

# O Geotêxtil como Elemento de Separação em Pavimentos Ferroviários

**Laura Maria Goretti da Motta**

*Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil*

## RESUMO

Apresenta-se a aplicação de geotêxteis como separação entre o lastro e o subleito, no trecho entre Engenheiro Pedreira e Japeri, km 56, da malha ferroviária da FLUMITRENS, no Rio de Janeiro. Trata-se de um trecho que apresentava historicamente graves problemas de perda de geometria da via ocasionados pela contaminação do lastro por finos. A aplicação de geotêxtil, realizada em 1986, transformou correções geométricas semanais em anuais; em 1989, realizou-se a primeira inspeção para verificação do nível de contaminação; em 1997, o trecho foi reexaminado, como parte de extensivo programa de pesquisa ferroviária empreendido pelos autores. Nesta última ação, documentou-se o estado do lastro, dormentes e geotêxteis, coletaram-se amostras para ensaios de laboratório e realizaram-se ensaios de campo. Foram utilizados critérios internacionalmente aceitos para avaliação do grau de contaminação do lastro e, portanto, de desempenho do geotêxtil como elemento de separação.

**Jorge Luís Goudene Spada e Luiz Francisco Muniz da Silva** *Muniz & Spada*  
*Engenheiros Consultores, Brasil*

## INTRODUÇÃO

A necessidade de atualização tecnológica na área de manutenção da via permanente ferroviária é cada vez mais premente no meio técnico brasileiro em especial e, também, uma tendência mundial.

A Mecânica dos Pavimentos, o principal instrumento que vem sendo utilizado nesta modernização, transformando os conceitos da interação material rodante x via, trata de uma parte da via permanente que nem é a superestrutura, nem a infra-estrutura tradicionais, nem inteiramente a própria via permanente.

De forma a romper com a estanqueidade de conceitos antigos, dentro de uma visão sistêmica mais adequada, propôs-se instituir a terminologia Pavimento Ferroviário nomeando o sistema estrutural em camadas a ser tratado sob a ótica da Mecânica dos Pavimentos, constituído por trilhos, fixações e demais acessórios metálicos e de apoio, dormentes, lastro, sublastro (quando for o caso) e subleito.

O presente trabalho apresenta uma pequena parte do projeto de pesquisa intitulado “Atualização Tecnológica para Manutenção da Via Permanente”, fruto do Convênio COPPE – FLUMITRENS, e que foi estruturado em três etapas, as duas primeiras das quais já concluídas: Etapa I – Definição de Critérios para Qualificação e Acompanhamento de

Desempenho do Lastro; Etapa II – A Deformabilidade da Via como Instrumento de Qualificação; Etapa III – Proposta de Modelo de Manutenção. Dentre outras atividades, foram realizados perto de 500 ensaios de laboratório e cerca de uma centena de ensaios de campo.

### **O PAVIMENTO FERROVIÁRIO**

O sistema Pavimento Ferroviário se destina a receber adequadamente as cargas oriundas das passagens dos trens, querendo isso dizer que as solicitações devem ser não só resistidas no sentido de não haver ruptura global ou localizada, mas também de manter as deformações em um nível conveniente. A questão dos pavimentos é a de um problema geotécnico de deformação (e quase nunca de ruptura); e as deformações são de duas naturezas: as elásticas ou resilientes (deflexões) e as plásticas ou permanentes (recalques). Estas últimas são as únicas consideradas tradicionalmente na manutenção das vias permanentes ferroviárias, uma vez que são as responsáveis pelas perdas de geometria, sintoma mais aparente da inadequação operacional. O fato novo descortinado pela Mecânica dos Pavimentos são as deformações elásticas como condição determinante, tanto da qualidade operacional ou funcional (níveis de serventia), quanto da vida útil dos componentes da via; as deformações elásticas são, ainda, parte integrante do problema de perda de geometria; demonstra-se (Hay 1982) que quanto maiores as deflexões, mais rapidamente a geometria se degrada.

Um problema clássico da via permanente ferroviária, e sobre o qual o presente trabalho busca lançar luz com as ferramentas da Mecânica dos Pavimentos, é o

processo de contaminação ou poluição do lastro. Não há claro entendimento no meio técnico ferroviário sobre a natureza do fenômeno e, conseqüentemente, as soluções empregadas nem sempre são bem-sucedidas. Na realidade, o processo é oriundo de quatro fontes possíveis: quebra de lastro, infiltrações pela superfície, abrasão de dormentes de concreto e ascensão de finos da plataforma gerada por ação de “bombeamento” (“pumping”).

O problema está ligado à presença de finos nos lastros (fino aqui está referido a partículas de granulometria muito inferior à do lastro e não necessariamente só a frações passantes na peneira # 200), normalmente em condições de saturação, baixando significativamente a capacidade de suporte da via. São os chamados “bolsões de lama”, acreditados e tratados no Brasil como sendo unicamente originados de subpenetração do material da plataforma, induzida pela baixa resistência ao cisalhamento de subleitos saturados, em situação de carregamento não-drenado (ruptura a volume constante). No entanto, levantamentos sistematizados nos Estados Unidos e Inglaterra dão conta que a grande maioria dos processos de contaminação tem sua fonte na quebra de lastro (Selig e Waters 1994).

No Brasil, fora a pesquisa desenvolvida no Convênio COPPE – FLUMITRENS, não se conhece algum outro registro organizado, comprovando com base em análises conclusivas, as origens das ocorrências de contaminação. Nesta pesquisa, durante as investigações de campo, nos trechos onde foi possível alcançar profundidades abaixo do lastro, constatou-se,

também, que a maioria de ocorrências de contaminação deveu-se à quebra de lastro (COPPETEC 1997).

Para avaliação da contaminação granulométrica de lastros ferroviários tem sido utilizado, internacionalmente, o “fouling index”,  $F_1$ , índice de contaminação do lastro, expresso por (Selig e Waters 1994):

$$F_1 = P_4 + P_{200} \quad (1)$$

onde  $P_4$  e  $P_{200}$  são as percentagens em pesos passantes, respectivamente, nas peneiras #4 e #200. Os autores sugerem, ainda, a classificação apresentada na Tabela 1.

*Tabela 1.* Classificação do lastro quanto à contaminação

---

$F_1 < 1$	lastro limpo
$1 < F_1 < 10$	lastro moderadamente limpo
$10 \leq F_1 < 20$	lastro moderadamente contaminado
$20 \leq F_1 < 40$	lastro contaminado
$F_1 \geq 40$	lastro altamente contaminado

---

Na pesquisa levada a efeito a partir do Convênio COPPE – FLUMITRENS, com base no índice de contaminação  $F_1$ , pôde-se verificar que 77% das amostras coletadas apresentaram-se como contaminadas (57%) a altamente contaminadas (20%), enquanto que, apenas, 6% puderam ser classificadas como limpas.

De forma a aprofundar a análise no sentido de verificar a compatibilidade da

granulometria do lastro e do subleito, recorreu-se ao critério de Terzaghi de retenção de partículas para solos não coesivos em condições de fluxo permanente. Cabe ressaltar que, mesmo que a condição de carregamento imposta pela passagem dos trens seja de uma natureza diferente em relação ao que foi previsto por Terzaghi para o uso do seu critério, avaliou-se (Sherard et al. 1984) que este apresenta um fator de segurança da ordem de 2, constatação que autoriza a adoção do critério, mesmo numa condição severa como a do pavimento ferroviário. O critério de Terzaghi prescreve:

$$\frac{D_{15}}{d_{85}} \leq 5 \quad (2)$$

sendo, no caso das vias férreas, o diâmetro do lastro correspondente a 15% em peso de todas as partículas menores que ele, e  $d_{85}$ , o diâmetro da partícula do solo do subleito ou da camada imediatamente abaixo do lastro, correspondente a 85% em peso de todas as partículas menores que ele.

Sabe-se que as massas granulares que os lastros constituem tendem a desenvolver mais intensamente o fenômeno de quebra, quanto mais uniforme for a sua distribuição granulométrica e maior for o diâmetro médio de suas partículas (Lambe e Whitman 1969). A EB-655, Lastro-Padrão, da ABNT, prescreve uma faixa granulométrica, enquadrando o material de lastro numa granulometria muito uniforme ( $C_u$ , coeficiente de uniformidade, em torno de 2). A faixa granulométrica normalizada admite um máximo de 13% em peso de lastro passando na peneira #3/4”. Considerando esta constatação, e

somada à observação de quase 100 ensaios de granulometria realizados em amostras coletadas de diversas profundidades para o Convênio COPPE – FLUMITRENS, nos quais, na peneira #3/4”, ocorreu sempre uma mudança acentuada nas curvas granulométricas, estabeleceu-se a quantidade de lastro que passa nesta peneira como um parâmetro definidor de quanto os lastros se afastam ou se aproximam do padrão prescrito pela EB-655, dentro, ainda, da preocupação com a granulometria do lastro, a partir de um novo ponto de vista.

#### **O KM 56 DA MALHA DA FLUMITRENS**

O km 56 da Linha do Centro da malha suburbana do Rio de Janeiro localiza-se entre as Estações de Engenheiro Pedreira e Japeri.

Esta região é o final da Baixada Fluminense, já se aproximando do sopé da Serra do Mar, e o desenvolvimento da ferrovia, nesta área, atravessa morros tipo meia-laranja, entremeados com solos coluvionares bem desenvolvidos, e colmatados nos vales por aluviões de baixada; os solos residuais ocorrentes apresentam matriz silto-argilosa.

O trecho ferroviário no km 56 se constitui de um traçado em pequena tangente entre duas curvas, transpondo uma região em corte; a plataforma é em linha tripla, com dormentação de concreto monobloco, barras longas TR-57 e fixação elástica Pandrol.

Em 1986, foram realizadas obras de drenagem da plataforma, com a instalação de drenos profundos longitudinais, com ramificações transversais nos locais onde se evidenciavam saturação e acumulações de água; o sistema de drenagem instalado foi constituído por tubos de concreto poroso com 20cm de diâmetro, totalmente envolvidos por brita 1,

instalados no interior de uma cava de 1,70m de profundidade subleito adentro. Adicionalmente, foi realizado no trecho o desguarnecimento total da linha (retirada do lastro antigo), visando a renovação de todo o lastro; entre a plataforma e o novo lastro lançado, foram aplicadas em dois subtrechos, tanto na linha 1 quanto na linha 2, mantas geotêxteis para separação.

Entre os km 56 + 225 e 56 + 334 foi aplicado o geotêxtil tecido PROPEX 4004, e entre os km 56 + 375 e 56 + 450, o geotêxtil não-tecido, agulhado BIDIM OP-40, ambos cobrindo toda a largura da linha (Arruda F<sup>o</sup> e Sampaio 1987).

Em inspeção realizada oito meses após a conclusão da obra (Arruda F<sup>o</sup> e Sampaio 1987), pôde ser observado que, nos subtrechos onde os geotêxteis foram aplicados, o lastro apresentava-se bastante limpo, com raros e esparsos finos misturados, e as mantas exibiam grande concentração de finos bloqueados na face inferior que havia ficado em contato com o subleito. Nos trechos desguarnecidos, onde não houve aplicação de geotêxtil, ocorreram contaminações disseminadas em vários pontos do lastro, formando “bolsões de lama” aflorantes na superfície. Quanto ao nivelamento da via, observou-se estabilização nos subtrechos de aplicação da manta, enquanto nos subtrechos que evidenciaram contaminação, foram observados pequenos recalques diferenciais.

Em agosto de 1989, portanto, três anos após a aplicação, por ocasião do Curso “Aspectos Geotécnicos da Via Permanente Ferroviária”, organizado pela COPPE e ministrado pelo Professor Ernest T. Selig, da Universidade de Massachusetts, foi realizada

nova inspeção no km 56. Constatou-se nesta ocasião, pelo exame visual do grupo de participantes do Curso, e documentado fotograficamente pelo 1º autor, que a escavação aberta expondo a parede de lastro abaixo da base do dormente, indicava intenso processo de contaminação do lastro por ascensão do solo do subleito, no subtrecho correspondente à aplicação do geotêxtil tecido. No subtrecho tratado com manta agulhada não-tecida, o lastro revelava-se isento de finos advindos do subleito, tendo sido rasgado intencionalmente o geotêxtil para comprovar a diferença entre o subleito e o pó-de-pedra ocorrente acima do geotêxtil e originário da própria exploração da pedra que forneceu o lastro.

Em abril de 1997, portanto, onze anos depois da aplicação dos geotêxteis, atendendo o Convênio COPPE – FLUMITRENS, em sua

Etapa I, por ocasião dos trabalhos de campo, o km 56 foi novamente inspecionado, e foram abertas trincheiras, transversais à linha, de modo que fosse possível coletarem-se amostras sob o ponto de encontro do dormente com o trilho. Do lastro, com 32cm de espessura até chegar ao geotêxtil, foram coletadas duas amostras a pá, em dois diferentes níveis de profundidade; foram coletadas quatro amostras a pá do subleito entre 32 e 42cm e foi moldado bloco indeformado entre 42 e 72cm. A escavação foi conduzida até 1,30m e não foi encontrado N.A. até esta profundidade. Foram procedidos, ainda, dois ensaios com o penetrômetro de peso leve (PPL) em duas profundidades diferentes do subleito. O PPL é um equipamento portátil, cujos resultados

permitem correlação com o ensaio SPT de uma sondagem a percussão

( $N_{PPL} \sim 1,5N_{SPT}$ , para este equipamento). Todas estas ações foram realizadas no subtrecho tratado com manta agulhada não-tecida. Não foi reexaminado o subtrecho com geotêxtil tecido, tendo em vista já ter sido constatado na inspeção de 1989, o intenso processo de contaminação.

Desta última intervenção, dispõe-se de farta documentação fotográfica, revelando o adiantado estado de degradação das faces inferiores e laterais de dormentes de concreto, dando conta do intenso processo de abrasão com o lastro. Observou-se, ainda, o puncionamento bastante disseminado na manta de geotêxtil agulhado não tecido; como conseqüência pôde se constatar a contaminação por finos ocorrendo por, praticamente, toda a espessura do lastro.

## RESULTADOS DE ENSAIOS

Foram realizadas análises granulométricas em cinco amostras consideradas representativas da estrutura do pavimento ferroviário do km 56, trecho de aplicação do Bidim OP-40, apresentadas na Figura 1. Três destas curvas referem-se a lastro, sendo que as duas superiores, relativas às profundidades de 0,0-0,2m e 0,2-0,32m, são amostras de lastro acima do geotêxtil, e a terceira das profundidades, de 0,32-0,42m, de amostras abaixo da manta, remanescente do lastro antigo. As outras duas curvas são do solo que compõe o subleito propriamente dito. A partir das curvas granulométricas de lastro foram determinados os valores de três parâmetros de avaliação do grau de contaminação do lastro, o coeficiente de uniformidade ( $C_U$ ), a percentagem em peso de lastro passando na peneira #3/4” e o

índice de contaminação do lastro ( $F_1$ ); tais resultados são indicados na Tabela 2.

Tabela 2. Parâmetros de contaminação do lastro

Prof.	$C_u$	%passa #3/4"	$F_1$
0,0-0,2	25	26	15
0,2-0,32	45	24	20
0,32-0,42	106	35	32

Tabela 3. Análise de difração de raio X

Prof.	Material	Minerais
0,28-0,32	lastro	Mica primária e caolinita
0,42-0,72	subleito	caolinita

Os resultados dos ensaios de caracterização do subleito foram reunidos na Tabela 4. Ainda foi possível determinar o peso específico natural da amostra relativa as profundidades de 0,42-0,72m no valor de 19,2

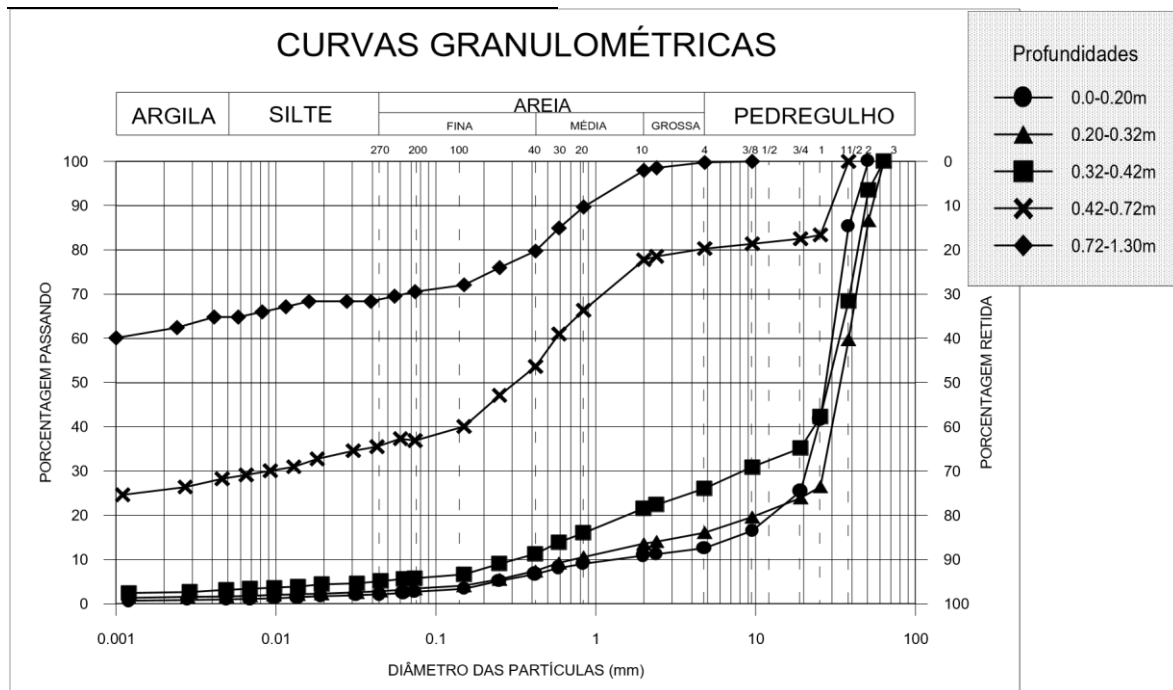


Figura 1. Curvas granulométricas do lastro e subleito do km 56+400, linha 1

Em função dos sinais evidentes de ascensão de finos do subleito, foram executados ensaios de difração de raio X sobre o material das amostras passantes na peneira 10 (vide Tabela 3).

$kN/m^3$ .

Tabela 4. Caracterização do subleito

Prof.	PPL	$G_s$	LL	LP
0,42-0,72	$N_{SPT}=3$	2,67	47,8	28,8

0,72-1,30  $N_{SPT}=4$  2,66 84,3 53,1

Os dados de classificação do subleito foram agrupados na Tabela 5.

Tabela 5. Classificação do subleito

Prof.	Origem do solo	Class. Unif.	HRB	MCT
0,42-0,72	coluvionar	SM	A76	-
0,72-1,30	coluvionar	ML	A76	LG'

#### ANÁLISE DOS RESULTADOS

No km 56, ao se aplicar o critério de retenção de partículas de Terzaghi para um lastro novo e a camada superior do subleito (prof. 0,420,72m), uma areia silto argilosa, verifica-se que o referido critério não é atendido, o que indica a necessidade de uma camada de filtro para que não venha ocorrer a ascensão dos finos da plataforma para o lastro.

De acordo com Selig e Byrne (1993), para que um geotêxtil cumpra efetivamente a função de separação, a sua abertura de filtração precisa ser menor que a maior partícula de solo a ser contida. Seguindo-se esta recomendação e tomando-se como um valor representativo da maior dimensão do solo, constata-se que, dos dois geotêxteis empregados, BIDIM OP-40 e PROPEX 4004, como elementos de filtro para a camada superior do subleito, somente o primeiro funciona como separador, o que é concordante com o que se observou na inspeção de 1989 no referido local.

Os resultados dos ensaios de difração de raio X indicados na Tabela 3 revelaram que houve ascensão de finos do subleito, já

que o mesmo argilo-mineral presente no subleito, caolinita, também foi encontrado nos finos do lastro juntamente com o mineral esperado, mica em estado primário ou cristalino, que, nestas condições, só é encontrada em rochas. Este resultado é reflexo do que se pode observar nos trabalhos de campo de abril de 1997, quando foi possível verificar que o BIDIM OP-40 apresentava perfurações de 1 a 2 mm de diâmetro, de forma disseminada. Apesar do geotêxtil ter permitido a ascensão de finos, o valor de  $F_1$  do lastro acima da manta é 20, limite inferior da classificação de lastro como contaminado, após dez anos de uso. A explicação para este bom desempenho está ligada à característica predominantemente arenosa da camada superior do subleito.

Uma expectativa possível de se ter é que a camada de lastro antigo pudesse funcionar como uma camada de filtro entre o lastro mais recente e o subleito. No entanto, quando se observa a curva granulométrica da amostra de lastro antigo (prof. 0,32-0,42m), identifica-se uma granulometria amplamente graduada com um coeficiente de uniformidade de 106, e que, adicionalmente, exibe concavidade para cima; estas são características típicas de materiais internamente instáveis, que apresentam uma estrutura que permite o movimento de finos através do seu próprio esqueleto de partículas grosseiras (Lafleur et al. 1989).

#### CONCLUSÕES

As atividades desenvolvidas permitem destacar alguns aspectos apresentados a seguir, como fatores de grande importância relacionados à via permanente e à operação ferroviária:

· As massas granulares que os lastros constituem tendem a desenvolver mais intensamente o fenômeno de quebra, quanto mais uniforme for a sua distribuição granulométrica e maior for o diâmetro médio de suas partículas (Lambe e Whitman 1969). Naturalmente, o emprego de geotêxtil como camada de separação para tais tipos de ocorrência é absolutamente inócuo.

· Provavelmente, o fator de maior influência sobre a resistência e a compressibilidade do lastro é o fenômeno de quebra quando submetido a variações no seu estado de tensão (Marsal 1967). Pesquisas realizadas nos EUA e Inglaterra indicam que a grande maioria dos processos de contaminação tem sua fonte na quebra de lastro (Selig e Waters 1994). Também nos estudos realizados no Convênio COPPE-FLUMITRENS, constatou-se o mesmo.

· O PROPEX 4004 apresenta uma abertura de filtração inadequada para o local em que foi utilizado.

· O BIDIM OP-40, pelos dados analisados enquanto manteve-se íntegro às solicitações dinâmicas impostas pela passagem dos trens, pôde cumprir a função de separação. No entanto, mostrou-se incapaz de suportar o carregamento cíclico dos trens, posicionado, por um período mais longo, entre um lastro mais recente e um mais antigo, chegando a apresentar-se inteiramente punccionado após 11 anos de serviço.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arruda F<sup>o</sup>, A. e Sampaio, J.F.B. (1987) Estabilização da Superestrutura – Influência dos Bolsões de Lama, 19<sup>a</sup> Reunião Técnica sobre Superestrutura da Via, SCB 6:02 – CB 6 – ABNT, Salvador.
- COPPETEC (1997) *Atualização Tecnológica para Manutenção da Via Permanente* – Relatório Final da 1<sup>a</sup> Etapa - Convênio COPPE – FLUMITRENS.
- Hay, W.W. (1982) *Railroad Engineering* John Wiley & Sons Inc., New York, NY, USA.
- Lambe, T.W. e Whitman, R.V. (1969) *Soil Mechanics* John Wiley & Sons Inc., New York, NY, USA.
- Lafleur, J., Mlynarek, J. e Rollin, A.L. (1989) Filtration of Broadly Graded Cohesionless Soils *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, Vol. 115, N<sup>o</sup> 12, p. 1747-1768.
- Marsal, R.J. (1967) Large Scale Testing of Rockfill Materials, *Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division*, ASCE, Vol. 93, N<sup>o</sup> SM2, Paper 5128, March, p.27-43.
- Selig, E.T. e Waters, J.M. (1994) *Track Geotechnology and Substructure Management* Thomas Telford Services Ltd., London.
- Selig, E.T. e Byrne, B.J. (1993) Effectiveness of Geotextiles as an Alternative to Subballast *Fifth International Heavy Haul Railway Conference*, Beijing, China.
- Sherard, J.L., Dunnigan, L.P. e Talbot, J.R. (1984) Basic Properties of Sands and Gravel Filters, *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, Vol. 110, p. 684-718. ◆