



## Caracterização de rocha granítica para ser utilizada como lastro na Estrada De Ferro Carajás

### Characterization of granitic rock to be used as ballast in the Carajás Railroad

Ronderson Queiroz Hilario  
Gilberto Fernandes  
Hebert da Consolação Alves  
Gabriel Cordeiro Costa  
Eduardo Afonso Dias  
Igor Guilherme Santos  
Pedro Henrique M de Andrade Coutinho  
Edgar Alfredo Sá  
Ralph Werner Heringer Oliveira

**Resumo:** O lastro ferroviário deve ser constituído por materiais pesados e duráveis, dotados de grãos angulares, não contaminados e livres de pó. Em função da disponibilidade e de considerações econômicas, uma gama extensiva de materiais tem sido empregada como lastro, tais como granitos, basaltos, rochas calcárias, escórias e outras litologias. Uma das principais funções do lastro é a de manter a posição da via resistindo às forças verticais, laterais e longitudinais aplicadas aos dormentes. O lastro também provê resiliência e absorção de energia pela via que, em troca, reduz as tensões nos materiais subjacentes para níveis aceitáveis. São requeridas para o lastro faixas granulométricas que permitam uma resposta mecânica proporcional à carga por eixo e que facilitem a drenagem da via. O presente trabalho tem como objetivo avaliar e caracterizar as propriedades físicas e mecânicas de um agregado pétreo proveniente de uma rocha granítica localizada na região norte do Brasil para ser utilizada na Estrada de Ferro Carajás. O estudo torna-se extremamente relevante, pois o conhecimento das propriedades físicas é essencial para aumentar a qualidade e aperfeiçoar o processo de utilização do material em questão. A caracterização do granito foi realizada por meio dos ensaios de: análise granulométrica, determinação da abrasão “Los Angeles”, da resistência ao choque - índice de tenacidade TRETON, massa específica aparente, absorção e porosidade aparente, forma do material, teor de fragmentos macios e friáveis, teor de argila em torrões, carga pontual e resistência a intempéries. Todos estes índices têm como referência os padrões estabelecidos pela NBR 5564: ABNT 2014 (Associação Brasileira de Normas Técnicas) e ASTM (American Society of Testing Materials).

**Palavras-chave:** Lastro, rocha granítica, Estrada de Ferro Carajás.

**Abstract:** The railway ballast shall consist of heavy and durable materials, provided with angular grains, uncontaminated and free of dust. Depending on availability and economic considerations, a wide range of materials have been used as ballast, such as granite, basalt, limestone, slag and other lithologies. One of the ballast's functions is to maintain track position resisting to vertical, lateral and longitudinal forces applied to the sleepers. The ballast also provides resiliency and energy absorption by the route which, in turn, reduces stresses in the underlying materials to acceptable levels. Particle sizes that allow proportional mechanical response to the axle load and facilitate drainage pathway are required for the ballast. This study aims to evaluate and characterize the physical and mechanical properties of a stony aggregate from a granite rock located in northern Brazil that is gonna be used in the Carajás Railroad. The study is particularly relevant as the knowledge of the physical properties is essential for improving the quality and enhances the process of using the material in question. The characterization of the granite was performed by means of tests: particle size analysis, determination of abrasion "Los Angeles", the crashworthiness - Treton tenacity index, density, absorption and apparent porosity, shape of the material, content of soft fragments and friable, clay lumps content, point load and weather resistance. All these indices are referenced to standards established by NBR 5564: ABNT 2014 (Associação Brasileira de Normas Técnicas) e and ASTM (American Society of Testing Materials).

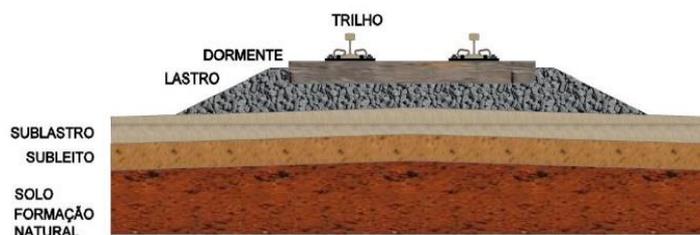
**Keywords:** Ballast, granitic rock, Carajás Railroad.

---

## 1. Introdução

A via ferroviária convencional tem sua estrutura ser divididas em superestrutura e a infraestrutura. De acordo com Selig e Waters (1994), a superestrutura refere-se à parte de topo da via que contém os trilhos, o sistema de fixação e os dormentes, e em infraestrutura, parte inferior da via, compreendendo o lastro, o sublastro e o subleito. No Brasil, a superestrutura refere-se à parte que contém os trilhos, o sistema de fixação, os dormentes, o lastro e o sublastro enquanto a infraestrutura refere-se à parte inferior da via, compreendendo o subleito, o solo natural e demais obras correntes (por exemplo, os elementos de drenagem).

A camada acima do sublastro é o lastro, constituído por material granular britado colocado nos berços entre os dormentes e nas ombreiras, após as extremidades dos dormentes. Uma das principais funções do lastro é a de manter a posição da via resistindo às forças verticais, laterais e longitudinais aplicadas aos dormentes (Oliveira, 2013). A Figura 1 apresenta o perfil típico de uma via ferroviária convencional.



**Figura 1:** Perfil típico da via permanente - vista transversal (Oliveira, 2013).

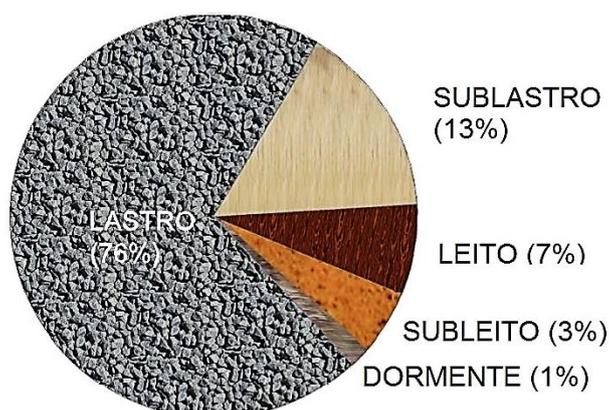
Ainda segundo Oliveira (2013), em princípio, os lastros devem ser constituídos por materiais pesados e duráveis, dotados de grãos angulares, não contaminados e livres de pó. Em função da disponibilidade e de considerações econômicas, uma gama extensiva de materiais tem sido empregada como lastro, tais como granitos, basaltos, rochas calcárias, escórias e outras litologias. O lastro também provê resiliência e absorção de energia pela via que, em troca, reduz as tensões nos materiais subjacentes para níveis aceitáveis. São requeridas para o lastro faixas granulométricas que proporcionem o armazenamento de materiais contaminantes e que facilitem a drenagem da água da via. O lastro também precisa ter mobilidade para rearranjar-se durante a manutenção niveladora e as operações de alinhamento.

Segundo Selig e Waters (1994), o lastro está submetido a dois tipos principais de esforços: as forças de esmagamento da socaria durante as operações de manutenção que podem causar danos substanciais ao lastro, se esta foram elevadas e as forças verticais induzidas pelo trem em movimento.

A força vertical é uma combinação de uma carga estática e uma componente dinâmica, sobrepostas no carregamento estático. A carga estática é o peso estacionário do trem na

superestrutura, enquanto que a componente dinâmica, também conhecida como o incremento dinâmico, depende da velocidade do trem e das condições da via permanente (Lim, 2004).

Além dessas duas forças principais, o lastro também sofre o efeito de forças laterais e longitudinais que são muito mais difíceis de prever do que as forças verticais. Estas forças, bem como à inserção de materiais externos, como derrames de vagão e infiltração de materiais subjacentes ao lastro resultam em processos de deterioração da via (Oliveira, 2013). A figura 2 apresenta os resultados do estudo da contaminação do lastro de uma ferrovia norte americana.



**Figura 2:** Fontes de contaminação do lastro (Selig e Waters, 1994; Oliveira, 2013).

Selig e Waters (1994) sistematizaram as contaminações potenciais dos materiais de construção para uma ferrovia norte americana, sendo a principal causa o resultado da quebra das partículas de material que ocorrem no lastro. Outros materiais contaminantes ocorrem por efeitos de infiltração do sublastro, subleito, materiais da superfície e dos dormentes utilizados.

Os materiais contaminantes podem causar efeitos adversos ao lastro contaminado. O efeito depende do tipo de material contaminante, do grau de contaminação e da quantidade de água presente.

Han e Selig (1997) realizaram ensaios em uma caixa teste para investigar o efeito de diferentes materiais contaminantes nos recalques sofridos pelo lastro. Constatou-se que os recalques no lastro tendem a aumentar com o aumento do grau de contaminação para todos os materiais, sendo observados maiores recalques para o caso de o material contaminante ser uma argila úmida, para um grau de contaminação menor que 20 %, sendo, entretanto, o efeito mais pronunciado para contaminação com silte úmido, para graus de contaminação superiores a 20 %. Os referidos autores constataram ainda que os recalques do lastro tendiam a ser mais próximos para materiais contaminantes e teores de água diferentes, no caso de graus de contaminação inferiores a 20 %. Eles interpretaram estes resultados considerando que, para graus de contaminação inferiores a 20 %, as partículas de lastro conformavam ainda o esqueleto estrutural e, assim, respondiam efetivamente pelas características de resistência do lastro, independentemente da natureza do material contaminante.

Como uma das funções principais do lastro é prover grandes vazios para drenagem, os efeitos da inclusão de materiais contaminantes resultam no preenchimento destes espaços, com uma consequente perda da permeabilidade do lastro. Outros problemas seriam a geração de poro pressões e os efeitos de lubrificação entre as partículas do lastro pela ação dos materiais contaminantes (Lim, 2004).

Selig et al. (1993), quantificaram estes efeitos sobre a permeabilidade de lastros. A Tabela 1 apresenta os valores medidos da condutividade hidráulica em amostras de lastro limpo até muito contaminado. Na tabela, os graus de contaminação foram expressos em termos do chamado Índice de contaminação (FI), dado por meio da equação a seguir.

$$F = P4 + P200 \quad (1)$$

Sendo P4 e P200 as porcentagens em massa dos materiais passantes nas peneiras de 4,75mm e 0,075mm, respectivamente.

**Tabela 1:** Condutividade hidráulica para o lastro (Selig et al., 1993).

Grau de contaminação	Índice de contaminação	Condutividade Hidráulica $k_h$	
		(in./sec.)	(mm/s)
Limpo	< 1	1 – 2	25 – 50
Moderadamente limpo	1 – 9	0,1 – 1	2,5 – 25
Moderadamente contaminado	10 – 19	0,06 – 0,1	1,5 – 2,5
Contaminado	20 – 39	0,0002 – 0,06	0,005 – 1,5
Altamente contaminado	> 39	< 0,0002	< 0,005

Os valores da Tabela 1 evidenciam que a condutividade hidráulica do lastro é reduzida consideravelmente com o aumento do grau de contaminação. Por exemplo, a condutividade hidráulica de um lastro limpo reduz-se de um fator de 104 quando ele se torna muito contaminado.

Selig et al. (1993), notaram também que, com o aumento do grau de contaminação, as condutividades hidráulicas das amostras tenderam a ser altamente dependentes do processo de preenchimento sequencial dos poros do lastro. Nestes termos, a permeabilidade do lastro é afetada, em grande escala, tanto pela natureza do material contaminante, como pela forma de distribuição do mesmo ao longo do lastro e também pelo grau de consolidação “in situ” do contaminante em torno dos fragmentos do lastro.

Os materiais para lastro no Brasil são selecionados de acordo com a especificação vigente NBR 5564 (ABNT, 2014), contendo basicamente prescrições em termos de granulometria, propriedades de resistência e forma do material de lastro, associadas ao caráter de observância obrigatória ou não da especificação como mostrado nas Tabelas 2 e 3.

**Tabela 2:** Propriedades físicas do lastro padrão NBR 5564 ( ABNT, 2014).

Tolerâncias	Especificações	Obrigatório
Forma da partícula	Cúbica	Sim
Partículas não cúbicas máx.	15 %	Sim
Massa específica aparente mín.	2,5 g/cm <sup>3</sup>	Sim
Absorção de água máx.	0,8 %	Sim
Porosidade aparente máx.	1,5 %	Sim
Resistência à compressão axial min.	100 MPa	Sim
Resistência ao choque – índice de tenacidade TRETON máx.	25 %	Sim
Resistência ao desgaste – abrasão Los Angeles máx.	30 %	Sim
Material pulverulento máx.	1 %	Sim
Torrões de argila máx.	0,5 %	Sim
Limite de massa unitária no estado solto	1,25 g/dm <sup>3</sup>	Sim
Resistência à intempérie máx.	10 %	Não
Teor de fragmentos macios e friáveis máx.	5 %	Não

**Tabela 3:** Distribuição granulométrica do lastro padrão NBR 5564 ( ABNT, 2014).

Malha da peneira		Porcentagem em massa acumulada %	
		NBR 5564	
Número	mm	Padrão A	Padrão B
3"	76,2	-	0 – 0
2 1/2"	63,5	0 – 0	0 – 10
2"	50,8	0 – 10	-
1 1/2"	38,0	30 – 65	40 – 75
1"	25,4	85 – 100	-
3/4"	19,0	-	90 – 100
1/2"	12,0	95 – 100	98 – 100

Por meio da granulometria, também são obtidos a dimensão máxima característica (DMC) - abertura nominal, em milímetros, da malha da peneira da série normal ou intermediária, na qual o agregado apresenta uma porcentagem retida acumulada igual ou imediatamente inferior a 5 % em massa, e o módulo de finura - soma das porcentagens retidas acumuladas em massa de um agregado, nas peneiras da série normal, dividida por 100.

Segundo Oliveira (2013), ao observar as faixas granulométricas recomendadas pela NBR 5564 (ABNT, 2014), e pela NBR 7211 (ABNT, 2009), verificou que o diâmetro máximo característico do material para lastro ferroviário varia de 63 a 50 mm e o módulo de finura do material para lastro ferroviário varia entre 8 e 8,90.

De acordo com Muniz da Silva (2002), com a granulometria, também é possível obter o coeficiente de não uniformidade (C<sub>nu</sub>) e o coeficiente de curvatura (C<sub>c</sub>) para o lastro padrão, que

segundo o referido autor, possui um coeficiente de não uniformidade menor que 4, constituindo um material de granulometria uniforme.

## 2. Materiais e métodos

O material analisado é um granito transformado em brita e sua amostragem foi feita utilizando os procedimentos indicados na NBR 6490 (ABNT, 2016). Para o ensaio foi coletado uma amostra com cerca de 300 kg.

A caracterização do granito foi realizada por meio dos ensaios de: análise granulométrica, determinação da abrasão “Los Angeles”, da resistência ao choque - índice de tenacidade TRETON, massa específica aparente, absorção e porosidade aparente, forma do material, teor de fragmentos macios e friáveis, torrões de argila e carga pontual. Todos estes índices têm como referência os padrões estabelecidos pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) e ASTM (American Society of Testing Materials).

## 3. Resultados

### 3.1. Ensaio de granulometria

No ensaio de granulometria do granito, empregou-se um peneiramento manual e mecânico, com uma série de peneiras padronizadas pela metodologia das normas. O ensaio foi estabelecido de acordo com as especificações NBR NM 248 (ABNT, 2003). A Tabela 4 apresenta o resultado obtido no ensaio.

**Tabela 4:** Distribuição granulométrica do lastro padrão.

Peneiras		Material Retido (g)	Porcentagem em Peso		
Número	(mm)		% Retido	% Acumulada	% Passante
3"	76	0,0	0,0	0,0	100,0
2 1/2"	63	14190,000	4,2	4,2	95,8
2"	50	93621,000	28,0	32,3	67,7
1 1/2"	38	98161,000	29,4	61,7	38,3
1"	25	88734,000	26,6	88,3	11,7
3/4"	19	31796,000	9,5	97,8	2,2
1/2"	12,5	6126,340	1,8	99,6	0,4
3/8"	9,5	262,540	0,1	99,7	0,3
1/4"	6,3	137,570	0,0	99,7	0,3
4	4,8	35,590	0,01	99,7	0,3
8	2,4	78,430	0,02	99,8	0,2
10	2	0,000	0,00	99,8	0,2
16	1,2	0,000	0,00	99,8	0,2
30	0,6	0,000	0,00	99,8	0,2

50	0,3	0,000	0,00	99,8	0,2
100	0,15	0,000	0,00	99,8	0,2
200	0,074	379,98	0,11	99,9	0,1
<b>Prato</b>		399,430	0,12	100,00	0,0
<b>Total</b>		333921,880	100,0		

Para que o material em estudo seja utilizado como de lastro ferroviário, o mesmo deve apresentar uma granulometria superior a 12,7 mm, salvo uma pequena tolerância de 5 % da massa total.

Com o resultado de granulometria foram calculados o coeficiente de não uniformidade (Cnu), coeficiente de curvatura (Cc), dimensão máxima característica (DMC), módulo de finura, material pulverulento, índice de contaminação e o grau de contaminação, cujos resultado são apresentados na Tabelas 5.

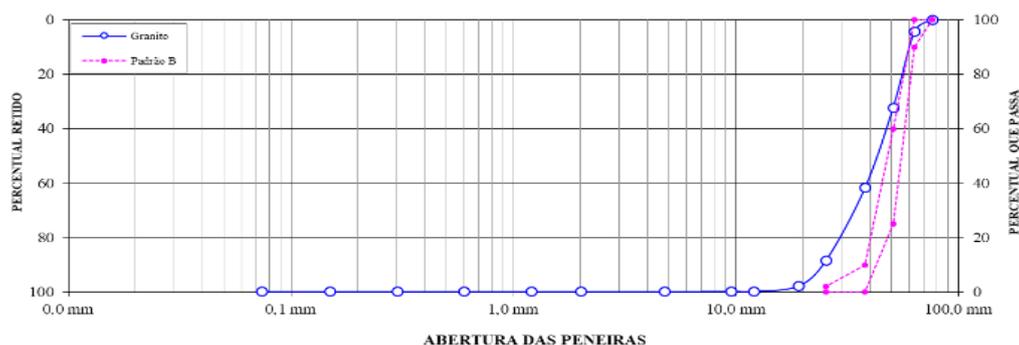
**Tabela 5:** Propriedades geométricas da amostra de granito.

Parâmetro Cnu	Parâmetro Cc	DMC (mm)	Módulo de Finura	Material Pulverulento (%)
2,00	0,95	63	8,58	0,001
Índice de Contaminação			Grau de Contaminação	
0,38			Limpo	

Em comparação com os estudos realizados por Selig et al. (1993), Muniz da Silva (2002), e Oliveira (2013), o material em estudo, apresentou um Cnu menor que 4, constituindo um material de granulometria uniforme, um diâmetro máximo característico de 63 mm, um módulo de finura de 8,38 e um grau de contaminação classificado como limpo demonstrando que o mesmo tem uma ótima condutividade hidráulica, tornando-o adequado nestes quesitos para lastro ferroviário. As Figuras 3 e 4 apresentam as curvas granulométricas padrão A e B.



**Figura 3:** Enquadramento das curvas na faixa padrão A da NBR 5564 (ABNT, 2014).



**Figura 4:** Enquadramento das curvas na faixa padrão B da NBR 5564 (ABNT, 2014).

De acordo com as curvas granulométricas o granito não se enquadra nas especificações da norma para lastro padrão nas faixas padrão A e B da ABNT. O fato do mesmo não se enquadrar nas faixas padrão, pode ser consequência do processo de britagem, sendo necessário a regulagem adequada do britador.

### 3.2. Ensaio de resistência ao choque – Treton

Os resultados do ensaio de resistência ao choque para o material estudado são apresentados na Tabela 6.

**Tabela 6:** Ensaio de resistência ao choque

Nº de Fragmentos	Nº de Golpes	Resistência ao Choque (%)
20	10	6,4

O limite máximo preestabelecido pela norma NBR 5564 (ABNT, 2014), para o ensaio é de 25 %.

### 3.3. Ensaio de forma das partículas

A partir de ensaios realizados, concluímos que o granito possui 93,3 % formato cúbico e 6,7 % não cúbico, como o material possui uma quantidade menor do que 15 % de partículas não cúbicas ele se enquadrando na especificação da norma para lastro padrão definida pela ABNT.

### 3.4. Ensaio de teor de fragmentos macios e friáveis

A análise do teor de fragmentos macios e friáveis está apresentada na Tabela 7. Este ensaio mede a porcentagem da massa total do corpo de prova que não é considerada “sã”. O

resultado encontrado está abaixo do valor de 5% recomendado pela NBR 5564 (ABNT, 2014), ficando dentro dos limites preconizados.

**Tabela 7:** Ensaio de teor de fragmentos macios e friáveis

Número de fragmentos analisados	Teor de fragmento macio e friável (%)
408	3,11

O limite máximo preestabelecido pela norma NBR 5564 (ABNT, 2014), para o ensaio é de 5 %.

### 3.5. Ensaio de abrasão Los Angeles

De acordo com os resultados do ensaio realizado pode-se observar que o material em análise se enquadra nos limites especificados pela norma ABNT. A Tabela 8 apresenta o resultado do ensaio de Abrasão Los Angeles.

**Tabela 8:** Ensaio de abrasão Los Angeles

Graduação da Amostra	Número de Esferas	Peso total da Amostra seca (kg)	Peso total da Amostra após o ensaio (kg)	Desgaste (%)
F	12	10,02	8,662	13,6

O limite máximo preestabelecido pela norma NBR 5564 (ABNT, 2014), para o ensaio é de 30 %.

### 3.6. Ensaio de torrões de argila

No ensaio de torrões de argila da amostra de granito, a porcentagem de torrões de argila encontrada é de 0,13 % dentro dos limites de 0,5 % recomendados pela NBR 5564 (ABNT, 2014).

### 3.7. Ensaio de massa específica, porosidade e absorção aparente

O material atende às especificações de lastro padrão definidas pela ABNT, para massa específica aparente, porosidade e absorção de água, o que pode ser observado na Tabela 9.

**Tabela 9:** Ensaio de massa específica, absorção de água e porosidade aparente

Massa Espec. (g/cm <sup>3</sup> )	Absorção de Água (%)	Porosidade (%)
-----------------------------------	----------------------	----------------

2,64	0,18	0,29
------	------	------

Limites preestabelecidos pela norma NBR 5564 (ABNT, 2014), para o ensaio são: limite mínimo da massa específica aparente igual a 2,5 g/cm<sup>3</sup>; limite máximo da porosidade aparente igual a 1,5 % e limite máximo da absorção de água 0,8 %.

### 3.8. Ensaio de massa unitária

De acordo com a norma NBR NM 45 (ABNT, 2006), a massa unitária do agregado solto é a média dos resultados individuais obtidos em pelo menos três determinações, dividindo-se a massa do agregado pelo volume do recipiente utilizado, que se aplica a agregados secos em estufa, até constância de massa.

O valor da massa unitária encontrada para o material em estudo é de 1410,80 g/dm<sup>3</sup>.

### 3.9. Ensaio de carga pontual

O ensaio foi estabelecido de acordo com a norma D5731 (ASTM, 2008). No ensaio o granito apresentou um plano preferencial de ruptura. O plano paralelo mostrou-se mais apto a sofrer uma ruptura, pois sua resistência é menor neste plano. Os resultados do ensaio de carga pontual se encontram na Tabela 10.

**Tabela 10:** Resultado do ensaio de carga pontual dos materiais.

Índice de Carregamento $I_{S(50)}$ (MPa)		Resistência a Compressão Uniaxial $\delta_{uc}$ (MPa)		Índice de Anisotrópico $I_{a(50)}$
Plano⊥	Plano//	Plano⊥	Plano//	
11,94	10,75	253,27	232,61	1,04

## 4. Conclusão

O material estudado (granito) apresentou valores dentro dos limites recomendados pela ABNT. Exceto por não se enquadrar nas especificações da norma para lastro padrão nas curvas granulométricas das faixas padrão A e B.

Porém o não enquadramento nas faixas padrão, não significa que o material não é adequado para ser utilizado como lastro ferroviário, já que o mesmo passou em todos os outros ensaios especificados pela norma.

Isso demonstrando que o fato de o material não enquadrar nas faixas padrão A e B, é consequência de um britador desregulado. Ou seja, ao se britar o granito não houve o controle de qualidade com a granulometria do mesmo.

## 5. Referências

- Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 6490 - Rochas - Caracterização de ocorrência - Reconhecimento e amostragem*. Rio de Janeiro, 2016. 3 p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 5564 - Via férrea – Lastro ferroviário – Requisitos e métodos de ensaios*. Rio de Janeiro, 2014. 26 p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 7211 - Agregados para concreto - Especificação*. Rio de Janeiro, 2009. 9 p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR NM 45 - Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios*. Rio de Janeiro, 2006. 8 p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR NM 248 - Agregados - Determinação da composição granulométrica*. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.
- American Society for Testing and Materials. *D5731 - Determination of the point load strength index of rock and application to rock strength classifications*. West Conshohocken, PA, USA, 2008. 12 p.
- HAN, X & SELIG, E. T. Effects of fouling on ballast settlement. In: Proceedings of 6th International Heavy Haul Railway Conference, 1997, Cape Town, South Africa.
- LIM, W. L. 2004. *Mechanics of railway ballast behaviour*. United. PhD thesis - University of Nottingham. Malaysia, China.
- MUNIZ DA SILVA, L. F. 2002. *Fundamentos teórico-experimentais da mecânica dos pavimentos ferroviários e esboço de um sistema de gerência aplicado à manutenção da via permanente*. Tese de doutorado, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- OLIVEIRA, R. W. H. 2013. *Caracterização da escória de ferro silício-mangânês para a aplicação como agregado em pavimentação ferroviária*. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Universidade Federal de Ouro Preto.
- SELIG, E. T & WATERS, J. M. 1994. *Track geotechnology and substructure management*. ed. ICP Publishing: United Kingdom.
- SELIG, E. T., PARSONS, B. K. & COLE, B. E. Drainage of Railway Ballast. In: International Heavy Haul Conference, 5., 1997, Beijing. Proceedings Beijing: Int. Heavy Haul Association, 1993.