

MODERNIZAÇÃO E RENOVAÇÃO DE INFRA-ESTRUTURAS FERROVIÁRIAS.

The modernization and up grade of railway infra-structures.
Geotechnical aspects.

Eduardo Fortunato*

António Pinelo**

João Mateus da Silva***

RESUMO - A modernização da rede ferroviária portuguesa inclui, entre outros aspectos, trabalhos de melhoramento e de renovação em diversas linhas. No que se refere à plataforma ferroviária, pretende-se que esta responda adequadamente aos novos requisitos, os quais estão relacionados com o aumento da velocidade dos comboios de passageiros, com o aumento da carga máxima por eixo dos comboios de mercadorias e ainda com o aumento do volume de tráfego. Neste trabalho abordam-se alguns dos aspectos relacionados com as características da plataforma, as quais são determinantes para o comportamento global da via. Apresentam-se alguns aspectos da metodologia utilizada nos estudos realizados, a partir de 1998, para a renovação da plataforma ferroviária da Linha do Norte, no âmbito do Projecto de Modernização.

SYNOPSIS - The modernization of the Portuguese Railway Network includes, among other aspects, the improvement and renewal works in various railway lines. Concerning the platform the main purpose is fulfil the new requirements, which are related to the increase of maximum load per axis, to the increase in the traffic and the need to permit high-speed circulation. In this work, reference is made to the characteristics of the railway platform and to its importance in the overall behaviour of the railway line. Some aspects are presented referring to the methodology used in the renewal study of the Portuguese North Line (Lisboa-Oporto) railway platform. A commented presentation is made of the studies that have been performed since 1998, as regards the modernization project.

1 - INTRODUÇÃO

Em diversos países europeus, muitas das linhas férreas que constituem as respectivas redes ferroviárias, foram construídas há mais de cem anos. A modernização das linhas férreas implica a realização de diversos tipos de obras nas linhas existentes, obras essas que têm como objectivos a alteração da geometria e das características físico-mecânicas da via.

Em alguns casos são construídos novos trechos – variantes – de forma a permitir adaptar localmente o traçado aos requisitos relacionados com o aumento da velocidade de circulação.

Nas situações em que se mantém a directriz da via é, normalmente, necessário proceder a obras de renovação. As soluções técnicas a adoptar devem considerar os novos requisitos e devem basear-se numa avaliação das características da plataforma existente e no seu desempenho.

A modernização da rede ferroviária portuguesa inclui, entre outros aspectos, a execução de obras de melhoramento e de renovação em diversas linhas. No que se refere à plataforma, o

* Assistente de Investigação, Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Email: efortunato@lnec.pt

** Investigador Coordenador, Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Email: apinelo@lnec.pt

*** Investigador Auxiliar, Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Email: marcelino@lnec.pt

objectivo principal é que, após a renovação, aquela apresente um adequado desempenho relativamente aos novos requisitos, os quais estão relacionados com o aumento da carga máxima por eixo, o aumento do volume de tráfego e o aumento da velocidade de circulação.

Neste trabalho apresentam-se alguns aspectos relacionados com a metodologia utilizada nos estudos realizados no âmbito da renovação da plataforma ferroviária da Linha do Norte, nomeadamente no que se refere à caracterização da plataforma e dos materiais utilizados na construção das camadas de reforço e à metodologia adoptada no dimensionamento dessas camadas.

2 - PROJECTO DE MODERNIZAÇÃO DA LINHA DO NORTE

2.1 - Objectivos

As obras de modernização da Linha do Norte visam permitir a circulação de comboios de passageiros a alta velocidade (220 km/h) e permitir a utilização da mesma linha por comboios de mercadorias, com carga máxima por eixo de 225 kN.

A conciliação destes objectivos em linhas antigas levanta problemas delicados, em particular relativos à qualidade da plataforma onde apoia a camada de balastro, o que terá levado diversas administrações ferroviárias a optar pela construção de linhas novas para a alta velocidade, em vez de proceder à adaptação de linhas existentes. Dos problemas referidos destacam-se a necessidade de: i) assegurar para a plataforma uma adequada capacidade de carga, compatível com as novas condições de circulação e ii) garantir uma largura mínima de plataforma em toda a extensão.

Os projectos de execução realizados em 1995 previram uma superestrutura com carris de 60 kgf/m, travessas monobloco de betão armado colocadas com afastamento de 0,60 m sobre uma camada de balastro granítico de 0,30 m de espessura mínima. De acordo com o projecto a nova superestrutura seria colocada sobre a plataforma existente, com excepção de algumas zonas limitadas, as quais seriam identificadas em obra.

No âmbito dos estudos iniciados a partir de 1998, relativos ao problema da capacidade de carga da plataforma e de acordo com a Ficha 719R da UIC, preconizou-se que: i) na subestrutura se coloque uma camada de sub-balastro, assente sobre uma plataforma de boa qualidade (classe P3), caracterizada por um módulo de deformabilidade (obtido no segundo ciclo do ensaio de carga com placa - E_{v2}) igual ou superior a 80 MPa; ii) ao nível do topo da camada de sub-balastro o valor de E_{v2} deverá ser igual ou superior a 120 MPa.

2.2 – Metodologia

As principais diferenças entre um projecto de construção nova e um projecto de renovação de uma infra-estrutura ferroviária, estão relacionadas com: i) as preocupações de aproveitar, tanto quanto possível, o existente; ii) a redução das perturbações na exploração da via, aquando da realização das obras; iii) o respeito pelas limitações físicas impostas pelas estruturas existentes; iv) a impossibilidade de adoptar algumas das técnicas de construção normalmente utilizadas quando se trata de construir uma via nova, por exemplo relacionadas com a melhoria de solos e v) a manutenção de um elevado nível de segurança relativamente ao tráfego que continua a circular.

A metodologia adoptada para estudar as medidas de renovação da plataforma existente, com base na caracterização da capacidade de carga, foi organizada nas seguintes etapas: i) análise das implicações das novas exigências; ii) recolha de elementos de base relativos à actual plataforma; iii) zonamento longitudinal preliminar da plataforma; iv) caracterização geotécnica

das zonas a renovar; v) interpretação dos resultados e zonamento definitivo; vi) estudo das soluções a implementar e dos materiais a utilizar e vii) elaboração de um método de dimensionamento das camadas de reforço.

3 - CARACTERIZAÇÃO DA PLATAFORMA EXISTENTE

3.1 - Recolha de elementos de base

De acordo com informações fornecidas pela REFER (empresa que tem a seu cargo a construção, conservação e renovação da linha), ao longo da linha são conhecidas várias zonas onde se têm observado deficiências do desempenho da via, atribuíveis ao mau comportamento da plataforma - zonas de plataforma instável na terminologia dos técnicos ferroviários. Tais deficiências traduzem-se na necessidade de limitar as velocidades de circulação e de efectuar trabalhos de reparação, com periodicidade muito acima do desejável (várias vezes por ano). Assim, procedeu-se à realização de um inventário da linha actual tendo como objectivo a recolha de informação histórica relativa à construção, conservação, reabilitação e desempenho da via nos últimos anos.

A metodologia adoptada na realização do inventário passou por (Pinelo *et al.*, 2000): i) promover inquéritos às áreas de conservação – equipas que têm a seu cargo a conservação e a reabilitação da via e respectiva plataforma – solicitando a identificação das zonas com comportamento deficiente e o número médio de intervenções realizadas por ano, em cada uma dessas zonas, com o objectivo de corrigir o nivelamento longitudinal da via; ii) analisar os indicadores de desempenho da via, nomeadamente os elementos de nivelamento longitudinal produzidos pelo veículo de auscultação da via, designado por EM120; iii) recolher a informação disponível no arquivo da REFER sobre a construção e as grandes obras de reabilitação; iv) analisar os relatórios de inspecção visual que existiam e v) realizar inspecções visuais na linha (Mateus da Silva e Jeremias, 2000).

Os indicadores de desempenho disponíveis apontam para considerar a centenária plataforma, em alguns casos muito degradada por ausência de obras de conservação e reabilitação ao longo dos anos, com qualidade insuficiente para as novas exigências. Em consequência, será necessário efectuar trabalhos de renovação dessa plataforma, os quais poderão incluir obras de reforço ou a reconstrução da subestrutura.

Tendo por base a informação reunida e a recolhida durante as campanhas de inspecção visual faz-se um primeiro zonamento longitudinal de cada uma das vias, localizando os trechos com comportamento deficiente (zonas de plataforma instável).

3.2 - Prospeção geotécnica e caracterização física e mecânica

A caracterização geotécnica da subestrutura ferroviária tem como objectivos conhecer a espessura das camadas, a sua natureza, os estados hídrico e de compactação dos materiais. Essa caracterização desenvolve-se até uma profundidade de cerca de 1,5 a 2 m. O conhecimento destes elementos é fundamental para estudar as medidas de reabilitação, mas as operações necessárias para desenvolver esta caracterização são de difícil programação e execução, já que têm de ser desenvolvidas em curtos períodos de interrupção da circulação e, em algumas situações, mesmo com a exploração da via a decorrer, embora com restrições. Estabelecem-se campanhas de prospecção e de ensaios de dois tipos: i) nas zonas de plataforma instável realizam-se trincheiras envolvendo toda a secção transversal, procede-se à elaboração do perfil geotécnico da zona interessada (espessura e natureza das camadas), recolhem-se amostras para ensaios laboratoriais, determina-se o peso volúmico seco dos materiais da fundação e realizam-

se ensaios com penetrómetro dinâmico ligeiro - PDL (CEN, 1997); ii) nas zonas sem indícios de instabilidade realizam-se ensaios de carga com placa para caracterizar a deformabilidade da plataforma e abrem-se poços, nos quais se adoptam procedimentos semelhantes aos atrás descritos para as trincheiras. Executam-se, em ambos os casos, ensaios laboratoriais de identificação (granulometria, limites de Atterberg e azul de metileno), de determinação do teor em água natural e das características de compactação (Proctor Normal e Proctor Pesado). Determinam-se os graus de compactação dos materiais da fundação e classificam-se as amostras pelas classificações USCS, AASHTO e NF P 11-300.

3.3 - Zonamento da plataforma

Relativamente à qualidade da plataforma existente foram consideradas três situações distintas, a saber (Fortunato *et al.*, 2000): i) zonas sem indícios de mau comportamento e em que se dispõe de uma suficiente capacidade de carga ($E_{v2} \geq 80$ MPa); ii) zonas sem indícios de mau comportamento, mas em que se detecta uma insuficiente capacidade de carga da plataforma existente ($E_{v2} < 80$ MPa); iii) zonas indicadas como instáveis em que a plataforma existente se encontra em muito mau estado e, conseqüentemente, tem um mau comportamento. No primeiro caso, admitiu-se que a camada de sub-balastro poderia ser colocada sobre a plataforma existente. No segundo caso, preconizou-se que o reforço da capacidade de carga da plataforma existente fosse realizado através da colocação de uma camada de sub-balastro e de uma camada de leito executadas com solos seleccionados ou com materiais granulares britados, de boas características mecânicas. No terceiro caso, considerou-se ser necessário sanear o material existente (balastro contaminado com solo e/ou material da fundação), para possibilitar a colocação de uma camada de substituição que permitisse a colocação em obra de uma camada de leito com espessura adequada e uma camada de sub-balastro.

4 - CAMADA DE SUB-BALASTRO

4.1 - Funções e concepção

As funções normalmente atribuídas à camada de sub-balastro (Fig. 1) são: i) proporcionar a degradação das tensões impostas pelas cargas dos comboios para níveis aceitáveis na plataforma; ii) proteger esta contra as acções do gelo (se for caso disso); iii) promover a separação entre o balastro e a plataforma, evitando assim a interpenetração; iv) evitar o desgaste da plataforma pela acção mecânica do balastro; v) funcionar como camada impermeabilizante, evitando que as águas zenitais que penetram através do balastro alterem significativamente o estado hídrico dos solos da plataforma; vi) 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 estes requisitos. No entanto, as diferenças entre as granulometrias e dimensão máxima das partículas dos materiais propostos são significativas.

A espessura a adoptar para o conjunto das camadas de apoio da via (balastro e sub-balastro) depende de vários parâmetros, 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 (UIC, 1994). Em geral a espessura da camada de balastro é estabelecida à partida e convém que seja constante ao longo de toda a linha, para possibilitar, durante as operações de conservação, uma utilização sistemática dos equipamentos mecânicos. Em construções novas, o sub-balastro pode ser construído por uma ou diversas camadas, se tal for necessário ou mais

económico, já que, em princípio, não existirão limitações geométricas relacionadas com a altimetria da rasante da via.

Relativamente às características físicas e mecânicas da camada de sub-balastro em linhas novas de muito tráfego, é normal impor valores mínimos para a compactação relativa dos materiais ($C_r \geq 103\%$ em relação ao Proctor Normal - UIC, 1994) e para o módulo de deformabilidade ao nível do topo desta camada, medido no primeiro ciclo de carga, $E_{v1} \geq 70$ MPa (CFF, 1997), ou no segundo ciclo de carga, $E_{v2} \geq 120$ MPa (UIC, 1994), do ensaio de carga estática com placa.

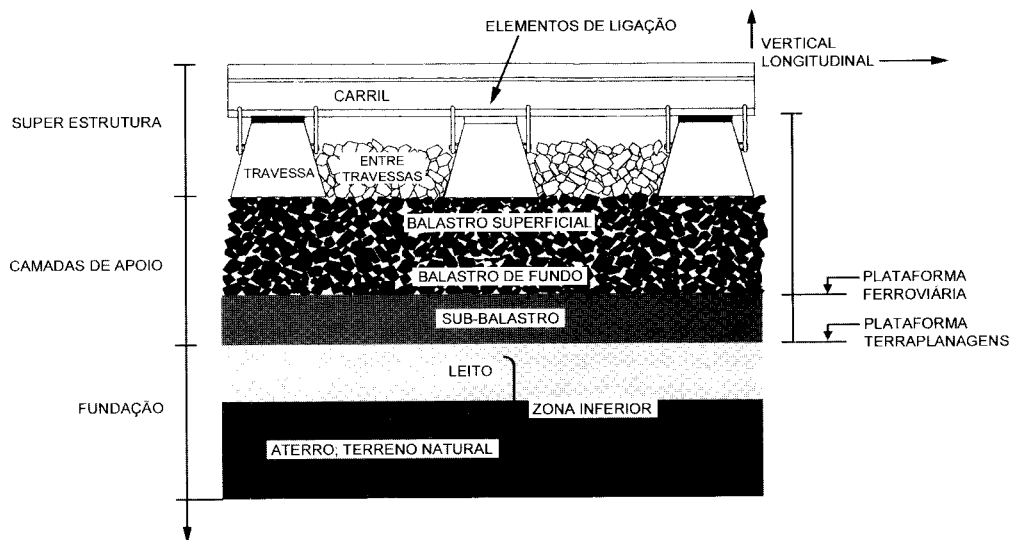


Fig. 1 - Elementos da via.

Considera-se que no caso da renovação de vias antigas estes valores podem ser tomados como referência, devendo, no entanto, serem adaptados às reais condições de exploração.

No caso da renovação da linha do Norte existem limitações geométricas à colocação de novas camadas, relacionadas com a impossibilidade de aumentar as cotas da rasante. Assim, procurou-se construir a camada de sub-balastro com um único tipo de material que, quando bem compactado, satisfaça todos os requisitos referidos anteriormente, tidos como importantes no desempenho dessa camada. Estabeleceu-se que a espessura mínima desta camada seria de 0,15 m.

4.2 - Estudo das características de um material para colocação na camada de sub-balastro

Para escolher o material a utilizar na camada de sub-balastro no primeiro troço a ser renovado, numa extensão de cerca de 30 km, fizeram-se diversos estudos relativamente às características físicas e mecânicas de materiais britados de diversas litologias. Após esses estudos adoptou-se um material granítico britado de granulometria contínua, bem graduado ($CU > 6$), com um desgaste no ensaio de Los Angeles inferior a 25%. O material escolhido foi estudado no sentido de avaliar qual a melhor granulometria que cumpria os requisitos enunciados em 4.1.

4.2.1 - Deformabilidade

Atendendo ao carácter cíclico das solicitações impostas pela circulação dos comboios sobre o material de sub-balastro, é normalmente assumido que o ensaio que melhor caracteriza o comportamento deste material face a esse tipo de solicitações é o ensaio triaxial de cargas repetidas, a partir do qual é possível determinar o módulo de deformabilidade reversível (definido como a razão entre a tensão distorcional aplicada e a deformação axial elástica durante essa aplicação), normalmente após alguns milhares de ciclos de carga. Na impossibilidade de proceder à execução de ensaios com cargas repetidas para determinação do módulo de deformabilidade reversível, realizaram-se ensaios triaxiais clássicos, procedendo a uma descarga após atingir uma determinada tensão distorcional e a um segundo ciclo de carga até 85% da carga máxima do primeiro. O módulo de deformabilidade reversível (E_r) é calculado neste segundo ciclo, considerando a deformação ocorrida quando a carga varia entre 30 e 70% da carga máxima (DIN18134).

Para o trabalho em causa considerou-se este procedimento aceitável porque: i) no essencial pretende-se determinar um valor de um módulo de deformabilidade que permita, através de um modelo de cálculo, dimensionar uma estrutura por camadas que conduza a um módulo de deformabilidade do conjunto (topo do sub-balastro) de 120 MPa, medido no segundo ciclo do ensaio de carga com placa; admite-se que o facto de a estrutura, após a renovação, apresentar uma deformabilidade representada por este módulo, garante o seu bom comportamento a longo prazo; ii) apesar de o módulo de deformabilidade dos materiais granulares aumentar com o número de ciclos de carga, a grande variação ocorre, em geral, entre o primeiro e o segundo ciclo de carga; iii) estudos realizados por outros autores (Balay *et al.*, 1998) sobre materiais aparentemente semelhantes e onde procederam à determinação do módulo reversível ao fim de 20 000 ciclos de carga, mostraram grande variação do módulo reversível quando, por exemplo, fizeram variar o teor em água do provete em 1,5%; no caso da renovação da plataforma da Linha do Norte, alguns ensaios prévios que foi possível realizar em obra antes de iniciar a caracterização laboratorial mostraram que teor em água do material após a compactação tinha variações superiores a 2%, em função das condições climáticas e de armazenagem do material, o que faz prever a possibilidade de uma considerável variação do módulo de deformabilidade do material ao longo do troço.

Com o objectivo de realizar ensaios de compressão triaxial, construíram-se em laboratório provetes do material granítico seleccionado, com diferentes granulometrias e diferentes dimensões máximas das partículas. As curvas granulométricas dos três provetes ensaiados são as que estão apresentadas na Fig. 2.

Foram construídos provetes de 230 mm de diâmetro e 470 mm de altura, o que permite ensaiar de forma adequada o material utilizando as granulometrias integrais. A compactação foi realizada com uma placa vibradora, tendo como objectivo a obtenção da maior compacidade possível. Os provetes foram compactados com teores em água inferiores aos do óptimo do ensaio Proctor pesado. A compactação por vibração com a energia utilizada e com o teor óptimo daquele ensaio revelou-se impossível, devido ao excesso de água. Além disso, procurou-se compactar os provetes com valores do teor em água próximos do valor máximo obtido nos ensaios prévios realizados em obra ($w = 4,5\%$), com excepção do provete com granulometria mais fina (0/6 mm), para o qual esse procedimento conduzia a um baixo grau de compactação.

A tensão de confinamento aplicada foi de 30 kPa, tendo em conta as previsíveis tensões instaladas nestes materiais, quando em serviço. A tensão distorcional máxima aplicada foi de 800 kPa.

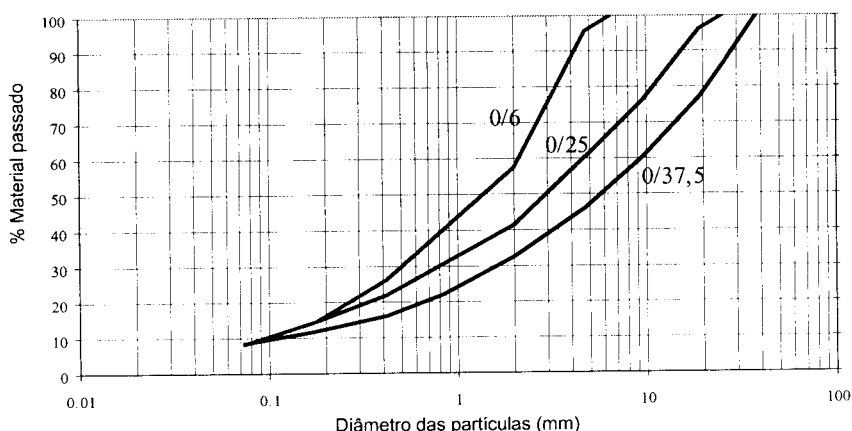


Fig. 2 - Curvas granulométricas dos provetes ensaiados.

Sobre o provete com a granulometria mais grosseira (0/37,5 mm) foi realizado um ensaio de deformação unidimensional para a determinação do valor do módulo edométrico no segundo ciclo de carga. Neste caso compactaram-se em laboratório provetes com 230 mm de diâmetro e 210 mm de altura com uma placa vibradora, tendo como objectivo a obtenção da maior compacidade possível. A tensão axial máxima aplicada foi de 500 kPa.

No Quadro 1 apresentam-se as condições de compactação dos provetes ensaiados e os módulos de deformabilidade (E_r) e edométrico (E_{oedr}), calculados no segundo ciclo de carga.

Após a realização dos ensaios procedeu-se à análise granulométrica dos provetes e constatou-se não ter havido alteração visível da granulometria. A deformação axial elástica máxima obtida em cada um dos provetes utilizados nos ensaios triaxiais foi de cerca de 0,9% nas granulometrias mais grosseira e intermédia e 2,1% na granulometria mais fina (0/6 mm), para uma tensão distorcional de cerca de 800 kPa. Os valores obtidos para o módulo reversível em cada um dos casos permitem concluir que, nas condições de ensaio utilizadas, este parâmetro é influenciado pela granulometria e dimensão máxima das partículas.

Quadro 1 – Características de compactação e de deformabilidade.

Granulometria (mm)	Proctor		Ensaio triaxial			Ensaio edométrico		
	$\gamma_{dm\acute{a}x}$ (kN/m ³)	w_{opt} (%)	γ_d (kN/m ³)	w (%)	E_r (MPa)	γ_d (kN/m ³)	w (%)	E_{oedr} (MPa)
0/6	20,2	8,0	20,2	6,5	180	--	--	--
0/25	21,6	5,7	21,2	4,5	265	--	--	--
0/37,5	21,9	5,5	21,3	4,4	302	22,4	4,5	1035

$\gamma_{dm\acute{a}x}$ – peso volúmico seco máximo do ensaio Proctor pesado

w_{opt} – teor em água óptimo do ensaio Proctor pesado

γ_d – peso volúmico seco

w – teor em água

E_r – módulo de deformabilidade obtido no segundo ciclo de carga

E_{oedr} - módulo edométrico obtido no segundo ciclo de carga

4.2.2 - Permeabilidade

Foram realizados ensaios de permeabilidade em câmaras triaxiais, com provetes de dimensões idênticas às referidas anteriormente, utilizando um provete de cada uma das granulometrias e uma carga hidráulica de 10 kPa. A tensão de confinamento foi de 30 kPa e a tensão distorcional de 150 kPa, com o objectivo de tentar simular as condições de serviço. Os coeficientes de permeabilidade obtidos são os apresentados no Quadro 2.

Relativamente aos valores do coeficiente de permeabilidade, considera-se que qualquer dos materiais se encontra dentro do limite considerado aceitável, que é de $k \leq 10^{-4}$ cm/s (CFF, 1997).

Quadro 2 – Características de compactação e de permeabilidade.

Granulometria (mm)	Ensaio de permeabilidade		
	γ_d (kN/m ³)	w (%)	k (cm/s)*10 ⁻⁵
0/6	20,3	6,3	0,87
0/25	21,6	4,5	0,14
0/37,5	21,6	4,5	6,67

k – coeficiente de permeabilidade

γ_d – peso volúmico seco

w – teor em água de compactação

4.2.3 - Funções de filtro e de drenagem

Para poder desempenhar as funções de filtro e de drenagem em relação aos solos da plataforma actual, nas situações em que esta dispõe de uma adequada capacidade de carga ($E_{v2} > 80$ kPa), logo não necessitando de ser reforçada, a granulometria do material da camada de sub-balastro tem que cumprir os critérios habitualmente considerados nestas circunstâncias (ORE, 1981).

Na Fig. 3 apresentam-se: as curvas granulométricas de alguns dos solos identificados na plataforma actual; a curva granulométrica que representa a granulometria mais grosseira (0/37,5 mm); o fuso granulométrico de um material granular proposto nas normas da Administração Suiça (CFF, 1997) para integrar a camada de sub-balastro; os critérios de filtro e de drenagem adoptados. A granulometria mais grosseira (0/37,5 mm) cumpre, em geral, os requisitos de filtro e de drenagem relativamente aos solos identificados na zona em análise. Além disso, está no limite do fuso granulométrico considerado como aconselhável segundo a referidas normas.

Atendendo aos diversos requisitos que a camada de sub-balastro deve cumprir e aos resultados obtidos nos ensaios realizados, sugeriu-se que a granulometria a adoptar fosse a mais grosseira (0/37,5 mm).

Uma camada construída com este material granítico e com esta granulometria, depois de bem compactada em obra (compactação igual ou superior a 97% do ensaio Proctor pesado), deverá apresentar um módulo reversível de cerca de 300 MPa, uma permeabilidade (k) inferior a 10^{-4} cm/s e poderá desempenhar de forma adequada as funções de filtro e de drenagem relativamente aos materiais da fundação.

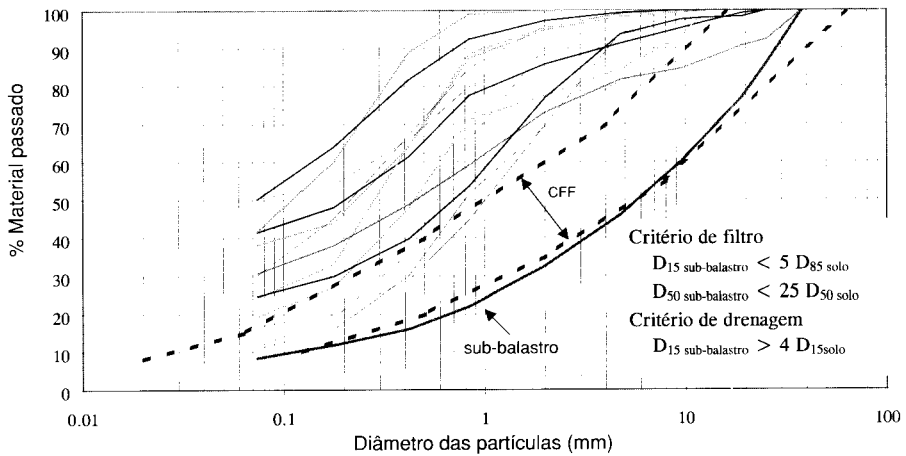


Fig. 3 - Curvas granulométricas dos solos da fundação e do material de sub-balastro.

5 - MODELO DE DIMENSIONAMENTO DO REFORÇO DA PLATAFORMA

Nas situações em que a plataforma a renovar apresente insuficiente capacidade de carga ($E_{v2} < 80 \text{ MPa}$), será necessário construir uma camada de leito, sobre a qual se colocará a camada de 0,15 m de sub-balastro.

Atendendo ao que foi referido, considera-se que o principal objectivo do reforço da plataforma com a construção de uma camada de leito e de uma camada de sub-balastro é obter um módulo de deformabilidade (E_{v2}) no topo desta camada de 120 MPa.

Conhecendo as características de deformabilidade da plataforma existente e dos materiais a colocar nas camadas de leito e de sub-balastro, a espessura desta última e a profundidade a que se encontra uma camada de maior rigidez é possível proceder, de forma simplificada, à determinação da espessura da camada de leito da plataforma.

No modelo utilizado considerou-se o comportamento elástico dos materiais, de forma a obter um determinado valor para o módulo de deformabilidade equivalente à superfície, como aquele que é determinado com o ensaio de carga com placa. Essa análise pode ser elaborada com recurso a um modelo numérico por elementos finitos em equilíbrio axisimétrico, previamente calibrado em meio homogêneo, que simule a aplicação de uma carga em condições semelhantes ao ensaio de carga com placa.

A aplicação sistemática do modelo, considerando diferentes valores das variáveis atrás referidas permite elaborar ábacos do tipo do que é apresentado na Fig. 4.

Através destes ábacos é possível determinar a espessura necessária para a camada de leito nas diferentes situações.

Considere-se, por exemplo, uma plataforma caracterizada com um módulo de deformabilidade (E_{v2}) de 40 MPa, um material para camada de leito da plataforma com valores de E_{v2} de cerca de 250 a 300 MPa e o material de sub-balastro com E_{v2} de 300 MPa. No caso de a fronteira rígida se encontrar a 3 m de profundidade, atendendo ao gráfico da Fig. 4, para obter um módulo equivalente E_{v2} de 120 MPa será necessário considerar uma espessura de

40 cm para a camada de leito da plataforma, para além, naturalmente, da camada de sub-balastro com espessura mínima de 15 cm.

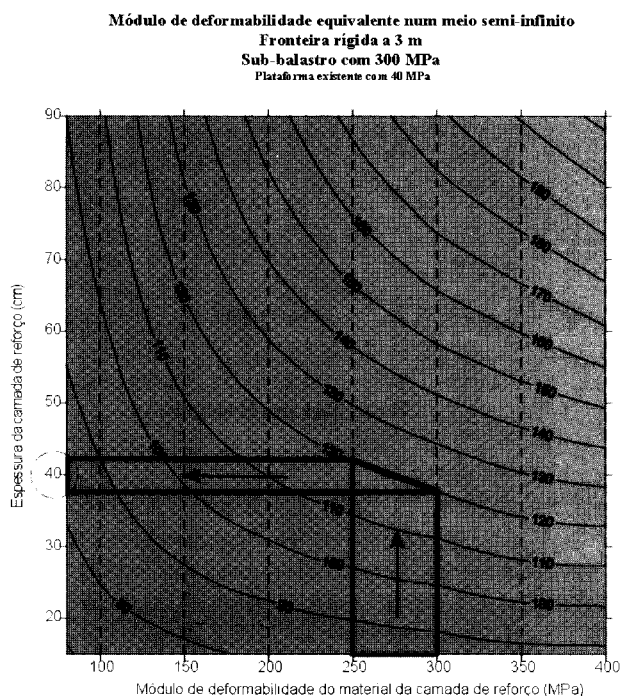


Fig. 4 - Determinação da espessura da camada de leito.

6 - CONCLUSÕES

A grande heterogeneidade dos materiais existentes nas plataformas ferroviárias antigas e as diversas condições em que se apresentam, nomeadamente no que se refere ao teor em água e à compactidade, tornam difícil uma adequada caracterização laboratorial desses materiais. Assim, é importante recorrer à caracterização “in situ” da subestrutura ferroviária, de forma a poder relacionar o desempenho da plataforma com as suas características físicas e mecânicas.

A metodologia que tem sido utilizada no âmbito da renovação da plataforma ferroviária da Linha do Norte é baseada na determinação da capacidade de carga e na caracterização laboratorial dos materiais a utilizar nas camadas de reforço.

A utilização de um modelo por elementos finitos, admitindo o comportamento elástico dos materiais permite, com base nessa informação, determinar a espessura das camadas de reforço da plataforma, de modo a serem atingidos os objectivos previamente estabelecidos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Balay, J.; Gomes Correia, A.; Jouve, P.; Hornych, P. e Paute, J. *Étude expérimentale et modélisation du comportement mécanique des graves non traitées et des sols supports de*

- chaussées. Dernières avancées*, Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées, Paris, 1998.
- Chemins de Fer Fédéraux (CFF). *Infrastructure et ballast. Prescriptions pour les nouvelles voies et les renouvellements*. Berne, 1997.
- Comite Europeen de Normalisation (CEN). *Eurocode 7 : Geotechnical design - Part 3*, 1997.
- Deutsches Institut für Normung DIN 18134 – *Determination of deformation and strength characteristics of soil by the plate loading test*, 1990.
- Pinelo, A.; Fortunato, E. e Hadjadji, T. *Caracterização de plataformas ferroviárias antigas visando a sua reabilitação – O caso particular da Linha do Norte*. Actas do VII Congresso Nacional de Geotecnia, Porto, 2000.
- Fortunato, E; Pinelo, A.; Hadjadji, T. e Lobo da Costa, J. *Aspectos geotécnicos da reabilitação de infra-estruturas ferroviárias*. Actas do VII Congresso Nacional de Geotecnia, Porto, 2000.
- Mateus da Silva, J. M. e Jeremias, F. T. *Metodologia para a inventariação, diagnóstico e proposta de medidas correctivas-tipo para taludes: caso da renovação da Linha do Norte*. Actas do VII Congresso Nacional de Geotecnia, Porto, 2000.
- Office de Recherches et d' Essais (ORE) de l' Union Internationale des Chemins de fer (UIC). *Adaptation optimale de la voie clasique au trafic de l'avenir*. Rapport No 16 – Filtration et drainage, Utrecht, 1981.
- Union Internationale des Chemins de fer (UIC) *Ouvrages en terre et couches d'assise ferroviaires*, 1994.