

Caracterização física e mecânica de solos usualmente empregados em subleitos rodoviários no Rio Grande do Sul

Thaís Aquino dos Santos

Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil, thaiis_as@hotmail.com

Luciano Pivoto Specht

Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil, luspecht@gmail.com

Rinaldo José Barbosa Pinheiro

Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil, rinaldo@ufsm.br

RESUMO: O subleito, assim como as demais camadas que compõem a estrutura de um pavimento, deve apresentar características portantes adequadas às solicitações provenientes do tráfego. Devido à grande diversidade geológico-geotécnica em torno dos materiais constituintes, visto ser o material local, é de suma importância o conhecimento das características dos solos empregados na fundação de um pavimento, pois é a partir do índice de suporte deste material que a estrutura é dimensionada como um todo, de acordo com o atual método de dimensionamento de pavimentos flexíveis novos vigente no Brasil. Neste contexto, o presente artigo apresenta as características físicas e mecânicas de quatro solos, de origens geológicas diferentes, comumente utilizados como subleitos rodoviários no estado do Rio Grande do Sul. O objetivo principal consiste em caracterizar os materiais e avaliar se os mesmos são passíveis de aplicação como camada de subleito, além de contribuir com a expansão do banco de dados acerca dos solos presentes na região sul do país. A metodologia aplicada neste estudo consistiu em ensaios de caracterização física e mecânica, incluindo ensaios de resistência ao cisalhamento direto e ensaios triaxiais de cargas repetidas. Os limites descritos em norma para utilização dos solos como material de subleito foram satisfeitos, apresentando valores de expansão inferiores à 2% e Índices de Suporte Califórnia – ISC variando de 10% à 16%. Em relação à resistência ao cisalhamento, as tensões cisalhantes tipicamente observadas em subleitos rodoviários são bastante inferiores às observadas nas envoltórias de ruptura, não havendo possibilidade de ruptura dos solos por esse mecanismo. Para um mesmo par de tensões, observou-se uma correlação do módulo de resiliência com a granulometria dos materiais, sendo o solo TR, mais arenoso, o solo com maior módulo de resiliência. Além dessa correlação, foi possível verificar a falha na relação entre MR e ISC, ratificando a importância da determinação do módulo de resiliência no comportamento mecânico de solos empregados em subleitos rodoviários.

PALAVRAS-CHAVE: Subleito, ISC, Módulo de Resiliência.

1 INTRODUÇÃO

Na implantação de uma rodovia é imprescindível conhecer as propriedades dos materiais geotécnicos envolvidos no projeto, tanto no que se refere ao subleito quanto aos materiais de empréstimo que serão utilizados na construção de aterros e das demais camadas do

pavimento. Portanto, esses materiais devem ter suas propriedades estudadas e avaliadas em relação à resistência e deformabilidade, tanto no seu estado natural quanto em seu estado compactado.

Apesar do atual método de dimensionamento em vigor no Brasil levar em consideração somente o valor do Índice de Suporte Califórnia

(ISC), é de conhecimento geral a relevância das deformações resilientes no comportamento mecânico do material, em especial do solo empregado na fundação do pavimento (subleito).

Neste contexto, o presente trabalho tem por objetivo principal caracterizar quatro solos de origens geológicas diferentes, comumente utilizados como camada de subleito no estado do Rio Grande do Sul, quanto às suas características físicas e mecânicas, incluindo a análise dos módulos de resiliência e dos parâmetros de resistência ao cisalhamento, e avaliar se os mesmos possuem as características necessárias para aplicação como subleitos rodoviários.

2 REVISÃO DE LITERATURA

De modo geral, solos são materiais abundantes e de baixo custo, porém, bastante heterogêneos no que diz respeito à cor, estrutura, textura, mineralogia, granulometria, etc. Essa heterogeneidade gera no material uma variabilidade em termos de comportamento (resistência, condutividade hidráulica, deformabilidade, erodibilidade, entre outros) quando o mesmo é aplicado em obras de engenharia.

De acordo com Pinto (2006), a diversidade de solos encontrada na natureza e os seus diferentes comportamentos, diante das solicitações de interesse da engenharia tornam imprescindível o seu agrupamento em conjuntos distintos, aos quais seja possível atribuir determinadas propriedades.

Na execução de uma rodovia, devemos considerar o fato de o pavimento ser uma estrutura estratificada, onde cada camada apresenta características próprias. Estas camadas estão sujeitas a cargas provenientes do tráfego de veículos, esforços estes distribuídos horizontal e verticalmente (tensões normais e cisalhantes) até atingirem o subleito. O subleito recebe uma parcela dessas tensões, devendo apresentar características portantes compatíveis com essas solicitações. Com isso, ao dimensionar-se um pavimento é necessário conhecer o comportamento do subleito,

especialmente em relação à resistência e deformabilidade do solo.

No Brasil, os métodos de dimensionamento de pavimentos são, ainda, de natureza empírica ou semi-empírica, baseando-se no método do antigo DNER, elaborado pelo engenheiro Murilo Lopes de Souza em 1966, com base no Índice de Suporte Califórnia - ISC, parâmetro relacionado com a resistência ao cisalhamento do material de subleito.

Segundo Medrado (2009), o atual método de dimensionamento vigente no Brasil, não considera o efeito das deformações resilientes no comportamento mecânico dos materiais utilizados na pavimentação. Porém, é essa deformabilidade resiliente ou elástica das camadas do pavimento e do subleito que condicionam a vida útil da estrutura como um todo, quando solicitadas por flexões sucessivas, à um dos principais defeitos encontrados em rodovias brasileiras: a ocorrência de trincas por fadiga. O comportamento à fadiga de pavimentos flexíveis é altamente sensível às mudanças do módulo de resiliência do subleito, evidenciando a importância da consideração das características resilientes.

Conceitualmente, o módulo de resiliência é o parâmetro que caracteriza o comportamento resiliente dos materiais quando submetidos à carregamentos cíclicos. É considerado de grande importância na caracterização do comportamento mecânico de solos e agregados, quando utilizados como camada estrutural de pavimentos.

Nos últimos anos, a importância das deformações resilientes, sendo esta, uma das maiores componentes da deformação total de estruturas de pavimentos, vem sendo estudada extensivamente. Inúmeros estudos teóricos e de campo tem reconhecido que o módulo de resiliência do subleito tem considerável influência no desempenho do pavimento, principalmente em estruturas flexíveis.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Definição das Jazidas

Foram definidas quatro jazidas de solo para o presente estudo, em diferentes regiões do estado do Rio Grande do Sul. O denominado Solo PE é oriundo da primeira jazida definida neste estudo, localizada na cidade de Pelotas, na região sul do estado. O Solo CB, proveniente da segunda jazida, localizada na cidade de Coronel Barros, na região noroeste. Na região central do estado, na cidade de Santa Maria, encontram-se localizadas a terceira e a quarta jazida utilizadas nesta pesquisa, de onde foram retirados os denominados Solo TR e Solo RS, respectivamente. A Figura 1 apresenta a localização das jazidas.



Figura 1. Localização das jazidas.

3.2 Ensaios Laboratoriais

Os materiais coletados em campo foram secos ao ar, até atingiram valores de umidade próximos à higroscópica. Após a secagem, os solos foram peneirados e novamente acondicionados em sacos para posterior realização de todos os ensaios. A Figura 2 apresenta os materiais constituintes de cada solo em estudo, após peneiramento.

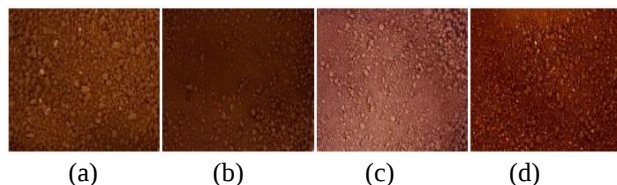


Figura 2. Materiais adotados para a presente pesquisa: solo PE (a); solo CB (b); solo TR (c); solo RS (d).

A caracterização física dos solos em estudo foi obtida através dos ensaios clássicos da

Mecânica dos Solos: peso específico real dos grãos (ABNT NBR 6508/84), limites de Atterberg (ABNT NBR 6459/84 e 7180/84) e análise granulométrica (ABNT NBR 7181/84) com e sem o uso de defloculante (hexametáfosfato de sódio), todos seguindo as diretrizes apresentadas em suas respectivas normas técnicas. Além dos ensaios clássicos, foram realizados os ensaios Mini-MCV (DNER-ME 256/94) e Perda de Massa por Imersão (DNER-ME 258/94), para posterior classificação MCT.

Os ensaios de compactação, ISC e Expansão, cisalhamento direto e ensaios triaxiais de cargas repetidas, compõem a metodologia para caracterização mecânica dos solos. Os ensaios de compactação e ISC seguiram as diretrizes apresentadas nas normas ABNT NBR 7182/86 e NBR 9895/87, respectivamente. Ambos ensaios foram realizados somente na energia de compactação Proctor Normal, por se tratar de solos para emprego em subleitos rodoviários.

Os principais parâmetros de resistência ao cisalhamento foram obtidos através de ensaios de cisalhamento direto. A execução do ensaio seguiu os procedimentos descritos na normativa americana ASTM: D3080-11, utilizando anéis metálicos quadrados, com dimensões de 5cmX5cmX2cm, moldados na energia Proctor Normal. Foram adotados três níveis de tensões normais aplicadas, compatíveis com o tipo de utilização do solo em estudo: 25 kPa, 50 kPa e 100 kPa.

Os ensaios triaxiais de cargas repetidas tem a finalidade de reproduzir em laboratório as condições impostas em campo. Nesta pesquisa, foram realizados dois ensaios por solo, seguindo os métodos de ensaio DNIT-ME 134/2010 e AASHTO TP-46/94, moldados em um molde tripartido de 10 cm de diâmetro por 20 cm de altura, envoltos por uma membrana permeável, na condição ótima de compactação, com valores de referência retirados da curva de compactação na energia Proctor Normal. A Figura 3 ilustra um passo a passo do processo de moldagem e montagem dos corpos de prova para realização do ensaio, bem como o equipamento utilizado.

Após a realização dos ensaios e obtenção dos módulos de resiliência em função dos pares de

tensões descritos em norma, os mesmos foram analisados por modelos de previsão de MR (módulo de resiliência não linear) descritos na literatura. A referida análise abordou os modelos comumente utilizados (tensão confinante, tensão desvio, invariante de tensões e modelo composto), que relacionam os módulos de resiliência com as tensões impostas durante o ensaio. Os modelos em função de somente uma variável independente foram avaliados com o auxílio do Excel. O modelo composto, que leva em consideração a influência tanto da tensão confinante quanto da tensão desvio (duas variáveis independentes), foi analisado através de regressões não-lineares múltiplas realizadas utilizando o software Statística 13.0. O intuito principal dessa análise foi verificar o modelo que melhor descreve o comportamento de deformabilidade dos solos pesquisados.



Figura 3. Passo a passo do processo de moldagem e montagem dos corpos de prova para a realização dos ensaios triaxiais de cargas repetidas.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 Ensaios de Caracterização

A Tabela 1 apresenta o resumo dos ensaios de caracterização para todos os solos em estudo.

É possível observar nas curvas granulométricas apresentadas na Figura 4, que o solo PE apresenta cerca de 57% de sua

granulometria composta de silte e argila, destacando o predomínio de materiais finos. O solo CB apresenta aproximadamente 87% de sua composição de materiais finos, deste valor, 68% é composto de fração argila, caracterizando um solo altamente argiloso. Diferentemente dos solos PE e CB, o solo TR apresenta um predomínio da fração areia (em torno de 56%). O solo RS é semelhante ao solo PE, com 56% de material passante na peneira #200, diferenciando no que diz respeito à porcentagem de argila, na razão de 41%.

Tabela 1. Resumo dos ensaios de caracterização e classificação dos solos.

Solo	Solo PE	Solo CB	Solo TR	Solo RS
γ_s (kN/m ³)	25,64	28,09	25,54	25,75
LL (%)	41	56	39	47
LP (%)	18	25	20	29
IP (%)	23	31	19	18
Classificação SUCS	CL	CH	SC	CL
Classificação TRB	A-7-6	A-7-6	A-6	A-7-6

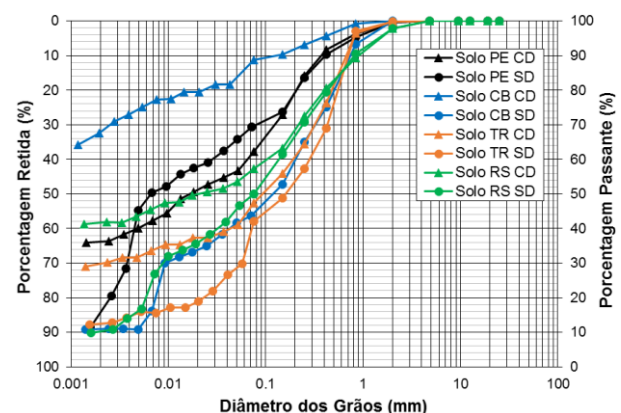


Figura 4. Curvas granulométricas com (CD) e sem (SD) defloculante para os quatro solos em estudo

De acordo com o sistema de classificação universal – SUCS, os solos PE e RS foram classificados como argilas inorgânicas de baixa e média plasticidade (CL), o solo CB foi designado como argila inorgânica de alta plasticidade (CH) e o solo TR como areia argilosa (SC). O sistema classificatório TRB, enquadrou os solos em estudo entre os grupos A-6 e A-7-6, indicando materiais que não

apresentam bom comportamento como subleito rodoviário. Em relação à plasticidade, os quatros solos foram caracterizados como altamente plásticos. Já no que diz respeito ao peso específico real dos grãos, os mesmos apresentaram valores consistentes com a mineralogia de cada material.

Durante a análise da granulometria dos quatro solos em estudo, observou-se uma diferença entre as curvas granulométricas realizadas com e sem o uso de defloculante, em especial no solo CB. Isto ocorre devido à formação de grumos (partículas menores aderidas) nos ensaios realizados sem o uso de agente defloculante. Essa diferença é bastante característica de solos tropicais.

4.2 Classificação MCT

A Tabela 2 apresenta os índices de classificação obtidos nos ensaios de Mini-MCV e perda de massa por imersão, bem como a classificação MCT dos solos.

Tabela 2. Índices para classificação MCT.

Solo	Índices Classificatórios				Classificação MCT
	c'	d'	Pi (%)	e'	
PE	1,76	145,80	35	0,79	LG'
CB	1,86	60,70	78	1,04	LG'
TR	2,06	115,40	15	0,69	LG'
RS	1,77	80,00	47	0,90	LG'

De acordo com o ábaco apresentado na Figura 5, todos os solos apresentam comportamento laterítico argiloso e são classificados como LG'. Solos com essa classificação apresentam granulometria típica de argilas e argilas arenosas, alta capacidade de suporte, baixa perda de massa por imersão, baixa expansão, média à alta contração, baixa permeabilidade e média à alta plasticidade.

Como visto anteriormente, segundo a classificação TRB todos os solos em estudo apresentam péssimo comportamento como subleito, porém solos com comportamento laterítico, nesse caso laterítico argiloso (LG'), quando compactados adequadamente, podem

apresentar ótimo comportamento como subleito, evidenciando a importância da classificação MCT para solos tropicais.

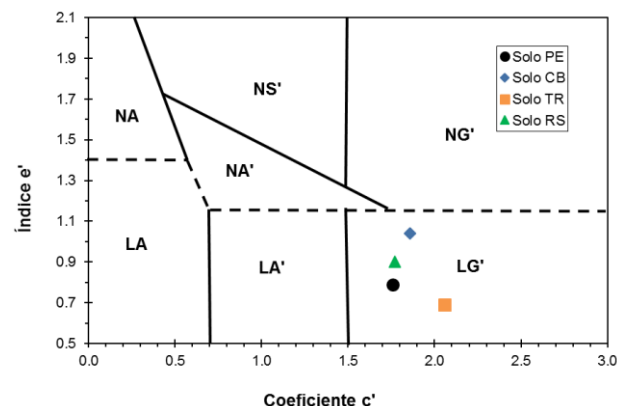


Figura 5. Ábaco de classificação MCT para os quatro solos em estudo.

4.3 Ensaios de Compactação, ISC e Expansão

Na Tabela 3 são apresentados os principais parâmetros obtidos nos ensaios de compactação e ISC para todos os solos adotados nesta pesquisa. A Figura 6 apresenta uma comparação entre as curvas de compactação desses materiais.

Tabela 3. Resumo dos parâmetros obtidos nos ensaios de compactação e ISC.

Solo	Solo PE	Solo CB	Solo TR	Solo RS
γ_d máx (kN/m ³)	17,40	14,71	17,87	16,47
Wótima (%)	17,1	28,7	15,1	19,9
ISC (%)	10	10	14	16
Expansão (%)	0,27	0,24	0,27	0,18

Em todos os casos, os valores obtidos para o peso específico aparente seco máximo das amostras apresentaram uma variabilidade aceitável, bem como os valores de umidade ótima (wót). Devido ao predomínio de partículas argilosas, o solo CB apresentou a menor densidade máxima entre todos os solos em estudo e conseqüentemente a maior umidade ótima de compactação Proctor Normal, respectivamente, 14,71 kN/m³ e 28,7%. O solo TR possui uma densidade máxima média de 17,87 kN/m³ e umidade ótima de 15,1%, ambos

na energia Normal. Este material foi classificado como areia argilosa, segundo o sistema de classificação SUCS, apresentando mais de 50% de sua composição de partículas granulares. Isso justifica o fato de o solo TR atingir altas densidades, mesmo quando compactado com o grau de energia mais baixo (Proctor Normal).

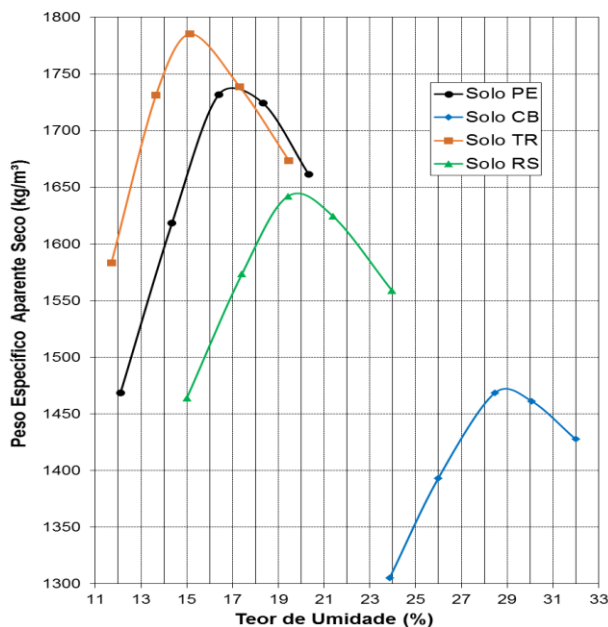


Figura 6. Comparação entre as curvas de compactação na energia Proctor Normal para os quatro solos em estudo.

Os solos em estudo apresentaram valores de ISC bem próximos e consistentes com a granulometria de cada material. Para a energia Proctor Normal, os solos PE e CB apresentaram ISC de 10%. Devido à sua granulometria mais arenosa, o solo TR apresentou ISC de 14%. Apesar de não apresentar valores elevados para o peso específico aparente seco máximo, o solo RS apresentou o melhor ISC entre os solos, na ordem de 16%. Além de apresentar um bom resultado para o ISC, as amostras deste solo apresentaram as menores expansões, com média de 0,18%, bem abaixo do limite previsto em norma para solos empregados como subleito.

Em relação à expansão, os resultados foram pouco expressivos, como esperado. Devido ao comportamento laterítico argiloso, as expansões foram inferiores à 1% e dentro dos limites apresentados no Manual de Pavimentação (DNIT, 2006) para solos utilizados como camada de subleito (Expansão $\leq 2\%$).

4.4 Resistência ao Cisalhamento

Os principais parâmetros de resistência ao cisalhamento são apresentados na Tabela 4. As envoltórias de ruptura para todos os solos em estudo são apresentadas na Figura 7.

Com o intuito de comparar os solos estudados, adotou-se uma faixa de tensões normais atuantes variando de 50 à 120 kPa, pois trata-se de solos estudados para emprego como subleito rodoviário.

Tabela 4. Parâmetros de resistência obtidos nos ensaios de cisalhamento direto.

Solo	Coesão (kPa)	Ângulo de Atrito Interno (°)
Solo PE	43,35	52,56
Solo CB	48,85	34,80
Solo TR	46,65	34,11
Solo RS	50,95	38,33

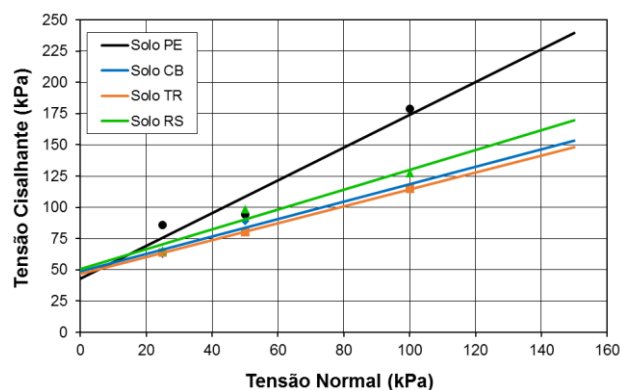


Figura 7. Envoltórias de ruptura.

Os valores do intercepto coesivo e do ângulo de atrito interno dos solos apresentaram certa semelhança, com exceção do ângulo de atrito do solo PE, o qual devido à sua distribuição granulométrica, apresenta um melhor entrosamento entre as partículas e assim um maior ângulo de atrito interno. Analisando as envoltórias apresentadas, observa-se que o solo PE apresenta a maior resistência ao cisalhamento, enquanto que o solo TR apresenta o pior desempenho neste quesito. Porém, vale ressaltar que as tensões cisalhantes usualmente atuantes em subleitos são bastante inferiores às tensões cisalhantes de ruptura apresentadas nas envoltórias para os quatro solos em estudo, não apresentando assim qualquer indício de ruptura por cisalhamento, quando empregados na

fundação de um pavimento.

4.5 Módulo de Resiliência

Como visto anteriormente, os modelos citados foram escolhidos por serem comumente utilizados na análise do módulo de resiliência de solos semelhantes aos em estudo. O parâmetro utilizado para análise dos quatro modelos adotados foi o coeficiente de determinação (R^2). As regressões foram calculadas a partir do número de pares de tensões que a amostra suportou sem sofrer grandes deformações.

A Tabela 5 apresenta os parâmetros k_1 , k_2 e k_3 obtidos para cada modelo analisado, bem como o coeficiente de determinação R^2 de cada par de amostra ensaiada.

Tabela 5. Parâmetros dos modelos analisados

Modelo		Solo PE	Solo CB	Solo TR	Solo RS
Tensão Desvio	k_1	138,97	44,05	215,98	218,77
	k_2	0,01	-0,08	0,17	0,33
	R^2	0,00	0,06	0,17	0,54
Tensão Confinante	k_1	200,76	64,38	529,45	413,38
	k_2	0,13	0,05	0,43	0,49
	R^2	0,11	0,02	0,76	0,83
Invariante de Tensões	k_1	153,52	53,51	242,81	187,12
	k_2	0,09	-0,01	0,35	0,47
	R^2	0,05	0,00	0,54	0,78
Modelo Composto	k_1	216,02	76,37	624,31	484,39
	k_2	0,254	0,311	0,644	0,488
	k_3	-0,131	-0,252	-0,202	0,065
	R^2	0,20	0,30	0,89	0,80

Observando os resultados, nota-se que de maneira geral, o modelo composto proposto por Macêdo (1996) apresentou o melhor desempenho, pois leva em consideração tanto a tensão confinante quanto a tensão desvio atuante (como variáveis independentes). Vale lembrar que os parâmetros apresentados correspondem à união das duas amostras ensaiadas, com o intuito de eliminar erros em relação à real rigidez do material, quando avaliado somente o resultado de uma amostra.

Analisando os resultados obtidos nos ensaios triaxiais de cargas repetidas para obtenção do

módulo de resiliência, verifica-se que para um mesmo par de tensões, o solo TR apresenta o maior módulo dentre os solos analisados. Uma possível explicação seria o fato de que o solo TR é o material com maior porcentagem de fração areia, apresentando uma influência maior da tensão confinante (acréscimo do MR) do que da tensão desvio. Como visto nos resultados dos ensaios de caracterização, os solos PE e RS apresentam granulometria similar com cerca de 57% de fração fina, divergindo em relação ao teor de argila presente. Por apresentar um teor de argila de aproximadamente 35% o solo PE apresenta módulo resiliente próximo ao do solo TR, enquanto que o solo RS (teor de argila de 41%) apresenta módulo inferior. O solo CB, material com maior porcentagem de argila apresenta o menor módulo de resiliência dos solos em estudo, para um mesmo par de tensões.

Segundo a classificação resiliente desenvolvida por Preussler e Pinto (1982), que leva em consideração as características resilientes dos materiais, os quatro solos em estudo são considerados solos finos e se enquadram no grupo Tipo I, representando materiais de bom comportamento quanto à resiliência como subleito e reforço de subleito, podendo até ser utilizado como camada de sub-base.

Como citado anteriormente, o atual método de dimensionamento não leva em consideração as características resilientes dos diversos materiais empregados no pavimento. O princípio do atual método se baseia no ISC do subleito. Observa-se nesse caso que o solo RS, com ISC de 16%, o maior dentre os solos em estudo, apresentou um módulo de resiliência intermediário, ou seja, a não consideração das deformações resilientes podem afetar o desempenho da estrutura ao longo de sua vida útil.

Em termos gerais, o comportamento elástico dos solos estudados apresentou melhor modelagem através do modelo composto, que leva em consideração o estado de tensões atuante no material. No que diz respeito à aplicação dos solos como subleito rodoviário, os mesmos obtiveram módulos de resiliência compatíveis com o esperado para materiais

empregados na fundação de um pavimento, levando em consideração suas características físicas e mecânicas.

5 CONCLUSÕES

A peculiaridade dos solos tropicais e a falha na classificação por parte dos sistemas de classificações internacionais fica evidente no que diz respeito às características e classificação dos solos em estudo.

Em relação aos ensaios de ISC, todos os materiais apresentaram valores superiores ao descrito em norma, no que se refere à solos empregados em subleitos rodoviários ($ISC \geq 2\%$ e $Expansão \leq 2\%$). Para o mesmo emprego, os solos estudados não apresentam indícios de sofrer ruptura por cisalhamento.

Em relação aos módulos de resiliência, para um mesmo par de tensões, o solo TR apresentou o maior módulo de resiliência dentre os solos estudados, seguido respectivamente pelos solos PE, RS e CB. Uma possível correlação com a granulometria dos materiais poderia explicar esse resultado. Verifica-se aqui, a correlação falha entre módulo de resiliência e ISC, evidenciando a importância da consideração do módulo resiliente do material empregado como subleito no desempenho do pavimento como um todo.

Assim, observando os resultados obtidos a partir dos ensaios laboratoriais, é possível afirmar que os quatro solos em estudo atendem os requisitos mínimos e estão aptos para o emprego como subleito rodoviário.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Santa Maria, instituição de ensino que viabilizou a realização deste estudo. À Fapergs/Capes pela bolsa de mestrado. Ao laboratório de materiais de construção civil (LMCC) pelo espaço cedido e aos laboratoristas pelo auxílio durante a execução dos ensaios.

REFERÊNCIAS

- American Association of State Highway and Transportation Officials - AASHTO TP 46-94 (1996) *Standard test method for determining the resilient modulus of soils and aggregate materials*. Washington D.C., 31p.
- American Society for Testing and Materials. ASTM D3080/11 (2011) *Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions*. Annual Book of ASTM Standards.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 6459 (1984) *Solo – Determinação do limite de liquidez*. Rio de Janeiro, 6p. Origem: MB-30.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 6508 (1984) *Grãos de solos que passam na peneira de 4.8 mm – Determinação da massa específica*. Rio de Janeiro, 8p. Origem: MB-28.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 7180 (1984) *Solo – Determinação do limite de plasticidade*. Rio de Janeiro, 3p. Origem: MB-31.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 7181 (1984) *Solo – Análise granulométrica*. Rio de Janeiro, 13p. Origem: MB-32.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 7182 (1986) *Solo – Ensaio de Compactação*. Rio de Janeiro, 10p. Origem: MB-33.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 9895 (1987) *Solo – Índice de Suporte Califórnia – Método de Ensaio*. Rio de Janeiro, 13p.
- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. DNER ME 256/94 (1994) *Solos compactados com equipamento miniatura – Determinação da perda de massa por imersão*. Rio de Janeiro.
- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. DNER ME 258/94 (1994) *Solos compactados em equipamento miniatura – Mini-MCV*. Rio de Janeiro.
- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT (2006) *Manual de Pavimentação*. Rio de Janeiro, 3ª ed.
- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT ME 134/2010 (2010) *Pavimentação – Solos – Determinação do módulo de resiliência – Método de ensaio*. Rio de Janeiro.
- Macêdo, J. A. G. (1996) *Interpretação de ensaios deflectométricos para avaliação estrutural de pavimentos flexíveis – A experiência com FWD no Brasil*. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 456f.
- Medrado, W. A. (2009) *Caracterização Geotécnica de solo da região norte de Minas Gerais para aplicação em obras rodoviárias*. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia Geotécnica) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.
- Pinto, C. S. (2006) *Curso Básico de Mecânica de Solos em 16 Aulas*. 3ª ed. Oficina de Textos, São Paulo, SP.
- Preussler, E. S.; Pinto, S. (1982) Proposição de método para projeto de reforço de pavimentos flexíveis, considerando a resiliência. In: 17ª Reunião Anual de Pavimentação, *Anais...*, Brasília.