

## ***Estudo da influência do tipo de finos no comportamento resiliente de solos tropicais para uso em pavimentos***

Buscou-se com a realização deste artigo identificar a influência do tipo de finos, avaliado de acordo com a classificação MCT, no comportamento resiliente de solos tropicais, cuja porcentagem passante na peneira nº 10 situa-se entre 50 e 97%. Estes solos não podem, a rigor, ser avaliados pela metodologia MCT, a qual prevê uma porcentagem de 100% de material passante na peneira nº 10, com abertura de 2mm, porém há fortes indícios, tal como o trincamento após a execução de compactação, que indicam uma elevada influência do tipo de fino de acordo com a classificação MCT no comportamento desse tipo de material. Assim, relacionou-se o tipo de classificação fina com uma faixa específica de módulo resiliente, uma vez que o módulo resiliente representa um dos parâmetros fundamentais para subsidiar o dimensionamento mecanicista de pavimentos. Para atingir os objetivos propostos estudou-se 662 solos de diversas granulometrias e procedências, permitindo obter ao final da pesquisa uma relação qualitativa entre a classificação dos finos com o comportamento resiliente dos solos estudados.

**Palavras-chave:** Comportamento resiliente; Solos Tropicais.

## ***Study of the influence of fines type on resilient behavior of tropical soils for pavement use***

It was sought with an accomplishment of this article to identify an influence of the type of fines, evaluated according to a MCT classification, in the resilient characteristic of tropical soils that has a passive percentage in the sieve nº 10 between 50 and 97%, such soils cannot, A rigor, a qualified methodology of 100% of the material passing through the No. 10 sieve, with 2mm aperture, but there are strong indications, such as cracking after an execution, requiring a great influence of the type According to an MCT classification in behavior Of material type. Also, the type of thin classification with a resilient modulus range was related, since the resilience module represents one of the fundamental input parameters for the mechanistic design of pavements. For the proposed objectives, 662 soils of various granulometries and provenances were studied, allowing the end of the research to obtain the type of relationship between a classification of the fines and the resilient behavior of the studied soils.

**Keywords:** Resilient behavior; Tropical Soils.

Topic: **Engenharia Geotécnica**

Received: **10/06/2018**

Approved: **24/07/2018**

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

**Mayara Souza Gomes**   
Instituto Militar de Engenharia, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/3105506268556273>  
<http://orcid.org/0000-0001-5563-229X>  
[mayarables@hotmail.com](mailto:mayarables@hotmail.com)

**Antônio Rodrigues Guimarães**  
Instituto Militar de Engenharia, Brasil  
[cap-guimaraes@hotmail.com](mailto:cap-guimaraes@hotmail.com)

**Maria Esther Soares Marques**   
Instituto Militar de Engenharia, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/8911936841113704>  
<http://orcid.org/0000-0001-8936-2777>  
[esther@ime.eb.br](mailto:esther@ime.eb.br)



DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2018.005.0008

### **Referencing this:**

GOMES, M. S.; GUIMARÃES, A. R.; MARQUES, M. E. S.. Estudo da influência do tipo de finos no comportamento resiliente de solos tropicais para uso em pavimentos. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.9, n.5, p.78-87, 2018. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2018.005.0008>

## **INTRODUÇÃO**

As classificações para solos mais empregadas no Brasil são o Sistema Unificado de Classificação de Solos (USCS – Unified Soil Classification System) e a classificação para finalidades rodoviárias da AASHTO, a HRB (Highway Research Board). No entanto, sabe-se que a aplicação dessas classificações tradicionais aos solos tropicais (abundantes no Brasil) torna-se restrita devido às peculiaridades desses solos. Por terem sido desenvolvidas em países de clima temperado, essas classificações convencionais apresentam limitações, pois, por vezes não há compatibilização do comportamento esperado dos solos com essas classificações convencionais.

Em outra vertente, a classificação MCT proposta por Nogami et al. (1995) para solos tropicais e estudada por pesquisadores tais como Vertamatti (1988), preconiza que o ensaio deve ser realizado com material 100% passante na peneira 10. No entanto, existem solos tropicais lateríticos que não possuem esse comportamento granulométrico, e dessa forma ocorre descarte desses materiais nos projetos de pavimentação por não se enquadrarem nos critérios de boa qualidade definido por essa metodologia, sem considerar as características geomecânicas do material.

Logo, esse artigo foi motivado pela necessidade de entendimento da característica resiliente desses solos associada a classe identificada nos ensaios de MCT, de modo a permitir uma previsibilidade de desempenho mecânico desses solos a partir da classificação MCT da fração fina. Outrossim, são apresentados resultados e análises da influência de finos no comportamento resiliente dos solos estudados, bem como o tipo de relação entre o percentual desses finos e as classes identificadas pela metodologia MCT, além de apontar a possibilidade de uso de material que não se enquadra nas metodologias de classificações vigentes, mas que podem apresentar competência mecânica para emprego em pavimentação.

## **REVISÃO TEÓRICA**

### **Solos tropicais**

A nomenclatura Solo Tropical é originária da própria localização em que esses solos são formados, que abrange a região entre os trópicos de câncer e de capricórnio, a Zona Tropical. Assim, pode-se encontrar solos tropicais na África (exceto os extremos norte e sul), no sul e sudeste asiáticos, no norte da Austrália, no México, na América Central e a maior parte da América do Sul (centro e norte), além de centenas de ilhas dos oceanos Pacífico, Atlântico e Índico. O clima nessa região, diferentemente das zonas temperadas é marcada pelas altas temperaturas médias anuais, superiores a 20° C, com pluviosidade expressiva e sem apresentar processo de congelamento do subsolo.

Os solos das regiões tropicais apresentam inúmeras propriedades e peculiaridades de comportamento resultantes de processos geológicos e pedológicos. Nesses locais, o processo de formação do solo ocorre em ritmo acelerado relativo ao clima tropical úmido, com temperaturas elevadas, ação intensa de água e presença exuberante de organismos que atuam como formadores do solo, conseqüentemente o intemperismo químico nessas regiões é mais intenso.

As 3 principais fases que ocorrem no processo de formação dos solos tropicais: Decomposição: Consiste na etapa inicial da formação dos solos tropicais. Nessa fase, ocorre ruptura físico-químico dos minerais primários, e posterior desagregação dos elementos ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$  etc.) que se transformam em íons simples; Lateralização: Fase caracterizada pelo enriquecimento no solo de óxidos hidratados de ferro e/ou alumínio e a permanência da caulinita como argilomineral predominante e quase exclusivo, conferindo a estes solos uma coloração típica: vermelho, amarelo, marrom e alaranjado, para esse fim são necessárias condições favoráveis de drenagem para possibilitar a associação adequada desses elementos. Desidratação: Nessa etapa ocorre a desidratação dos materiais enriquecidos com óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio que originam minerais cristalinos densos, a limonita e a goethita com hematita.

Em solos tropicais, verifica-se o agrupamento das partículas argilosas por ação cimentante dos oxihidróxidos de ferro em grumos de dimensões de silte (pipocas), tornando esses solos com comportamento lateríticos. Delgado (2012) alerta para o fato da existência de várias denominações para solos tropicais em inúmeros trabalhos, não ocorrendo concordância quanto à terminologia a ser empregada, exceto no emprego do termo laterita para designar solos graúdos, e a terminologia laterítico para definir os solos finos. Em suma, os solos encontrados na região dos trópicos são, na grande maioria, os saprolíticos e os lateríticos.

### Solos Saprolíticos

A palavra saprolítico origina-se de 'Sapro' que significa 'podre' em latim. São solos que resultam da decomposição e degradação 'in situ' da matriz de rocha por intempéries (chuva, sol, geada), mantendo a estrutura da rocha que lhe deu origem. Esses solos são de característica residual, ou seja, derivado de uma rocha matriz, e as partículas que os constituem permanecem praticamente no mesmo lugar que estavam em estado pétreo. São mais heterogêneos e compreendem uma mineralogia complexa, ainda, muitas vezes contendo fase mineral de decomposição. Eles também são chamados de solos residuais jovens, em contraste com a superfície que apresenta os solos lateríticos que seriam os maduros, conforme figura 1.



Figura 1: Solos Saprolíticos - Estrada de Ferro Carajás – Açailândia – MA

### Solos Lateríticos

A definição para os solos lateríticos pode ser realizada através do significado da própria nomenclatura. Later que significa 'tijolo' em latim e 'ito' significa material Pétreo. São solos superficiais,

típicos das partes bem drenadas das regiões tropicais úmidas, decorrente de uma transformação da parte superior do subsolo pela atuação do intemperismo. Apresentam grande parcela da sua granulometria fina menor que 2 mm de diâmetro. A figura 2 (A e B) apresenta caso típico de solo laterítico.



**Figura 2:** Solos Lateríticos - Macaé - Rio de Janeiro

Baseando-se em dados geológicos, pedológicos e climáticos Nogami et al. (1995), mapearam as áreas de ocorrência de solos lateríticos no território brasileiro e constataram que a maior parte dos estados do Brasil apresenta esse tipo de solo conforme figura 3.



**Figura 3:** Principais ocorrências de solos lateríticos no território brasileiro. **Fonte:** Nogami et al. (1995).

É sabido que existem diferenças significativas entre o comportamento mecânico dos solos tropicais lateríticos e saprolíticos. Nesse sentido, Viana 2007, realizou um estudo com as principais peculiaridades entre esses dois solos, concluindo que nos solos lateríticos ocorre a presença de grandes frações de areia e silte, com minerais resistentes ao intemperismo, como o quartzo, magnetita e rutilo.

## MATERIAIS E MÉTODOS

A fim de obter uma maior variabilidade de solos, foram selecionados 662 solos das regiões nordeste, norte, sudeste e centro-oeste do Brasil, conforme autores e estados de origem das amostras apresentados na Tabela 01.

**Tabela 1:** Características das amostras estudadas.

Autores	Número de Amostras	Origem das amostras
Hugo(2017)	1	Acre
Nascimento(2005)	1	Acre
Alves(2016)	41	Maranhão
Dariva/Lavorato(2016)	21	Minas Gerais
Santos (1998)	24	Mato Grosso
Marangon(2004)	48	Minas Gerais/Rio de Janeiro
Vertamatti (1988)	46	Acre/Mato Grosso/Para/Roraima/Amazonas
Delgado (2012)	10	Maranhão
Ferreira (2008)	462	Não informado pelo autor
Guimarães (2009)	1	Espírito Santo
Donizette (2010)	4	Minas Gerais
Von der Voster (2012)	3	Minas Gerais

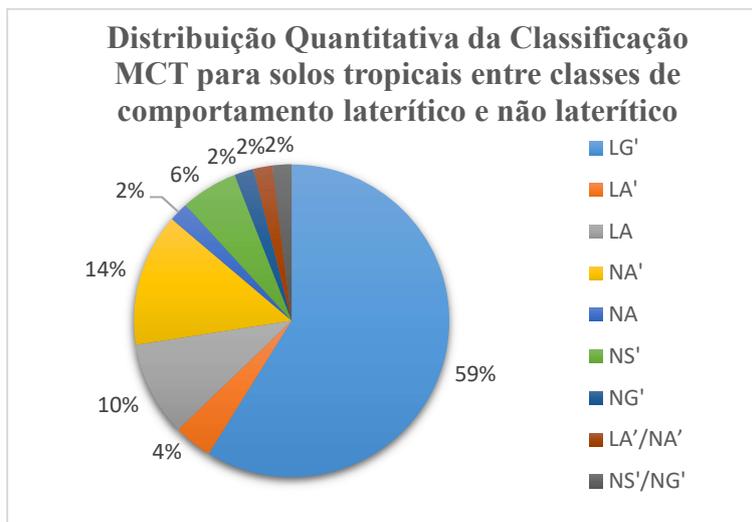
Os quantitativos de ensaios apresentados na tabela 01 englobam diversos tipos de materiais, desde solos finos coesivos, a areias e alguns solos lateríticos e não lateríticos. Foram adotadas algumas diretrizes para a escolha das amostras que comporiam a base de dados do presente artigo, tais como: Existência de todas as informações quanto aos ensaios geotécnicos tradicionais e mecânicos; Existência da classificação MCT dos solos; Uniformidade no que diz respeito aos procedimentos na execução dos ensaios triaxiais a cargas repetida, isto é, foi verificado se as amostras foram ensaiadas segundo a mesma sequência de tensões e os corpos de prova seguindo a norma DNIT 134/2010. Cabe ressaltar que, nesse ponto específico as amostras estudadas na tese de doutorado do pesquisador Eugenio Vertemat em 1988, não puderam ser incorporadas à presente pesquisa, uma vez que foi empregada para a execução dos ensaios, na ocasião, a norma do DNER - ME 131/83 com frequência de tensões-desvio de 36cpm e duração de 0,16s; Existência de solos cuja característica granulométrica encontrou-se entre 50 e 97% de material passante na peneira nº 10.

Seguindo todas as diretrizes supracitadas, foi possível selecionar 51 amostras de solo para compor as análises do presente trabalho, a partir da seguinte sequência: Segregação das amostras de acordo com as classes MCT; Após a segregação das classes, definiu-se os valores médios dos módulos de resiliência para determinação das faixas representativa de MR correspondentes à cada classe, de maneira a relacionar com as faixas de material passante na peneira nº 10; Elaborou-se gráfico da distribuição de finos de todas as classes MCT em relação ao módulo resiliente; Realizou-se análise de regressão linear simples entre a porcentagem de finos de cada classe MCT e o MR para verificação do tipo de relação entre essas variáveis.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observou-se que a predominância dos solos argilosos lateríticos nas amostras estudadas, seguida dos solos arenosos não laterítico, isto é, dos 51 solos com material entre 50,2 e 97% passantes na #10, 30 apresentaram classificação LG', solos argilosos de comportamento laterítico, 7 dos solos com classificação

NA' (solo arenoso não laterítico), 5 dos solos apresentaram classificação LA (areia laterítica), 3 dos solos foram classificados como NS' (solos siltosos não lateríticos) e 1 para os solos NG', LA'/NA' e NS'/NG', conforme figura 4 com os devidos percentuais identificados.



**Figura 4:** Gráfico da distribuição da quantidade da classificação MCT para solos estudados.

Em termos de valores típicos de módulo de resiliência, conforme tabela 2, observou que, a classe NG' foi a que apresentou maior valor de módulo resiliente, no entanto, esse não foi um comportamento esperado, uma vez que esse tipo de material tende a apresentar módulos baixos. Tal comportamento pode ser explicado pela influência da fração mais grossa na composição desse solo, cerca de 50% apresentou grãos com diâmetro acima de 2mm.

Vale ressaltar que, embora esse solo apresente módulos elevados, ele não é recomendado para fins de pavimentação, pois conforme alertam Nogami et al. (1995), são solos caracterizados por alta plasticidade e expansibilidade, peculiaridades das argilas tradicionais. Na outra vertente, a classe que apresentou menor módulo foi o solo siltoso não laterítico (NS'), com módulo resiliente de 61MPa, comportamento previsto, tendo em vista que são solos predominantemente saprolíticos, com baixa capacidade de suporte.

**Tabela 2:** Faixa de valores típicos de MR para os materiais estudados.

Classificação MCT do material	Faixa de Valores de MR – Média (MPa)	Quantitativo	Faixa de finos (% passante na #10)
LA	158 - 479	5	67-94
LA'	171 - 414	2	93-95
LA'/NA'	430	1	90,2
LG'	153 - 536	30	58-97
NA	103	1	83
NA'	151- 553	7	51-93
NG'	654	1	51
NS'/NG'	192	1	84
NS'	61 - 328	3	59-92

Com o objetivo de comparar os valores de módulo das diversas classes MCT com as faixas de material passante na peneira de nº 10, plotou-se o gráfico da Figura 4. Verificou-se que, a quantidade de finos não influenciou significativamente o comportamento mecânico do material, pois conforme observa-se existem

módulos com a mesma ordem de grandeza, classes MCT distintas e material com diâmetro menor que 2 mm variando entre 59 e 95%.

Foi possível observar ainda, que um material classificado como laterítico não apresentou, necessariamente, módulo de resiliência superior ao material não laterítico, para uma mesma faixa de solo passante na peneira nº 10, conforme destacado na Figura 5. Esse caso pode ser observado mais nitidamente na Figura 6, em que dois solos, um laterítico – LG' e outro não laterítico – NA', apresentaram aproximadamente o mesmo módulo resiliente (354 e 358 MPa), e com faixa de finos semelhante (91 e 93% passante na peneira 10, respectivamente). Observou-se ainda na Figura 6 (destacados com cores iguais), que foi a genética do solo que definiu o comportamento laterítico do solo, e não a porcentagem da fração fina, e que a grande maioria dos solos apresentou módulos acima de 200MPa, ou seja, com potencial para aplicação em pavimentação.

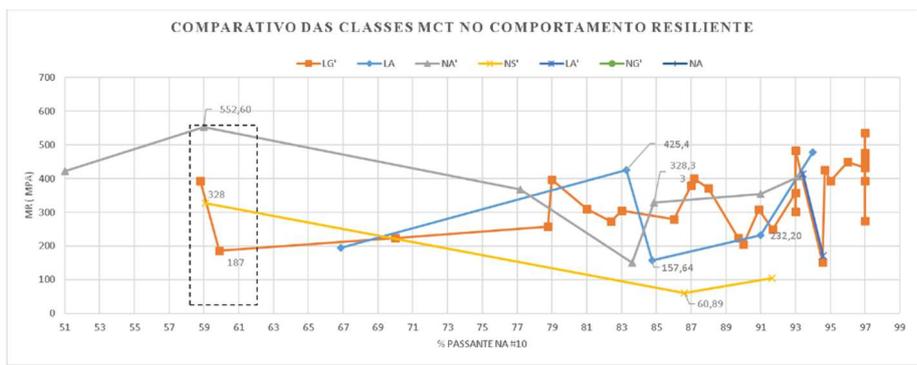


Figura 5: Gráfico da distribuição de finos versus o módulo resiliente.

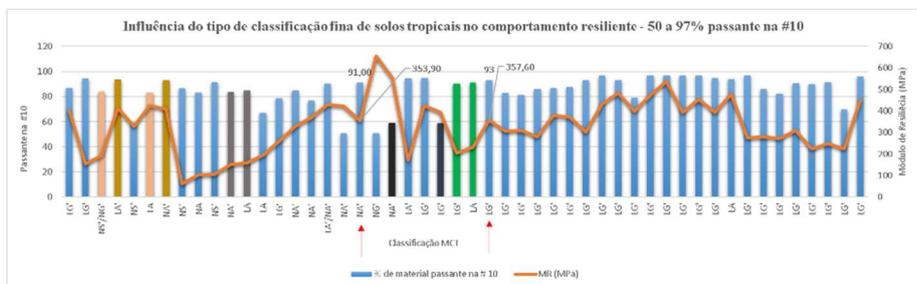


Figura 6: Gráfico da distribuição da classificação MCT versus material passante na peneira nº 10

Avaliando o comportamento de cada classe em função da porcentagem de finos passante na peneira de número 10, percebeu-se que, dos 5 ensaios com classe LA (figura 7) o de maior porcentagem passante nessa peneira foi o que apresentou maior valor de MR. No entanto, esse não foi um padrão de comportamento, pois notou-se casos como da amostra 2 que apresentou quantidade de finos inferior das amostras 3 e 4 e com MR superior das referidas amostras. Esse comportamento pode ser explicado pela fração areia (mais granular) na constituição dessa amostra.

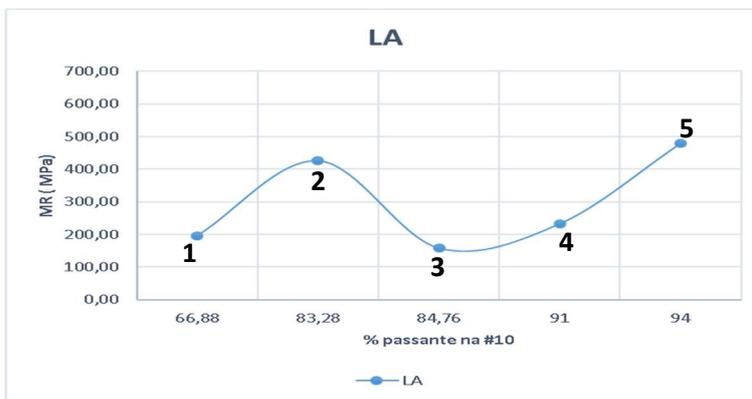


Figura 7: Comportamento da classe LA em função do MR x Fração Fina

Para os solos arenosos não lateríticos observou-se um comportamento que atendeu ao esperado, isto é, as faixas com fração mais grossa foram as que apresentaram maiores valores de MR, exceto para a amostra 78+860 que obteve MR mais abaixo que os passantes nas peneiras superiores (figura 8).

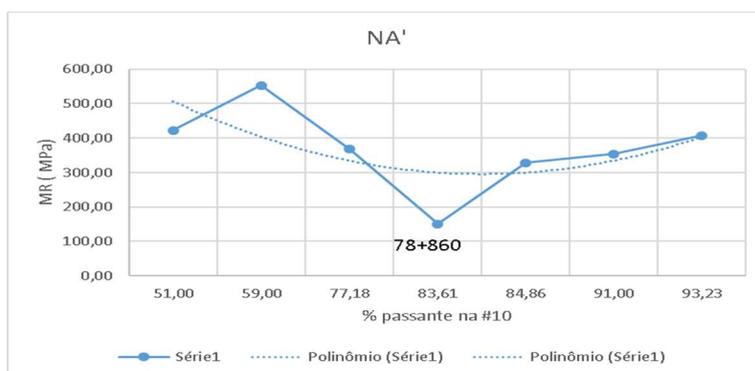


Figura 8: Comportamento da classe NA' em função do MR x Fração Fina

Para os solos LG' observou-se conforme a figura 9 que, em proporção, quanto maior a quantidade de finos, maior MR relacionado. Vale ressaltar, os casos que não seguiram esse padrão, como o destacado no gráfico, a amostra 5, por exemplo, apresentou praticamente a mesma quantidade de material passante na peneira 10 (diferença de apenas 1,55%) em comparação com a amostra 11, e, no entanto, uma diferença de mais de 216% no valor do módulo resiliente.

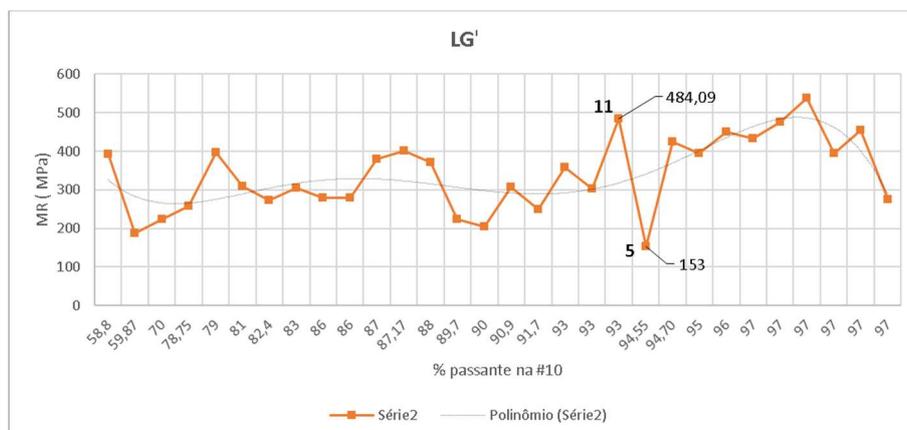


Figura 9: Comportamento da classe LG' em função do MR x Fração Fina.

Esse comportamento sugere que outros fatores estão contribuindo significativamente para a determinação do módulo resiliente, e não apenas a porcentagem de finos presente na composição do solo

argiloso laterítico. Para a compreensão desse comportamento analisou-se, outrossim, a influência da perda de massa por imersão ( $\pi$ ) de alguns solos LG' no comportamento resiliente, e notou-se que existe uma tendência de módulos inferiores a 300 MPa quando ocorre perda de massa por imersão acima de 105%, conforme figura 10.

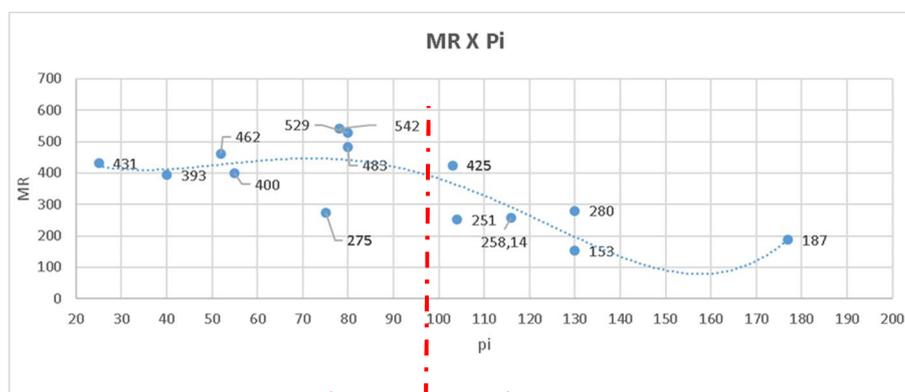


Figura 10: Comportamento da classe LG' em função do MR x Fração Fina

## CONCLUSÕES

Dos resultados e análises realizadas no presente artigo, foi possível constatar que um material classificado como laterítico não representa, necessariamente, um comportamento mecânico superior ao material não laterítico, sendo necessário a identificação das peculiaridades da natureza e da constituição do solo. Avaliando todas as 51 amostras de maneira agrupada, notou-se que, a presença de finos em alguns casos, pouco interferiu no comportamento resiliente dos solos, uma vez que observou-se finos variando entre 59 a 95% resultando em módulos de resiliência aproximadamente iguais.

No que tange a influência da porcentagem de finos em cada classe MCT, observou-se que: Para solos LA não houve padrão de comportamento entre a fração fina e os valores de módulo resiliente, ou seja, podem existir solos com percentual de finos com mais 35% de diferença e resultarem em módulos de resiliência equivalentes. Para os solos NA' percebeu-se que, quanto maior a porcentagem de finos, menor o valor de módulo resiliente, indicando que a fração grossa determina o comportamento mais resiliente do solo. Para os solos NS' notou-se que, quanto maior a fração fina presente no solo, menor o valor de módulo resiliente resultante. Para os solos LA' percebeu-se que há elevada influência da fração fina no comportamento resiliente dos solos estudados. Para os solos LG' constatou-se que, quanto maior a quantidade de finos maiores são os módulos de resiliência, bem como a interferência do valor da perda de massa por imersão no comportamento resiliente dos solos, indicando que Pi acima de 105% podem indicar módulos de resiliência inferiores a 300MPa. Por fim constatou-se que, solos com percentual passante na peneira nº 10 entre 50 e 97%, que embora não podem ser avaliados pela metodologia MCT, possuem competência mecânica para aplicação em pavimentação, uma vez que podem apresentar módulos superiores à 200MPa e com pouca expansibilidade.

Os resultados e análises deste trabalho podem nortear a elaboração de um procedimento para classificação de solos compreendidos entre 50 a 97% de material passante na peneira 10, de modo a indicar

previsibilidade de desempenho mecânico do material com base na classificação MCT vinculada a porcentagem de finos (quando couber) e nos demais parâmetros de caracterização tradicional dos solos. Dessa forma, seria possível a aplicabilidade desses solos nos projetos de pavimentação, ao invés de descarte do mesmo, como comumente ocorre nos projetos de pavimentos.

## REFERÊNCIAS

BARBOSA, V. R.. **Estudo de solos do acre na produção de agregados calcinados e misturas para bases em pavimentação**. Dissertação (Mestrado) - Instituto Militar de Engenharia. Rio de Janeiro, 2016.

DARIVA, L. B.. **Avaliação das Propriedades Físicas e Mecânicas de um Subleito de Pavimento de Via Férrea do Tipo Heavy Haul**. Dissertação (Mestrado) - Instituto Militar de Engenharia. Rio de Janeiro, 2016.

DELGADO, B. G.. **Análise da deformabilidade de um solo tropical do oeste do Maranhão como material de sublastro na Estrada de Ferro Carajás**. Dissertação (Mestrado), Ouro Preto, 2012.

DONIZETTE, G. L.. **Análise dos solos de Minas Gerais do ponto de vista da deformabilidade**. Dissertação (Mestrado) - Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2010.

FERREIRA, J. G. H. M.. **Elaboração e Análise da Base de Dados de Ensaios Triaxiais Dinâmicos da COPPE/UFRJ**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio do Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

NASCIMENTO, R. R. **Utilização de agregados de argila calcinada em pavimentação: uma alternativa para o estado do Acre**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio do Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

NOGAMI, J. S.; VILLIBOR, D. F.. **Pavimentação de Baixo Custo com Solos Lateríticos**. São Paulo: Villibor, 1995.

SOUSA, A. M. S.. **Análise geotécnica de solos tropicais de ocorrência ao longo da estrada de ferro carajás para uso como camadas de pavimento ferroviário**. Dissertação (Mestrado) - Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2016.

VERTAMATTI, E.. **Contribuição ao Conhecimento Geotécnico de Solos da Amazônia com Base na Investigação de Aeroportos e Metodologias MCT e Resiliente**. Tese (Doutorado) - Instituto Tecnológico da Aeronáutica, São José dos Campos, 1988.

VIANA, H. M. F.. **Estudo do Comportamento Resiliente dos Solos Tropicais Grossos do Interior do Estado de São Paulo**. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

VON DER OSTEN, F. B.. **Avaliação de Solos Tropicais para Sublastro da Estrada de Ferro Carajás**. Dissertação (Mestrado) – Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2012.

A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detém os direitos materiais desta publicação. Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas sob coordenação da **Sustenere Publishing**, da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.