UNIVERSIDADE REGIONAL DO NOROESTE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E ENGENHARIAS

Curso de Graduação em Engenharia Civil

GRACIELI BORRÉ

ESTUDO DE MISTURAS DE SOLO-AGREGADO PARA USO EM BASES E SUB-BASES DE PAVIMENTOS ECONÔMICOS

Ijuí/RS

2013

GRACIELI BORRÉ

ESTUDO DE MISTURAS DE SOLO-AGREGADO PARA USO EM BASES E SUB-BASES DE PAVIMENTOS ECONÔMICOS

Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Civil apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Civil

Orientador: Carlos Alberto Simões Pires Wayhs

Ijuí/RS

2013

GRACIELI BORRÉ

ESTUDO DE MISTURAS DE SOLO-AGREGADO PARA USO EM BASES E SUB-BASES DE PAVIMENTOS ECONÔMICOS

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em sua forma final pelo professor orientador e pelo membro da banca examinadora

Banca examinadora

_____

Prof. Carlos Alberto Simões Pires Wayhs, Mestre - Orientador

_____

Prof. José Antônio Santana Echeverria, Mestre

Ijuí, 26 de Novembro de 2013

Dedico a minha família, especialmente meus pais, Sirlei e Nelson, pelo esforço, dedicação e compreensão, em todos os momentos desta e de outras caminhadas, e por terem me proporcionado essa oportunidade de um futuro promissor.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família, especialmente meus pais, Sirlei e Nelson que sempre foram a base de tudo pra mim, me apoiando nos momentos difíceis com força, confiança, amor, ensinando-me a persistir nos meus objetivos e ajudando a alcançá-los.

Agradeço ao Professor Orientador Carlos Alberto Simões Pires Wayhs, pela competência, responsabilidade, confiança, incentivo e sua disponibilidade em ajudar.

Aos demais professores do curso por terem dividido seus conhecimentos conosco.

Aos colegas do grupo PET, pelo companheirismo e amizade, em especial aos que colaboraram com a pesquisa.

Aos colegas e amigos, Cristiano, Lucas, Pedro e André que de alguma forma ajudaram na realização dos ensaios, sem a ajuda de vocês não teria sido possível.

A todos os colegas, em especial a Cândida, Eduardo, Camila e Pamela pela amizade, companheirismo e parceria durante todo o curso.

E por fim à DEUS, por ter me dado força durante esses cinco anos de curso, a meio de dificuldades. Por ter me iluminado nas decisões mais difíceis e por ter me guiado ao longo do curso para trilhar o caminho mais correto possível.

RESUMO

Fazendo uma análise do atual sistema rodoviário brasileiro, percebe-se claramente a pequena porcentagem de rodovias pavimentadas. Conforme o DNIT (2012) apenas 7% da malha rodoviária do estado do Rio Grande do Sul é pavimentada. Motivos para tal fato são a escassez de recursos públicos, os altos custos dos materiais usualmente empregados na pavimentação das estradas e também outro fato causador da grande malha rodoviária do Rio Grande do Sul é a grande quantidade de pequenas propriedades rurais. Uma das medidas que podem ser tomadas para redução deste quadro é a utilização de materiais alternativos locais que tenham custos inferiores aos tradicionais, desde que garantida à boa qualidade técnica. Os solos lateríticos vêm sendo objeto de estudo desde a década de 1960, utilizados com sucesso em São Paulo e outros estados da região Norte e Nordeste. No Rio Grande do Sul as condições climáticas são fatores limitantes que praticamente inviabilizam a utilização dos solos lateríticos puros como bases de rodovias, pois o material exposto perde resistência pela ação do tráfego e do aumento da umidade na mistura (COUTO, 2009). Quando este solo é misturado com agregado britado o material estabilizado recebe o nome de solo brita, estas misturas geralmente apresentam resistência e estabilidade que atendem os requisitos necessários para uso em bases e sub-bases. Geralmente essas bases de solo brita são, economicamente, mais vantajosas que as outras convencionais como brita graduada ou solo cimento. Tendo em vista os fatos acima expostos, fica evidenciada a necessidade de avaliar o comportamento das misturas de solo laterítico argiloso com agregado britado provenientes da cidade de Ijuí, para uso em pavimentos econômicos. A pesquisa utiliza tanto a metodologia tradicional, já amplamente reconhecida como não muito adequada para os solos tropicais como este solo laterítico fino, bem como a metodologia MCT, criada especificamente para estes tipos de solos e alicerçada na tecnologia proposta por Villibor e Nogami. Basicamente o trabalho apresenta sete misturas diferentes de solo brita. Onde se buscou uma dosagem que se enquadrasse nas especificações, atendendo todos os requisitos básicos para utilização em campo, tais como boa resistência e baixa expansão. Portanto concluiu-se que a mistura SLAD 70% (Solo Laterítico Agregado Descontínuo) atende o recomendado quanto aos valores de CBR e expansão, para utilização em bases ou sub-bases de pavimentos econômicos.

Palavras-chave:

Pavimentos Econômicos; Argilas lateríticas; Misturas SLAD.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Seção transversal típica de um pavimento econômico.....17
Figura 2: Camadas de um pavimento flexível.....19
Figura 3: Classificação das bases e sub-bases flexíveis.....20
Figura 4: Tipos de solo-agregado.....22
Figura 5: Ocorrência de solos finos lateríticos no Brasil.....24
Figura 6: Classificação dos agregados.....24
Figura 7: Localização de Ijuí.....28
Figura 8: Local da retirada da amostra.....28
Figura 9: Secagem ao ar do solo.....29
Figura 10: Britas 1 e 2.....30
Figura 11: Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS).....32
Figura 12: Classificação de solos (TRB).....33
Figura 13: Gráfico da Classificação de Solos MCT.....35
Figura 14: Croqui do equipamento para penetração Mini-CBR.....36
Figura 15: Moldes e corpos de prova do CBR e Mini-CBR, com extensômetros.....37
Figura 16: Foto ilustrativa da montagem e croqui do ensaio.....38
Figura 17: Máquina “Los Angeles”.....39
Figura 18. Sequência de peneiras.....40
Figura 19: Ensaio de compactação 42
Figura 20: Corpo de prova embebido.....44
Figura 21: Penetração.....44
Figura 22: Gráfico de classificação MCT.....47
Figura 23: Curvas granulométricas das britas.....49
Figura 24: Curvas granulométricas das misturas SLAD.....51
Figura 25: Curvas de compactação do solo natural.....52

Figura 26: Curvas de compactação SLAD 40%.....52
Figura 27: Curvas de compactação SLAD 45%.....53
Figura 28: Curvas de compactação SLAD 50%.....53
Figura 29: Curvas de compactação SLAD 60%.....54
Figura 30: Curvas de compactação SLAD 65%.....54
Figura 31: Curvas de compactação SLAD 70%.....55
Figura 32: Curvas de compactação SLAD 24%(B1) + 36%(B2).....55
Figura 33: Curvas de compactação misturas SLAD. 56
Figura 34: Peso específico aparente seco máximo x umidade ótima.....56
Figura 35: ISC para o solo e misturas SLAD na energia modificada.....58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Comparação de preços, por m² de diferentes tipos de bases.....18
Tabela 2: Valores admissíveis para o Solo Fino (SF).....23
Tabela 3: Misturas SLAD.....31
Tabela 4: Valores admissíveis para SF.....34
Tabela 5: Dados do CBR e do Mini-CBR.....36
Tabela 6: Faixa granulométrica apresentada por Villibor e Nogami.....40
Tabela 7: Faixas granulométricas apresentada pelo DNER.....41
Tabela 8: Exigências de suporte e expansão.....45
Tabela 9: Valores para LL, LP e IP.....46
Tabela 10: Valores para os ensaios MCT.....47
Tabela 11: Percentagens médias passantes das britas.....48
Tabela 12: Porcentagem média passante das misturas.....50
Tabela 13: Pesos específicos máximos e umidades ótimas das misturas SLAD.....52
Tabela 14: Valores de CBR e expansão das misturas SLAD na energia modificada.....57

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

AASHTO - American Association of State Highway and Transportation Officials
ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
Al – Alumínio
A_n- abrasão “Los Angeles”
B1 – Brita 1
B2 – Brita 2
Cp – Corpo de prova
Ct – Contração axial
c’ - coeficiente angular
CBR – Califórnia Bearing Ratio
d’ - coeficiente de inclinação
DNER - Departamento Nacional de Estradas e Rodagem
DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
EMATER - Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural
ES – Especificação de serviço
e’ - Índice de laterização
Fe – Ferro
FURG – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
γ_s - massa específica aparente seca
h - teor de umidade do solo compactado
Ho – Umidade ótima
IP – Índice de Plasticidade
is – Imerso sem sobrecarga
ISC – Índice de Suporte Califórnia
LA’ – Solo laterítico arenoso
LC – Limites de contração
LEC – Laboratório de Engenharia Civil
Lf – Leitura final
LG’ – Solo laterítico argiloso
Li – Leitura inicial
LL – Limite de Liquidez
Lo – Comprimento inicial
LP – Limite de Plasticidade
MCT – Miniatura Compactada Tropical
MH – Silte elástico
M_h - massa úmida do solo compactado

m_n - massa total da amostra seca
m'_n - massa da amostra lavada e seca, após o ensaio
NBR – Norma brasileira
Nt – Tráfego máximo
PEASmax – Peso específico aparente seco máximo
Pi - perda de massa por imersão
RIS – Relação de índice de suporte
RS – Rio Grande do Sul
SAFL – Solo arenoso fino laterítico
SF – Solo fino
SL – Solo laterítico
SLAD - Solo laterítico-agregado descontínuo
SUCS - Sistema Unificado de Classificação de Solos
Ti – Titânio
TRB - Transportation Research Board
UFSM – Universidade Federal de Santa Maria
UNIJUÍ – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul
USA - United States of America
V - volume útil do molde cilíndrico

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO..... 14
1 REVISÃO DA LITERATURA..... 16
1.1 PAVIMENTOS ECONÔMICOS..... 16
1.2 ESTRUTURA DOS PAVIMENTOS FLEXÍVEIS..... 18
1.3 CAMADA DOS PAVIMENTOS FLEXÍVEIS..... 18
1.3.1 Bases e sub-bases..... 19
1.3.2 Bases e sub-bases estabilizadas granulometricamente..... 20
1.4 MISTURAS DE SOLO LATERÍTICO-AGREGADO DESCONTÍNUO..... 21
1.4.1 Solo laterítico..... 22
1.4.2 Agregados britados..... 24
2 METODOLOGIA..... 27
2.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA..... 27
2.2 PLANEJAMENTO DA PESQUISA..... 27
2.3 MATERIAIS..... 27
2.3.1 Solo..... 27
2.3.2 Brita..... 29
2.3.3 Misturas..... 30
2.4 ENSAIOS LABORATORIAIS..... 31
2.4.1 Limites de Atterberg e Classificação do Solo..... 31
2.4.2 Sistemática MCT..... 33
2.4.2.1 Classificação Geotécnica MCT (M9)..... 34
2.4.2.2 Ensaio Mini-CBR e Expansão (M2)..... 35
2.4.2.3 Ensaio de Contração (M3)..... 37
2.4.3 Abrasão "Los Angeles" e Sanidade..... 38
2.4.4 Análise granulométrica da brita..... 39
2.4.5 Análise granulométrica das misturas..... 40
2.4.6 Ensaio de Compactação..... 41
2.4.7 Índice de Suporte Califórnia..... 42
2.5 ACEITAÇÃO E ESCOLHA DA MISTURA SLAD..... 45
3 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS..... 46
3.1 ENSAIOS LABORATORIAIS..... 46
3.1.1 Limites de Atterberg e Classificação do Solo..... 46
3.1.2 Ensaios MCT..... 46
3.1.3 Abrasão "Los Angeles" e Sanidade..... 48
3.1.4 Análise granulométrica da brita..... 48
3.1.5 Análise granulométrica das misturas..... 49

3.1.6 Ensaio de Compactação..... 51
3.1.7 Índice de Suporte Califórnia..... 57
CONCLUSÃO..... 59
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 61

INTRODUÇÃO

Este trabalho tem como tema a pavimentação, abordando o uso de materiais alternativos em bases e sub-bases de pavimentos econômicos.

O solo é um material que pode ser facilmente encontrado nas margens das rodovias, porém, o uso do solo natural muitas vezes não é adequado, pelo fato de não atender os requisitos necessários para o uso em bases e sub-bases de pavimentos. Uma das técnicas utilizadas para obtenção do aumento da resistência e da estabilidade são os solos estabilizados granulometricamente. Com a análise do comportamento mecânico de diferentes misturas de solo brita será possível responder a questão: Qual a mistura de solo laterítico argiloso e brita é a mais indicada para a utilização em bases e sub-bases de pavimentos?

O objetivo geral do trabalho é avaliar a mistura de solo laterítico argiloso e brita para utilização em bases e sub-bases de pavimentos. Tendo como objetivos específicos:

- Definir as proporções das misturas solo-brita;
- Execução de ensaios geotécnicos da mistura, como granulometria e Índice de Suporte Califórnia;
- Aceitação da mistura SLAD.

Conforme o Relatório Funcional das Rodovias Federais do DNIT (2011) cerca de 80% da rede rodoviária nacional é composta de rodovias não pavimentadas sendo 90% de jurisdição municipal.

Atualmente há uma grande necessidade e importância da construção e conservação de estradas vicinais e vias urbanas nos municípios. Pois estas estradas possibilitariam o rápido escoamento da produção e a interligação com rodovias principais. Na maioria destes municípios isto não é feito pelo fato de que os materiais usualmente empregados na pavimentação como a brita graduada, serem de alto custo, e os recursos públicos serem escassos.

Uma das medidas que podem ser tomadas é a utilização de materiais alternativos locais que tenham custos inferiores aos tradicionais, desde que garantida à boa qualidade técnica.

O solo é um material utilizado eventualmente na região como subleito de rodovias pavimentadas e de leito estradal de não pavimentadas Pode ser encontrado facilmente em toda a região às margens das rodovias não pavimentadas, o que contribui para sua fácil obtenção, sem deslocamentos e consequentemente baixíssimo custo, reduzindo drasticamente o passivo ambiental que a pavimentação rodoviária provoca.

Os solos lateríticos vêm sendo objeto de estudo desde a década de 1960, utilizados com sucesso em São Paulo e outros estados da região Norte e Nordeste. No Rio Grande do Sul as condições climáticas são fatores limitantes que praticamente inviabilizam a utilização dos solos lateríticos puros como bases de rodovias, pois o material exposto ao clima tropical, perde resistência pela ação do tráfego e do aumento da umidade na mistura (COUTO, 2009). Quando este solo é misturado com agregado britado o material estabilizado recebe o nome de solo brita, estas misturas geralmente apresentam resistência e estabilidade que atendem os requisitos necessários para uso em bases e sub-bases. Geralmente essas bases de solo brita são, economicamente, mais vantajosas que as outras convencionais como brita graduada ou solo cimento.

Tendo em vista os fatos acima expostos, fica evidenciada a necessidade de avaliar o comportamento das misturas de solo laterítico com agregado britado para uso em pavimentos econômicos.

1 REVISÃO DA LITERATURA

1.1 PAVIMENTOS ECONÔMICOS

Ao analisar o atual sistema rodoviário do Brasil, torna-se evidente a pequena extensão de rodovias pavimentadas. Conforme o Relatório Funcional das Rodovias Federais do DNIT (2011) cerca de 80% da rede rodoviária nacional é composta de rodovias não pavimentadas sendo 90% de jurisdição municipal. A razão para tal fato está diretamente relacionada com a escassez de recursos públicos e com os altos custos dos materiais usualmente empregados na pavimentação das estradas.

Oliveira (2001 apud WAYHS, 2004, p. 4) cita que apenas 7,71 % da malha rodoviária do estado do Rio Grande do Sul é pavimentada, dados de dezembro de 2000. De pouco mais de 153.000 km que é a soma de todos os tipos de rodovias, sejam federais, acessos federais, estaduais, vicinais, estaduais transitórias, acessos estaduais e municipais, menos de 12.000 km são vias pavimentadas. Quadro pior observa-se nas rodovias municipais, em que apenas 0,5 % delas são pavimentadas, 699 km para pouco mais de 137.000 km. Por isso escreveu "Constata-se, então, a grande carência de rodovias pavimentadas no estado. Sem dúvida, no campo da pavimentação rodoviária, há muito ainda por fazer".

Wayhs (2004) ainda observa que neste contexto, uma das formas de viabilizar economicamente a construção de rodovias é a utilização de materiais locais, alternativos aos materiais tradicionais.

Felten (2005) cita que cabe a comunidade técnico-científica a responsabilidade por pesquisar soluções alternativas que atendam a dois critérios básicos: qualidade e baixo custo, justificando pesquisas no sentido de se conhecer o comportamento compactado dos solos regionais.

As decisões para a realização de uma obra rodoviária devem ser tomadas em função do objetivo da estrada e de sua influência na economia da região atendida. Por isso, as inversões em projetos rodoviários devem ajustar-se às peculiaridades das regiões beneficiadas, levando em conta o seu atual estágio de desenvolvimento e a rentabilidade dos investimentos, medida em termos de contribuição à economia. Pode-se afirmar que a maioria dos investimentos tendem a serem realizados em rodovias nas regiões mais desenvolvidas. Em razão da necessidade de corrigir o desequilíbrio na malha rodoviária nacional, os órgãos rodoviários nacionais e estaduais desde as últimas décadas vêm procurando promover a

interligação da rede rodoviária existente, através da pavimentação de rodovias secundárias. Uma vez que tenham estabelecidos estes canais de escoamento e integração, os benefícios serão evidentes, já que estarão propiciando a conquista e ocupação de regiões isoladas, promovendo a ligação entre os centros produtores e os centros de consumo, ou ainda a aproximação e desenvolvimento de várias comunidades que passarão a contar com transporte mais barato e seguro (OLIVEIRA, 2001).

Villibor e Nogami (2009) conceituam pavimentos econômicos como:

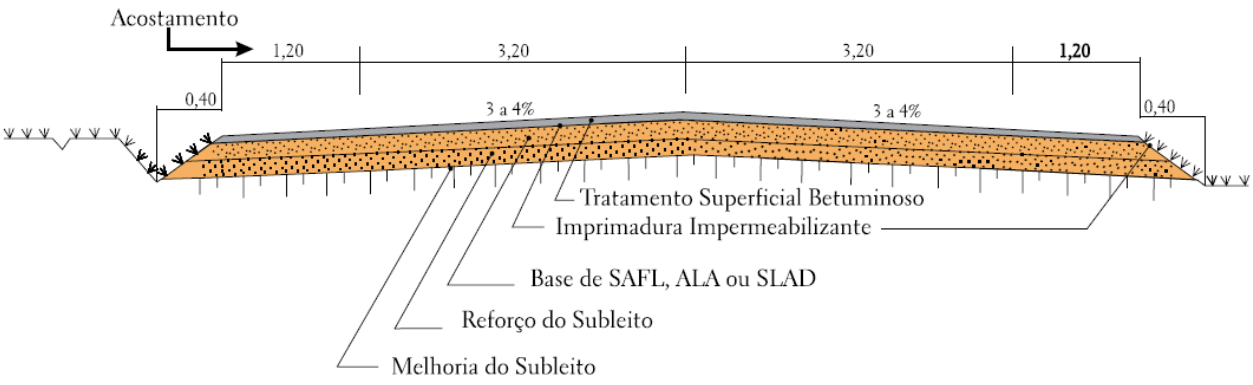
- Pavimentos que utilizam base constituída de materiais naturais ou misturados com pequena porcentagem de agregado, cujos custos de execução são substancialmente menores do que aqueles apurados nas bases tradicionais, como: brita graduada, macadame hidráulico, solo-cimento, etc.

- Pavimentos que utilizam revestimento betuminoso, tipo tratamento superficial duplo ou triplo, com espessura máxima de 3 cm e, frequentemente, da ordem de 1,5 cm.

- Pavimento que suporta um tráfego máximo do tipo médio, com $Nt \leq 10^6$ solicitações do eixo simples padrão de 80 kN.

Apresenta-se na Figura 1 uma seção transversal típica de um pavimento econômico, com medidas em metro.

Figura 1: Seção transversal típica de um pavimento econômico.



Fonte: Villibor e Nogami (2009, p. 201).

Villibor e Nogami (2009) ainda apresentam uma comparação de custos e vantagens ambientais entre a execução de pavimentos econômicos e pavimentos que usam bases tradicionais. Na Tabela 1 apresentam-se comparações de preços, onde percebe-se que o preço total da base de solo brita e de solo cimento é aproximadamente 50% e da brita graduada mais de 90 % mais caro que o preço total da base de SAFL.

Tabela 1: Comparação de preços, por m² de diferentes tipos de bases.

TIPO DE BASE	BASE	E	PT	RC
	R$/m²			(%)
SAFL	3,95	14,13	18,08	100
Solo Brita	13,59	14,13	27,72	153
Solo Cimento	13,73	14,13	27,87	154
Brita Graduada	20,38	14,13	34,51	191

E= Preço de Execução dos Serviços da Tabela A-I
PT= Preço Total dos Pavimentos (Referência: Preço Unitário DER-SP (Dez/08)
RC= Relação de Custo em Porcentagem (Referência Base de SAFL= 100%)

Fonte: Villibor e Nogami (2009, p. 202).

As vantagens ambientais do uso de materiais alternativos estão ligadas ao fato de suas jazidas serem ocorrências naturais, o que permite executar um projeto de recuperação da área degradada pela exploração, reconstruir a vegetação de sua superfície, por meio da reposição do material orgânico. Por outro lado as bases tradicionais utilizam na sua execução materiais beneficiados, cuja obtenção cria sérios problemas ambientais como, degradação da área explorada, ruídos e resíduos sólidos, gerados na exploração de pedreiras e gastos com energia e equipamentos específicos para o beneficiamento dos materiais.

1.2 ESTRUTURA DOS PAVIMENTOS FLEXÍVEIS

> Pavimento é uma estrutura de múltiplas camadas de espessuras finitas, construída sobre a superfície final de terraplenagem, destinada técnica e economicamente a resistir aos esforços oriundos do tráfego de veículos e do clima, e a propiciar aos usuários melhoria nas condições de rolamento, com conforto, economia e segurança. (BERNUCCI et al., 2008, p. 9).

Tradicionalmente o pavimento rodoviário classifica-se em dois tipos básicos: *rígidos* e *flexíveis.* Mais recentemente há uma tendência de usar-se a nomenclatura pavimentos de concreto de cimento Portland e pavimentos asfálticos, respectivamente, para indicar o tipo de revestimento do pavimento (BERNUCCI et al., 2008).

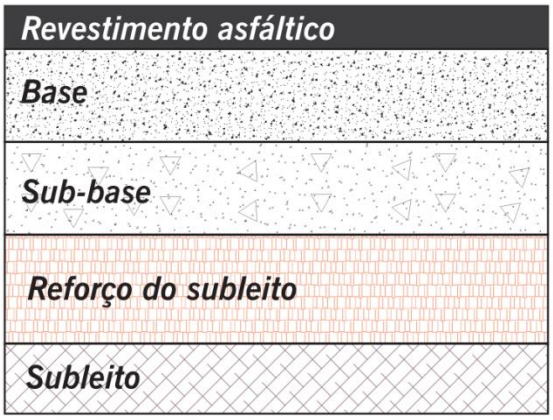
1.3 CAMADAS DOS PAVIMENTOS FLEXÍVEIS

Conforme Senço em um pavimento rodoviário, distinguimos as seguintes camadas (Figura 2):

- Subleito: é o terreno de fundação do pavimento.

- Reforço do subleito: é a camada de espessura constante, construída, se necessário, acima do subleito.
- Sub-base: é a camada complementar a base.
- Base: é a camada destinada a receber e distribuir os esforços oriundos do tráfego, e sobre a qual se constrói o revestimento.
- Revestimento: é a camada, tanto quanto possível impermeável que recebe diretamente a ação do tráfego, e destinada a melhorar a superfície de rolamento quanto às condições de conforto e segurança, além de resistir ao desgaste.

Figura 2: Camadas de um pavimento flexível.



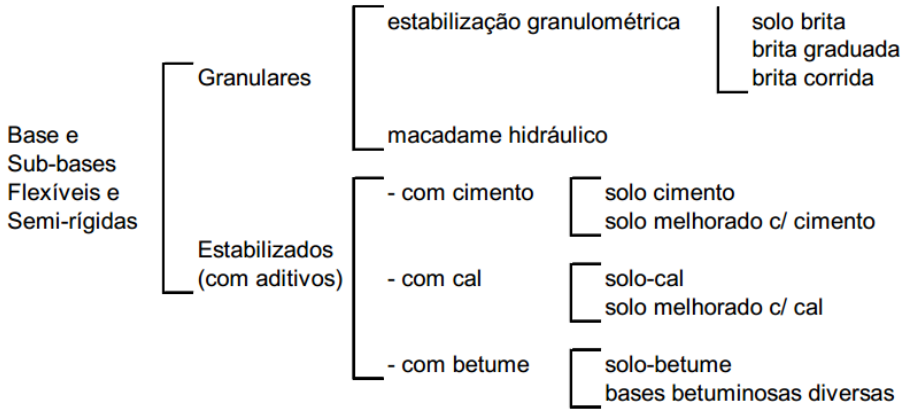
Fonte: Bernucci et al. (2008, p. 338).

1.3.1 Bases e sub-bases

A camada de base e sub-base serve para avaliar as pressões sobre as camadas de solo inferiores, e quando esta camada se torna muito espessa, procura-se, por razões construtivas e econômicas, dividi-la em duas camadas, criando-se assim, uma sub-base, geralmente de menor custo (BALBO, 2007).

Conforme o Manual de Pavimentação do DNIT (2006) as bases e sub-bases flexíveis podem ser classificadas nos seguintes tipos (Figura 3):

Figura 3: Classificação das bases e sub-bases flexíveis.



Fonte: DNIT (2006, p. 96).

1.3.2 Bases e sub-bases estabilizadas granulometricamente

Segundo o Manual de Pavimentação do DNIT (2006) são camadas constituídas por solos, britas de rochas, de escória de alto forno, ou ainda, pela mistura desses materiais. Estas camadas, puramente granulares, são sempre flexíveis e são estabilizadas granulometricamente pela compactação de um material ou de mistura de matérias que apresentem uma granulometria apropriada e índices geotécnicos específicos, fixados em especificações.

Senço (2001) cita que estabilização granulométrica é a simples técnica de adequar a distribuição dos diversos tamanhos dos grãos, a fim de que os vazios de diâmetros maiores sejam preenchidos pelos grãos médios, e os vazios dos mesmos sejam acomodados pelos grãos miúdos, dando ao conjunto uma estrutura densa, uma massa específica aparente superior às dos componentes, o que dará maior resistência e impermeabilidade.

O DNIT estabelece os procedimentos de execução e os parâmetros de aceitação e qualidade para materiais de base e sub-bases estabilizadas granulometricamente através das especificações de serviço: DNIT 139/2010-ES - Sub-base estabilizada granulometricamente; DNIT 141/2010-ES – Base estabilizada granulometricamente. Que por sua vez se baseiam nas normas de entidades norte-americanas, como por exemplo, American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). Tais normas são resultantes dos estudos feitos nas regiões situadas nos Estados Unidos da América (USA), onde o clima e solo predominantes são diferentes que no Brasil onde, tanto os solos quanto os climas predominantes, podem ser englobados, como do tipo tropical úmido.

Balbo (2007) observa que os critérios tradicionais de dosagem limitam cerca de 25% a quantidade de solo na mistura, que deve apesentar IP próximo a zero, o que, em geral, não resulta em misturas econômicas.

1.4 MISTURAS DE SOLO LATERÍTICO-AGREGADO DESCONTÍNUO

As misturas de solos finos com agregados, por sua vez, são empregadas em geral em substituição a camadas de britas graduadas, com vantagens econômicas (BALBO, 2007).

Nogami (1992 apud BALBO, 2007, p. 163) recomenda a classificação do solo pelo método MCT; as misturas solo-agregado devem contemplar solos preferencialmente LA' (Solo laterítico arenoso), porém também apresentando resultados satisfatórios para solos LG' (Solo laterítico argiloso) e LA (Areia laterítica).

Villibor e Nogami (1984 apud VILLIBOR e NOGAMI, 2009, p. 189) propuseram o primeiro critério para escolha de mistura descontínua de solo laterítico brita para bases de pavimentos, inédito por utilizar a sistemática MCT, abandonando o critério tradicional de estudo para bases estabilizadas granulometricamente.

Villibor e Nogami (2009) citam algumas peculiaridades das bases de Solo Laterítico Agregado Descontínuo SLAD, são elas:

- O material pode ser compactado com equipamentos pesados, produzindo base com alta densidade e sem danificar seus grãos maiores, pois os agregados acham-se disseminados, na massa do solo laterítico.

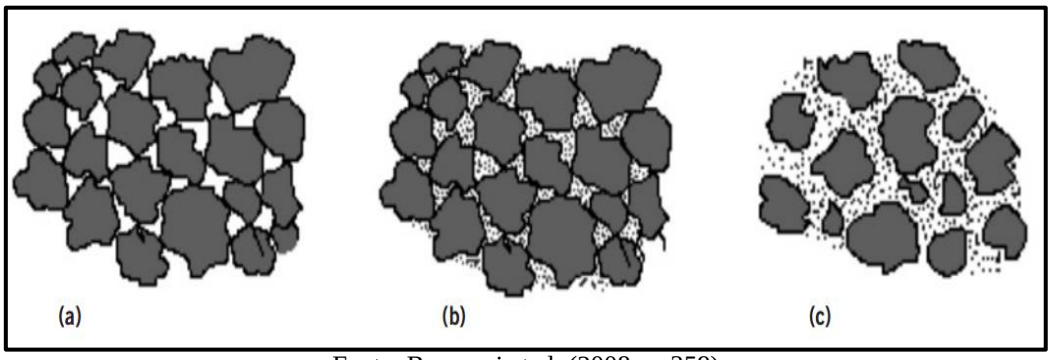
- A misturação de solo laterítico e agregado é fácil e simples podendo ser executada com grade de disco, pá carregadeira ou outros equipamentos.

- No processo de misturação não há necessidade da mistura estar totalmente homogênea, pelo fato da desuniformidade do material não alterar a qualidade da base, que já é descontínua.

- Quando a mistura é com solo LA' e LG', apresentam baixíssima permeabilidade, o que é extremamente vantajoso.

Bernucci (2008) descreve que, é possível subdividir os solos-agregados em três tipos distintos dependendo da proporção relativa entre a parte graúda e a parte fina (Figura 4):

Figura 4: Tipos de solo-agregado.



Fonte: Bernucci et al. (2008, p. 359)

(a) contato grão-grão; baixa densidade, permeável, não suscetível a mudanças com a umidade ou com o congelamento; compactação em geral difícil;

(b) finos preenchem os vazios, proporcionando alta densidade, permeabilidade mais baixa que o do tipo (a), contato grão-grão, mais resistente em geral que a do tipo (a), menor deformabilidade, moderadamente difícil de compactar;

(c) matriz de finos, não se garante contato grão-grão devido ao excesso de finos, densidade mais baixa em geral que o tipo (b), permeabilidade inferior ao tipo (b), podendo ser mesmo impermeável, dependendo da natureza dos finos, a mistura é afetada por variações de umidade, facilidade na compactação.

Para bases de pavimentos, as especificações tradicionais preconizam o uso de materiais do tipo (a) e (b), onde o contado grão-grão seja garantido. Em geral, as misturas onde o contato grão-grão é garantido são tradicionalmente as preferenciais, embora a prática tenha mostrado grande sucesso no tipo (c). O solo-brita tem sido empregado como material de base, predominantemente em misturas de 80% brita – 20% solo ou no máximo 70% brita – 30% solo. Eles vêm sendo empregados em vias de tráfego médio a pesado com sucesso BERNUCCI (2008).

1.4.1 Solo Laterítico

Os solos lateríticos são solos superficiais, típicos das partes bem drenadas das regiões tropicais úmidas, resultantes da uma transformação da parte superior do subsolo pela atuação do intemperismo, por processo denominado laterização.

Segundo Villibor et al. (2009) uma das mais importantes peculiaridades deste solo é o enriquecimento de óxidos hidratados de ferro e/ou alumínio e a permanência de caulinita

como argilo-mineral predominante. Estes minerais conferem aos solos de comportamento laterítico coloração típica vermelha.

Tendo em vista as dificuldades e deficiências da sistemática tradicional, os Engenheiros Douglas Fadul Villibor e Job Shuji Nogami desenvolveram uma nova sistemática de ensaios de solos que caracterizassem melhor os solos tropicais em seu ambiente, a Sistemática MCT.

Conforme Villibor e Nogami (2009) através desta nova metodologia conceituam-se solos argilosos finos lateríticos, aqueles que possuírem menos de 10% de fração retida na peneira de 2,00mm, possuírem menos de 50% de fração retida na peneira de 0,075mm. Estas frações podem conter, além do quartzo, óxidos e hidróxidos de Fe, Al e Ti. Assim esses solos se enquadrarão na classe de comportamento laterítico e ao grupo LG', da classificação MCT.

Ainda Villibor e Nogami (2009) apresentam valores admissíveis na Tabela 2 em que o solo fino laterítico deve atender para uso como componente de base SLAD.

Tabela 2: Valores admissíveis para o Solo Fino (SF).

PROPRIEDADES	INTERVALOS ADMISSÍVEIS		MÉTODOS DE ENSAIO
OBRIGATÓRIO	IDEAL	ACEITÁVEL	MCT
Grupos MCT	LA, LA',LG'		M5 e M8
Capacidade de Suporte Mini-CBR$_{Ho}$ [%]	> 40	> 30	M2
Expansão sem sobrecarga - Es [%]	< 0,3	< 0,3	
Contração - Ct [%]	0,1 a 0,5	0,1 a 0,8	M3
OPCIONAL	ACEITÁVEL		—
Relação RIS [%]	> 50		—
Coeficiente de Sorção d'água - s [cm/$\sqrt{min}$]	10^{-2} - 10^{-4}		M4
Coeficiente Permeabilidade - k_s [cm/s]	10^{-6} - 10^{-8}		
Valores na Ho da Energia Intermediária do Mini-Proctor			

Fonte: Villibor e Nogami (2009, p. 191).

Apresenta-se na Figura 5 a ocorrência de solos finos lateríticos, que perfazem 65% do território brasileiro. Percebe-se no mapa que no noroeste do Rio Grande do Sul existe uma faixa de ocorrência de solos argilosos de comportamento laterítico passando pelo município de Ijuí.

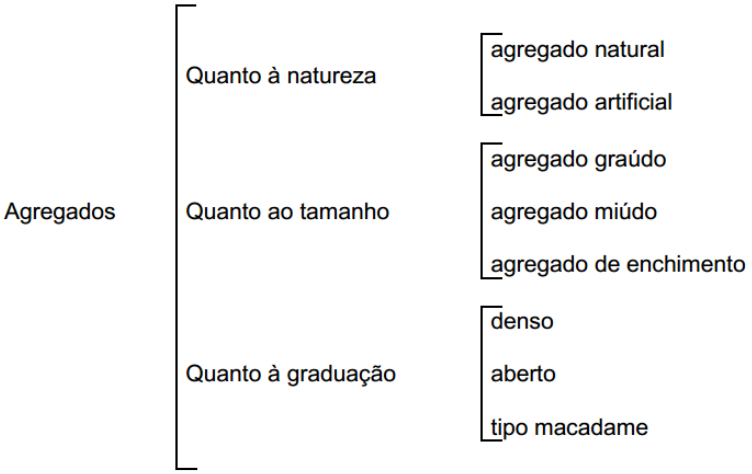
Figura 5: Ocorrência de solos finos lateríticos no Brasil.

Fonte: Villibor e Nogami (2009)

1.4.2 Agregados Britados

De acordo com o Manual de Pavimentação do DNIT (2006) os agregados podem ser classificados de acordo a natureza, tamanho e distribuição dos grãos, conforme Figura 6.

Figura 6: Classificação dos agregados.



Fonte: DNIT (2006)

O agregado graúdo é o material retido na peneira n° 10 (2 mm) sendo chamado de: britas, cascalhos, seixos, etc.

As características dos agregados que devem ser levadas em conta nos serviços de pavimentação, são as seguintes:

- Granulometria
- Forma
- Absorção de água
- Resistência ao choque e ao desgaste
- Durabilidade
- Limpeza
- Adesividade
- Massa específica aparente
- Densidade real e aparente do grão

A granulometria, representada pela curva de distribuição granulométrica, é uma das características que asseguram estabilidade aos pavimentos, em consequência do maior atrito interno obtido.

A forma predominante entre os grãos de um agregado é avaliada por um índice, denominado Índice de Forma, cuja determinação se faz pelo ensaio específico, normalizado pelo DNIT.

A porosidade é avaliada por intermédio de ensaios de absorção de água. O ensaio indica a quantidade de água que o agregado é capaz de absorver.

A resistência ao choque e ao desgaste está associada á ação do tráfego ou aos movimentos recíprocos das diversas partículas. A resistência ao choque é avaliada pelo ensaio Treton e a resistência ao desgaste pelo ensaio Los Angeles, ambos normalizados pelo DNIT.

A durabilidade do agregado está relacionada a resistência ao intemperismo. É avaliada por meio de um ensaio em que o agregado é submetido ao ataque de uma solução padronizada de sulfatos de sódio ou de magnésio. Esse ensaio é descrito com detalhes nos métodos de ensaios do DNIT.

Uma das qualidades essenciais a se exigir de um agregado a ser usado em revestimentos asfálticos é que tenha boa adesividade, isto é, não haja possibilidade de deslocamento da película betuminosa pela ação de água.

A massa específica aparente de um agregado é necessária para transformação de unidades gravimétricas em volumétricas e vice-versa, muito em uso nos serviços de

pavimentação. Sua determinação é preconizada por métodos normalizados pela ABNT e pelo DNIT.

Ainda, de acordo com o Manual de Pavimentação do DNIT (2006) os agregados necessitam de aperfeiçoamento para sua utilização, como por exemplo, a pedra britada. Segue suas definições abaixo:

Brita: é o material resultante da britagem de pedra, escória de alto forno, etc.

Brita classificada ou graduada: é a brita obedecendo a determinados limites de diâmetro.

Brita corrida: é o resultante da britagem, sem haver qualquer processo de separação granulométrica.

2 METODOLOGIA

2.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

Esta pesquisa pode ser classificada como quantitativa e aplicada, pois objetiva dar uma solução econômica para bases e sub-bases de pavimentos, e faz o uso de resultados para chegar a uma conclusão.

Quanto aos procedimentos é uma pesquisa bibliográfica e experimental, pois além de buscar em fontes escritas algumas informações necessárias para o alcance dos objetivos propostos, foram retiradas, preparadas e avaliadas amostras de misturas solo-agregado.

2.2 PLANEJAMENTO DA PESQUISA

Depois de concluída a revisão bibliográfica foi realizada a preparação de amostras de solo e brita, e a caracterização através de ensaios laboratoriais. As misturas de solo com brita em diferentes proporções pré-determinadas foram submetidas a ensaios geotécnicos. Dos resultados obtidos avaliaram-se suas propriedades para aceitação e escolha da(s) mistura(s) adequada(s) para uso em bases de pavimentos econômicos.

Os ensaios tradicionais de caracterização foram realizados no LEC - Laboratório de Engenharia Civil – UNIJUÍ. Os ensaios para classificação MCT realizaram-se no Laboratório de Geotecnia e Concreto da Escola de Engenharia da FURG - Universidade Federal de Rio Grande. Já os ensaios de perda por “Abrasão Los Angeles” e de sanidade (durabilidade ao sulfato de sódio) foram realizados em parceria com a Universidade Federal de Santa Maria – UFSM.

2.3 MATERIAIS

2.3.1 Solo

O solo utilizado no estudo foi retirado de um corte próximo do prédio do curso de Veterinária, no campus da UNIJUÍ – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, na cidade de Ijuí (RS), e de acordo com o Informativo da EMATER/RS, de julho de 1999, que atualizou a Classificação Taxonômica das Unidades de Mapeamento do

Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado do Rio Grande do Sul, se insere na unidade de mapeamento de solo LATOSSOLO VERMELHO Distroférrico típico (STRECK et al. 1999). Observa-se a localização na Figura 7. A profundidade de extração das amostras ocorreu em torno de 2 metros da superfície, pertencente ao horizonte B conforme observa-se na Figura 8.

Figura 7: Localização de Ijuí.

Fonte: http://www.hoteljardimeuropa.com.br/imagens/mapa.gif

Figura 8: Local da retirada da amostra.

Fonte: Autoria própria.

O solo coletado foi exposto ao ar para secagem até a umidade higroscópica como observa-se na Figura 9, após seco o solo deve passar integralmente na peneira 4,8mm. Durante todo o período de trabalho o solo foi estocado dentro de sacos para preservar a umidade higroscópica.

A preparação do solo foi feita conforme as condições prescritas na norma NBR 6457.

Figura 9: Secagem ao ar do solo.

Fonte: Autoria própria (2013).

2.3.2 Brita

De acordo com Villibor e Nogami (2009) o agregado britado é obtido de britagem de rocha ou de seixo lavado. Foram utilizados dois tipo de brita, classificadas como número 1 e 2, sendo a primeira de diâmetro máximo igual a 19 mm e a segunda de diâmetro máximo igual a 25 mm (Figura 10), coletadas numa unidade de britagem em pedreira de rocha basáltica no Município de Coronel Barros, de acordo com as condições da DNER-PRO 120/97.

Figura 10: Britas 1 e 2.

Fonte: Autoria própria (2013).

2.3.3 Misturas

Conforme sugerido por Villibor e Nogami (2009) a proporção das misturas deveriam ter 40%, 45% e 50 % de agregado graúdo respectivamente. Porém ao decorrer dos ensaios analisou-se que estas proporções de misturas não atendiam ao especificado. Portanto, além das misturas iniciais estudadas, foram ensaiadas misturas de 60%, 65% e 70% em substituição em massa de brita 1, e ainda uma mistura composta de 24% de brita 1 e 36% de brita 2 na proporção total de 60% de brita na mistura. Conforme a Tabela 3 as misturas ficaram denominadas da seguinte forma.

Tabela 3: Misturas SLAD

Componentes		Designação da mistura
Solo (%)	**Agregado (%)**	
60	40	SLAD 40%
55	45	SLAD 45%
50	50	SLAD 50%
40	60	SLAD 60%
35	65	SLAD 65%
30	70	SLAD 70%
40	60 (B1 + B2)	SLAD 60% (B1+B2)

Fonte: Autoria própria (2013).

2.4 ENSAIOS LABORATORIAIS

2.4.1 Limites de Atterberg e Classificação do Solo

Os limites definidos são de contração (LC), de plasticidade (LP) e de Liquidez (LL), eles são correspondentes à transição entre os estados sólido, plástico e líquido. A diferença, em percentagens, entre os limites de plasticidade e liquidez, é denominada índice de plasticidade (IP), informa quanto à amplitude da faixa de plasticidade (ORTIGÃO, 2007).

O IP é calculado através da Equação 1:

Equação 1: $IP = LL - LP$

O ensaio para determinação do Limite de Liquidez é realizado conforme a NBR 6459/84. O ensaio é realizado em um aparelho denominado de Casagrande, que consiste essencialmente de uma concha metálica que, acionada por uma manivela, golpeia a base do citado aparelho. O Ensaio é feito com a fração da amostra representativa do solo que passa na peneira 0,42 mm de abertura de malha (peneira n° 40) (DNIT, 2006).

Já o Limite de Plasticidade é determinado conforme prescreve a NBR 7180/84. A quantidade de material necessária para o ensaio é cerca de 50g. A amostra é colocada em uma cápsula e homogeneizada com adição de água aos poucos, até resultar massa plástica. Com uma quantidade dessa massa, forma-se uma pequena bola, que será rolada sobre uma placa de

vidro esmerilhada com pressão suficiente da mão, de modo a resultar a forma de cilindro. A operação é realizada até que a massa por perda de umidade se fragmente (DNIT, 2006).

O Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS) baseia-se na identificação dos solos de acordo com as suas qualidades de textura e plasticidade, e agrupa-os de acordo com seu comportamento quando usados em estradas, aeroportos, aterros e fundações.

Neste sistema, consideram-se as seguintes características dos solos:

a) Percentagens de pedregulhos, areias e finos;

b) Forma da curva granulométrica;

c) Plasticidade e Compressibilidade.

As principais divisões são: solos de granulação grossa, solos de granulação fina e solos altamente orgânicos. É apresentado na Figura 11 o Sistema Unificado de Classificação de Solos (DNIT, 2006).

Figura 11: Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS)

SOLOS DE GRADUAÇÃO GROSSA: mais de 50% retido na peneira nº 200	Pedregulhos: 50% ou mais da fração graúda retida na peneira nº 4	Pedregulho sem finos	GW	Pedregulhos bem graduados ou misturas de areia de ped.com pouco ou nenhum fino.
			GP	Pedregulhos mau graduados ou misturas de areia e ped.com pouco ou nenhum fino.
		Pedregulho com finos	GM	Pedregulhos siltosos ou misturas de ped.areia e silte.
			GC	Pedregulhos argilosos, ou mistura de ped.areia e argila.
	Areias: 50% ou mais da fração graúda passando na peneira nº 4	Areias sem finos	SW	Areias bem graduadas ou areias pedregulhosas, com pouco ou nenhum fino.
			SP	Areias mau graduadas ou areias pedregulhosas, com pouco ou nenhum fino.
		Areias com finos	SM	Areias siltosas - Misturas de areia e silte.
			SC	Areias argilosas - Misturas de areia e argila.
SOLOS DE GRADUAÇÃO FINA: 50% ou mais passando pela peneira nº 200	SILTES e ARGILAS com LL ≤ 50		ML	Siltes inorgânicos - Areias muito finas - Areias finas siltosas e argilosas.
			CL	Argilas inorgânicas de baixa e média plasticidade - Argilas pedregulhosas, arenosas e siltosas.
			OL	Siltes orgânicos - Argilas siltosas orgânicas de baixa plasticidade.
	SILTES e ARGILAS com LL > 50		MH	Siltes - Areias finas ou siltes micáceos - Siltes elásticos.
			CH	Argilas inorgânicas de alta plasticidade.
			OH	Argilas orgânicas de alta e média plasticidade.
	Solos Altamente Orgânicos		PT	Turfas e outros solos altamente orgânicos.

Fonte: DNIT (2006).

Na classificação TRB (antigo HRB) os solos são reunidos em grupos e subgrupos, em função de sua granulometria, limites de consistência e do índice de grupo. Na Figura 12 é mostrado o quadro de classificação dos solos, segundo TBR. Determina-se o grupo do solo, por processo de eliminação da esquerda pra direita. O primeiro grupo a partir da esquerda, com o qual os valores do solo ensaiado coincidir, será a classificação correta.

Figura 12: Classificação de solos (TRB)

CLASSIFICAÇÃO GERAL	MATERIAIS GRANULARES 35% (ou menos) passando na peneira Nº 200							MATERIAIS SILTO - ARGILOSOS			
CLASSIFICAÇÃO EM GRUPOS	A - 1		A - 3	A - 2				A - 4	A - 5	A - 6	A - 7 A - 7 - 5 A - 7 - 6
	A - 1 - A	A - 1 - B		A - 2 - 4	A - 2 - 5	A - 2 - 6	A - 2 - 7				
Granulometria - % passando na peneira											
Nº 10	50 máx.										
Nº 40	30 máx.	30 máx.	51 min.								
Nº 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 min.	36 min.	36 min.	36 min.
Características da fração passando na peneira Nº 40:											
Limite de Liquidez				40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.
Índice de Plasticidade	6 máx.	6 máx.	NP	10 máx.	10 máx.	11 min.	11 min.	10 máx.	10 máx.	11 min.	11 min.*
Índice de Grupo	0	0	0	0	0	4 máx.	4 max.	8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
Materiais constituintes	Fragmentos de pedras, pedregulho fino e areia			Pedregulho ou areias siltosos ou argilosos				Solos siltosos		Solos argilosos	
Comportamento como subleito	Excelente a bom							Sofrível a mau			

* O IP do grupo A - 7 - 5 é igual ou menor do que o LL menos 30.

Fonte: DNIT (2006).

2.4.2 Sistemática MCT

Esta sistemática, caracteriza-se pela utilização de corpos de prova cilíndricos, de dimensões reduzidas, com diâmetro de 50mm e de altura igual ou próxima dessa medida, por isso foram designados de “Miniatura”, com abreviação (M). Como, basicamente, são obtidos em laboratório por compactação (C) e a Sistemática foi desenvolvida para solos tropicais (T), isso justifica o uso da abreviatura MCT (VILLIBOR E NOGAMI, 2009).

De acordo com Villibor e Nogami (2009) os solos lateríticos, para uso como componente da base SLAD devem satisfazer os requisitos:

- Condição Ideal: a jazida deve ser submetida a um estudo geotécnico preconizado por Villibor e Nogami (2009). No entanto é opcional a obtenção dos valores das propriedades RIS (Relação de Índice de Suporte), Sorção e Permeabilidade, para sua qualificação.

- Condição aceitável: caso o solo da jazida não atenda algum dos requisitos da condição ideal, ainda assim poderá ser homologada, com segurança, desde que atenda os requisitos das propriedades para qualificação de solos finos.

Os valores admissíveis para solos finos (SF) são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4: Valores admissíveis para SF

PROPRIEDADES	INTERVALOS ADMISSÍVEIS		MÉTODOS DE ENSAIO
OBRIGATÓRIO	IDEAL	ACEITÁVEL	MCT
Grupos MCT	LA, LA',LG'		M5 e M8
Capacidade de Suporte Mini-CBR_{Ho} [%]	> 40	> 30	M2
Expansão sem sobrecarga - Es [%]	< 0,3	< 0,3	
Contração - Ct [%]	0,1 a 0,5	0,1 a 0,8	M3
OPCIONAL	ACEITÁVEL		—
Relação RIS [%]	> 50		—
Coeficiente de Sorção d'água - s [$cm/\sqrt{min}$]	10^{-2} - 10^{-4}		M4
Coeficiente Permeabilidade - k_s [cm/s]	10^{-6} - 10^{-8}		

Valores na Ho da Energia Intermediária do Mini-Proctor

Fonte: Villibor e Nogami (2009)

Os ensaios MCT foram realizados no Laboratório de Geotecnia e Concreto da Escola de Engenharia da FURG - Universidade Federal de Rio Grande.

2.4.2.1 Classificação Geotécnica MCT (M9)

Conforme Villibor e Nogami (2009) esta classificação veio permitir a verificação do comportamento laterítico, ou não, dos solos e dar subsídios à avaliação das propriedades mecânicas e hídricas dos solos típicos dos climas tropicais úmidos.

Os ensaios classificatórios, que fornecem os dados para a classificação são: Compactação Mini-MCV (M5), que fornece os coeficientes c' e d', e o da Perda de Massa por Imersão (M8), que fornece o Pi.

Villibor e Nogami (2009) explicam que o coeficiente c' correlaciona-se aproximadamente com a granulometria. Assim, um c' elevado (acima de 1,5) caracteriza as

argilas e solos argilosos, enquanto que valores baixos (abaixo de 1,0) caracterizam as areias e os siltes não plásticos ou pouco coesivos.

Com os valores de Pi e d' obtém-se o índice e' pela Equação 2:

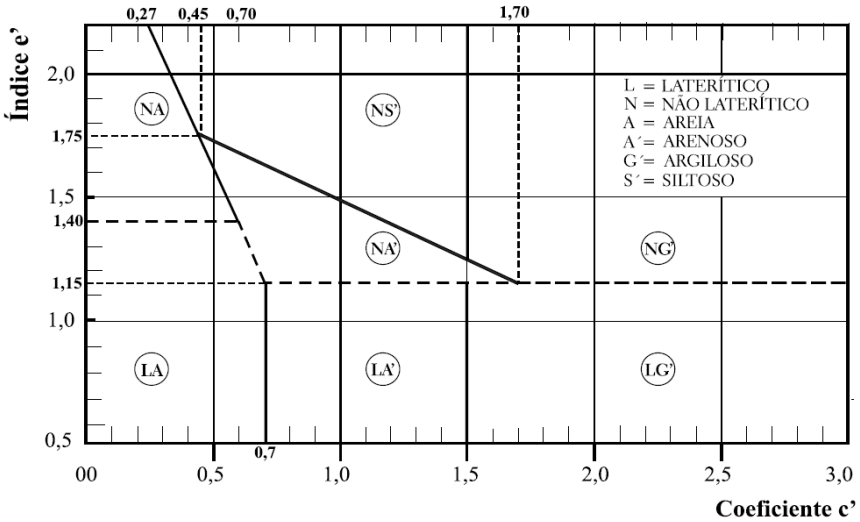
$$\text{Equação 2: } e' = \left(\frac{PI}{100} + \frac{20}{d'}\right)$$

Onde:

e' = Índice de laterização.

O gráfico da Classificação de Solos MCT, é traçado com os valores de c' e e', conforme apresenta-se na Figura 13.

Figura 13: Gráfico da Classificação de Solos MCT.



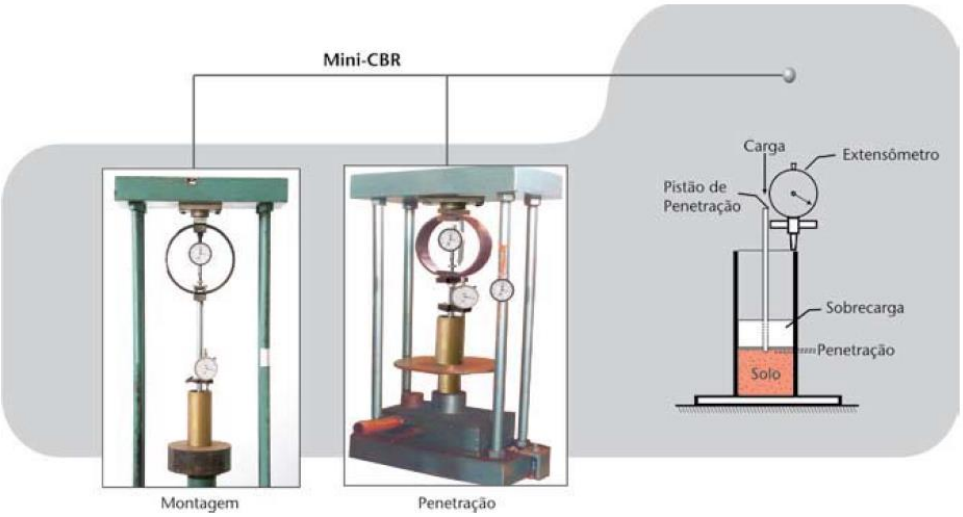
Fonte: Villibor e Nogami (2009)

2.4.2.2 Ensaio Mini-CBR e Expansão (M2)

Os corpos de prova compactados são obtidos de acordo com o Ensaio de Compactação Mini-Proctor (M1), onde o ensaio obedece ao mesmo procedimento geral, proposto por Proctor. Os métodos de ensaio da Sistemática MCT são apresentados no Anexo 2 do livro Pavimentos Econômicos de Villibor e Nogami (2009).

O procedimento do Ensaio Mini-CBR é, em linhas gerais, o mesmo que para o CBR (ou ISC) tradicional, entretanto, requer mais cuidado. Observa-se na Figura 14 a prensa utilizada para a penetração.

Figura 14: Croqui do equipamento para penetração Mini-CBR.



Fonte: Villibor e Nogami (2009)

Segundo a metodologia MCT, é rotina efetuar a determinação do Suporte, tanto em corpos de prova (cp) embebidos como não embebidos. Nos cp não embebidos, a determinação da penetração é efetuada após cerca de 1 hora, já nos cp embebidos é introduzido uma dada sobrecarga, após submerso é efetuada a leitura inicial da expansão, e efetuar a leitura após 12 horas, no mínimo, e maior tempo até que a leitura do extensômetro se estabilize. A penetração é efetuada após 1 hora de repouso.

É apresentado na Tabela 5 as características do método de ensaios de Mini-CBR e ISC, a Figura 15 ilustra os corpos de prova e seus moldes de compactação.

Tabela 5: Dados do CBR e do Mini-CBR.

Dados dos Ensaios			CBR	Mini-CBR
Moldes	diâmetro volume do corpo de prova		152 mm 2116 ml	50 mm 100 ml
Amostras	massa aproximada para 1 cp diâmetro máximo dos grãos		5000 g 19 mm	250 g 2 mm
Compactação	Normal:	massa do soquete altura de queda golpes (total)	2,5 kg 348 mm 168	2,27 kg 305 mm 10
	Intermediária:	massa do soquete altura de queda golpes (total)	4,5 kg 457 mm 130	4,5 kg 305 mm 12
Sobrecarga padrão			4540 g	490 g
Pistão de Penetração:		diâmetro	49,5 mm	16,0 mm
Prensa para penetração:		capacidade	44,5 kN	49 kN
Tempo de imersão padrão			96 h	24 h

Fonte: Villibor e Nogami (2009)

Figura 15: Moldes e corpos de prova do CBR e Mini-CBR, com extensômetros.

Fonte: Villibor e Nogami (2009)

A relação RIS é a sensibilidade do suporte (em %), de um solo compactado nas condições sem e com imersão. A relação é calculada pela Equação 3:

$$\text{Equação 3: Relação RIS} = \frac{Mini-CBRis}{Min-CBRHo} \times 100$$

Onde:

Mini-CBRis= Mini-CBR imerso, sem sobrecarga.

Mini-CBRHo= Mini-CBR na umidade ótima de compactação.

2.4.2.3 Ensaio de Contração (M3)

O ensaio é efetuado medindo-se, diretamente, a Contração Axial (Ct) dos corpos de prova por secagem lenta ao ar livre (Figura 16). O ensaio utiliza corpos de prova não imersos previamente em água, e para o cálculo da Contração, usa-se a Equação 4:

$$\text{Equação 4: Ct}= \frac{Lf-Li}{Lo} \times 100\ (\%)$$

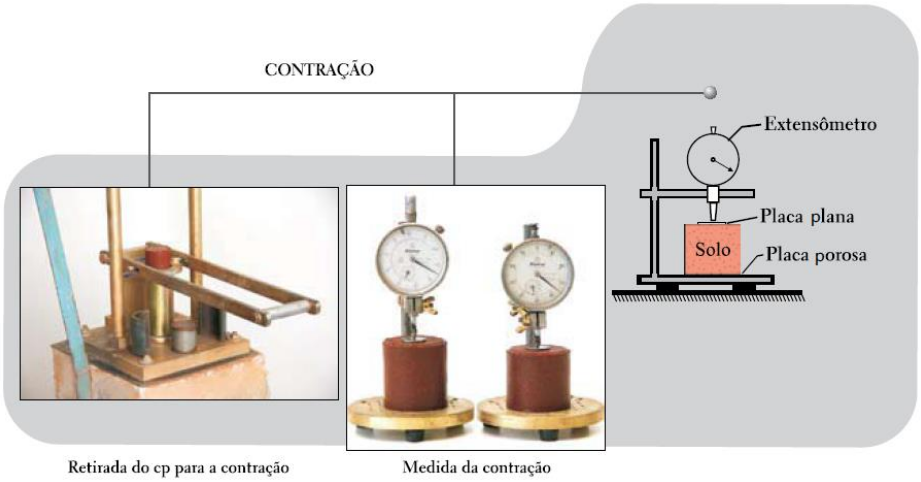
Onde:

Ct= Contração axial.

Li e Lf= Leitura inicial e final do cp.

Lo= Comprimento inicial do cp.

Figura 16: Foto ilustrativa da montagem e croqui do ensaio.



Fonte: Villibor e Nogami (2009)

2.4.3 Abrasão "Los Angeles" e Sanidade

O agregado britado para poder ser utilizado em base SLAD deverá atender as seguintes características:

- Fragmentos duráveis com Abrasão Los Angeles menor que 50%.

- Sem excesso de partículas lamelares e forma adequada.

A determinação da resistência dos grãos deverá seguir os métodos de ensaio da norma DNER-ME 035/98.

O ensaio consiste em determinar o desgaste sofrido pelo agregado quando colocado na máquina "Los Angeles" (Figura 17) juntamente com uma carga abrasiva, submetido a um determinado número de revoluções conforme prescrito na norma. O desgaste é expresso pela porcentagem, em peso, do material passante, após o ensaio, pela peneira de abertura 1,7mm.

Calculada pela Equação 5:

$$\text{Equação 5: } A_n = \frac{m_n - m'_n}{m_n} \times 100$$

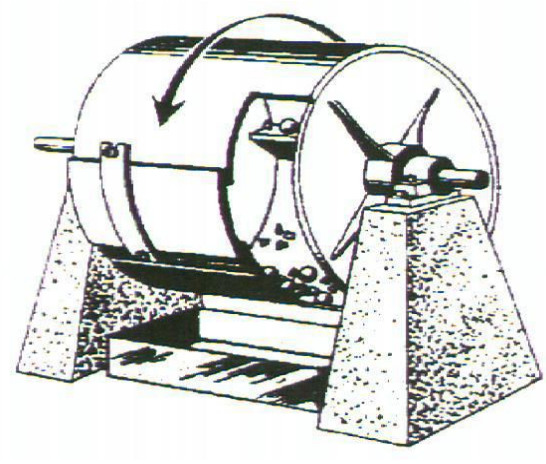
Onde:

A_n= abrasão "Los Angeles";

m_n= massa total da amostra seca;

m'_n= massa da amostra lavada e seca, após o ensaio (retida na peneira de 1,7mm)

Figura 17: Máquina “Los Angeles”.



Fonte: Echeverria (2012)

O ensaio de avaliação da durabilidade pelo emprego de soluções de sulfato de sódio ou de magnésio foi feito de acordo com os métodos de ensaio da norma DNER-ME 089/94.

O objetivo do ensaio é determinar a resistência à desintegração dos agregados à ação do tempo, pelo ataque de soluções de sulfato de sódio ou de magnésio.

2.4.4 Análise granulométrica da brita

Conforme Villibor e Nogami (2009) o material para uso na mistura pode ser obtido mediante a composição (em massa) de pedra 1 (# 19 mm) e pedrisco em proporções iguais, ou outra composição, desde que atenda os requisitos de 100% passando na peneira 1” e tendo no máximo, 10% passando na # 2,00mm. O peneiramento manual da brita de número 1 e 2 foram realizados de acordo com as diretrizes da NBR 7181. Observa-se a sequência das peneiras na Figura 18.

Figura 18: Sequência de peneiras.

Fonte: Autoria própria (2013)

2.4.5 Análise granulométrica das misturas

Após a aceitação dos materiais para utilização em bases SLAD, realizou-se a análise granulométrica das misturas para verificar o enquadramento das mesmas na faixa granulométrica apresentada por Villibor e Nogami (2009), conforme Tabela 6, assim como nas faixas do DNER-ES 303/97(Tabela 7).

Tabela 6: Faixa granulométrica apresentada por Villibor e Nogami.

PENEIRA DE MALHA QUADRADA		% EM PESO QUE PASSA	TOLERÂNCIA
ASTM	mm		
1″	25,4	100	—
3/8″	9,5	50-75	±5
nº10	2,0	35-62	±5
nº40	0,42	30-60	±5
nº200	0,075	10-30	±5

Fonte: Villibor e Nogami (2009).

Tabela 7: Faixas granulométricas apresentada pelo DNER.

Tipos	Para N > 5 X 10^6				Para N < 5 X 10^6		Tolerâncias
Peneiras	A	B	C	D	E	F	da faixa
	% em peso passando						de projeto
2”	100	100	-	-	-	-	± 7
1”	-	75-90	100	100	100	100	± 7
3/8”	30-65	40-75	50-85	60-100	-	-	± 7
N° 4	25-55	30-60	35-65	50-85	55-100	10-100	± 5
N° 10	15-40	20-45	25-50	40-70	40-100	55-100	± 5
N° 40	8-20	15-30	15-30	25-45	20-50	30-70	± 2
N° 200	2-8	5-15	5-15	10-25	6-20	8-25	± 2

Fonte: DNER-ES 303/97.

Assim como realizado para as britas o processo da análise granulométrica das misturas foi orientado pela NBR 7181.

2.4.6 Ensaio de compactação

O ensaio de compactação foi realizado seguindo as recomendações da norma NBR 7182/86.

O objetivo deste ensaio é determinar qual o valor de umidade (h_{ot}) que leva ao maior valor de massa específica seca (γ_s), para a energia de compactação aplicada.

Este ensaio assim como o de Índice de Suporte Califórnia serão executados na energia conforme cita Villibor e Nogami (2009):

- Abrasão Los Angeles ≤ 60%: compactação na Energia Modificada.

- Abrasão Los Angeles ≥ 60 e < 70%: compactação na Energia Intermediária.

O ensaio de compactação consiste em compactar uma amostra de material com um soquete, em um molde cilíndrico de dimensões padronizadas Figura 19. A compactação é feita em camadas, aplicando-se um determinado número de golpes/camada conforme a energia de compactação desejada. Apresenta-se no Quadro 1 as energias e seus respectivos número de golpes.

Quadro 1: Energias de compactação.

Cilindro	Característica inerentes a cada energia de compactação	Energia		
		Normal	Intermediária	Modificada
Pequeno	Soquete	Pequeno	Grande	Grande
	Número de camadas	3	3	5
	Número de golpes por camada	26	21	27
grande	Soquete	grande	grande	grande
	Número de camadas	5	5	5
	Número de golpes por camada	12	26	55
	Altura do disco espaçador (mm)	63,5	63,5	63,5

Fonte: Adaptado de NBR 7182, 1986.

Figura 19: Ensaio de compactação.

Fonte: Autoria própria (2013).

2.4.7 Índice de Suporte Califórnia

O Índice de Suporte Califórnia ou também chamado de CBR será determinado conforme as condições da norma NBR 9895/87.

O objetivo deste ensaio é determinar o valor relativo do suporte de solos e de expansão, utilizando-se amostras deformadas não trabalhadas de material passante na peneira 19mm.

As amostras foram preparadas de acordo com a norma NBR 6457/86, conforme citado anteriormente.

O ensaio se dá pela moldagem de corpos-de-prova (CP's), semelhante ao ensaio de compactação. Após ser moldados os CP's eles são pesados para obtenção da massa úmida do solo compactado. Para obter a expansão os CP's deverão ser submersos durante 4 dias Figura 20, leituras de deslocamento vertical serão efetuadas.

Após os 4 dias os CP's estão preparados para penetração. A penetração é realizada a uma velocidade constante de 1,27 mm/min Figura 21.

A massa específica aparente seca será calculada pela Equação 6:

$$\text{Equação 6: } \gamma_s = \frac{M_h.100}{V(100+h)}$$

Onde:

γ_s: massa específica aparente seca, em g/cm³

M_h: massa úmida do solo compactado, em g

V: volume útil do molde cilíndrico, em cm³

h: teor de umidade do solo compactado, em %

A expansão é calculada utilizando a seguinte Equação 7:

$$\text{Equação 7:} Expansão(\%) = \frac{(leitura\ final - leitura\ inicial\ no\ extensômetro)}{altura\ inicial\ do\ corpo-de-prova} x\ 100$$

O valor de ISC foi calculado pela Equação 8, o valor foi o maior valor entre as medidas de penetração em 2,54mm e 5,08mm.

$$\text{Equação 8: } ISC = \frac{(pressão\ aplicada\ ou\ pressão\ corrigida)}{(pressão\ padrão)}$$

Onde:

pressão aplicada ou pressão padrão: dada pelo ensaio de penetração.

pressão padrão: valor padrão presente na norma.

Figura 20: Corpo de prova embebido

Fonte: Autoria própria (2013).

Figura 21: Penetração.

Fonte: Autoria própria (2013).

2.5 ACEITAÇÃO E ESCOLHA DA MISTURA SLAD

De acordo com Villibor e Nogami (2009) para aceitação de cada mistura, elas devem atender às exigências de suporte e expansão, em função do tráfego Nt, conforme indicadas na Tabela 8:

Tabela 8: Exigências de suporte e expansão.

TRÁFEGO	SUPORTE	EXPANSÃO
Nt	%	%
$\leq 5x10^6$	≥ 60	$\leq 0,3$
$5x10^6$ a 10^7	≥ 80	$\leq 0,3$

Fonte: Villibor e Nogami (2009).

A dosagem da mistura recomendada é aquela que atenda as exigências da tabela referida, com a menor porcentagem de brita na sua composição e com o mínimo de 40% em massa de agregado na mistura.

3 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

3.1 ENSAIOS DE LABORATÓRIO

3.1.1 Limites de Atterberg e Classificação do Solo

Os valores de Limite de Liquidez, Limite de Plasticidade e Índice de Plasticidade para o solo natural são apresentados na Tabela 9. A massa específica real foi de 2,885 g/cm³.

Tabela 9: Valores para LL, LP e IP.

	LL (%)	LP (%)	IP (%)
Solo Natural	65	39	26

Fonte: Autoria própria (2013).

Quanto às classificações de solos tradicionais, a do Sistema Unificado de Classificação de Solos – SUCS – ou Classificação de Casagrande, leva em conta a granulometria, a plasticidade e a presença de matéria orgânica. Por este sistema, a argila vermelha de Ijuí foi classificada como MH – silte elástico.

Já segundo o Sistema Rodoviário de Classificação – HRB/AASHTO, o solo é do grupo A-7-5 (18). Segundo DNER (1996), o grupo de solo A-7-5 encerra materiais com índice de plasticidade moderado em relação ao limite de liquidez, podendo ser altamente elástico e sujeito a elevadas mudanças de volume. E indica também que o comportamento do solo como subleito é considerado sofrível a mau.

3.1.2 Ensaios MCT

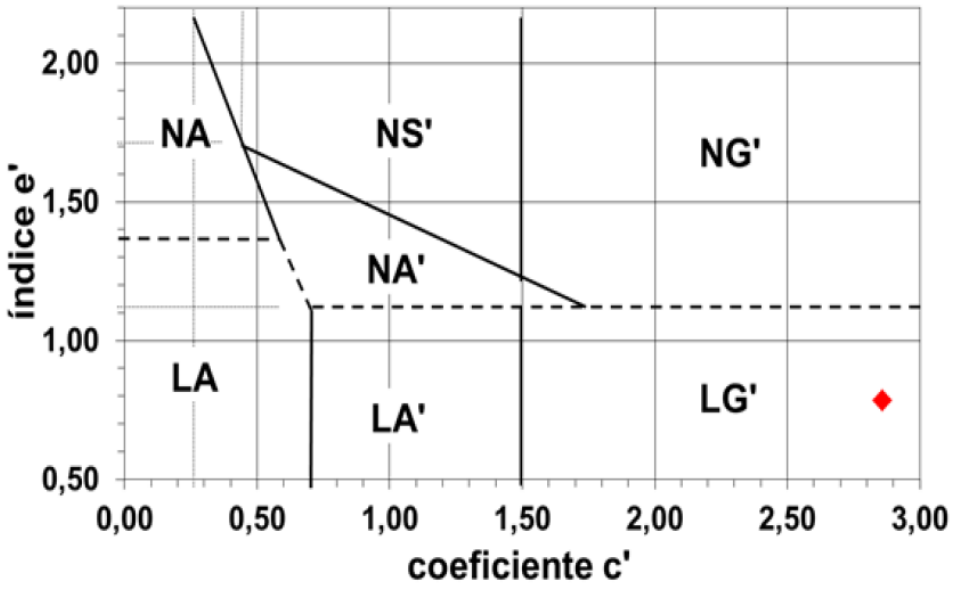
No Laboratório de Geotecnia e Concreto da Universidade Federal do Rio Grande – FURG foram realizados ensaios para a classificação MCT do solo natural. Os valores obtidos para c' (coeficiente angular), d'(coeficiente de inclinação), e Pi (perda de massa por imersão) para mini-MCV, foram respectivamente 2,86, 41,50 e 0%.

Com os valores de d' e PI calcula-se o coeficiente e' pela Equação 9 abaixo:

Equação 9: $e' = (\frac{PI}{100} + \frac{20}{d'})$

Calculando e' obtém-se (0,78). Com este valor e o de c', pode-se classificar a argila como solo de comportamento laterítico argiloso – LG' por meio do gráfico de classificação MCT que é apresentado na Figura 22.

Figura 22: Gráfico de classificação MCT.



Fonte: Villibor e Nogami (2009).

Os resultados para o solo natural dos ensaios de Mini-$CBR_{Ho,}$ Mini-$CBR_{is,}$ Expansão sem sobrecarga e Relação RIS são apresentados na Tabela 10:

Tabela 10: Valores para os ensaios MCT.

	Mini-CBR_{Ho} (%)	Mini-CBR_{is} (%)	Expansão sem sobrecarga (%)	Relação RIS (%)
Solo Natural	31	21	0,14	67,7

Fonte: Autoria própria (2013).

Nota-se que o valor de 31% para o Mini-CBR_{Ho} se enquadra na condição aceitável de >30, nos intervalos admissíveis dado por Villibor e Nogami (2009), como apresentado na Tabela 3 do item 3.4.1. Já a expansão de valor 0,14% se enquadrou na condição ideal, com um valor bem abaixo do recomendado. Outro fator opcional é a Relação RIS que apresentou 67,7% se enquadrando na opção aceitável. Talvez até a data de apresentação tenhamos os resultados do ensaio de Contração do solo natural.

3.1.3 Abrasão “Los Angeles”

Conforme descrito no item 3.4.2 o agregado graúdo foi submetido ao ensaio de Abrasão “Los Angeles” onde foi colocado na máquina “Los Angeles” juntamente com uma carga abrasiva, submetido a um determinado número de revoluções conforme prescrito na norma. O agregado britado apresentou 10,85% de perda de material graúdo, resultado muito abaixo do máximo recomendado por Villibor e Nogami (2009), que seria fragmentos duráveis com Abrasão Los Angeles menor que 50%. Além disso, apresentou perda de 1,41% do material graúdo no ensaio de sanidade (ensaio de durabilidade pelo emprego de sulfato de sódio), valor bastante baixo e altamente satisfatório quanto resistência ao intemperismo.

3.1.4 Análise granulométrica das britas

Como citado no item 3.4.3 a análise granulométrica da brita de número 1 e 2 foram realizadas de acordo com a NBR 7181. Na tabela 11 são apresentados os resultados do ensaio de granulometria, para as britas de numero 1 e 2.

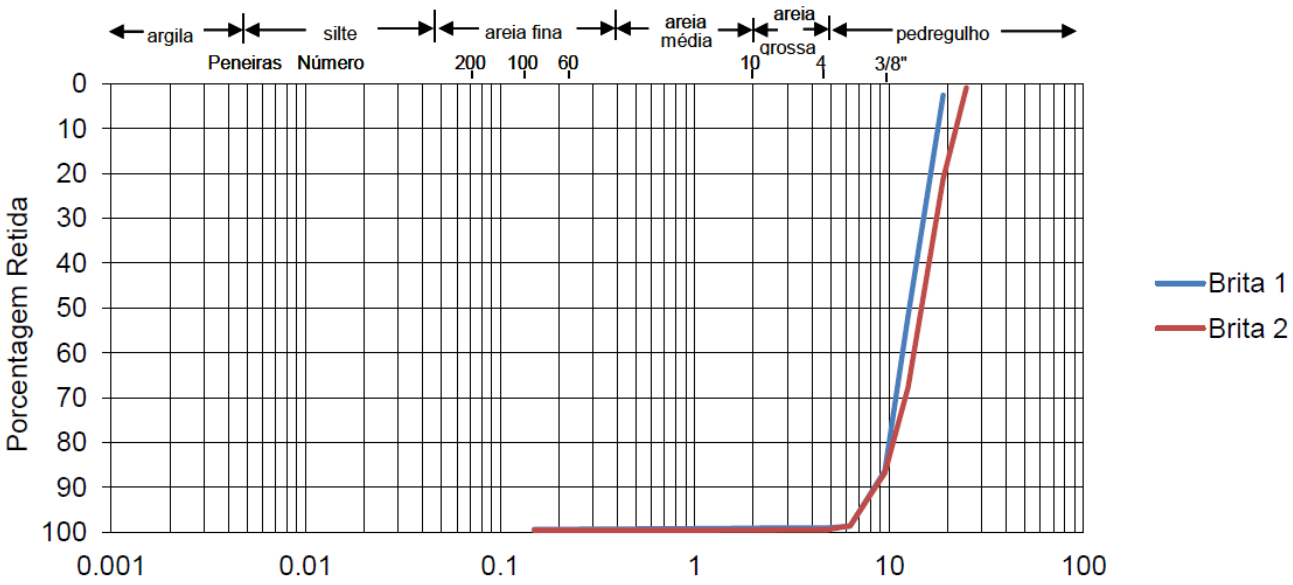
Tabela 11: Percentagens médias passantes das britas.

Peneiras	mm	Brita 1	Brita 2
1”	25	100	99.09
¾”	19	97.39	78.78
½”	12.5	48.17	32.26
3/8”	9.5	13.73	13.26
¼”	6.3	1.36	1.41
4	4.8	0.98	0.54
8	2.4	0.94	0.47
16	1.2	0.86	0.46
30	0.6	0.74	0.45
50	0.3	0.71	0.44
100	0.15	0.63	0.41

Fonte: Autoria própria (2013).

A brita que mais se enquadra nos requisitos adotados por Villibor e Nogami é a de número 1, onde 100% passa na peneira 1”, e tem apenas 0.94% passando na peneira 8 (# 2,00mm). Já a brita de numero 2 tem 0.47% passando na 8 e 99.09% passando na peneira 1”, a qual praticamente se enquadra no requisito. As curvas são apresentadas na Figura 23.

Figura 23: Curvas granulométricas das britas.



Fonte: Autoria própria (2013).

3.1.5 Análise granulométrica das misturas

Conforme descrito anteriormente no item 3.4.4, para a análise granulométrica das misturas SLAD, adotou-se a relação de peneiras da NBR 7181. A relação de peneiras recomendada por Villibor e Nogami (2009) para o enquadramento nas faixas granulométricas, contem algumas peneiras diferentes das da norma, por isso foram incluídas às peneiras da norma. Os valores obtidos para estas peneiras foram retirados das curvas granulométricas. Na tabela 12 são apresentadas as porcentagens passantes de cada mistura, juntamente com a faixa apresentada por Villibor e Nogami (2009).

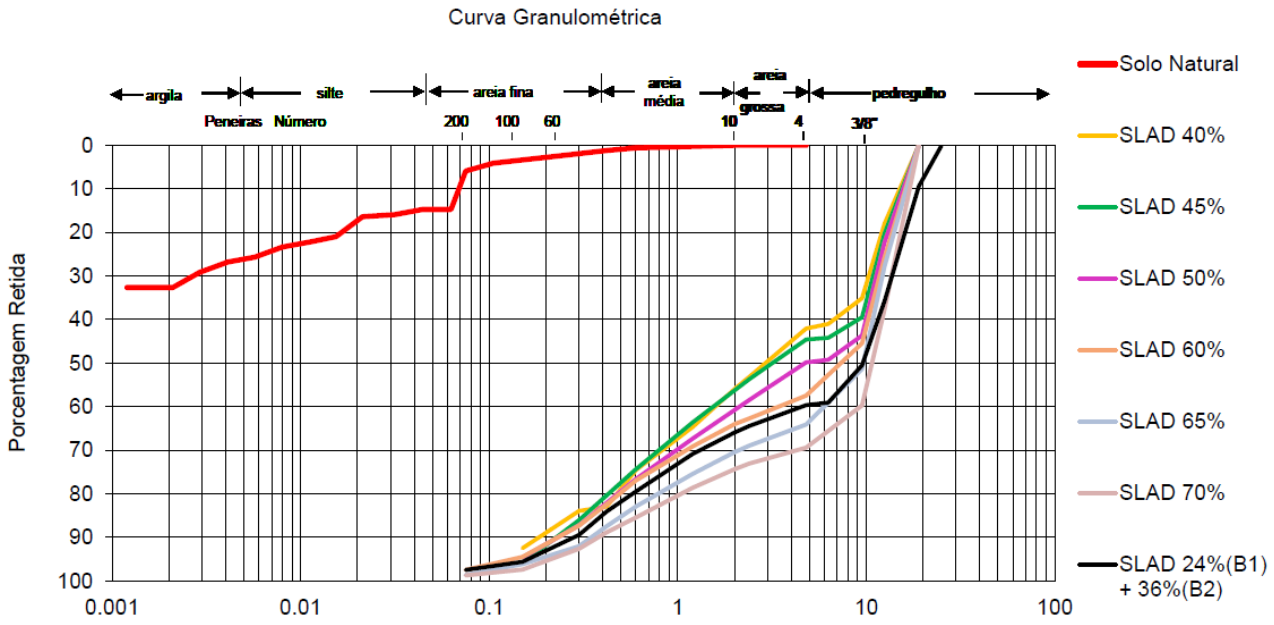
Tabela 12: Porcentagem média passante das misturas.

Peneiras	mm	SLAD 40%	SLAD 45%	SLAD 50%	SLAD 60%	SLAD 65%	SLAD 70%	SLAD 24%(B1) + 36%(B2)	Faixa
1”	25	100	100	100	100	100	100	99.82	100
¾”	19	100	100	100	100	100	100	90.57	
½”	12.5	81.99	79.74	78.57	74.16	72.19	62.28	64.23	
3/8”	9.5	64.87	60.46	59.99	54.55	48.62	40.25	49.46	50-75
¼”	6.3	58.95	55.77	50.76	47.70	40.20	34.30	40.89	
4	4.8	57.93	55.39	50.11	42.51	35.87	30.59	40.34	
8	2.4	46.83	46.30	42.48	37.27	31.02	26.92	35.51	
10	2	44.00	43.20	40.04	35.93	29.53	25.60	34.01	35-62
16	1.2	35.31	36.34	33.03	30.82	24.54	21.35	29.08	
30	0.6	25.38	25.62	24.09	23.01	17.04	14.52	20.46	
40	0.42	17.00	18.50	18.15	17.53	12.53	11.11	15.93	30-60
50	0.3	16.01	13.93	13.05	12.66	7.96	7.33	10.50	
100	0.15	7.49	4.10	4.19	5.49	3.80	2.54	4.33	
200	0.075	4.70	3.55	5.36	2.48	1.35	1.26	2.50	10-30

Fonte: Autoria própria (2013).

Todas as misturas se enquadram na faixa apresentada por Villibor e Nogami (2009), apenas a fração miúda é ligeiramente mais grossa que os limites. Já comparadas às faixas do DNIT todas se enquadram na faixa C (Tabela 7) com exceção da mistura SLAD 70%, também com suas frações miúdas ligeiramente mais grossas que o limite. Já as misturas de 70% e de 24%(B1) + 36%(B2) se enquadram na faixa B do DNER, tendo suas frações miúdas ligeiramente mais grossas que os limites da faixa a partir da peneira 40 (< #0.42mm). Apresentam-se as curvas granulométricas das misturas SLAD na Figura 24.

Figura 24: Curvas granulométricas das misturas SLAD.



Fonte: Autoria própria (2013).

3.1.6 Ensaio de compactação

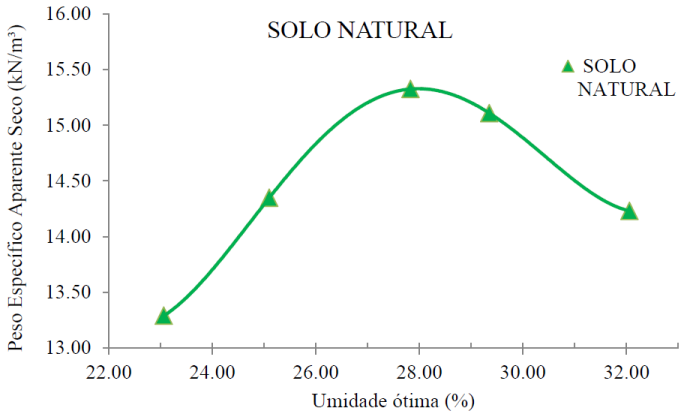
Conforme o item 3.4.5 a compactação do solo natural e das misturas foram realizados de acordo com a NBR 7182/86. Depois de efetuado o ensaio de perda por Abrasão “Los Angeles” da brita, ficou evidenciado que a energia a ser utilizada teria que ser a Modificada, pelo fato da brita ter uma perda muito abaixo do máximo recomendado. Na Tabela 13, apresentam-se os pesos específicos aparentes secos máximos e as umidades ótimas de cada mistura SLAD. As curvas de compactação de cada mistura são apresentadas da Figura 25 a 32.

Tabela 13: Pesos específicos máximos e umidades ótimas das misturas SLAD.

Mistura SLAD (%)	Peso específico aparente seco máximo (kN/m³)	Umidade ótima (%)
Natural	15,40	28,00
40	19,26	17,50
45	19,70	16,40
50	20,75	15,00
60	21,20	12,40
65	21,40	11,50
70	22,10	10,00
24%(B1) + 36%(B2)	21,60	11,57

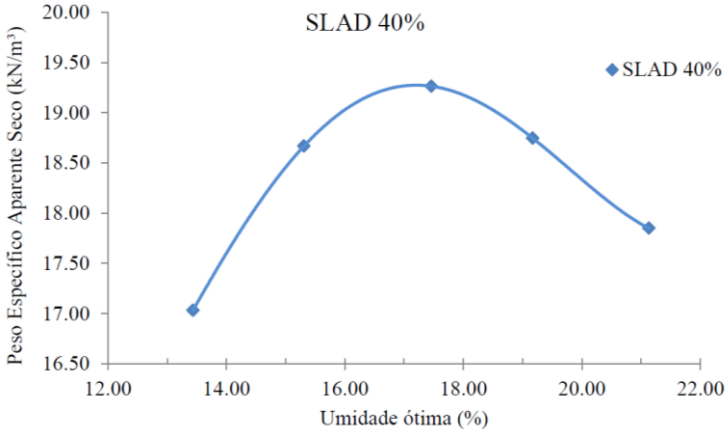
Fonte: Autoria própria (2013).

Figura 25: Curvas de compactação do solo natural.



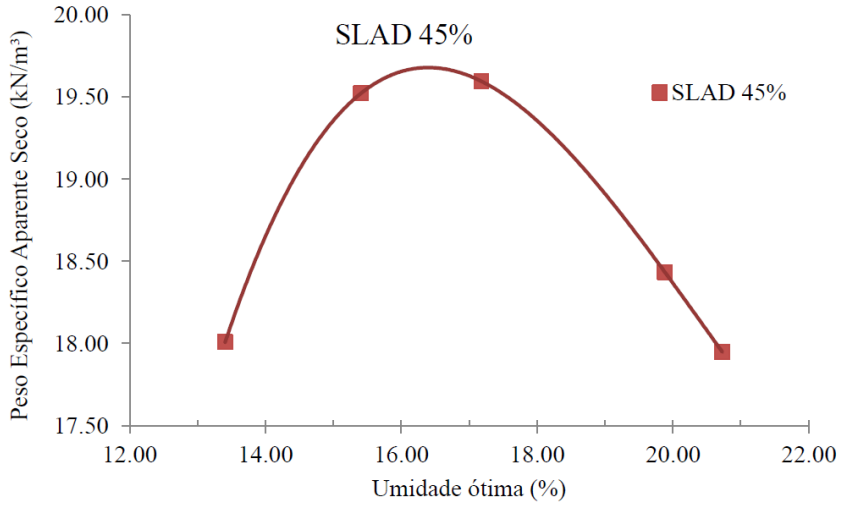
Fonte: Autoria própria (2013).

Figura 26: Curvas de compactação SLAD 40%.



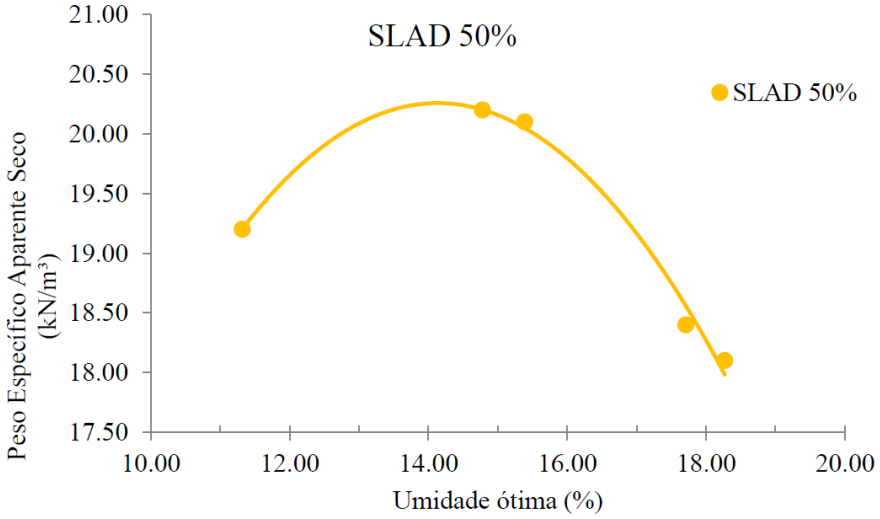
Fonte: Autoria própria (2013).

Figura 27: Curvas de compactação SLAD 45%.



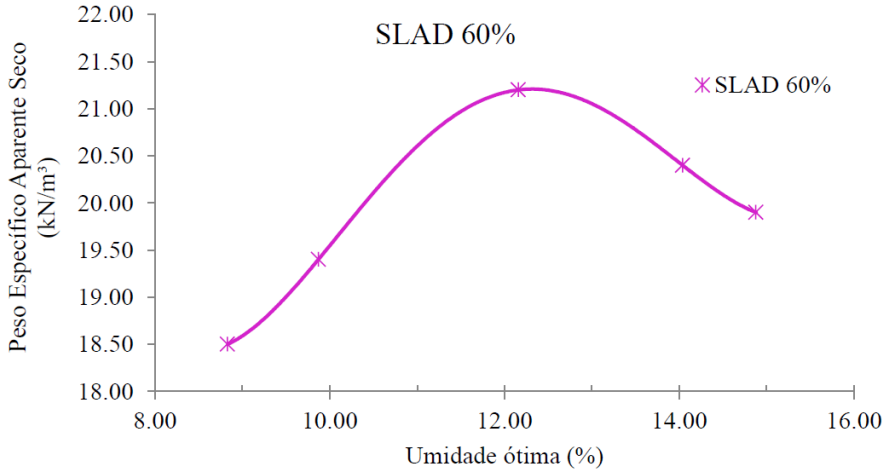
Fonte: Autoria própria (2013).

Figura 28: Curvas de compactação SLAD 50%.



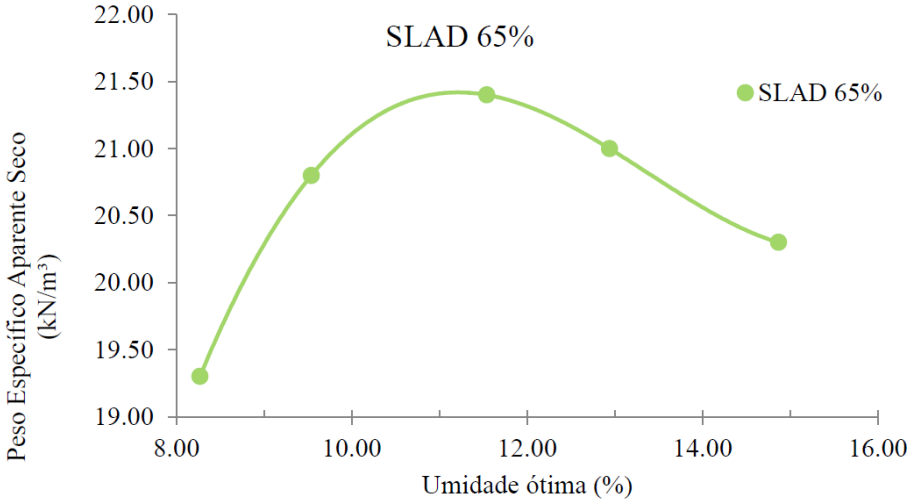
Fonte: Autoria própria (2013).

Figura 29: Curvas de compactação SLAD 60%.



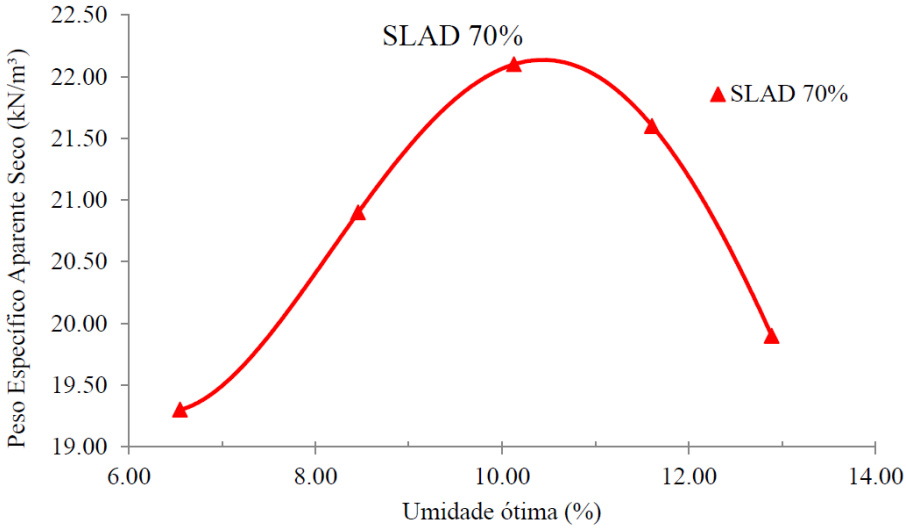
Fonte: Autoria própria (2013).

Figura 30: Curvas de compactação SLAD 65%.



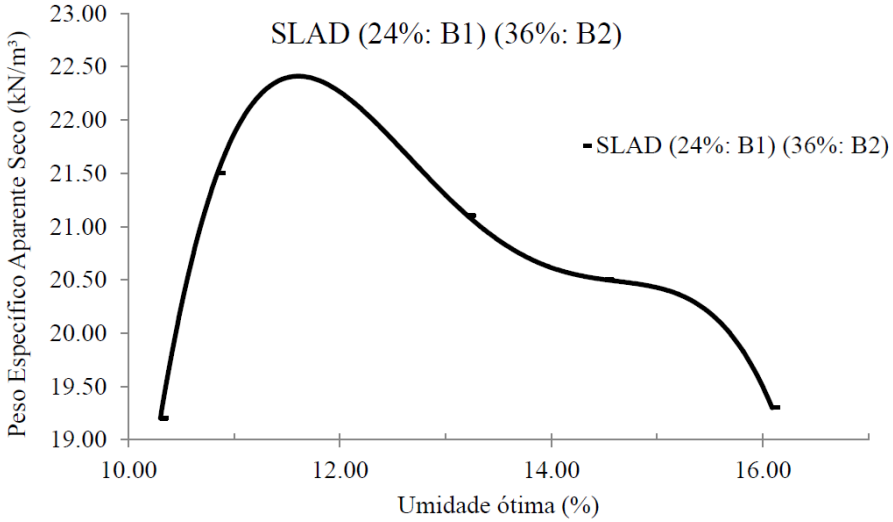
Fonte: Autoria própria (2013).

Figura 31: Curvas de compactação SLAD 70%.



Fonte: Autoria própria (2013).

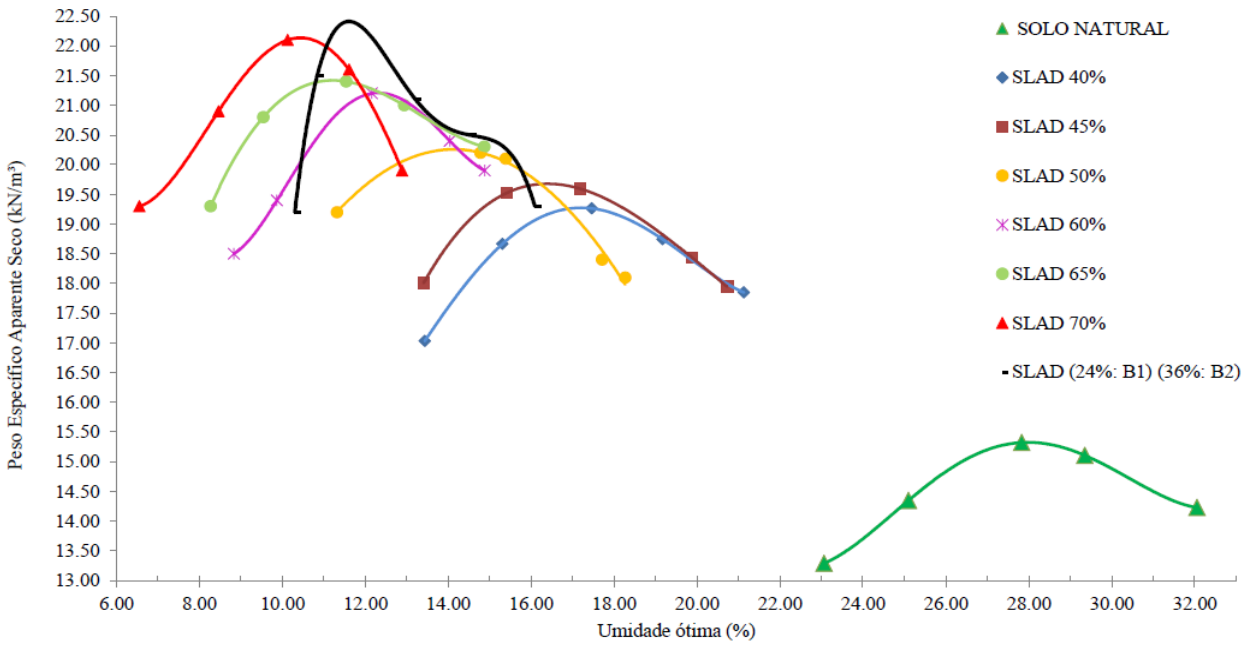
Figura 32: Curvas de compactação SLAD 24%(B1) + 36%(B2).



Fonte: Autoria própria (2013).

Na Figura 33 percebe-se claramente que com o aumento da porcentagem de brita ocorreu um aumento do peso específico aparente seco máximo e uma diminuição da umidade ótima, ratificando um resultado esperado.

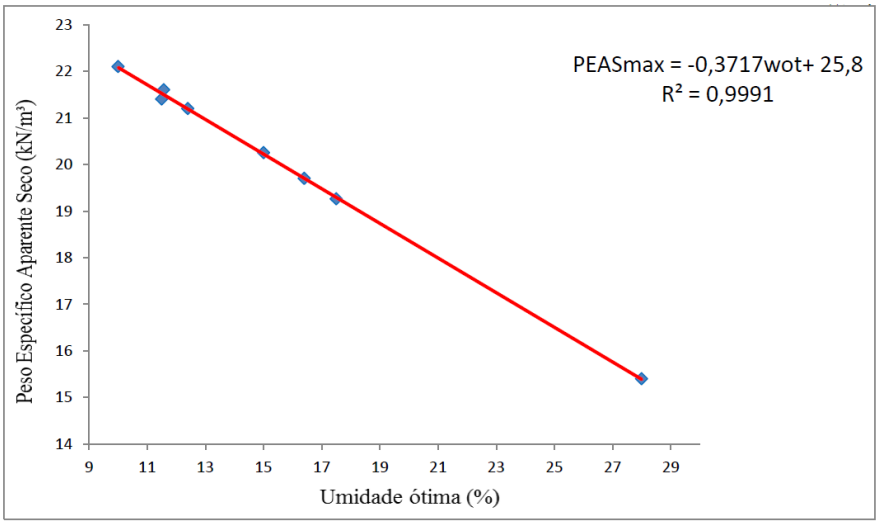
Figura 33: Curvas de compactação misturas SLAD.



Fonte: Autoria própria (2013).

Na Figura 34 apresenta-se uma relação com todos os pontos de umidades ótimas e os pesos específicos aparentes secos máximos (PEASmax) para a energia modificada para o solo natural e as sete misturas SLAD. Percebe-se uma forte correlação e tendência de aumento do peso específico aparente máximo e uma diminuição da umidade ótima com o aumento do teor de brita. Ocorre um salto considerável no valor do PEASmax com a adição de brita na mistura porém a partir daí a variação é menor porém contínua com aumento do teor de brita.

Figura 34: Peso específico aparente seco máximo x umidade ótima.



Fonte: Autoria própria (2013).

Comparando os resultados obtidos do ensaio de compactação na energia modificada para a argila estudada por Couto (2009) que obteve os valores de 16,05 kN/m³ e 25,40 % para a PEASmax e umidade ótima percebe-se uma pequena diferença, porém indicando um comportamento pouco melhor quanto a compactação desta argila em relação a de Ijuí.

3.1.7 Índice de Suporte Califórnia

O ensaio de Índice de Suporte Califórnia (ISC) ou CBR (Califórnia Bearing Ratio) foi realizado conforme prescreve a NBR 9895/87, como citado no item 3.4.6.

Para este procedimento foram utilizadas amostras deformadas não trabalhadas, compactadas na umidade ótima na energia modificada, rompendo-se após 4 dias de imersão. Apresentam-se na Tabela 14 os valores de ISC para cada mistura SLAD, assim como para o solo natural e também suas respectivas expansões.

Tabela 14: Valores de CBR e expansão das misturas SLAD na energia modificada

	ISC (%)	**Expansão**
Solo Natural	27,96	0,54
SLAD 40%	24,94	0,29
SLAD 45%	22,52	0,13
SLAD 50%	27,31	0,27
SLAD 60%	15,01	0,12
SLAD 65%	31,24	0,02
SLAD 70%	79,35	0,07
SLAD 24%(B1) + 36%(B2)	48,37	0,14

Fonte: Autoria própria (2013).

Percebe-se na Figura 35 que os valores dos CBRs não mudam muito, e não seguem uma tendência, isto se deve a mistura ser descontínua. Ocorreu um resultado inesperado para a mistura SLAD 60%, fato que se deve a algum problema na execução do ensaio.

Os baixos valores de ISC possivelmente ocorreram devido aos grãos de brita ainda estarem imersos na massa de solo e não estarem em contato entre si.

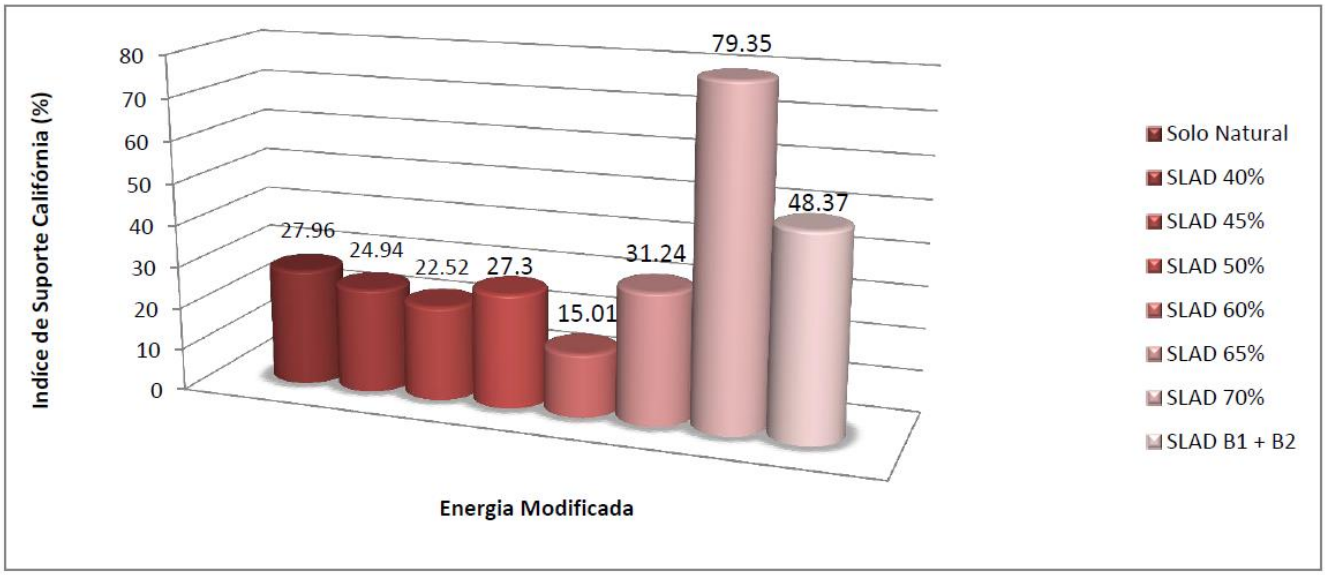
Wallau (2004) estudou cinco misturas com proporções diferentes de agregado, sendo o agregado uma mistura de pó-de-pedra e brita 3/4. Suas proporções foram de 90, 80, 70, 60,

50% de agregado. O autor cita que se pode observar que algumas vezes o relógio comparador dava um repique, é neste exato momento que algumas partículas de agregado deslizam entre a massa de solo, alojando-se em algum outro lugar até encontrar resistência em outro agregado.

Guimarães (2001) ressalta que o carregamento cíclico pode levar o solo à ruptura ou a uma tendência de estabilização da deformação permanente. Tal estabilização quando ocorre após a aplicação de um determinado número de repetições de carga, é um fenômeno chamado de *shakedown* ou acomodamento. O autor ainda observou que a tendência de ocorrência em solos tropicais laterizados.

O DNIT nas suas especificações estabelece que o CBR do solo deva ser maior que 60% ou 80%, dependendo do tráfego para uso em bases. O solo natural e as misturas SLAD 40, 45, 50, 60, 65% e B1 + B2 não atendem ao especificado para uso em bases. Já Villibor e Nogami (2009) recomendam que para um tráfego Nt maior que 5 x10^6 o CBR de misturas SLAD seja maior que 60% e para Nt entre 5 x10^6 a 10^7 o CBR seja maior que 80%. Para os dois volumes de tráfego a expansão deve ser menor que 0,3%. Percebe-se que apenas a mistura SLAD 70% atende o recomendado quanto aos valores de CBR, assim como todas as misturas atendem quanto aos valores de expansão. Couto (2009) obteve o valor máximo de 60% para o CBR na proporção de 60% de brita.

Figura 35: ISC para o solo e misturas SLAD na energia modificada.



Fonte: Autoria própria (2013)

CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo avaliar a mistura de solo laterítico argiloso e brita oriundos da cidade de Ijuí através de ensaios laboratoriais, para utilização em bases e sub-bases de pavimentos econômicos. Em vista disto, estabeleceram-se as seguintes conclusões:

- Quanto à sistemática MCT, o solo fino da cidade de Ijuí foi classificado como LG', um parâmetro que satisfaz o requisito proposto por Villibor e Nogami (2009). O índice de suporte mini-CBR sem imersão do solo se enquadra na condição aceitável de >30%, nos intervalos admissíveis. Já a expansão de valor 0,14% se enquadrou na condição ideal, com um valor bem abaixo do recomendado. Outro fator opcional é a Relação RIS que apresentou 67,7% se enquadrando na opção aceitável.
- O agregado graúdo utilizado no trabalho tem uma perda muito baixa quando submetido ao ensaio de Abrasão, sendo um fator bem relevante, pois em uma eventual aplicação destas misturas em bases ou sub-bases o material graúdo não sofreria muita quebra ou perda ao ser submetido à compactação por rolos.
- Quanto à granulometria das misturas, todas se enquadram praticamente nas faixas apresentadas pelos autores, apenas tendo suas frações miúdas mais grossas que os limites.
- Notou-se que existe uma grande influência da estabilização granulométrica nos parâmetros de compactação do solo, sendo que com a adição de brita nas misturas ocorre um salto no peso específico aparente seco máximo e a diminuição da umidade.
- Em relação aos ISC, conclui-se que os valores não seguem uma tendência, e que isto se deve a mistura ser descontínua. Os baixos valores de suporte possivelmente ocorreram devidos aos grãos de brita estarem imersos na massa de solo e não estarem em contato entre si.

Considerando-se todos os resultados, pode-se afirmar que a mistura mais econômica e de desempenho suficiente é a SLAD 70%. A utilização desta mistura é, uma solução

ambiental correta, pelo fato dos materiais utilizados serem facilmente adquiridos e economicamente mais vantajosos, e atende todas as especificações estabelecidas a respeito do seu comportamento mecânico, podendo ser aplicada em rodovias de médio e baixo tráfego.

Como continuidade do presente trabalho sugere-se:

- Pesquisar outras misturas com o solo natural e agregado míudo (misturas ALA – argila laterítica e areia) com brita;
- Testar o desempenho da mistura SLAD 70% em um trecho experimental comparado com uma base convencional de brita graduada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457:** Amostras de solo - preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização – Método de ensaio. 1986.

____. **NBR 6459:** Solo – Determinação do Limite de Liquidez – Método de ensaio. 1984.

____. **NBR 7180:** Solo – Determinação do Limite de Plasticidade – Método de ensaio. 1984.

____. **NBR 7181:** Solo – Análise granulométrica – Método de ensaio. [S.l.], 1984.

____. **NBR 7182:** Solo – Ensaio de compactação – Método de ensaio. 1986.

____. **NBR 9895:** Solo – Índice de Suporte Califórnia – Método de ensaio. 1987.

BALBO, José Tadeu. **Pavimentação Asfáltica:** materiais, projeto e restauração. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 558 p., il. Inclui bibliografias.

BERNUCCI, Liedi Bariani et al. **Pavimentação Asfáltica:** Formação Básica para Engenheiros. Rio de Janeiro. [s.n.], 2008. Disponível em: <http://www.proasfalto.com.br/07_download.htm>. Acesso em 15 abr. 2013.

COUTO, Jeferson Berni. **Estudo de misturas de solo-agregado em bases e sub-bases rodoviárias do Rio Grande do Sul: caracterização de laboratório e execução de trecho experimental.** 2009. 163 f. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Civil)- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009. Disponível em: <http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/17358>. Acesso em 15 abr. 2013.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Relatório Funcional das Rodovias Federais.** Sistema de Gerência de Pavimentos SGP-DNIT. 2011. Disponível em: <http://www.youblisher.com/p/371512-Relatorio-SGP-2011-2012>. Acesso em 15 abr. 2013.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de Pavimentação.** 3. ed. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <http://www1.dnit.gov.br/arquivos_internet/ipr/ipr_new/manuais/Manual_de_Pavimentacao_Versao_Final.pdf>. Acesso em 15 abr. 2013.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **NORMA DNIT 139/2010 – ES:** Sub-base estabilizada granulometricamente – Especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em <http://ipr.dnit.gov.br/normasmanuaisoutros/downloadcoletanea_es.html>. Acesso em 15 abr. 2013.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **NORMA DNIT 141/2010 – ES:** Base estabilizada granulometricamente – Especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em <http://ipr.dnit.gov.br/normasmanuaisoutros/downloadcoletanea_es.html>. Acesso em 15 abr. 2013.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER-ES 303/97:** Pavimentação – base estabilizada granulometricamente. Rio de Janeiro, 1997, 7 p.

____. **DNER-ME 089/94:** Agregados – Avaliação da durabilidade pelo emprego de soluções de sulfato de sódio ou de magnésio – Método de ensaio. 1994, 6 p.

____. **DNER-PRO 035/98:** Agregados – determinação da abrasão "Los Angeles" – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1998, 6 p.

____. **DNER-PRO 120/97:** Coleta de amostras de agregados. [S.l.], 1997, 5 p.

FELTEN, Débora. **Estudo sobre solos arenosos finos lateríticos da Planície Costeira Sul do RS para emprego em pavimentação econômica.** 2005. 145 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Oceânica) – Fundação Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2005.

GUIMARÃES, A.C.R. **Estudo de deformação permanente em solos e a teoria do shakedown aplicada a pavimentos flexíveis**. Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ: Rio de Janeiro, Brasil, 2001.

OLIVEIRA, José Augusto de. Materiais alternativos de pavimentação: a necessidade de pratica-los. In SEMINÁRIO DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA, 2001, Santa Maria. **Anais...** Universidade Federal de Santa Maria, 2001.

ORTIGÃO, J. A. R. **Introdução à Mecânica dos Solos dos Estados Críticos.** 3 ed**.** Terratek, 2007.

SENÇO, Wlastermiler de. **Pavimentação**. 1. ed. São Paulo: Grêmio Politécnico. 452 p., il. Inclui bibliografias.

SENÇO, Wlastermiler de. **Manual de técnicas de pavimentação.** São Paulo: Pini, 2001. v. 2, il.

STRECK, E.V.; KÄMPF, N.; KLAMT, E. **Atualização da classificação taxonômica das unidades de mapeamento do levantamento de reconhecimento dos solos do estado do Rio Grande do Sul**. Informativo da EMATER/RS, Porto Alegre, v.16, n.9, p.1-5, julho,1999.

VILLIBOR, Douglas Fadul; NOGAMI, Job Shuji. **Pavimentos Econômicos:** Tecnologia do uso dos Solos Finos Lateríticos. São Paulo: Arte & Ciência, 2009. 292 p. Disponível em: <

http://www.portaldetecnologia.com.br/destaques/pavimentos-economicos-tecnologia-do-uso-dos-solos-finos-lateriticos/>. Acesso em 15 abr. 2013.

VILLIBOR, Douglas Fadul et al. **Pavimentos de Baixo Custo para Vias Urbanas:** Bases alternativas com solos lateríticos Gestão de Manutenção de Vias Urbanas. 3. ed. São Paulo: Arte & Ciência, 2009. Disponível em: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAfYLEAC/pavimentos-baixo-custo-vias-urbanas>. Acesso em 27 abr. 2013.

WALLAU, Juliano Reis. **Avaliação da Técnica de Estabilização Granulometrica como Revestimento Primário de Rodovias Não-Pavimentadas.** 2004. 68 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2004.

WAYHS, Carlos Alberto Simões Pires. **Estudo de Materiais Alternativos Utilizados em Pavimentação de Baixo Custo na Região do Noroeste do Rio Grande do Sul.** 2004. 104 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.