

Da classificação dos solos: uma abordagem estatística – plataforma ferroviária – estudo de caso ferrovia centro atlântica

Soil classification: a statistical approach - railroad platform - case study ferrovia centro atlântica

DOI:10.34117/bjdv8n8-002

Recebimento dos originais: 21/06/2022

Aceitação para publicação: 29/07/2022

Bárbara Drumond Almeida

Mestranda em Engenharia de Transportes pelo Instituto Militar de Engenharia (IME)

Instituição: Instituto Militar de Engenharia (IME)

Endereço: Praça Gen. Tibúrcio, 80, Urca, Rio de Janeiro - RJ

E-mail: barbaradrumond92@hotmail.com

Paulo Afonso Lopes da Silva

Professor Associado do Departamento de Engenharia de Fortificação e Construção pelo

Instituto Militar de Engenharia (IME)

Instituição: Instituto Militar de Engenharia (IME)

Endereço: Praça Gen. Tibúrcio, 80, Urca, Rio de Janeiro - RJ

E-mail: pauloafonsolopes@uol.com.br

Artur Cortês da Rosa

Mestre em Engenharia de Transportes pelo Instituto Militar de Engenharia (IME)

Instituição: Instituto Militar de Engenharia (IME)

Endereço: Praça Gen. Tibúrcio, 80, Urca, Rio de Janeiro - RJ

E-mail: artur.c.rosa@gmail.com

Antônio Carlos Rodrigues Guimarães

Professor Associado do Departamento de Engenharia de Fortificação e Construção pelo

Instituto Militar de Engenharia (IME)

Instituição: Instituto Militar de Engenharia (IME)

Endereço: Praça Gen. Tibúrcio, 80, Urca, Rio de Janeiro - RJ

E-mail: guimaraes@ime.eb.br

RESUMO

Grandes gastos com a manutenção da plataforma ferroviária se devem às falhas na capacidade de suporte das camadas que a compõe. Por isso a execução adequada e manutenção são fatores críticos das operações ferroviárias devido aos riscos de segurança e financeiros. Além disso, falhas da infraestrutura culminam, muitas vezes, em paradas da operação, superestrutura danificada e até mesmo em acidentes. Este trabalho apresenta distribuição de ocorrência dos solos da Ferrovia Centro Atlântico no trecho entre as cidades de Ribeirão Preto e Ituverava no estado de São Paulo. O objetivo deste trabalho é relacionar o nível de adequação do solo em estudo, em relação à mecânica de pavimentos ao seu uso como camada de subleito compactado da plataforma ferroviária, por meio do estudo estatístico da classificação dos solos de acordo com o Sistema Unificado de Classificação dos Solos – SUCS, o *Transportation Research Board* – TRB e a metodologia MCT.

Palavras-chave: classificação de solos, subleito, plataforma ferroviária, MCT.

ABSTRACT

Large expenses with the maintenance of the railway platform are due to failures in the support capacity of the layers that compose it. This is why proper execution and maintenance are critical factors in railway operations due to safety and financial risks. In addition, infrastructure failures often culminate in downtime, damaged superstructure and even accidents. This work presents the distribution of occurrence of the soils of the Ferrovia Centro Atlântico in the stretch between the cities of Ribeirão Preto and Ituverava in the state of São Paulo. The objective of this work is to relate the level of suitability of the soil under study, in relation to the pavement mechanics to its use as a compacted subgrade layer of the railway platform, by means of the statistical study of soil classification according to the Unified System of Soil Classification - SUCS, the Transportation Research Board - TRB and the MCT methodology.

Keywords: classification of soils, subgrade, railway platform, MCT.

1 INTRODUÇÃO

Neste trabalho será utilizada a definição de Selig e Waters (1994) que diz que a plataforma ferroviária pode ser dividida em duas categorias: superestrutura e infraestrutura. Onde a infraestrutura é constituída pelo lastro, sublastro e subleito. Segundo Cruz et al (2019):

o subleito é a última camada da infraestrutura, podendo ser de solo natural existente no local ou de solo colocado, que consiste de um preenchimento de solo para substituir a parte inadequada do solo existente ou para elevar a plataforma até o nível de projeto. Ele influencia tanto no desempenho quanto na manutenção da via.

Segundo Sousa (2016) o pavimento ferroviário, assim como o rodoviário, é um sistema constituído de múltiplas camadas, que fornecem o suporte necessário ao transporte, porém, para que este seja realizado de forma segura, o pavimento precisa ser composto por materiais dotados de bom comportamento geotécnico.

A degradação da qualidade da via está relacionada à evolução dos deslocamentos permanentes, os quais estão relacionados ao acúmulo de deformações plásticas das camadas de suporte da via. (Pereira et al, 2017). Adicionalmente, Costa et al (2017) afirma que o subleito é um componente da subestrutura ferroviária de grande importância, pois fornece suporte para todos os componentes e contribui substancialmente para a deflexão do trilho sob carga de roda.

Para uma correta análise de desempenho do solo do subleito, quando submetido às solicitações de uma plataforma ferroviária, é necessário saber sobre suas propriedades mecânicas. Uma das ferramentas utilizadas para essa análise é a classificação do solo. Neste estudo foram utilizadas a classificação do sistema *Highway Research Board* – HRB, atualmente conhecido como *Transportation Research Board* – TRB, a classificação *Unified Soil Classification System* – USCS (Sistema Unificado de Classificação dos Solos – SUCS) e a classificação MCT (Miniatura, Compactação, Tropical) elaborada por Nogami e Villibor na década de 80.

Os dois sistemas de classificação de solos mais difundidos no meio geotécnico são o Unified Soil Classification (USC) e o Transportation Research Board (TRB). [...] Deve-se ressaltar que esses dois sistemas de classificação foram desenvolvidos em países de clima temperado, podendo não apresentar resultados satisfatórios quando utilizados na classificação de solos tropicais, principalmente os de comportamento laterítico que, segundo a visão de Nogami e Vilibor, apresentam gênese bastante diferenciada da apresentada nos solos de clima temperado. (Silva, 2010)

Segundo Sousa (2016) o SUCS divide os solos em quatorze grupos que são identificados por letras, sendo a primeira referente à granulometria do solo e a segunda à sua plasticidade.

A classificação TRB, apesar de amplamente utilizada (destacadamente pelo DNIT) e correlacionar a classe do solo ao seu comportamento na pavimentação, lança mão de parâmetros que descartam a viabilidade do uso da maioria dos solos encontrados no território nacional para pavimentação. Baldo (2007) afirma que:

Esses solos de natureza tropical, apesar de algumas vezes não atenderem rigorosamente as especificações internacionais para utilização como camadas de pavimentação, especialmente devido à curva granulométrica, com predominância de solos finos e alto índice de plasticidade, vem sendo há várias décadas empregado com sucesso em pavimentação no Brasil, independente dos valores de CBR.

Nesse contexto, Sousa (2016) observa que é necessário a execução de estudos a respeito do uso de solos tropicais típicos do Brasil, para seu uso como camada de pavimentos. O uso deve ser pautado em análises mais modernas, como a do comportamento resiliente e em metodologias específicas para solos tropicais, como a MCT.

No Brasil, os solos lateríticos e saprolíticos são encontrados, quase sempre, em camadas superpostas, no mesmo perfil de solo. Contudo, mesmo que tenham propriedades índices e de estado similares, possuem quase sempre propriedades de engenharia e comportamentos bem distintos. Portanto, mesmo que pertençam ao mesmo grupo geotécnico das classificações tradicionais (USCS, HRB-AASHTO), o comportamento peculiar dos solos tropicais faz com que os paradigmas da mecânica dos solos tradicional percam sua validade. (Presa, 1951-1998).

Ressalta-se a grande importância dos solos lateríticos para o meio rodoviário brasileiro que, dada a sua grande ocorrência e boa qualidade de resistência, são extensamente utilizados em camadas estruturais de pavimentos, substituindo muitas vezes camadas granulares de agregado britado, principalmente em pavimentos de baixo volume de tráfego (MARAGON, 2004).

Segundo Oliveira (2018), o método [MCT] baseia-se na realização de um conjunto de ensaios para a avaliação das propriedades mecânicas e hidráulicas dos materiais, tais como a permeabilidade, a infiltrabilidade, a contração por secagem, a capacidade de suporte em condições mais realistas ao ambiente tropical, etc.

Nogami e Villibor (1995), em seus estudos para a criação da classificação MCT, estabeleceram correspondências entre as classificações TRB, SUCS e a nova metodologia, que aponta também o comportamento esperado do solo em cada uma das camadas de pavimentação. Na Figura 1 são apresentadas as correspondências entre classificações, bem como as propriedades e utilizações segundo o método MCT.

Figura 1 – Classificação MCT.

Comportamento	N = não-laterítico				L = laterítico		
	NA	NA'	NS'	NG'	LA	LA'	LG'
Recomendação de utilização em obras viárias							
Base de pavimento de vias de baixo volume de tráfego	NR	4°	NR	NR	2°	1°	3°
Reforço do subleito	4°	5°	NR	NR	2°	1°	3°
Subleito compactado	4°	5°	7°	6°	2°	1°	3°
Corpo de aterro compactado	4°	5°	6°	7°	2°	1°	3°
Camada de proteção à erosão	NR	3°	NR	NR	NR	2°	1°
Revestimento primário	5°	3°	NR	NR	4°	1°	2°
Granulometrias típicas	Argilas Siltos	Areias siltosas	Siltos Siltos arenosos	Argilas Argilas arenosas Argilas siltosas Siltos argilosos	Areias siltosas	Areias argilosas	Argilas Argilas arenosas Argilas siltosas Siltos argilosos
Grupos prováveis das classificações tradicionais de solos							
Classificação Unificada de Solos	SP SM	MS SC ML	SM CL ML MH	MH CH	SP SC	SC	MH ML CH
Classificação Rodoviária	A-2	A- A-4 A-7	A-4 A-5 A-7-5	A-6 A-7-5 A-7-6	A-2	A-2 A-4	A-6 A-7-5

Fonte: Nogami e Villibor (1995) – Modificado por Bernucci et al, (2008)

Com o objetivo de verificar se os defeitos apresentados na plataforma ferroviária eram decorrentes de falhas na camada de subleito compactado, foram analisadas 36 amostras levando em consideração a distribuição de frequência das classificações SUCS, TRB e MCT, e observado o comportamento do solo quando utilizado como camada de subleito compactado para a pavimentação.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi realizado no trecho da Ferrovia Centro Atlântico (FCA), também chamado de Corredor Paulista, entre as Cidades de Ribeiro Preto e Ituverava no Estado de São Paulo. Os pontos de ensaio foram escolhidos pela empresa que atualmente tem a concessão do trecho, a VLI Multimodal S.A.. De acordo com os dados de descarrilamentos, levante de finos, desgaste da superestrutura e observação das equipes de via permanente, foram escolhidos pontos críticos e realizados ensaios para avaliar a integridade das camadas da infraestrutura da plataforma. Para este estudo foram analisados os 36 pontos apresentados na Tabela 1.

Foram realizados dois campos para ensaios *in situ* e coleta de materiais, o primeiro entre os meses de outubro e novembro de 2018 e o segundo em julho de 2019, ambos em períodos considerados de baixa pluviosidade na região. Especialmente, no subleito foram realizados ensaios *in situ* com o cone de penetração dinâmica (DCP) e ensaio de frasco de areia para análise da compactação do solo, *Light Weight Deflectometer* (LWD) para análise de capacidade de suporte, além do uso do ensaio com o aparelho Speedy para determinação da umidade *in loco*.

Para este artigo serão analisadas as classificações das amostras deformadas de solo de subleito, colhidas *in loco* em 36 pontos, devidamente identificadas e posteriormente ensaiadas em laboratório para determinação da granulometria, limite de liquidez (LL) determinado pelo método Casagrande, Limite de Plasticidade (LP) determinado segundo a norma NBR 7180. Com esses parâmetros determinados é possível encontrar a classificação TRB do solo. O resumo da classificação dos pontos em estudo é apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Classificação TRB.

Classificação TRB	A-2-4	A-2-6	A-4	A-6	A-7-5	A-7-6
	4	35	7	1	2	26
	6		14	3	48	47
	8		16	10		
	9		18	12		
	11		19	13		
	32		23	17		
			30	20		
Pontos			36	21		
			39	24		
			40	25		
				31		
				33		
				37		
				43		
				44		

Na Tabela 2 é apresentado o resumo da classificação SUCS para as amostras em estudo. Já para a classificação MCT, as mesmas 36 amostras foram subdivididas em grupos um resumo da classificação pode ser visto na Tabela 3.

Tabela 2 – Classificação SUCS

Classificação SUCS	SM	SC	ML	ML-CL	CL	MH
	4	1	7	40	3	2
	6	10	17		12	
	8	35	18		13	
	9	37	19		14	
	11		20		16	
	32		21		24	
	36		23		26	
Pontos	39		25		31	
			30		33	
			48		43	
					44	
					47	

Tabela 3 – Classificação MCT

Classificação MCT	LA'	LA	LG'	NG'	NA'	NA	NS'
	3	11	1	21	2	4	6
	8		7	30	10		9
	13		12	31	19		36
	14		18	39	20		
	16		26		32		
	17		40		35		
Pontos	23				47		
	24						
	25						
	37						
	43						
	44						
	48						

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após compilação da classificação dos pontos foi possível analisar a distribuição de frequência de cada uma das categorias de solos e, desta maneira, presumir em quais pontos estudados seria possível suspeitar que as falhas podem ser atribuídas também à falha do subleito compactado. Além disso, é possível observar em quais pontos existe convergência do comportamento do solo usado no subleito para as três classificações.

Na Tabela 4 é apresentada a distribuição de frequência da classificação TRB. De acordo com o Manual de Pavimentação do DNIT, os tipos de solos silto-argilosos A-4, A-6, A-7-5 e A-7-6, encontrados nesse estudo, apresentam comportamento de sofrível à mau quando utilizados como subleito. Percentualmente essas quatro classificações correspondem à 82% das amostras (31 dos 38 pontos estudados) o que é significativo e pode ajudar a compreender porque desses pontos apresentarem tantos problemas.

Tabela 4 – Distribuição de Frequência da Classificação TRB

Classificação TRB	Frequência Absoluta	Frequência Relativa	Frequência Acumulada
A-2-4	6	17%	17%
A-2-6	1	3%	19%
A-4	10	28%	47%
A-6	15	42%	89%
A-7-5	2	6%	94%
A-7-6	2	6%	100%
Total	36		

Na Tabela 5 são apresentados os resultados para frequência da classificação SUCS do solo nos 36 pontos. É possível observar que existe predominância de solos com

granulometria fina (grupos CL e ML) e grupo SM que embora apresente granulometria grossa ainda apresenta quantidade de finos significativa (mais de 12% passando na peneira 200). Esses três grupos representam 83% das amostras e podem apresentar comportamento inadequado ao uso, como camada de subleito de acordo com o quadro de classificação MCT de Nogami e Villibor (1995) anteriormente apresentado.

Tabela 5 – Distribuição de Frequência da Classificação SUCS

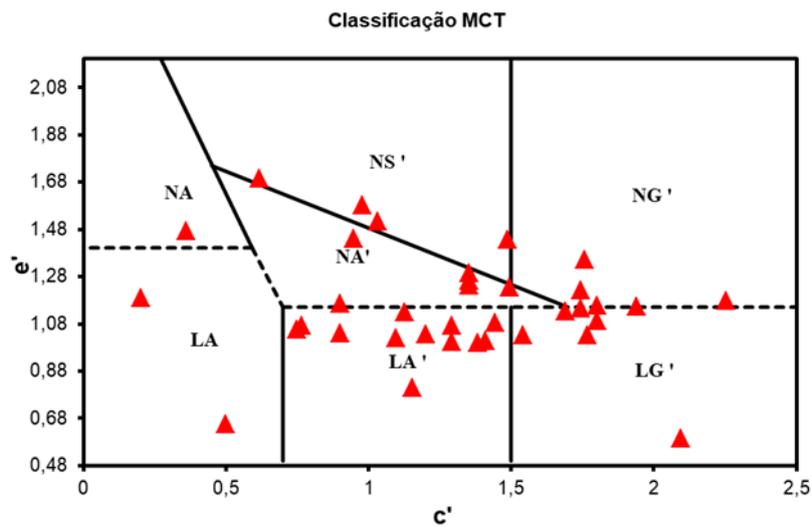
Classificação SUCS	Frequência Absoluta	Frequência Relativa	Frequência Acumulada
SM	8	22%	22%
SC	4	11%	33%
ML	10	28%	61%
ML-CL	1	3%	64%
CL	12	33%	97%
MH	1	3%	100%
Total	36		

Em relação à classificação MCT, é possível verificar que dentro das amostras estudadas os Solos arenosos lateríticos (LA') são mais abundantes, como pode ser visto na Tabela 6 e na Figura 2, seguidos dos solos arenosos não lateríticos (NA'), dos solos argilosos lateríticos (LG') e dos solos argilosos não lateríticos (NG'). É possível perceber que os solos lateríticos, que apresentam bom comportamento como subleito de acordo com Nogami e Villibor (1995), representam 56% dos solos estudados.

Tabela 6 – Distribuição de Frequência da Classificação MCT

Classificação MCT	Frequência Absoluta	Frequência Relativa	Frequência Acumulada
LA	1	3%	3%
LA'	13	36%	39%
LG'	6	17%	56%
NA	1	3%	58%
NA'	7	19%	78%
NG'	5	14%	92%
NS'	3	8%	100%
TOTAL	36		

Figura 2 – Classificação MCT das amostras.



Na Tabela 7 é apresentada uma compilação dos dados deste estudo considerando como adequados à utilização como subleito compactado os solos lateríticos e seus correspondentes nas classificações SUCS e TRB de acordo com Nogami e Villibor (1995).

Tabela 7 – Comparação classificações MCT, SUCS e TRB.

Utilização como Subleito Compactado de acordo com Nogami e Villibor (1995)					
Classificação	GRUPO MCT			TOTAL	%
	LA 2°	LA' 1°	LG' 3°		
Amostras	1	13	6	20	56%
Classificação	SUCS			TOTAL	%
	SP e SC	SC	MH, ML e CH		
Amostras	0	4	13	17	47%
Classificação	TRB			TOTAL	%
	A-2	A-2 e A-4	A-6 e A-7-5		
Amostras	7	10	17	34	94%

Analisando a relação entre as classificações para as amostras estudadas foi possível observar que, principalmente em relação aos solos considerados na 3ª posição para utilização na classificação MCT, se as amostras fossem classificadas apenas pela TRB uma quantidade considerável das amostras seria descartada como opção para uso como subleito compactado.

Também em relação a classificação TRB é possível identificar uma discrepância em relação à consideração que o DNIT faz em relação aos solos A-6 e A-7-5, considerando-os de comportamento sofrível à mau. Neste caso, outras 17 amostras seriam consideradas inapropriadas e o percentual de adequação seria de 47%.

Além disso, é possível observar que a classificação SUCS, aproximou-se mais da classificação MCT, sendo mais conservadora na comparação, já que descartou uma quantidade maior (53%) dos tipos de solo.

É importante perceber que, mesmo com as diferenças entre as classificações apresentadas, uma quantidade considerável dos solos encontrados no subleito da plataforma ferroviária no trecho em estudo pode ser considerada inadequada, o que pode ajudar a explicar os problemas da infraestrutura da via.

4 CONCLUSÃO

Com este trabalho é possível perceber que parte considerável dos solos encontrados in loco são inadequados, de acordo com as classificações estudadas, ao uso como subleito compactado. Fato esse que, se analisado em conjunto com os estudos realizados nas camadas superiores e as demais condições encontradas em campo, permite à empresa concessionária traçar planos mais assertivos de correção estrutural na via.

Para que sejam ainda mais positivos os resultados de estudos como esse, sugere-se como tema para outros trabalhos o aprofundamento do estudo nas características mecânicas de cada uma das camadas e a análise estrutural da plataforma como um todo. Além da verificação de características como a compactação e a umidade in situ, fatores extremamente relevantes para a integridade estrutural da infraestrutura ferroviária.

REFERÊNCIAS

- BALBO, J.T. *Pavimentação asfáltica: materiais, projeto e restauração*. Ed. Oficina de textos: São Paulo, Brasil, 2007.
- BERNUCCI, L. B.; MOTTA; L. M. G.; CERATTI, J. A. P.; et al. *Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros*, V.1. Ed. Imprinta Express Gráfica, 1ª edição, Rio de Janeiro, 2008.
- COSTA, R.; MOTTA R.; BERNUCCI L. L. B.; MOURA E.; PIRES J.; OLIVEIRA L. (2017) Bearing capacity evaluation of a 1028 subgrade in a heavy haul railway in Brazil. The 10th International Conference on the Bearing Capacity of Roads, Railways and Airfields. *Anais*. Athenas. Grécia.
- CRUZ, L. O. S. R.; GUIMARÃES, A. C. R. ; CASTRO, C. D. Um Estudo para Avaliação da Integridade Estrutural da Plataforma Ferroviária. 33 ANPET - Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, 2019, Balneário Camburiú. *Anais*. 2019.
- FRANCO, G. B.; MARQUES, E. A. G.; GOMES, R. L.; CHAGAS, C. S.; SOUZA, C. M. P. Classificação geotécnica dos solos da bacia do Rio Almada - BA. *Caminhos de Geografia (UFU)*, v. 13, p. 42-49, 2012.
- MARANGON, M. 2004. *Proposição de estruturas típicas de pavimentos para região de Minas Gerais utilizando solos lateríticos locais a partir da pedologia, classificação MCT e Resiliência*. (Tese de Doutorado Geotecnia) – Universidade Federal de Minas Gerais - COPPE/ UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- NOGAMI, J. S.; VILLIBOR, D. F. (1995). *Pavimentação de Baixo Custo com solos lateríticos*. São Paulo, Vilibor.
- OLIVEIRA, F. G. *Análise da Aplicabilidade da Classificação MCT na Execução de Bases Rodoviárias com Utilização de Solos Lateríticos Estabilizados*. 2018. 123 f. (Dissertação de Mestrado em Geotenia) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG, 2018.
- PEREIRA, W. L.; LOPES, L. A. S.; CASTRO, C. D. *Defeitos Provocados pela Interação Veículo Via na Degradação da Ferrovia*. 2017. Monografia do curso de Aperfeiçoamento/Especialização em Especialização em Transporte Ferroviário de Carga) - Instituto Militar de Engenharia. Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- PRESA, E. P. Relatório geral da 7ª seção técnica: solos tropicais, especiais (expansivos, colapsíveis e dispersivos) e pavimentos. *Anais*. X COBRAMSEF, ABMS (Associação Brasileira de Mecânica dos Solos), 1951 a 1998.
- SELIG, E. T.; J. M. WATERS (1994) *Track Geotechnology and Substructure Management*. Editora Thomas Telford, Londres, Inglaterra.
- SILVA, T. O.; CARVALHO, C. A. B.; LIMA, D. C.; CALIJURI, M. L.; LANI, J. L.; OLIVEIRA, T. M. (2010). Sistemas de classificações geotécnicas de solos: estudo de caso aplicado à rodovia não pavimentada vcs 346, Viçosa, MG. *Revista Árvore*, 34(2), 313-321.
- SOUSA, M. A. S. *Análise geotécnica de solos tropicais de ocorrência ao longo da Estrada de Ferro Carajás para uso como camadas de pavimento ferroviário*. 2016. 223 f. (Dissertação de Mestrado Engenharia de Transportes), Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2016.