos, biséis de ataque, e caudas são complanares;

Os biséis de ataque são preparados para servir como elementos cortantes por isso tinham a inclinação e comprimento compatíveis com a inclinação da frente de escavação da plataforma ferroviária;

A cota superior dos biséis está localizada sensivelmente ao nível do coroamento do talude existente;

A laje de fundo também é executada com a parte da frente igualmente com uma configuração apropriada à correcção dos desvios da horizontal que são os que normalmente tem tendência a verificar-se;



Figura 13 – Pormenor dos biséis de ataque [cedido pela Empreitada da Linha do Douro]



Figura 14 – Pormenor das caudas [cedido pela Empreitada da Linha do Douro]

À forma de cálculo dos biséis de ataque são definidos por um pórtico fechado de forma rectangular. A análise da estrutura deve ser realizada no sentido transversal do quadro, modelado em metro de estrutura que são submetidas às acções e características geotécnicas descritas na memória descritiva do projecto inicial. Como se vê na Figura 13, os biséis do lado frontal eram inclinados para mais fácil penetrarem nos solos.

Os biséis de ataque levaram a armadura prevista do muro ala, com um reforço na zona superior e na zona lateral de corte devido aos impulsos provocados pelos solos na estrutura, conforme se mostra na Figura 15.

Em relação à estrutura da cauda, utiliza-se a armadura prevista para os muros ala. A Figura 14, mostra o que se acabou de dizer.

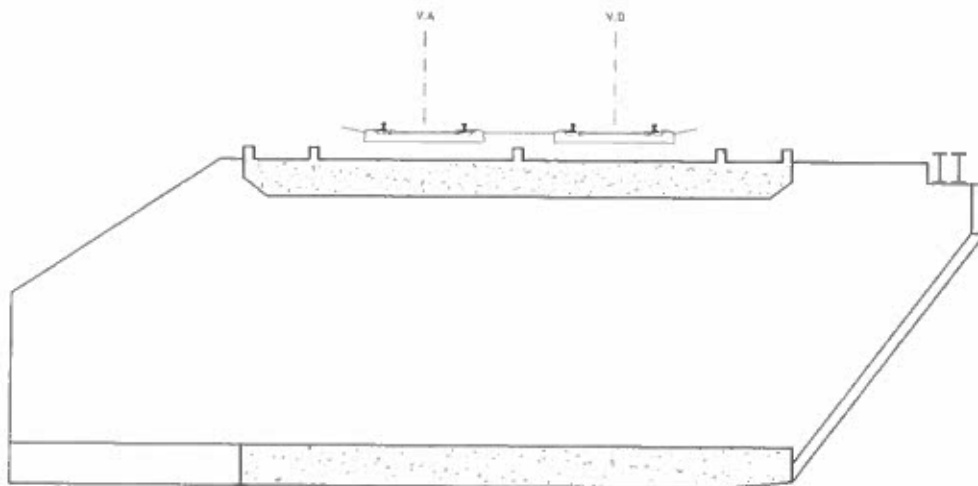


Figura 15 – Esquema em corte longitudinal dos biséis de ataque e da cauda e da laje de fundo



Figura 16 – Pormenor dos biséis de ataque [cedido pela Empreitada da Linha do Douro]

Como já referido anteriormente, os biséis são complanares e estruturalmente funcionam como um quadro, porque se executaram umas vigas de betão de travamento na zona superior, como mostra a Figura 16.

2.2 - Elementos de obra de apoio

Este método de deslize do quadro, necessita da construção de elementos de obra com carácter provisórios, que são nomeadamente a plataforma de deslize, os maciços de apoio e os muros de reacção.

2.2.1- Plataforma de deslizamento

A plataforma de deslize, é uma laje horizontal de regularização e consolidação do fundo da escavação, onde mais tarde sobre ela, se construiu o quadro deslizante [Figura 17]. Esta laje

foi construída fora da via-férrea, de modo a garantir a segurança do talude ferroviário, na direcção da futura passagem inferior.



Figura 17 – Betonagem da laje de fundo do quadro sobre a laje de regularização [cedido pela Empreitada da Linha do Douro]

A laje de regularização é construída normalmente o mais próximo possível da plataforma de via, no entanto há que garantir o cumprimento das normas de segurança previstas na I.E.T. 77 – em vigor , e aplicada naturalmente pela empresa responsável , a REFER. [6].

A Figura 18 mostra como foi possível construir a laje muito próxima da via-férrea, neste caso, o talude existente, encontrava-se com uma grande inclinação e demonstrava estabilidade. Aproveitando-se esse facto, e construí-se a laje de regularização para que a ponta do bisel de ataque ficasse apenas afastado 3 metros do carril mais próximo.



Figura 18 – Execução do quadro deslizante [cedido pela Empreitada da Linha do Minho]

A laje de regularização é constituída lateralmente por muretes guias, conforme demonstrada a Figura 19, que servem para conduzir o quadro de deslize. Também deve ter um dente na base inferior para contrariar os esforços do deslize [Figura 20].

Um dos pormenores de especial atenção é dado ao acabamento da superfície da plataforma de deslize, que é construída, neste caso, com um erro inferior a 4mm e o acabamento perfeitamente liso. No entanto, para minimizar o atrito entre a laje de regularização e o quadro deslizante colocasse uma lâmina flexível de polietileno, perfeitamente moldada à geometria da laje e dos muretes guias. Assim algumas toneladas se movimentam com apenas a dificuldade de se tratar de um objecto de grandes dimensões em movimento.



Figura 19 – Laje de regularização com o murete [cedido pela Empreitada da Linha do Douro]



Figura 20 – Esquema da laje de regularização [elaborado pela autora]

A armadura desta laje é igualmente calculada com base no peso próprio do quadro de deslize conjugada com o tipo de terreno.

2.2.2- Maciços de apoio

Os maciços de apoio foram construídos no interior do quadro deslizante [Figura 20], que permitem a aplicação dos macacos hidráulicos responsáveis pelo deslize e da aplicação das prolongas. A Figura 21, mostra igualmente os maciços de apoio.



Figura 21 – Maciços de apoio [cedido pela Empreitada da Linha do Minho]

2.2.3. Muros de reacção

Os muros de reacção, são muros de betão armado construídos contra o terreno situado na parte de trás do quadro deslizante [Figura 22]. São o suporte aos macacos hidráulicos, para servirem de apoio, ou melhor, base de sustentação dos impulsos provocados pelos macacos.

A Figura 23, mostra claramente estes muros que após de extinguir a sua função também serão demolidos, como mais tarde se menciona.

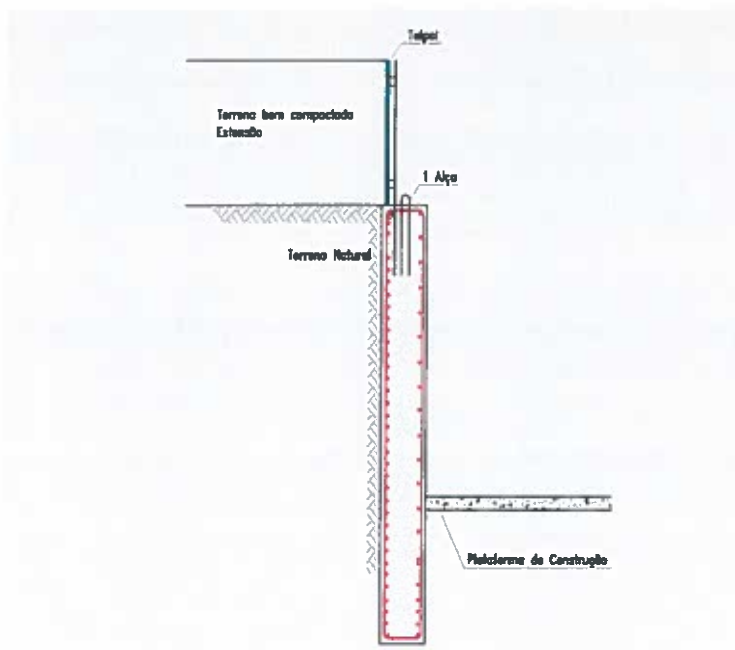


Figura 22 – Esquema do corte do muro de reacção[elaborado pela autora]



Figura 23 – Muro de reacção com o terreno natural no tardoiz [cedido pela Empreitada da Linha do Douro]

A mobilização do impulso passivo necessário à reacção dos macacos hidráulicos, aquando a execução do deslize, foi conseguida com o muro de reacção. O comprimento e a altura do referido muro dependeram do número de macacos hidráulicos que se tornam necessários para realizar o deslize do quadro, conforme Figura 24.

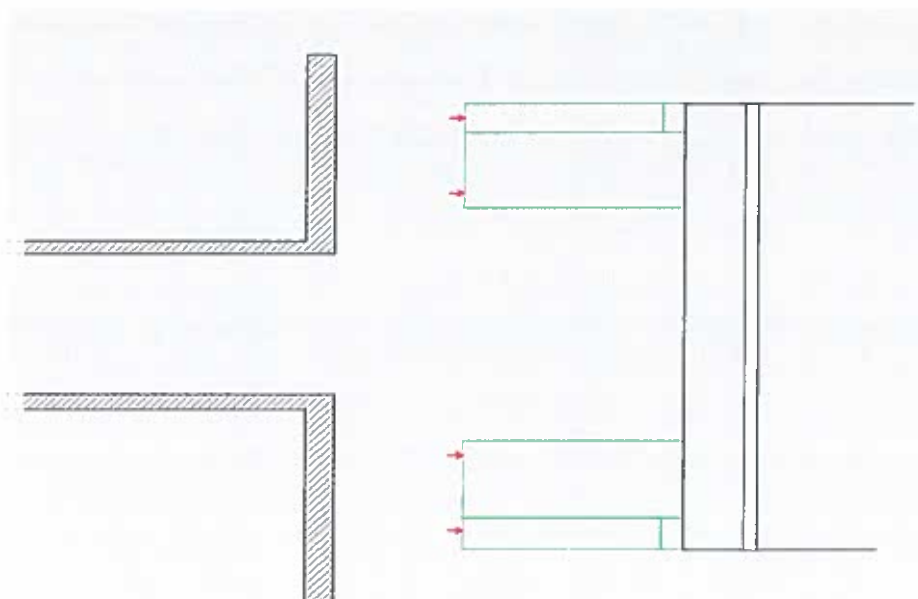


Figura 24 – Esquema da planta do muro de reacção [elaborado pela autora]

Quando se verifica que o terreno no tradoz do muro de reacção não apresentava características resistentes e não existe terreno suficiente no tardo, procede-se à execução de um aterro provisório capaz de resistir aos impulsos do muro de reacção. No exemplo concreto, houve necessidade de prolongar a altura do aterro, e colocou-se um taipal fixo ao muro de reacção, o qual tornou possível o aumento da altura do aterro [Figura 23].



Figura 25 – Muro de reacção com taipal para aumentar o aterro [cedido pela Empreitada da Linha do Minho]

Por outro lado também se verificou que o terreno era de muito boas características, neste caso pode-se evitar a construção de um muro de betão, distribuindo os impulsos dos macacos hidráulicos com uma entivação em perfis metálicos HEB 120. Naturalmente neste caso, o declive e as características do terreno dispensaram o muro.

2.2- Outros elementos alternativos / provisórios

Foi referido no início desta monografia que o método de deslize por pressão hidráulica, tem pequenas alterações ao projecto desde que este já contemple uma estrutura em quadro fechado. As alterações são feitas pela Entidade Executante, e neste caso a Empresa Atros [4] que não utiliza prolongas, e conseqüentemente não necessita de maciços de apoio. Esta variante, ou forma de execução é justificada, pela razão de que se vai utilizar betonagem consecutivas.

As prolongas são substituídas por enchimentos de betão, enchimento sucessivo de acordo com o deslize do quadro. Este processo é mais demorado pois o betão tem que ganhar resistência para suportar o impulso dos macacos [28]. O uso de um ou de outro método, tem a ver com a experiência, com o histórico e provavelmente com a opção de investimento inicial. As Figuras 26,27 e 28 ilustram o que se acabou de referir.

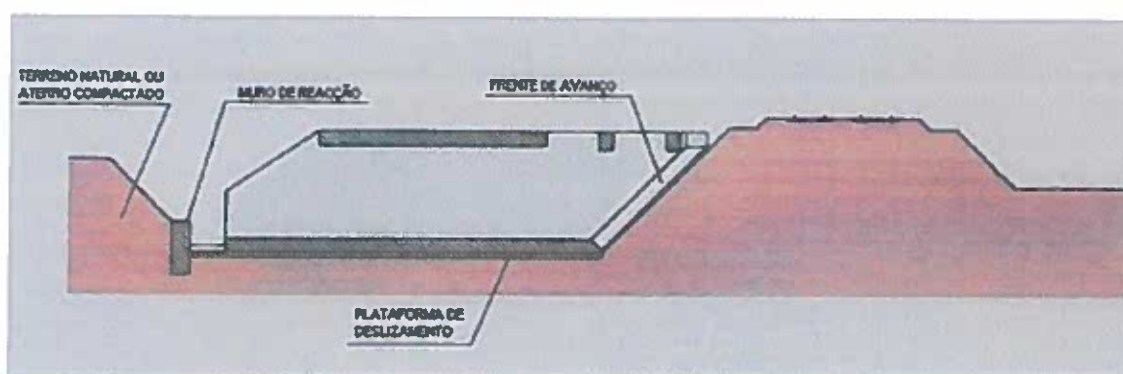


Figura 26 – Deslize da estrutura com betonagens sucessivas – fase inicial [cedido pela Empreitada da Linha do Douro] [4]

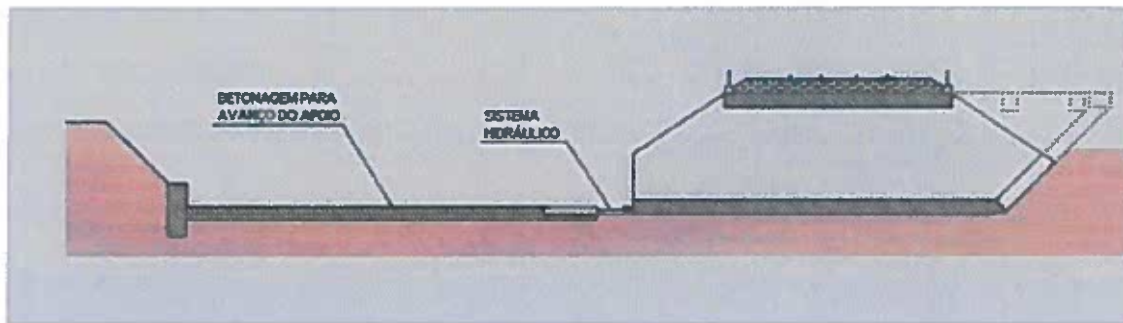


Figura 27 – Deslize da estrutura com betonagens sucessivas - fase final [cedido pela Empreitada da Linha do Douro] [4]



Figura 28 – Deslize da estrutura com betonagens sucessiva - pormenor dos macacos hidráulicos [cedido pela Empreitada da Linha do Douro]

2.3. Demolições

Após a conclusão da operação de deslizamento todos os elementos provisórios, tais como a laje de regularização, os muros de apoio do interior do quadro de deslizamento, os muros de reação e (no caso em que se utilizou) as betonagens sucessivas do apoio dos macacos são demolidos.

Em relação aos biséis de ataque e às caudas, como já foi referido, estes elementos são aproveitados na totalidade, e também nalguns casos são parcialmente demolidos, como se desenvolverá em pormenor no ponto 2. 4.

2.4. Construção dos muros ala

Após finalizar o deslize do quadro, a obra de arte encontra-se na posição definitiva. São construídas as suas estruturas complementares, mais concretamente, os muros ala que são aproveitados dos biséis de ataque e da cauda. Estas estruturas são calculadas para poderem fazer parte dos referidos muros, por isso, os muros ala estão parcialmente construídos pelos biséis de ataque, faltando o fecho inferior (triangulo dos biseis de ataque e respectivas fundações), de acordo com o previsto em projecto, e aproveita-se o muro das caudas para terminar o muro ala cumprindo o previsto(em projecto), conforme Figura 29,30 e 31.



Figura 29 – Cauda que foi reaproveitada para executar uma escada [cedido pela Empreitada da Linha do Minho]



Figura 30 – Biséis de ataque [cedido pela Empreitada da Linha do Minho]



Figura 31 – Muros ala já executas [cedido pela Empreitada da Linha do Minho]

2.5. Rebalastragem

Para que a circulação ferroviária passe para a velocidade normal, é necessário retirar a suspensão de via e rebalastrar a zona de trabalhos. Os trabalhos iniciam com a rebalastragem que é feita manualmente, até existir balastro suficiente para aguentar as cargas do comboio.

Depois passa-se à remoção da suspensão de via para se proceder ao ataque mecânico da via com uma atacadeira e um balastreiro, conforme ilustram as Figura 32,33 e 34.

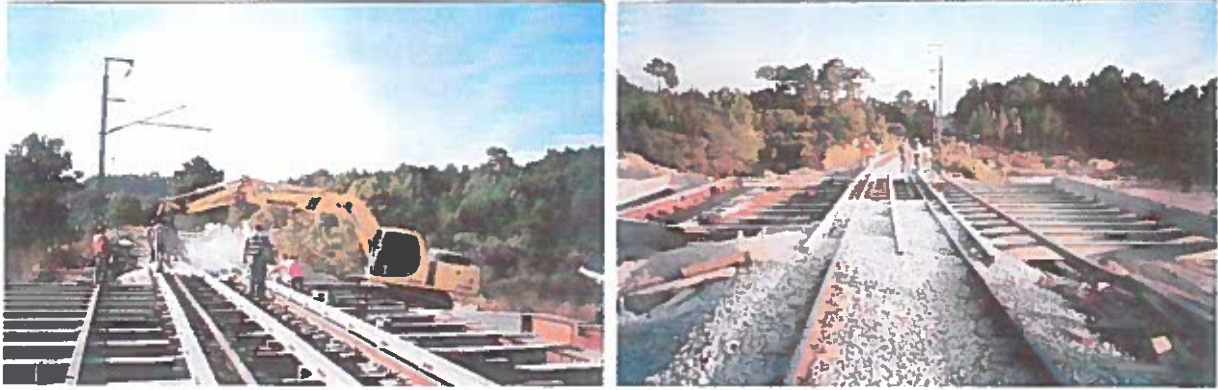


Figura 32 – Rebalastragem manual [cedido pelo Sr. Eng. Beirão Reis]



Figura 33: Rebalastragem mecânica, colocação de balastro com balastreiro [cedido pela Empreitada da Linha do Minho]



Figura 34: Ataque do balastro, executado pela atacadeira [cedido pela Empreitada da Linha do Minho]

Capítulo III - Execução do deslize/escavação

3.1. Método de deslize de um quadro fechado

Por fim quando todos os trabalhos se encontram executados, nomeadamente a suspensão de via, o quadro de deslize betonado, e o betão já com o tempo de cura suficiente para receber as cargas definitivas e previstas em projecto, o escoramento do seu interior já retirado, e o afrouxamento à velocidade dos comboios retirado, inicia-se a execução do deslize do quadro deslizante.

Sendo referido anteriormente, o quadro de deslize é construído junto ao talude da via-férrea, por isso, o primeiro passo é encostar os biséis de ataque ao talude da via-férrea. Esta operação já é feita com o impulso dos macacos no quadro de deslize, em que o cuidado maior a ter nesta fase, é deslizar o quadro e mantendo-o na horizontal.



Figura 35 – Início da execução do deslize [cedido pela Empreitada da Linha do Douro]

Quando os biséis de ataque começaram a penetrar no talude da via-férrea dá-se início à escavação da passagem inferior pelo interior do quadro. A partir desta altura é fundamental ter em atenção a forma como se executa a escavação, esta tem que acompanhar o deslizamento do quadro, conforme Figura 35.

A escavação da passagem inferior pelo interior do quadro é executada com os seguintes equipamentos: uma retroescavadora, uma giratória e camiões. A opção por este tipo de equipamentos mecânicos, depende dos tipos de solos que são escavados e da dimensão do quadro deslizante.



Figura 36 – Início da escavação e da execução do deslizamento [cedido pela Empreitada da Linha do Douro e Linha do Minho]

Na Figura 36, na fotografia do lado esquerdo, vê-se os biséis de ataque a encostar ao talude e na fotografia do lado direito os biséis já penetraram no talude. É de referir também que o travamento dos biséis de ataque tem soluções diferentes, vigas de betão e vigas metálicas, conforme fotografia do lado esquerdo e lado direito respectivamente.

O quadro deslizante vai progredindo em pequenos percursos geralmente de um metro, alternando com a escavação da plataforma de via-férrea, esta escavação é realizada pelo interior do quadro deslizante de tal forma que a plataforma de via fique sempre contida e entivada pelos biséis de ataque na zona da frente da escavação e pelo quadro deslizante no restante talude. Na fase final ficam também as caudas para entivar o talude [Figura 37].

Para cada conjunto de macacos hidráulicos, são utilizadas prolongas de 0.5 m, 1m, 2m e 3 metros de comprimento, de acordo com a necessidade do desliz. As prolongas são uma estrutura metálica que garante grande rigidez quando ligadas umas às outras [Figura 38].

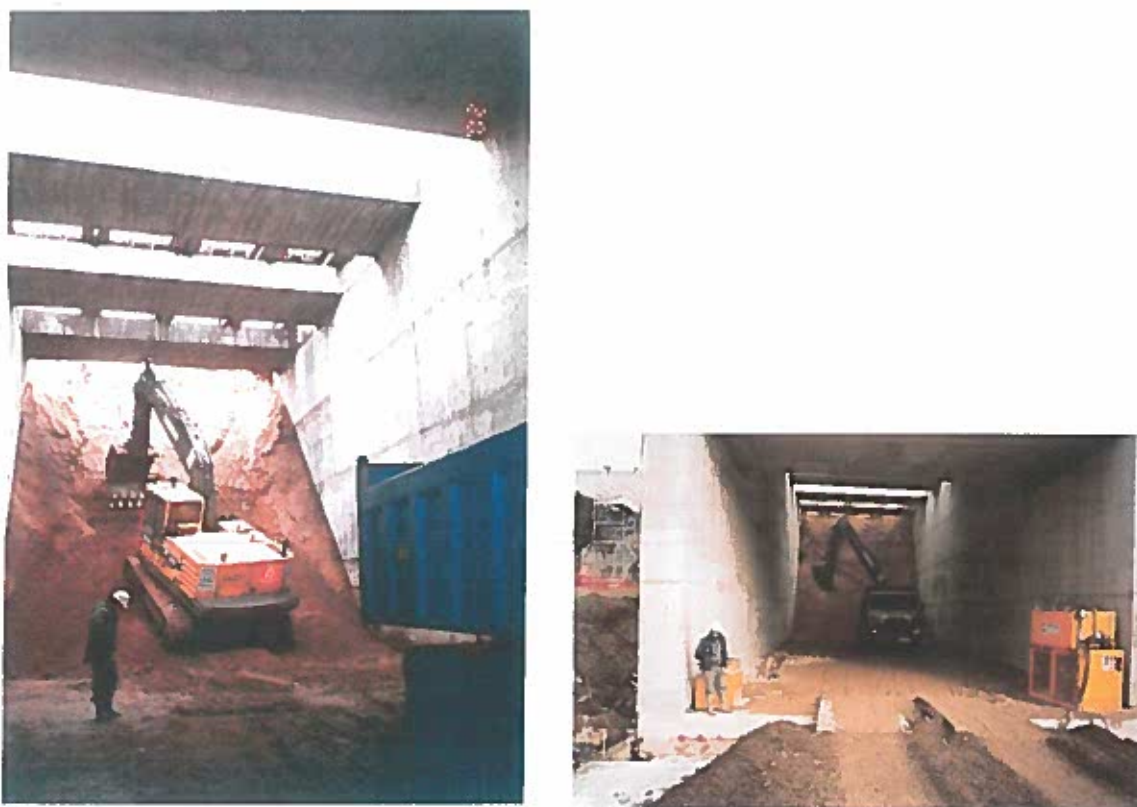


Figura 37: Escavação pelo interior da passagem inferior [cedido pela Empreitada da Linha do Douro]

O deslize inicia –se com os macacos hidráulicos a exercer a força directamente nos maciços de apoio, que provocam o deslocamento do quadro deslizante.

Liberta-se os macacos e o espaço deixado por eles, é ocupado por uma prolonga de um metro. A partir dessa altura os macacos hidráulicos exercem a força nas prolongas, que à medida que

o deslize se processa e o ciclo dos macacos se completa, vão sendo colocadas as respectivas prolongas.

Por questões de segurança e de acordo com a I.E.T. 77 [6], durante a passagem dos comboios o deslize deve ser interrompido. Apesar da suspensão de via-férrea conter um sistema de travação horizontal que impedia o arrastamento das linhas-férreas durante a operação de deslize. Em que o atrito entre o sistema de suspensão de via e o quadro deslizante se encontrava travado pela viga de travação.



Figura 38 : Colocação das prolongas [cedido pela Empreitada da Linha do Minho]

Os materiais escavados são retirados por camiões carregados directamente pela máquina escavadora que trabalha no interior do quadro deslizante, quando a dimensão do quadro o permitiu, os camiões entram o que facilita o trabalho da escavação [Figura 39 e 40].

Na escavação em solos de terra vegetal ou saibros pouco compactados a máquina escavadora trabalha com uma largura ligeiramente inferior à do quadro deslizante, sendo o acerto concretizado pelos biséis de ataque, para não criar vazios entre a estrutura e o talude e consequentemente o deslize de terras, o que colocara em risco a circulação ferroviária.

Também se pode encontrar solos rochosos, o procedimento a ter nesta situação é o de escavar o talude com uma largura ligeiramente superior (com o máximo de 0,5 metros) à do quadro de

deslize, para que a rocha cortada não danifique a estrutura ao deslizar. Numa zona determinada pontual para se escavar a rocha recorrer-se ao desmonte, com explosivos. Nestes casos, I.E.T. 77 [6] o trabalho obriga a interdição da circulação ferroviária. Evitar – se esta supressão de comboios, a mantendo a segurança ferroviária opta-se por se utilizar argamassa expansivas.



Figura 39: Pormenores da escavação com equipamento mecânico [cedido pela Empreitada da Linha do Minho]



Figura 40: Conclusão da escavação e do deslize [cedido pela Empreitada da Linha do Minho]

No final de cada dia de trabalho, no intervalo para almoço ou mesmo numa pequena interrupção do deslize do quadro, os biséis de ataque têm que ficar sempre apoiados no talude de escavação, de forma a evitar o desmoronamento de terras.

O equipamento de pressão hidráulica é constituído por macacos hidráulicos com uma capacidade de 200 toneladas [8] de força cada, e por uma central hidráulica equipada com bombas que possibilitam que o óleo hidráulico circule no circuito dos macacos a velocidades diferentes, fazendo igualmente parte desta, central as mesas de distribuição, mangueiras, válvulas e torneiras. Os macacos hidráulicos necessitam de uma força equivalente a 1,4 vezes o peso da estrutura [4], como ilustra as Figuras 41 e 42.



Figura 41: Pormenores dos macacos hidráulicos [cedido pela Empreitada da Linha do Minho]



Figura 42: Casa das máquinas de manobra dos macacos [cedido pela Empreitada da Linha do Minho]

Concretamente neste exemplo, na passagem inferior em que o quadro fechado tem uma largura de 9,00m e uma altura de 6,60m e ainda um comprimento de 13,00m, são utilizados 12 macacos hidráulicos compostos por dois conjuntos [Figura 41]

Conforme ilustra a Figura 43, foi colocada uma marca (fita métrica) por cima das vigas metálicas de travamento dos biséis, estas fazem parte da estrutura do quadro deslizante, e outra marca (caneta) na viga mestra. Verifica-se que existe um deslocamento da estrutura do quadro.



Figura 43: Pormenor que evidencia o deslize [cedido pela Empreitada da Linha do Minho]



Figura 44: Levantar a via-férrea com um tensor e pormenor da cunha de madeira [cedido pela Empreitada da Linha do Minho]

Ao executar o deslize faz-se em simultâneo o controlo altimétrico e planimétrico (conforme Figura 44), da posição do quadro deslizante, esse controlo é feito de acordo as características da obra e do tempo, neste caso processa-se de 2 em 2 metros. Mas basta que se verifique um pequeno desvio, em termos altimétricos, para que o controlo passe a ser feito numa distância mais curta. Neste caso passou a ser de 0,5m em 0,5 m até ao momento de voltar a estabilizar. O desvio verificado acabou por na via-férrea descer 2 cm, sendo tomadas as seguintes medidas:

- Com um tensor levanta-se a via e calçada com cunha de madeira até ficar à cota inicial.
- Seguidamente alterar a escavação de forma a contrariar a situação, isto é, deixar a zona à frente da laje de fundo com os solos por escavar.

Os esquemas abaixo [Figura 45 a 52] representam as várias fases do método de deslize de um quadro fechado em betão. Neles estão representados os seguintes elementos estruturais: muro

de reacção, a laje de regularização, o quadro de deslize, a suspensão de via (com excepção da Figura 45) e a plataforma da via-férrea.

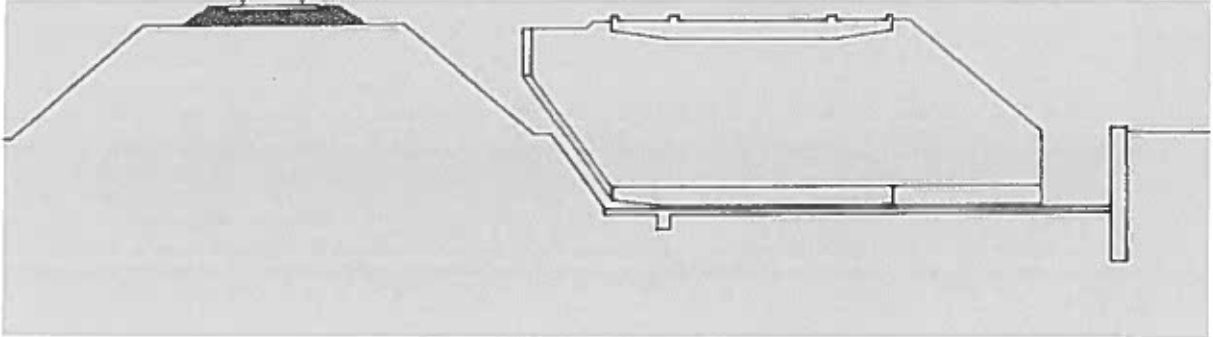


Figura 45: Esquema do quadro deslize na posição inicial [elaborado pela autora]

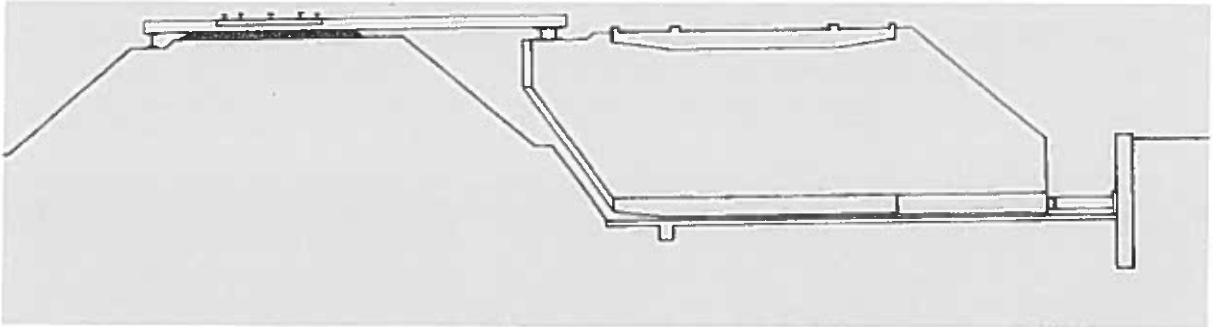


Figura 46: Esquema do quadro deslize na posição inicial com suspensão de via-férrea montada [elaborado pela autora]

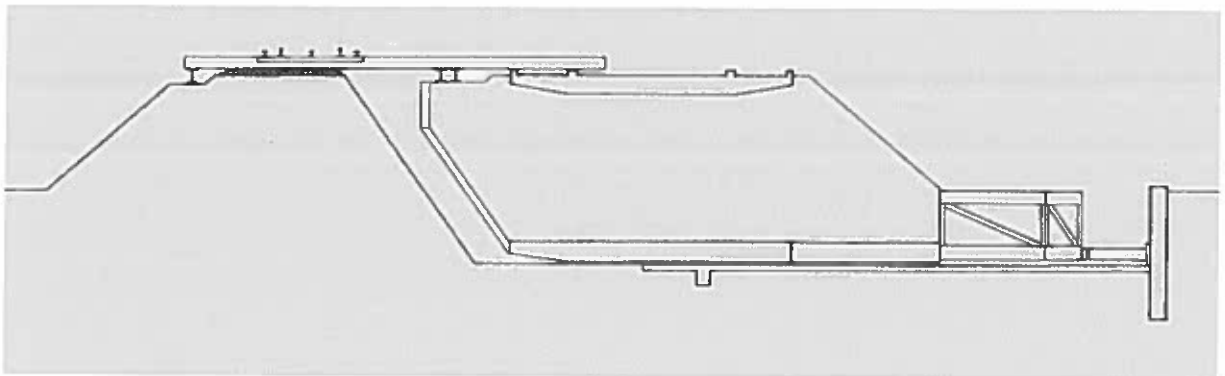


Figura 47: Esquema em que o quadro de deslize se deslocou 4m [elaborado pela autora]

PASSAGENS INFERIORES PELO MÉTODO DE DESLIZE POR PRESSÃO HIDRÁULICA

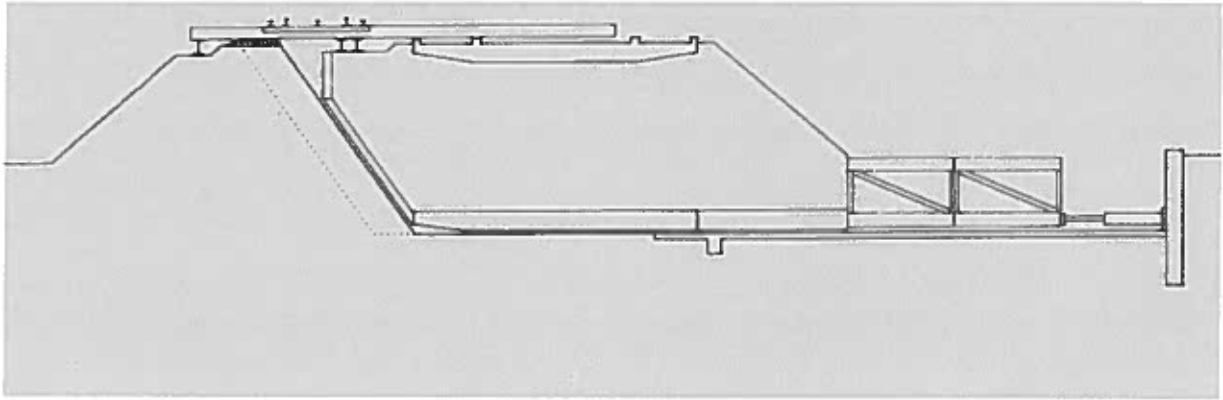


Figura 48: Esquema em que o quadro de deslize se deslocou 7m, as vigas de travamento dos biseis estão por baixo da via-férrea [elaborado pela autora]

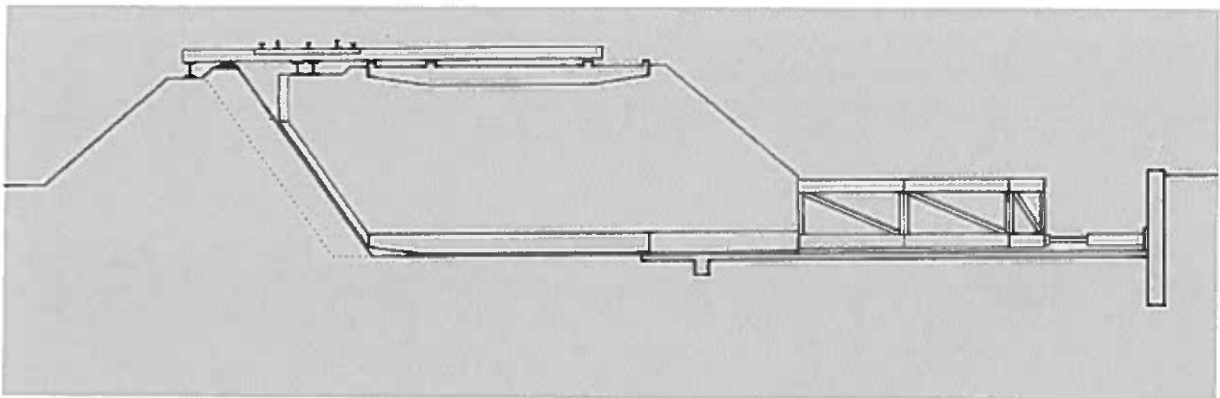


Figura 49: Esquema em que o quadro de deslize se deslocou 8m [elaborado pela autora]

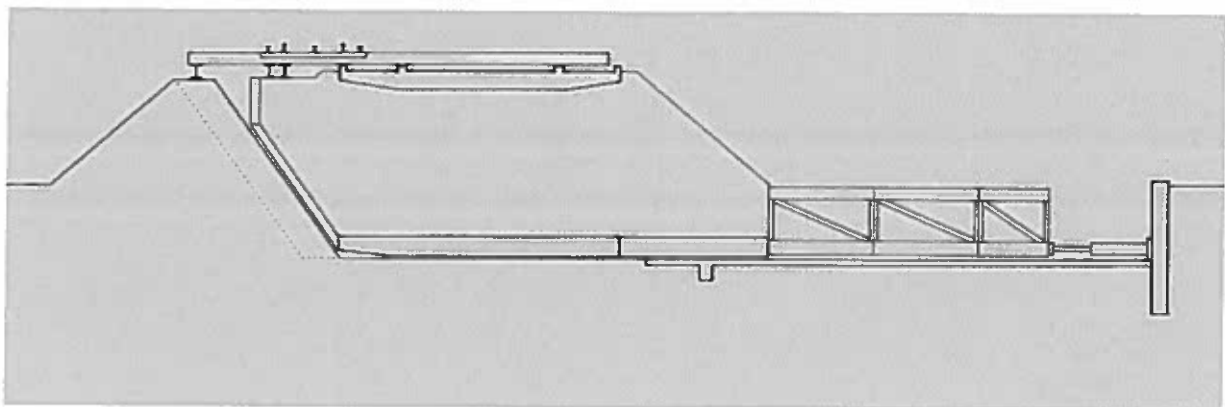


Figura 50: Esquema em que o quadro de deslize se deslocou 9m [elaborado pela autora]

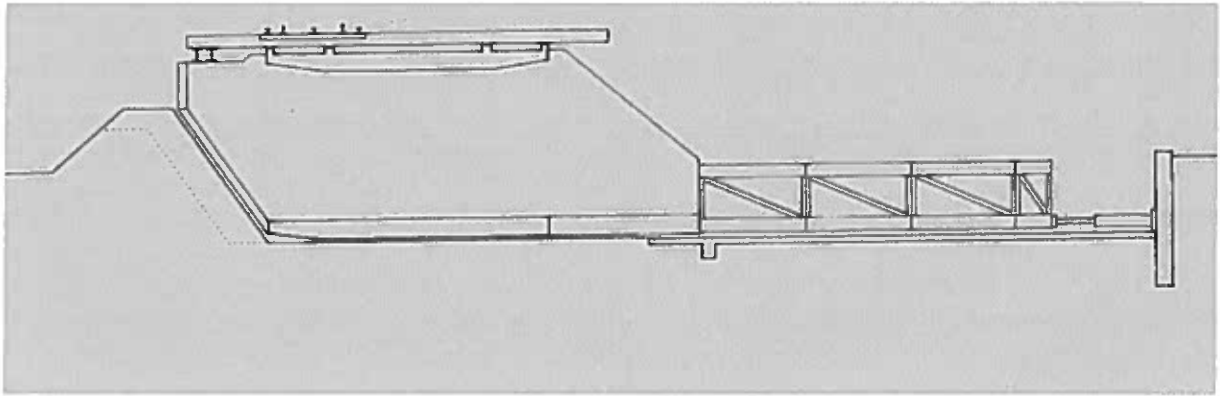


Figura 51: Esquema em que o quadro de deslize se deslocou 11m, a via-férrea está toda apoiada no quadro deslizante [elaborado pela autora]

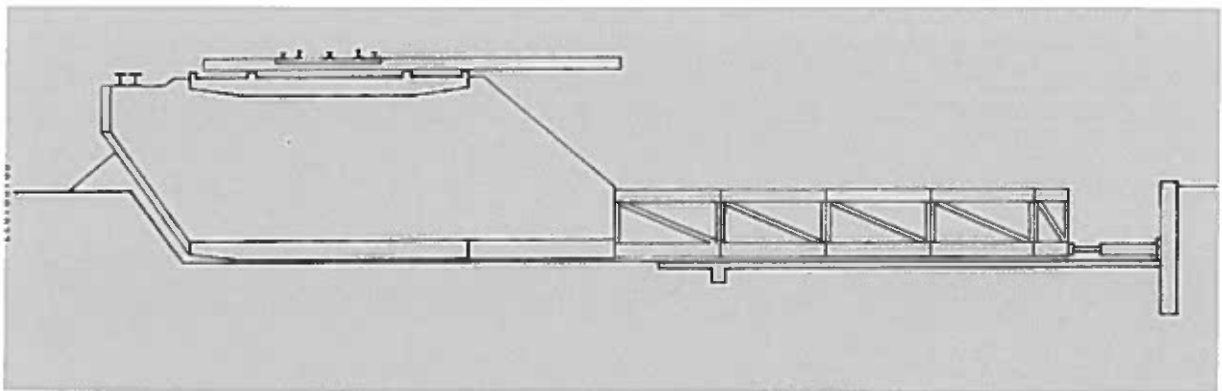


Figura 52: Esquema com a conclusão do deslize do quadro [elaborado pela autora]

Capítulo IV - Sistema de suspensão de via

O sistema de suspensão de via-férrea é constituído por um conjunto de vigas metálicas ortogonais, com uma capacidade de resistência suficiente para sustentar o peso dos comboios em circulação, e uma rigidez horizontal suficiente para evitar deslocamentos laterais da via-férrea, durante o deslize/colocação do quadro estrutural por baixo da via-férrea.

Este conjunto de vigas metálicas apoiam-se de um lado no próprio quadro deslizante, provido de elementos complementares de apoio, se necessário para a sua segurança, do outro lado no terreno da plataforma da via-férrea, enquanto estável, a poder também ser provida de estruturas provisórias de reforço, se assim o justificar.

4.1. Descrição da execução da suspensão da via-férrea

O sistema de suspensão de via-férrea é executado tendo em conta as características da dimensão do espaçamento das travessas (0,60m entre travessas) do caminho-de-ferro, quer as limitações decorrentes do espaço correspondente ao *gabarit* do comboio.

Como já dito anteriormente, estes trabalhos só se iniciam após a implementação de um afrouxamento na velocidade dos comboios.

Para facilitar o trabalho de quem executa a obra, como foi referido anteriormente é o sistema que aplica a empresa Tecnimpulso) todos os elementos necessários à execução da suspensão da via-férrea. Assim é o seguinte:

- Colocam-se as carlingas que são os perfis metálicos HEB 140⁶, os quais desempenham por sua vez as funções das travessas do caminho-de-ferro. Suportam as acções das composições circulantes transmitidas aos carris e garantem o correcto posicionamento daquelas [Figura 53].

⁶ Perfil metálico 140

- o As longarinas também são em perfis metálicos, mas HEB⁷ 160, que ficam posicionados de paralelo aos carris, suportando assim as carlingas.[Figura 54]



Figura 53: Pormenores das carlingas que são os perfil metálico paralelo às travessas de madeira [cedido pela Empreitada da Linha do Minho]



Figura 54: Pormenores das longarinas que são os perfis metálicos paralelo ao carril [cedido pela Empreitada da Linha do Minho]

⁷ Perfil metálico 160

- o As vigas mestras também sendo perfis metálicos HEB 340, perpendiculares aos carris, suportam as longarinas e os carris da via-férrea nos pontos em que estes cruzam. Estas vigas são apoiadas de um dos lados na estrutura de betão na passagem inferior, e no outro lado, no terreno da plataforma de via-férrea [Figura 55].



Figura 55: Pormenores das vigas mestras [cedido pela Empreitada da Linha do Minho]



Figura 56: Pormenores das vigas de travamento horizontal [cedido pela Empreitada da Linha do Minho]

- As vigas de travação horizontal, são perfis HEB 340 apoiados em suportes fixos no terreno da plataforma da via-férrea. Estes suportes fixos são prumos do tipo UNP⁸, cravados em maciços de betão, com a função de impedir o arrastamento das vigas mestras durante a operação de deslize da estrutura de betão provocado pelo atrito entre elas.
- Os perfis observam-se na Figura 56, estando junto ao quadro deslizante, em cima das vigas mestras, e sido presos lateralmente por cabos de aço cravado no maciço.
- A ligação das carlingas às longarinas é feita por conjuntos de parafusos de alta resistência.

A Figura 57 realça pormenores da fixação dos perfis e o cuidado de manter o seu nivelamento.



Figura 57: Pormenores da fixação dos perfis [cedido pela Empreitada da Linha do Minho]

A bitola da via-férrea é garantida com a ligação das carlingas aos carris, no entanto são deixadas todas as travessas posicionadas e fixas aos carris.

Nas vias-férreas dotadas com sinalização, terá que ser garantido o isolamento eléctrico entre os carris e a suspensão da via. O isolamento é feito através de palmilhas de borracha no apoio dos carris com as carlingas e com as vigas mestras.

⁸Perfil metálico

Quando o quadro deslizante se encontrar na sua posição definitiva, sob a via-férrea, coloca-se o balastro sobre a estrutura e em simultâneo proceder-se à desmontagem do sistema de suspensão de via.



Figura 58: Pormenores das travessas [cedido pela Empreitada da Linha do Minho]



Figura 59: Pormenores da suspensão de via [cedido pela Empreitada da Linha do Minho]

Este sistema possui grande segurança e uma deformabilidade reduzida para que não exista perturbação no tráfego ferroviário. Os pormenores são vistos nas Figuras 58 e 59.

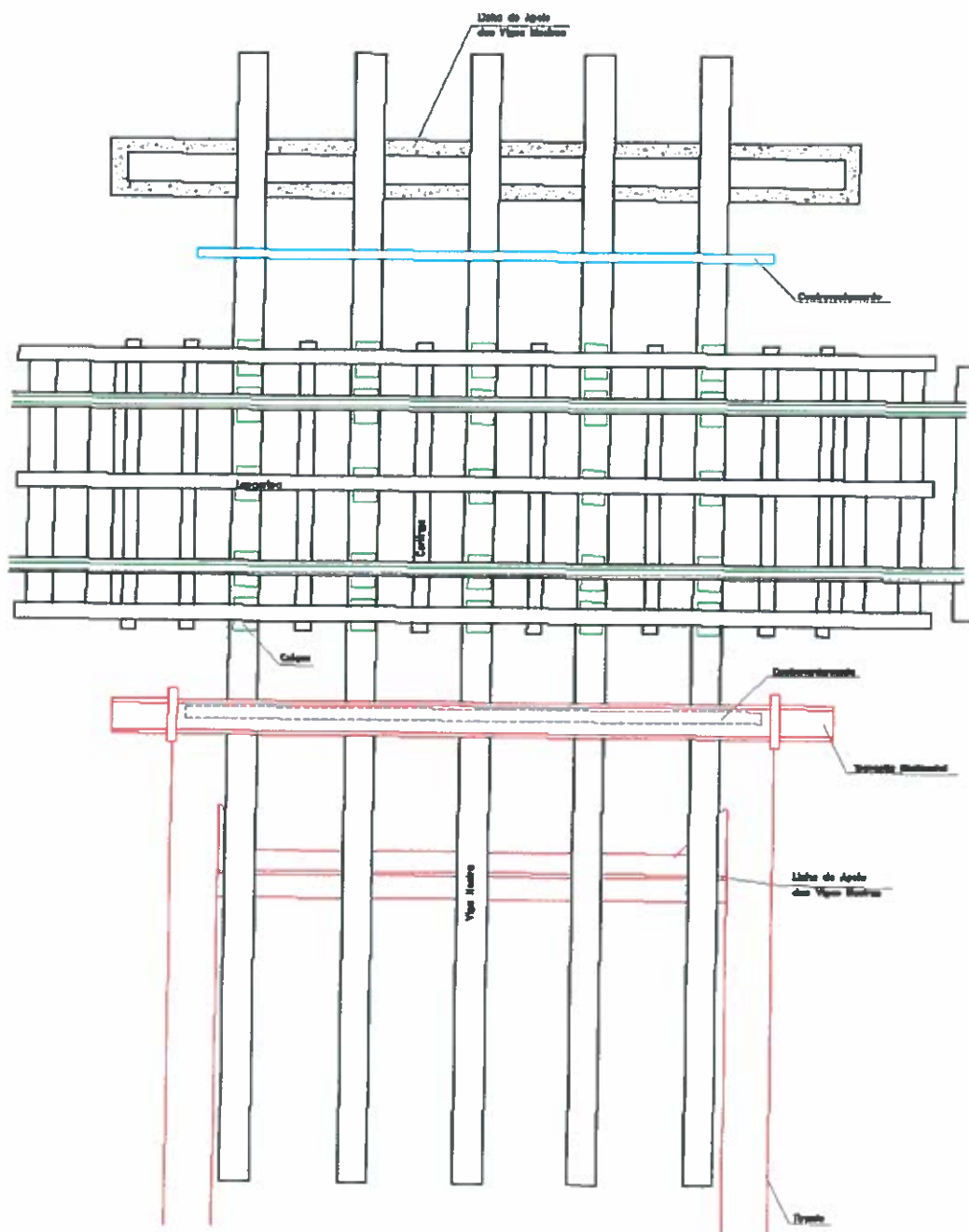


Figura 60: Esquema da suspensão de via-férrea [elaborado pela autora]

Conclusão

Este trabalho foi desenvolvido com o objectivo de chamar à atenção que é possível construir, passagens inferiores ao caminho-de-ferro, com segurança, rapidez e ao menor custo contrapondo os métodos tradicionais de construção, sem no entanto nunca deixar de cumprir com os requisitos e normas exigidas pela REFER.

Não é objectivo deste trabalho tomar uma das duas opções ou argumentar a favor de uma em detrimento da outra. O principal fundamento é dar a conhecer os métodos utilizados na construção de passagens inferiores ao caminho-de-ferro, e com mais detalhe o método que está menos estudado academicamente, mas que tem sido utilizado, nas últimas décadas

As alterações a introduzir na configuração da obra de arte, de forma a adapta-la ao processo construtivo de deslize por pressão hidráulica, leva a que as diversas estruturas componentes, quadro estrutural e muros ala, fiquem solidárias e passem a funcionar conjuntamente a todas as acções que as solicitem. A aplicação deste processo construtivo não implica o aparecimento de qualquer situação de risco que possa comprometer a estabilidade da estrutura do quadro estrutural. É aliás neste campo onde o método tem tido mais sucesso.

A solução estrutural do quadro associado ao processo construtivo de deslize por pressão hidráulica é especialmente indicada quando da existência de solos de fundação de fraca ou mediana capacidade de resistência. Efectivamente, isto é, fundações por ensoleiramento geral permitindo, as pressões de contacto da estrutura com o solo de fundação, possa ser muito reduzidas.

Como se pode verificar ao longo do trabalho, há um processo de evolução que tende para a simplificação do resultado final. O método descrito, consegue-se resolver problemas complexos como são hoje as travessias das passagens de nível ferroviárias que causam tantos engarrafamentos rodoviários, a conseqüente poluição sonora e atmosférica, levando a conseqüências mais graves como o enorme número de acidentes nas passagens de nível com

grandes custos para a os caminhos-de-ferro e principalmente valores que são impossíveis de contabilizar como as vidas humanas. De uma forma tão simples pode resolver-se grandes problemas executando passagens desniveladas, sem causarem grandes perturbações, tanto para a circulação ferroviária rodoviária, assim como para os utentes.

Como se pode verificar através dos meios de media estes últimos anos as remodelações da via-férrea promovidas pela REFER, e que implementaram esta solução na maioria das suas obras Linha do Norte, Linha de Cascais, Linha do Douro, Linha do Minho e apenas para citar algumas partes desta monografia se tenha debruçado sobre o deslize ao caminho-de-ferro, o tema é muito mais vasto, também é possível utilizar este método em auto-estradas em funcionamento por exemplo.

Apesar do deslize de passagens inferiores ao caminho-de-ferro estar pouco divulgado o que inevitavelmente origina a pouca informação disponível relativamente ao tema, foi sem duvida um grande e aliciante desafio a concretização este trabalho.

Este trabalho procura apenas ser mais um modesto contributo para que os processos e procedimentos de engenharia, sejam mais aprofundados e estudados, para que de forma mais activa se possa garantir os benefícios deste, dependendo naturalmente das circunstâncias espaciais ou temporais.

Bibliografia

- [1] Costa, Sérgio. (2006), De comboio. [Em linha] Disponível em <http://www.decomboio.no.sapo.pt/>. [Consultado em 10/03/2008].
- [2] CP, Os Caminhos-de-ferro, Os caminhos-de-ferro e a CP. [Em linha] Disponível em <http://www.cp.pt/>. [Consultado em 07/05/2008].
- [3] CP, Os Caminhos-de-ferro, 150 Anos de Historia. [Em linha] Disponível em <http://www.cp.pt/>. [Consultado em 08/07/2007].
- [4] Denos - Sistema Atrós. [Em linha] Disponível em <http://www.denos.pt/>. [Consultado em 25/01/2007].
- [5] Gomes, Gilberto (2002). *Engenho e obra: Uma abordagem à historia da Engenharia em Portugal no século XX*. Lisboa, Don Quixote
- [6] I. E. T. 77- Normas e Procedimentos de Segurança de Trabalhos na Infra-estrutura Ferroviária, Refer
- [7] Lima, Carlos Frias de. Pequenas Histórias dos Caminhos-de-ferro em Portugal. [Em linha] Disponível em <http://www.apac.cp.pt/>. [Consultado em 27/01/2006].
- [8] Pereira, J.C.Siva. (1981). Construção de obras subterrâneas, *Industria da Construção*, nº 12, pp.39-46.
- [9] Pereira, J.C.Siva. (1985), Túneis pré-fabricados – A cravação de tubos e o deslize de quadros em betão, *Industria da Construção*.
- [10] Refer.EP., Rede ferroviária Nacional - Infra-estruturas. [Em linha] Disponível em <http://www.refer.pt/>. [Consultado em 27/01/2006].

[11] Reis, Eduardo Beirão. (2002). Passagem inferior à Linha do Minho - Remodelação do troço Lousado / Nine, Projecto de Suspensão de via-férrea

[12] Silva, Guilherme Figueira da (2207), Conferencias - Caminhos-de-ferro [Em linha] Disponível em <http://www.civil.ist.utl.pt/>. [Consultado em 08/06/2007].