UNIVERSIDADE REGIONAL DO NOROESTE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL – UNIJUI

LILIANE BONADIMAN BULIGON

ESTUDO DE MISTURAS DE SOLO ARGILOSO LATERÍTICO E RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO CIVIL PARA USO EM PAVIMENTOS ECONÔMICOS

Ijuí

2015

LILIANE BONADIMAN BULIGON

ESTUDO DE MISTURAS DE SOLO ARGILOSO LATERÍTICO E RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO CIVIL PARA USO EM PAVIMENTOS ECONÔMICOS

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

Orientador: Prof. Me. Carlos Alberto Simões Pires Wayhs

Ijuí

2015

LILIANE BONADIMAN BULIGON

ESTUDO DE MISTURAS DE SOLO ARGILOSO LATERÍTICO E RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO CIVIL PARA USO EM PAVIMENTOS ECONÔMICOS

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pelo professor orientador e pelo membro da banca examinadora.

Ijuí, 16 de novembro de 2015

Prof. Carlos Alberto Simões Pires Wayhs

Mestre pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul -UFRGS - Orientador

Prof. Lia Geovana Sala

Mestre pela Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Coordenadora do Curso de Engenharia Civil/UNIJUI

BANCA EXAMINADORA

Prof. Daiana F. Bruxel

Mestre pela Universidade Federal de Santa Maria - UFSM

Prof. Carlos Alberto Simões Pires Wayhs

Mestre pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS

Aos meus grandes exemplos de vida, meus pais, Luiz Alberto e Elisete por todo o apoio, esforço e compreensão durante essa caminhada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela vida, por guiar meus passos, mantendo-me firme e forte na busca dos meus objetivos.

Aos meus pais, Luiz Alberto e Elisete, que não mediram esforços, durante toda essa caminhada, para a concretização desse sonho. Por abdicarem, muitas vezes do tempo deles, em prol do meu. Por permanecerem sempre ao meu lado me incentivando, aconselhando, servindo-me de exemplo e inspiração. Agradeço a vocês, por sentirem e dividirem comigo minhas angústias, preocupações, e por me fazerem acreditar que tudo daria certo no final. Saibam que meu amor por vocês é incondicional.

A minha família, principalmente meu irmão André e minha cunhada Marciléia, pelo carinho, companheirismo e compreensão. Sem a ajuda de vocês, teria sido tudo muito mais difícil. Há vocês, meu muito obrigado, principalmente por dividirem comigo seu bem mais valioso, a Maria Clara.

Ao meu namorado Selton, pela compreensão, pela paciência e por todas as vezes que se dedicou a me ajudar, garantindo sempre que não faltassem palavras de incentivo. Obrigada por estar ao meu lado.

Agradeço ao Professor orientador, Carlos Alberto Wayhs, pelas horas dedicadas a este trabalho, pelas duvidas e incertezas esclarecidas e principalmente por acreditar no meu potencial, me instigando à pesquisa e ao estudo.

Á todos os mestres, pelos ensinamentos, credibilidade, e, por compartilharem do seu conhecimento.

Ao laboratorista Luiz Donato, pela ajuda na execução deste trabalho, bem como ajuda nos processos de análises.

Ao auxiliar de laboratório, Marcos, pela ajuda nos dias de laboratório em que sempre estava disposto a ajudar.

Agradeço enormemente aos amigos e colegas que tive a oportunidade de conhecer durante toda a graduação, especialmente a Cristiane Rolin, por todos os projetos e madrugadas que dividimos e compartilhamos da amizade. A Carine e ao Lucas, pela ajuda na realização dos ensaios de Classificação MCT. Ao Cristiano, pelos diversos puxões de orelhas, pela ajuda na realização dos ensaios e pela amizade desses últimos 6 anos.

Aos colegas de pesquisa, Nathani e Claudio, pelas manhãs dedicadas ao trabalho, pela ajuda nos ensaios e o comprometimento para a conclusão desta pesquisa.

A empresa RESICON, pelo interesse, ajuda e disponibilidade dos materiais para a realização da pesquisa.

Seja resoluto, não tenha medo de sacrifícios e derrube todas as dificuldades para a vitória.

Mao Tsé-Tung

RESUMO

BULIGON, L. B. **Estudo de Misturas de Solo Argiloso Laterítico e Resíduo de Construção Civil para Uso em Pavimentos Econômicos**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Engenharia Civil, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ, Ijuí, 2015.

É possível perceber que, atualmente na malha rodoviária brasileira, apenas uma pequena parcela das rodovias são pavimentadas. Diversos fatores como a grande quantidade de pequenas propriedades rurais, escassez de recursos públicos, além do alto custo de implantação, operação e manutenção da pavimentação, são responsáveis por este cenário. Entretanto, com a utilização de materiais alternativos que venham a manter ou aperfeiçoar as qualidades técnicas do solo, tais custos podem ser minimizados. O presente trabalho de conclusão de curso tem como objetivo avaliar o uso de solo laterítico argiloso proveniente da cidade de Ijuí/RS, em bases e sub-bases para execução de pavimentos mais econômicos, misturados ao resíduo de construção civil (RCC moído fino – Classe A). Este solo, de grande ocorrência em toda a região noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, contribui para a sua fácil obtenção e concomitantemente redução do passivo ambiental provocado pela pavimentação de vias, é utilizado localmente como subleito de rodovias pavimentadas e de leito estradal não pavimentadas. 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. Para o estudo foram utilizadas três porcentagens de misturas de solo e RCC (20%, 30% e 40%). As misturas analisadas obtiveram resultados parcialmente satisfatórios.

Palavras-chave: RCC. Materiais Alternativos. Argilas Lateríticas. Pavimentação.

ABSTRACT

BULIGON, L. B. **Study of Clay Laterite Soil Mixtures with Civil Construction Residues for Use in Economic Pavements**. 2015. Projeto de Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Engenharia Civil, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ, Ijuí, 2015.

It is possible to realize that nowadays, in the Brazilian Road Network, only a small portion of the roads are paved. Several factors such as the large number of small farms, scarcity of public resources, and the high cost of implementation, operation and maintenance of paving, are responsible for this scenario. However, using alternative materials that will maintain or improve the technical qualities of the soil, such costs can be minimized. This paper aims to describe the results of a research that evaluates the use of lateritic clay soil from the city of Ijuí/RS, in bases and sub-bases for running more economical paving by mixing it with civil construction residues (CCR ground fine – Class A). This soil, which is occurring throughout the Northwest region of Rio Grande do Sul, contributes to its easy obtainment and concurrently reduction of the environmental liabilities caused by paving roads, it is used locally as subgrade of paved roads and no paved roadways. The research uses both traditional methodology, widely recognized as not very suitable for tropical soils as this thin laterite soil, and the MCT methodology designed specifically for these types of soils. For this research, three percentages of mixtures were used, combining soil and CCR (20%, 30% and 40%). The compositions analyzed had results partially satisfactory.

Keywords: CCR. Alternative Materials. Lateritic Clays. Paving.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Estruturas dos Pavimentos. 18
Figura 2: Classificação de bases e sub-bases flexíveis. 19
Figura 3: Atual sistema rodoviário brasileiro. 21
Figura 4: Áreas para a mistura ALA, segundo classificação MCT. 23
Figura 5: Seção transversal típica de um pavimento econômico. 24
Figura 6: Perfil resultante da decomposição das rochas. 28
Figura 7: Ocorrência de solos finos de comportamento laterítico, no Brasil. 30
Figura 8: Gráfico de Plasticidade de Casagrande 33
Figura 9: Exemplo de delineamento de pesquisa 43
Figura 10: Local de retirada de solo 44
Figura 11: Pó de pedra ou Areião 45
Figura 12: Ensaio de Peneiramento 47
Figura 13: Aparelho de Dispersão 48
Figura 14: Aparelho de Casagrande 50
Figura 15: Amostra fragmentando-se 51
Figura 16: Cilindros e soquetes utilizados 52
Figura 17: Ensaio de Penetração 55
Figura 18: Equipamento utilizado pra o ensaio de Mini-MCV 56
Figura 19: Ensaio de perda de massa por imersão 57
Figura 20: Classificação MCT 58
Figura 21: Ensaio de Sedimentação do RCC e Misturas 59
Figura 22: Curva Granulométrica das Amostras 60
Figura 23: Curva de compactação do Solo Natural 64
Figura 24: Curva de Compactação ALARC 20% 65
Figura 25: Curva de Compactação Mistura ALARC 30% 66
Figura 26: Curva de Compactação Mistura ALARC 40% 66
Figura 27: Resultados CBR 67
Figura 28: Curva de Compactação ALARC 40% 70
Figura 29: Curva de deformabilidade ALARC 20% 71
Figura 30: Perda de massa por imersão 72

Figura 31: Corpos de Prova no Ensaio de Imersão M8 73
Figura 32: Gráfico de Classificação MCT da ALARC 20% 74
Figura 33: Gráfico de Classificação MCT da ALARC 30% 74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Comparação de preços, por m² de diferentes tipos de bases. 24
Tabela 2: Símbolos do SUCS 32
Tabela 3: Sistema Unificado de Classificação de Solos 33
Tabela 4: Classificação Rodoviária dos Solos 34
Tabela 5: Características dos Ensaios de Comp. de acordo com as Diferentes Energias.. 52
Tabela 6: Limites de Atterberg das Amostras 61
Tabela 7: Índice de Grupo das Amostras 63
Tabela 8: Resultados para umidade ótima e peso específico aparente seco máximo..... 64
Tabela 9: Valores de ISC 68
Tabela 10: Coeficientes d' e c' 71
Tabela 11: Valores de Pi do Ensaio M8 72
Tabela 12: Valores de e' 73

LISTA DE SIGLAS

AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ALA	Argila Laterítica com Areia
ALARC	Argila Laterítica – Areião (resíduo de construção)
ASTM	American Association for Testing and Materials
BGTC	Brita Graduada Tratada com Cimento
c’	Coeficiente Angular
CBR	California Bearing Ratio
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
d’	Coeficiente d’
DNER-ME	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – Método de Ensaio
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
e’	Índice de Laterização
EMATER	Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural
Hc	Umidade de Compactação
HRB	Highway Research Board
IG	Índice de Grupo
IP	Índice de Plasticidade
ISC	Índice Suporte Califórnia
LA	Areia Laterítica
LA’	Solo Laterítico Arenoso
LC	Limites de Contração
LEC	Laboratório de Engenharia Civil
LG’	Solo Laterítico Argiloso

LL	Limite de Liquidez
LP	Limite de Plasticidade
MEAS	Massa Especifica Aparente Seca
MCT	Miniatura Compactada Tropical
NA	Areia não Lateríticas
NA’	Não Laterítico Areno-Argiloso
NBR	Norma Brasileira
NG’	Não Laterítico Argiloso
NP	Não Plástico
NS’	Não Laterítico Silto-Arenoso
Pi	Perda de Massa por Imersão
RCC	Resíduo de Construção Civil
RS	Rio Grande do Sul
SAFL	Solos Arenosos Finos Lateríticos
SINDUSCON	Sindicato das Indústrias da Construção Civil
SF	Solo fino
SL	Solo laterítico
SLAD	Solo Laterítico – Agregado Descontinuo
SNV	Sistema Nacional de Viação
SP	São Paulo
SUCS	Sistema Unificado de Classificação de Solos
UNIJUÍ	Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 12

1.1 Contexto 12

1.2 Problema 13

1.2.1 Questões de Pesquisa 15

1.2.2 Objetivos de Pesquisa 15

1.2.3 Delimitação 16

2 REVISÃO DA LITERATURA 17

2.1 Estrutura do Pavimento 17

2.1.1 Bases e Sub-Bases Flexíveis e Semi-Rígidas 19

2.1.1.1 Bases e Sub-bases Granulares 19

2.1.1.2 Bases e Sub-bases Estabilizadas 20

2.2 Pavimentos econômicos 20

2.3 Materiais Utilizados nas Pavimentações 25

2.3.1 Materiais Pétreos 25

2.3.2 Materiais Diversos 26

2.3.3 Materiais Terrosos 26

2.4 Solos 26

2.4.1 Formação dos Solos 27

2.4.2 Solos Tropicais 29

2.4.2.1 Solos Lateríticos 29

2.5 Classificação dos Solos 30

2.5.1 Sistema Unificado de Classificação de Solos – SUCS 31

2.5.2 Sistema Rodoviário de Classificação - HRB/AASHTO 34

2.5.3 Classificação MCT 36
2.6 Resíduo de Construção Civil - RCC 38
2.6.1 Classificação dos Resíduos 38
2.6.2 Impactos Ambientais 39
2.6.3 Reciclagem e Destinação Final 40
3 MÉTODO DE PESQUISA 42
3.1 Estratégia de pesquisa 42
3.2 Delineamento 42
3.3 Materiais 43
3.3.1 Solo 43
3.3.2 Resíduo de Construção Civil (RCC) – Classe A 44
3.3.3 Misturas 45
3.4 Ensaios Laboratoriais – Metodologia Tradicional 46
3.4.1 Preparação das Amostras 46
3.4.2 Análise Granulométrica 46
3.4.3 Limite de Atterberg 49
3.4.4 Ensaio de Compactação do Solo 51
3.4.5 Índice de Suporte Califórnia (ISC) 54
3.4.6 Ensaios da Sistemática MCT 55
4 RESULTADOS 59
4.1 Análise Granulométrica 59
4.2 Limites de Atterberg 61
4.3 Classificação das Amostras 62
4.3.1 Sistema Unificado de Classificação de Solo – SUCS 62
4.3.2 Sistema Rodoviário de Classificação (HRB/AASHTO) 62

4.4 Compactação 63

4.5 Índice de Suporte Califórnia (ISC/CBR) 67

4.6 Ensaios Sistematica MCT 69

4.6.1 Ensaio de Compactação Mini-MCV (M5) 69

4.6.2 Ensaio da Perda de Massa por Imersão (M8) 71

4.6.3 Classificação Geotécnica MCT (M9) 73

5 CONCLUSÃO 76

REFERÊNCIAS 78

1 INTRODUÇÃO

Este estudo apresenta como tema a geotecnia e a pavimentação, no qual são abordados a partir da análise de misturas de solo argiloso laterítico e de materiais alternativos para emprego em bases e sub-bases de pavimentos econômicos.

No Rio Grande do Sul as condições climáticas são fatores limitantes e 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). Dessa forma, se procura cada vez mais a inserção de materiais que venham a beneficiar o solo e permitir a composição de misturas que melhorem as propriedades geotécnicas do solo característico da região, minimizando custos de implantação de pavimentação.

Concomitante as inviabilidades técnicas encontradas nas obras de infraestrutura viária, se encontra outro problema, a disposição final irregular de resíduos da indústria da construção. Com o conhecimento do grande volume anual de resíduos gerado e a intenção de diminuir os pontos de disposição clandestinos, a ABRECON – Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos de Construção Civil e Demolição (2015) destaca a importância da realização de estudos de viabilidade da reciclagem desses recursos.

Analisando as discussões previamente apresentadas, torna-se importante a necessidade de avaliar o comportamento das misturas de solo laterítico argiloso da cidade de Ijuí-RS com resíduo de construção civil moído fino oriundos do município de Santa Rosa-RS, para uso em pavimentos econômicos. Esse estudo tem-se como alternativa econômica e ambientalmente favorável para o uso em misturas com solo laterítico argiloso para aplicação em bases e sub-bases de pavimentação. Consoante à restrição de áreas irregulares de descarte, essa alternativa tem se mostrado eficaz, também contra a redução do impacto causado pelo alto consumo de materiais de construção (BLUMENSCHEIN, 2004).

1.1 Contexto

O solo natural oferece grandes oportunidades de uso na engenharia civil já que é um material muito abundante e de baixo custo. Nas obras de engenharia de pavimentação, os solos

compõem os subleitos e são materiais freqüentemente empregados para a construção das camadas de base e sub-base. No entanto, nem sempre os solos locais satisfazem as exigências impostas pelas cargas de tráfego e as condições ambientais para a sua utilização. Em casos assim deve-se optar por soluções alternativas e preferencialmente que apresentem economia.

Segundo Behak (2007, p. 23), nas últimas décadas existe um grande interesse na utilização e reutilização em obras de engenharia, de diversos resíduos de processos produtivos industriais e agroindustriais. O crescimento da produção industrial incrementa geração de resíduos fazendo mais difícil, custoso e ambientalmente insustentável seu tratamento e deposição final. A possível reutilização parcial ou total de algum deles virá a ocasionar benefícios econômicos e ambientais para o conjunto da sociedade.

Dessa forma, a presente pesquisa, visa uma solução alternativa econômica para a pavimentação, na qual se buscou analisar o comportamento do solo laterítico argiloso misturado ao resíduo de construção civil, com o objetivo de tornar obras rodoviárias viáveis, especialmente para os baixos orçamentos das prefeituras, e um mecanismo sustentável para minimizar os problemas da grande geração de resíduos de construção produzidos e sua deposição final, através da sua reutilização.

1.2 Problema

No decorrer da história da humanidade, o homem vem explorando de forma inapropriada os recursos naturais para produzir os mais diversos tipos de materiais. Com a intensa industrialização, o crescimento populacional urbano e o aumento do poder aquisitivo, essa exploração tem aumentado cada vez mais. A Construção Civil é reconhecida como uma das mais importantes atividades para o desenvolvimento econômico e social, e, por outro lado, comporta-se, ainda, como grande geradora de impactos ambientais, quer seja pelo consumo de recursos naturais, pela modificação da paisagem ou pela geração de resíduos (SINDUSCON-SP, 2005).

É de longa data no Brasil que a construção civil encontra-se em evidência, tanto no desenvolvimento econômico como no desenvolvimento social, contudo, também se encontra como grande geradora de impactos ambientais, alterando paisagens e aumentando significativamente a geração de resíduos. Segundo a Associação Brasileira de Empresas de

Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), o Brasil produziu no ano de 2010 cerca de 60,8 milhões de toneladas de Resíduos de Construção Civil (RCC), dos quais quase 31 milhões se originaram de novas construções (ABRELPE, 2012).

Segundo John (2000), estes problemas se agravam ainda mais, com a escassez de áreas de deposição de resíduos causada pela ocupação e valorização de áreas urbanas, altos custos sociais no gerenciamento de resíduos, problemas de saneamento público e contaminação ambiental.

Esses fatores levam a buscar alternativas para minimizar o impacto ambiental gerado pela indústria da construção civil. Nesta situação, a ABRECON (2015), destaca a importância do estudo e da experimentação de novas tecnologias e de materiais alternativos que possam ser usados neste setor. Um destes materiais é o agregado miúdo reciclado, que em substituição ao agregado natural, diminui os impactos provocados pela extração dos recursos natural. É considerável também ressaltar a viabilidade logística e de transportes, em um aspecto de ordem econômica, pois existe a necessidade de aproximar as fontes de produção do agregado com o local do consumo, diminuindo assim o seu custo.

Ainda segundo a ABRECON (2015), a reciclagem é, sem dúvida, a melhor alternativa para reduzir o impacto que o ambiente pode sofrer com o consumo de matéria prima e a geração desordenada de resíduos. Nos últimos anos a reciclagem tem sido incentivada em todo mundo, seja por questões políticas ou ecológicas.

De acordo com John (1996 apud LEITE, 2001, p. 23), o mercado da construção civil se apresenta como uma das melhores alternativas para consumir materiais reciclados, pois a atividade de construção é realizada em qualquer região, o que já reduz custos de transporte. Além disso, a autora ainda salienta que os materiais necessários para produção, da maioria dos componentes de uma edificação, não precisam de grande sofisticação técnica.

Devido a esses fatores e baseado em experiências anteriores e bibliografias sobre o uso de misturas ALA (Argila Laterítica com Areia), o presente trabalho visa avaliar a mistura de solo natural com agregado miúdo obtido através da reciclagem dos resíduos da construção civil, para uso em pavimentos econômicos.

1.2.1 Questões de Pesquisa

Questão principal

Como se comporta um solo argiloso a partir de diferentes teores de misturas com resíduo de construção civil (classe A) na avaliação para utilização em pavimentos econômicos?

Questões secundárias

Como se comportam as misturas de solo argiloso e RCC nos ensaios para uso de solo em pavimento.

Qual a porcentagem ideal de mistura RCC e solo argiloso laterítico para a utilização em bases e sub-bases de pavimentos de baixos custos?

1.2.2 Objetivos de Pesquisa

Objetivo Geral

Avaliar as misturas de solo laterítico argiloso proveniente de Ijuí e RCC (considerado de classe A) para utilização em bases e sub-bases de pavimentos econômicos de acordo com as metodologias: tradicional e MCT.

Objetivos específicos

- Estudar as misturas de solo laterítico com resíduo, classe A, da construção civil a partir de análise laboratorial;

- Realização de ensaios tradicionais de caracterização e compactação e os ensaios da metodologia MCT das misturas;

- Utilizar agregado miúdo reciclado, proveniente de resíduos de construção civil (RCC), de classe A, para usos em pavimentos econômicos.

1.2.3 Delimitação

O trabalho delimita-se ao estudo desenvolvido em três diferentes porcentagens de misturas de solo laterítico argiloso e agregado miúdo reciclado (RCC – Classe A), sendo elas 20%, 30% e 40%.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Para o desenvolvimento deste trabalho, tornou-se necessário um embasamento teórico, para facilitar o entendimento e a aplicação de alguns elementos em estudo.

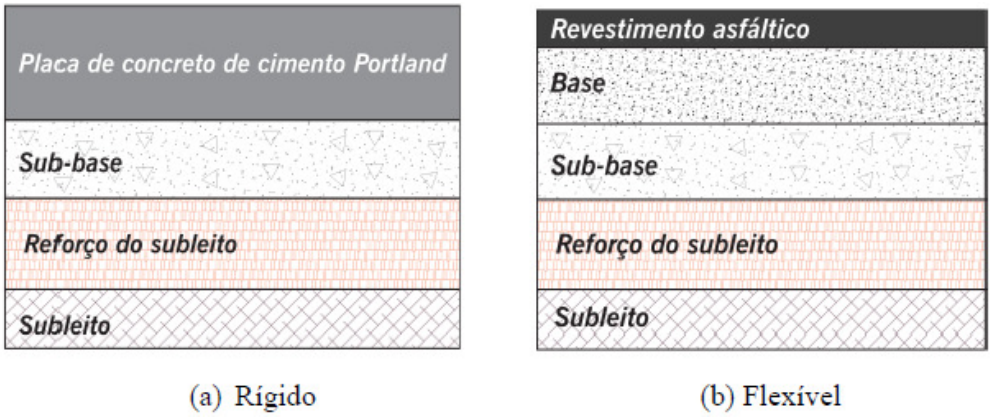
A revisão da literatura é estruturada nos seguintes itens: estrutura do pavimento, pavimentos econômicos, materiais utilizados na pavimentação, a formação dos solos, tipos e suas classificações tradicionais incluindo a classificação MCT, findando com resíduos de construção civil – RCC, sua classificação, uso e destinação final.

2.1 Estrutura do Pavimento

Segundo Bernucci et al (2008), as estruturas de pavimentos são sistemas de camadas sobre uma fundação chamada subleito em que o comportamento estrutural depende da espessura de cada uma das camadas, da rigidez destas e do subleito, bem como da interação entre as diferentes camadas do pavimento.

Na engenharia rodoviária as estruturas de pavimentos subdividem-se segundo a rigidez do conjunto, podendo ser estruturas rígidas, semi-rígidas ou flexíveis. Os pavimentos flexíveis são caracterizados pelo fato de que todas as suas camadas sofrem deformação elástica, sendo executados tipicamente com base de brita revestida com camada asfáltica, os semi-rígidos possuem a camada de base com algum tipo de aglutinante com propriedades cimentícias revestida por uma camada de asfalto e os pavimentos rígidos são constituídos à base de lajes de concreto de cimento Portland (DNIT, 2006, p.95). A Figura 1 mostra um comparativo das estruturas-tipo de pavimentos rígidos e pavimentos flexíveis.

Figura 1- Estruturas dos Pavimentos.



Fonte: Bernucci et al. (2008, p. 337 e 338)

De acordo com Senço (2001), uma seção transversal típica de um pavimento, com todas as suas camadas, consta de uma fundação, o subleito, e de camadas com espessuras e materiais determinados por algum dos inúmeros métodos de dimensionamento. O autor as diferencia em:

- Subleito: é o terreno de fundação do pavimento, pode ser a estrada já com algum tempo de tráfego que será pavimentada, ou a terraplenagem já executada;
- Regularização do Subleito: é uma "camada" de espessura irregular, construída sobre o subleito com a finalidade de dar conformidade transversal e longitudinal ao projeto a ser executado.
- Reforço de subleito: É uma camada de espessura constante, construída, se necessário acima da regularização, com características tecnológicas superiores às da regularização e inferiores às da camada imediatamente superior, ou seja, a sub-base, com a finalidade de adequar o subleito ao recebimento das camadas superiores e ás solicitações;
- Sub-base: é a camada complementar à base, quando por eventuais circunstâncias técnicas ou econômicas não for aconselhável construir a base sobre o reforço;
- Base: é a camada designada a receber e distribuir uniformemente os esforços provenientes do tráfego sobre o qual se constrói o revestimento. A base deve garantir que as tensões de flexão no revestimento não levem o pavimento ao trincamento prematuro.

- Revestimento: é a camada tanto quanto possível impermeável, que recebe diretamente a ação do rolamento dos veículos. O revestimento deve garantir a comodidade e segurança, resistir ao desgaste, aos esforços verticais e horizontais.

As estruturas de um pavimento são projetadas para atenderem, a função de resistir a numerosas solicitações de carga e distribuir os esforços verticais solicitados pelo trafego para o subleito, dentro do período de projeto, garantindo segurança e estabilidade sem que ocorram danos estruturais fora do aceitável e previsto (SENÇO, 2001, p. 7).

2.1.1 Bases e Sub-Bases Flexíveis e Semi-Rígidas

Em conformidade com Brondani e Pinheiro (s.d.) essas bases e sub-bases podem ser subdivididas em duas famílias: Granulares e estabilizadas.

A Figura 2 mostra um esquema com a classificação de bases e sub-bases flexíveis conforme DNIT (2006, p.96).

Figura 2: Classificação de bases e sub-bases flexíveis.

Fonte: DNIT (2006, p.96)

2.1.1.1 Bases e Sub-bases Granulares

Conforme Balbo (2007), a camada de base e sub-base servem para avaliar as pressões sobre as camadas de solo inferiores. Quando esta camada se torna muito espessa, busca-se, por

razões econômicas e de execução, dividi-la em duas camadas, criando-se assim, uma sub-base, geralmente de custo reduzido.

As camadas de base e sub-base podem ser constituídas por solos, britas de rocha, escória de alto forno ou misturas desses materiais. Quando essas camadas são simplesmente granulares, são classificadas como flexíveis e a sua estabilização se deve a compactação apropriada, segundo especificações (DNIT, 2006).

De acordo com Brondani e Pinheiro (s.d.) quando existe correção ou estabilização granulométrica, esses materiais ou mistura de materiais apresentam uma granulometria apropriada, fixada em especificação. Já quando estes materiais ocorrem em jazidas (cascalhos, saibros, areias, etc.) tem-se o caso de materiais naturais, sendo necessário um processo de beneficiamento qualquer (peneiramento, britagem, lavagem, etc.) para retirar alguma fração, a fim de satisfazer as especificações.

Senço (2001) cita que a estabilização granulométrica é a técnica de adequar à distribuição dos distintos tamanhos dos grãos, cuja finalidade é preencher os vazios de diâmetros maiores pelos grãos de diâmetros 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 proporcionará uma maior resistência e impermeabilidade.

2.1.1.2 Bases e Sub-bases Estabilizadas

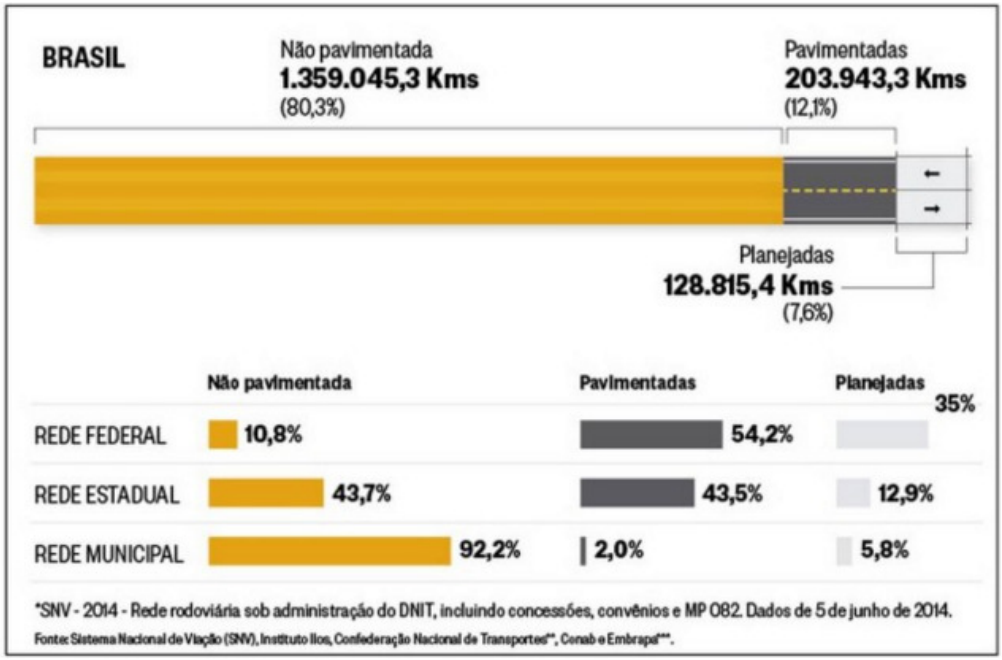
Para Bernucci et al. (2008) as bases estabilizadas, são compostas por materiais misturados e elementos cimentados. Os mais usuais são: Brita graduada tratada com cimento - BGTC, solo-cimento, solo-cal, sol-cal-cimento e concreto compactado a rolo.

2.2 Pavimentos econômicos

Se analisarmos o atual sistema rodoviário brasileiro, torna-se perceptível a vasta extensão de rodovias não pavimentadas em nosso território. Segundo dados divulgados em junho de 2014 pelo Sistema Nacional de Viação (SNV) do Ministério dos Transportes, como mostra a Figura 3, cerca de 80,3%, mais de 1,3 milhão de km, da rede rodoviária nacional é composta por rodovias não pavimentadas sendo destas 92,2% de jurisdição municipal. A situação é ainda mais

alarmante no Estado, onde apenas 7% da malha rodoviária é pavimentada, sendo esse índice, menor que a média nacional.

Figura 3: Atual sistema rodoviário brasileiro.



Fonte: SNV (2014)

Além do baixo investimento público nas últimas três décadas, as rodovias ainda sofrem com a burocracia para a execução das obras, o aumento da frota e o excesso de carga transportado pelos caminhões, um problema que se agrava ainda mais pela falta de fiscalização e que acarreta na deterioração das estradas.

Dessa forma, Wayhs (2004) observa que nestes períodos de escassez dos recursos financeiros, e com os reclamos sociais pelo aumento da qualidade e condições das vias, a pavimentação de estradas com a utilização de materiais alternativos, mais abundantes e econômicos, torna-se cada vez mais necessária.

Conforme DNIT (2013) visa que o objetivo principal de um sistema gerencial de pavimentos é alcançar a melhor aplicação possível para os recursos públicos disponíveis e oferecer um transporte rodoviário seguro, compatível e econômico.

Neste contexto, uma das formas de viabilizar economicamente a construção de rodovias é a utilização de materiais locais, alternativos aos materiais tradicionais já utilizados (WAYHS, 2004).

O termo "Pavimento Econômico" conforme Villibor e Nogami (2009), é um pavimento que utiliza base constituída de materiais naturais ou misturada com pequena porcentagem de agregado, cujos custos de execução são substancialmente menores do que aqueles verificados nas bases tradicionais, como: brita graduada, macadame hidráulico, solo cimento, etc.

Ainda de acordo com Villibor e Nogami (2009), além dos benefícios econômicos existem vantagens ambientais proporcionadas pelo uso das bases de baixo custo, já que estas estão ligadas ao fato de suas jazidas serem de ocorrências naturais, permitindo a recuperação das áreas exploradas, proporcionando um sistema de drenagem superficial adequado, minimizando os danos ambientais, além de substituir os materiais utilizados nas bases tradicionais, como os agregados britados e cimento, que tem alto valor de exploração e degradação das áreas exploradas.

Os seguintes tipos de bases de baixo custo são apresentados por Villibor e Nogami (2009) para utilização em pavimentos econômicos:

- Bases de SAFL (Solos Arenosos Finos Lateríticos), materiais de ocorrências naturais;
- Bases de Solo Laterítico - Agregado, que podem ser:

  - De graduação fina: denominado ALA (Argila Laterítica - Areia), cujo material é constituído de mistura de argila laterítica com areia.

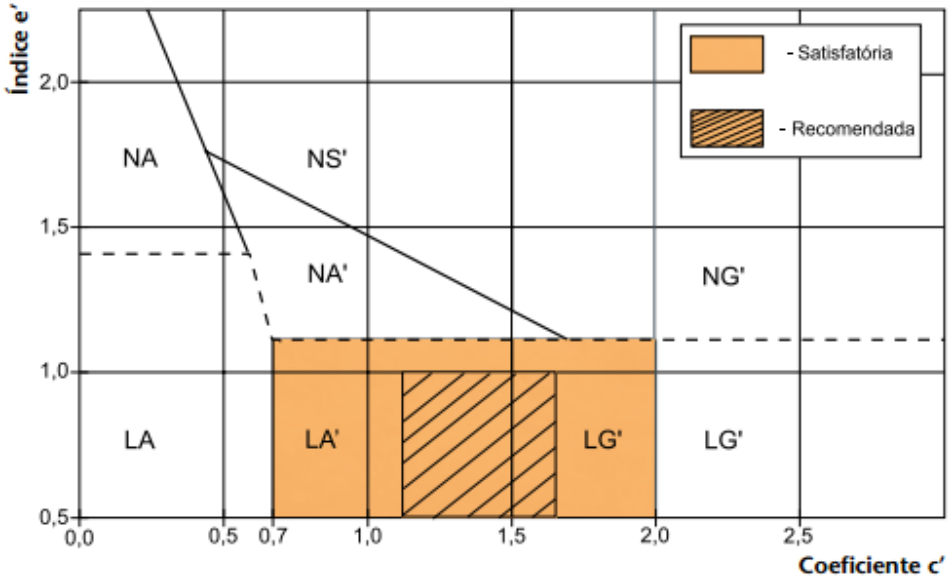
  - De graduação grossa: denominado SLAD (Solo Laterítico – Agregado Descontinuo), cujo material é constituído de mistura de solo laterítico com baixa porcentagem de agregado (brita, pedregulho ou laterita).

Em conformidade com Villibor e Nogami (2009) as bases de graduação fina, misturas ALA, são usadas por motivos econômicos quando, ao longo do trecho, existem ocorrências de

materiais que são solos lateríticos finos (argila e areia), mas que não preenchem os requisitos para serem jazidas de SAFL.

Ainda segundo Villibor e Nogami (2009), para base dessa mistura, designada ALA, o solo a ser usado deve ser classificado, pela metodologia MCT, caso seja LG', o mesmo deve ser misturado com areia (ou solo LA) nas porcentagens de 20, 30 e 40% em peso de areia. As três misturas devem também ser classificadas e lançadas no gráfico classificatório da MCT (Figura 4). Busca-se escolher, as misturas que estiverem localizadas dentro a área hachurada; quando não for possível, escolhe-se a localizada na área satisfatória.

Figura 4: Áreas para a mistura ALA, segundo classificação MCT.

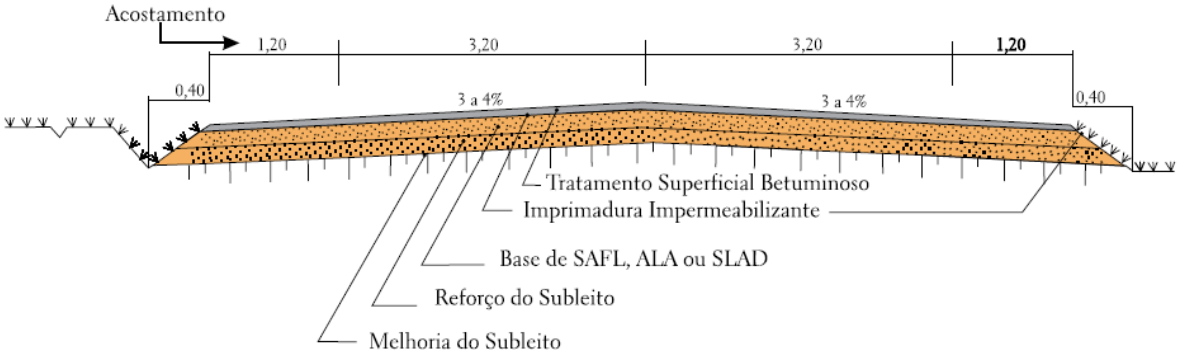


Fonte: Villibor e Nogami (2009, p. 211)

As misturas escolhidas devem ser submetidas aos ensaios da MCT para obtenção das propriedades que venham a se enquadrar nos intervalos recomendados para SAFL, apresentadas pelos autores (Villibor e Nogami, 2009, p. 212).

A Figura 5 apresenta uma seção transversal típica da estrutura de um pavimento econômico rodoviário. A figura sem escala é representada em metros.

Figura 5: Seção transversal típica de um pavimento econômico.



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

Os mesmos autores ainda apresentam um quadro comparativo dos custos por m² de pavimentos, com diversos tipos de base e revestimento de tratamento superficial duplo, utilizado em rodovias vicinais. Na Tabela 1 é possível analisar os valores encontrados e comparar os preços. Pode-se verificar que o preço total da base de solo brita resulta 53% mais cara que o total da base SAFL, e as demais resultam maiores, respectivamente: 54% (solo cimento) e 91% (brita graduada), mostrando uma grande vantagem no uso das bases 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)

2.3 Materiais Utilizados nas Pavimentações

De acordo com Brasil (2006) podemos separar os materiais incorporados as obras de pavimentação, em três distintos grupos. São eles: os materiais pétreos, os materiais diversos e os materiais terrosos.

2.3.1 Materiais Pétreos

Os materiais pétreos usados em pavimentação, normalmente são conhecidos sob a denominação de agregados, podendo ser naturais ou artificiais. Os agregados naturais são aqueles utilizados na forma como se encontram na natureza, como o pedregulho, os seixos rolados, as britas, etc., já os agregados artificiais compreendem os materiais que necessitam de transformação física e química para sua utilização, como a escória e a argila expandida. Eles ainda podem ser classificados quanto ao tamanho e à distribuição dos grãos (DNIT, 2006, p.78).

Ainda em conformidade com Brasil (2006), os agregados podem ser classificados quanto ao tamanho dos grãos em:

- Agregado graúdo: são os agregados retidos na peneira nº 10 (2,0 mm), são as britas, cascalho, seixos, etc.
- Agregado miúdo: é o material que passa na peneira nº 10 (2,0 mm) e fica retido na peneira nº 200 (0,075 mm), são o pó-de-pedra, areia, etc.
- Agregado de enchimento (filler): é o que passa pelo menos 65% na peneira nº 200 (0,075 mm), como exemplo temos a cal extinta e o cimento Portland.

E também quanto à graduação ou distribuição dos grãos (DNIT, 2006, p.79):

- De distribuição densa: é o agregado na qual apresenta uma curva granulométrica de material bem graduado e contínuo, com quantidade de material fino, suficiente para preencher os vazios entre as partículas maiores.
- De graduação aberta: é o agregado na qual apresenta uma curva granulométrica de material bem graduado e contínuo, com insuficiência de material fino, para preencher os vazios entre as partículas maiores.

- Agregado tipo macadame: possui partículas de um único tamanho, com granulometria uniforme onde o diâmetro máximo é aproximadamente o dobro do diâmetro mínimo.

2.3.2 Materiais Diversos

São os materiais considerados de uso mais freqüente em obras de pavimentação e que não se enquadram na categoria dos materiais terrosos e nem na dos materiais pétreos, como os aglomerantes hidráulicos (cal hidratada e cimento Portland) (DNIT, 2006, p.83).

2.3.3 Materiais Terrosos

Caracterizam-se basicamente pelos solos. Considera-se como solo qualquer material que possa ser escavado com pá, picareta, escavadeira, etc., sem necessidade de explosivos. (DNIT, 2006, p. 17). Esse material se encontra de forma abundante na natureza e também é utilizado nas obras de pavimentação, seja no leito estradal, em terraplanagens ou em bases e sub-bases (BERNARDI, 2013, p.19).

2.4 Solos

A construção de um pavimento exige o conhecimento não só dos materiais constituintes das camadas desse pavimento, mas também dos materiais constituintes do subleito e dos materiais que possam intervir na construção dos acostamentos, cortes e aterros. Entre os materiais destaca-se o solo, que funciona como agente principal e interfere em todos os estudos de um pavimento, pois mesmo não sendo eventualmente utilizado nas camadas previstas, será sempre o suporte da estrutura (SENÇO, 2001, p.42).

Assim sendo, Vargas (1978) define solo como todo o material da crosta terrestre que não oferece resistência intransponível a escavação mecânica e que perde totalmente a resistência, quando em contato prolongado com a água.

Já no âmbito da engenharia rodoviária, através de Brasil (2006) considera-se solo todo o tipo de material orgânico ou inorgânico, inconsolidado ou parcialmente cimentado, encontrado na superfície da terra.

O solo é estudado através da pedologia, ciência que estuda o solo sob ponto de vista de sua gênese, classificação e distribuição na paisagem. Esse estudo é de grande valor para o engenheiro como forte subsidio sobre o solo de uma região, com indicativos das suas inúmeras propriedade, determinando seu melhor uso (JOHNSTON, 2010, p.36).

2.4.1 Formação dos Solos

A formação do solo se dá a partir do processo físico químico de fragmentação e decomposição das rochas, ou através do transporte, sedimentação e evolução pedogênica.

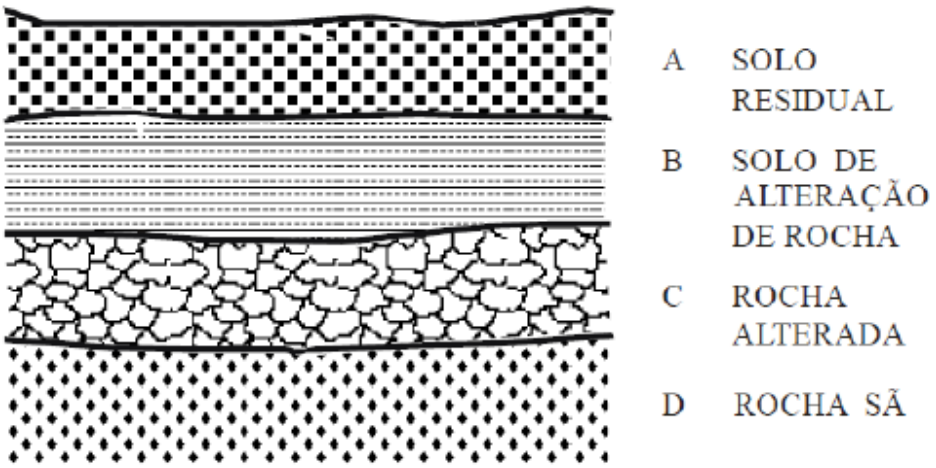
Conforme Pinto (2000), os solos, de acordo com sua origem, podem ser divididos em dois diferentes grupos: os solos residuais e os solos transportados.

Brasil (2006) os define como: Solos residuais, quando os produtos da rocha intemperizada permanecem ainda no local em que se deu a transformação; e Solo transportado, quando os produtos de alteração foram transportados por um agente qualquer, para local diferente ao da transformação. É importante destacar que o solo residual possui uma maior ocorrência, enquanto que o transportado ocorre somente em áreas mais restritas.

Bastos (1999) esclarece que a transformação completa de um material original (rocha) em um solo envolve diversas modificações morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas devido à atuação de dois grupos de processos: intemperismo (agrupa os processos de destruição natural das rochas) e processos pedogenéticos (atuam sobre o material resultante do intemperismo e determinam a chamada evolução do solo).

Segundo Brasil (2006), não existe um limite entre o solo e a rocha que o originou. O processo de passagem entre ele é gradativo e permite a separação de pelo menos duas partes distintas; uma abaixo do solo, chamada de solo de alteração de rocha, e uma acima da rocha, chamada de rocha decomposta. A Figura 6 a seguir ilustra um perfil resultante da decomposição das rochas.

Figura 6: Perfil resultante da decomposição das rochas.



Fonte: DNIT (2006, p. 18)

Diferentemente dos solos residuais, nos solos transportados, de acordo com Brasil (2006), se destaca uma variedade distinta, que é o solo orgânico, no qual o material transportado está misturado com quantidades variáveis de matéria orgânica decomposta.

Ainda segundo Brasil (2006) entre os solos transportados, é possível diferenciá-los de acordo com o agente transportador, nos seguintes tipos: coluviais, de aluvião, eólicos (dunas costeiras), orgânicos e os glaciais (não possuem registros de ocorrência no Brasil).

- Solos coluviais: solos cujo transporte se deve exclusivamente à ação da gravidade. São encontrados ao pé de elevações e encostas;
- Solos eólicos: depósitos ao longo do litoral, onde formam as dunas;
- Solos de aluvião: solos arrastados pelas águas e depositados nos momentos em que a corrente sofre uma diminuição na sua velocidade;
- Solos orgânicos: ocorrem em áreas de bacias e depressões continentais, nas baixadas marginais de rios e nas baixadas litorâneas.

2.4.2 Solos Tropicais

Solo tropical é aquele que apresenta peculiaridades de propriedades e de comportamento, relativamente aos solos não tropicais, em decorrência da atuação do mesmo em processos geológicos e/ou pedológicos, típicos das regiões tropicais úmidas (VILLIBOR et al., 2009, p.20).

Conforme Nogami e Villibor (2009), o solo não pode ser considerado como tropical apenas por se encontrar em regiões de clima tropical úmido, mas deve apresentar aspectos geotécnicos que o venham a caracterizar como um solo tropical ou não.

Os mesmos autores ainda destacam entre os solos tropicais duas grandes classes: os solos lateríticos e os solos saprolíticos. (NOGAMI e VILLIBOR, 2009)

2.4.2.1 Solos Lateríticos

Segundo Johnston (2010) um solo é laterítico quando for considerado de comportamento geotécnico laterítico. Ele é caracterizado por possuir uma série de propriedades que o levam a classificá-lo como solo de comportamento laterítico segundo a classificação MCT.

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. (VILLIBOR e NOGAMI, 2009, p.20)

Ainda de acordo com Villibor e Nogami (2009) uma das mais importantes peculiaridades deste solo é o seu enriquecimento de óxidos hidratados de ferro e/ou alumínio e a permanência de caulinita 23 como argilo-mineral predominante. Estes minerais conferem aos solos de comportamento laterítico em condições naturais a coloração típica vermelha. Os Engenheiros Douglas Fadul Villibor e Job Shuji Nogami tendo em vista as grandes dificuldades e deficiências da sistemática tradicional, desenvolveram uma nova sistemática de ensaios de solos que caracterizassem melhor os solos tropicais em seu ambiente, a Sistemática MCT.

Através desta nova metodologia, a Sistemática MCT, conceitua-se, solos argilosos finos lateríticos, aqueles que possuírem menos de 10% de fração retida na peneira de 2,00mm e menos de 50% de fração retida na peneira de 0,075mm. Estas frações podem conter, além do quartzo,

óxidos e hidróxidos de ferro, alumínio e titânio. Dessa forma esses solos virão a se enquadrar na classe de comportamento laterítico e ao grupo LG', da classificação MCT (VILLIBOR e NOGAMI, 2009).

Na Figura 7, dos autores Nogami e Villibor (2009), é possível ver a ocorrência dos solos finos arenosos e argilosos de comportamento laterítico, que totalizam 65% do território brasileiro. Pode-se perceber que na região noroeste do Rio Grande do Sul existe uma faixa de ocorrência de solos argilosos de comportamento laterítico passando pelo município de Ijuí.

Figura 7: Ocorrência de solos finos de comportamento laterítico, no Brasil.

Fonte: Villibor e Nogami (2009)

2.5 Classificação dos Solos

O solo é um material que tem ocorrência na natureza nas mais diversas formas. Para que ele possa ser utilizado como fundação ou material de construção, existe a necessidade de ele ser classificado de maneira que se possam formular métodos de projetos baseados em algumas propriedades de cada grupo. Desse modo foram desenvolvidos diversos sistemas de classificação, cada um deles adequado a uma utilização dos solos ou a métodos de projeto (DNIT, 2006, p.55).

Segundo Pinto (2000) o objetivo de se classificar os solos, sob o ponto de vista da engenharia, é o de poder estimar o seu provável comportamento ou de pelo menos orientar o programa de investigação necessário para que se possa encontrar uma análise adequada de um problema.

As classificações denominadas tradicionais e mais difundidas no Brasil são: o Sistema Unificado de Classificação de Solos (Unified Soil Classification System – SUCS), e a classificação para finalidades rodoviárias da AASHTO, a Highway Research Board (HRB). Há ainda a classificação brasileira para solos tropicais, e amplamente conhecida como Classificação MCT (BERNARDI, 2013).

2.5.1 Sistema Unificado de Classificação de Solos – SUCS

Esse sistema foi criado pelo Engenheiro Arthur Casagrande em 1942, e tinha em vista a classificação dos solos com o propósito de utilizá-los na construção de aeroportos. Depois, acabou sendo adotada pela "Army Corps of Engineers" durante a Segunda Guerra Mundial, quando recebeu o nome em que é reconhecida hoje em dia (DAS, 2007).

O Sistema Unificado de Classificação de Solos – SUCS, de acordo com o Manual do DNIT (2006), é baseado na identificação dos solos conforme as suas qualidades de textura e plasticidade, e agrupa-os conforme seu comportamento quando utilizados em estradas, aeroportos, aterros e fundações.

Senço (2001) classifica esse sistema em três grupos principais:

- Solos de granulação grossa: Tem natureza de pedregulhos e de areia na qual apresentam 50% ou mais dos grãos do material retido na peneira de nº 200. Os solos desse grupo são divididos em: pedregulho ou solos pedregulhosos, areia ou solos arenosos.
- Solos de granulação fina: Apresentam 50% ou mais dos grãos do material passando na peneira de nº 200 e corresponde à fração silte mais argila. Os solos desse grupo são divididos em siltosos ou argilosos.

- Solos altamente orgânicos: São as turfas ou similares, ou seja, são os solos que apresentam matéria orgânica decomposta de fácil identificação.

Na Tabela 2, retirada de Senço (2001) estão representados os símbolos do Sistema Unificado de Classificação de Solos – SUCS.

Tabela 2: Símbolos do SUCS

Símbolo	**Identificação**	
	Inglês	**Português**
G	gravel	pedregulho
S	sand	areia
M	mo(sueco)	silte
C	clay	argila
W	well graded	bem graduado
P	poorly graded	mal graduado
O	organic	organico
H	high compressibility	alta compressibilidade
L	low compressibility	baixa compressibilidade
Pt	peat	turfa

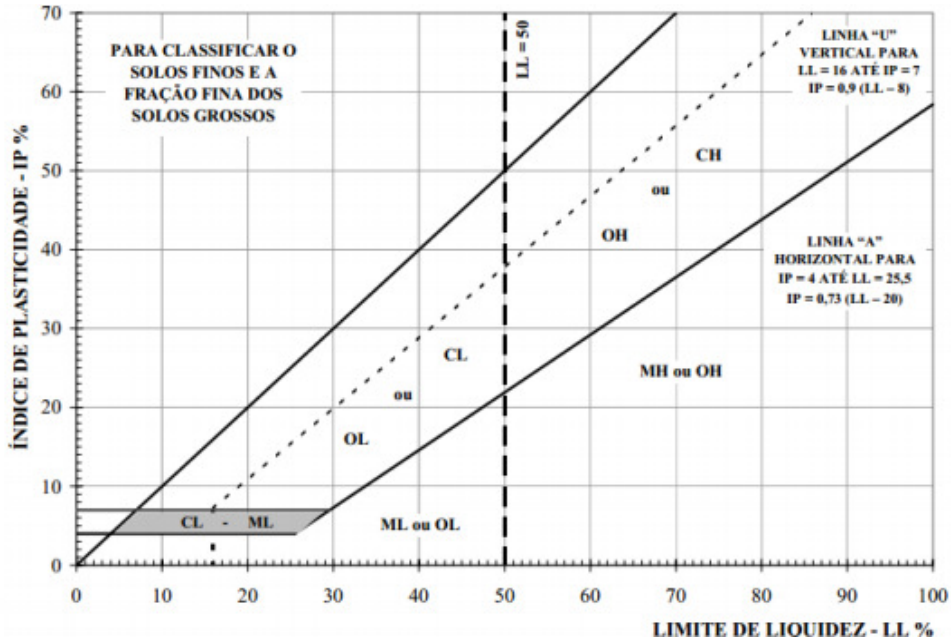
Fonte: Adaptado de Senço (2001, p.195)

Neste sistema, de acordo com Brasil (2006), consideram-se as seguintes características dos solos:

- Percentagens de pedregulhos, areias e finos;
- Forma da curva granulométrica;
- Plasticidade e Compressibilidade.

Dessa forma o SUCS, além de adotar a peneira de nº 200 como divisora dos materiais de grãos grossos e grãos finos, considera também a forma das curvas granulométricas, fazendo a distinção dos solos bem graduados dos solos mal graduados. No que se refere à plasticidade e compressibilidade, tanto os siltes como as argilas são identificadas em função de apresentarem maior ou menor valor dessas características. O limite de separação entre baixa compressibilidade e alta compressibilidade é Limite de Liquidez (LL) =50% (SENÇO, 2001, p.197). A Figura 8 mostra a separação por zonas dos materiais de acordo com a plasticidade do solo.

Figura 8: Gráfico de Plasticidade de Casagrande



Fonte: DNIT (2006)

Para a classificação do grupo a que pertence o solo é necessário realizar a consulta a Tabela 3 de classificação pelo SUCS.

Tabela 3: Sistema Unificado de Classificação de Solos

SOLOS DE GRADUAÇÃO GROSSA: mais de 50% retido na peneira nº 200	Pedregulhos: 50% ou mais da fração graúda retida na peneira nº 4	Pedregulhos 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 de ped. com pouco ou nenhum fino.
		Pedregulhos 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 inorganicos - 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 inotgânicas de alta plasticidade.
			OH	Argilas orgânicas de alta e média plasticidade.
	Solos Altamente Orgânicos		PT	Turfas e outros solos altamente orgânicos

Fonte: Adaptado DNIT (2006)

2.5.2 Sistema Rodoviário de Classificação - HRB/AASHTO

O Sistema Rodoviário de Classificação TRB (antigo HRB), conforme afirma Pinto (2000), é um sistema muito empregado na engenharia rodoviária em todo o mundo, e assim como o SUCS também é baseado na granulometria e nos limites de Atterberg.

Segundo Brasil (2006), nesta classificação os solos são separados em grupos e subgrupos, em relação a sua granulometria, limites de consistência e a partir do calculo do índice de grupo (IG). Na Tabela 4 a seguir apresenta o quadro de classificação dos solos. O processo de classificação é um tanto quanto simples, bastando apenas realizar os ensaios de granulometria, limites de liquidez e plasticidade e calcular o índice de Grupo. Por um processo de eliminação da esquerda para a direita, determina-se o grupo do solo. O primeiro grupo com o qual os valores do solo ensaiado coincidir, será a sua classificação correta.

Tabela 4: Classificação Rodoviária dos Solos

CLASSIFICAÇÃO GERAL	MATERIAIS GRANULARES 35% (ou menos) passando na peneira N° 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, p.58).

Os solos são subdivididos em sete grupos e oito subgrupos e de acordo com Brasil (2006), se caracterizam como:

- Grupo A-1: O material desse grupo é composto de uma mistura bem graduada de pedaços de pedra ou pedregulho, areia grossa, areia fina, entre outros.

  - Subgrupo A-1-a – Inclui os materiais contendo, principalmente, fragmentos de pedra ou pedregulho, com ou sem material fino bem graduado, funcionando como aglutinante.

  - Subgrupo A-1-b – Inclui os materiais constituídos, principalmente, de areia grossa, com ou sem aglutinante de solo bem graduado.

- Grupo A-2: Esse grupo inclui grande diversidade de materiais que se situam entre os grupos A-1 e A-3 e também entre os materiais constituídos de mistura silte-argila dos grupos A-4, A-5, A-6 E A-7. Inclui todos os solos com 35% ou menos passando na peneira nº 200, mas que não podem ser classificados como A-1 ou A-3, devido ao teor de finos que contêm, ou a plasticidade, ou ambos excedendo os limites estabelecidos para os citados grupos.

  -Subgrupos A-2-4 e A-2-5 – Esses grupos abrangem os materiais tais como pedregulho e areia grossa, em que o teor de silte e o índice de plasticidade excedem os limites estabelecidos para o Grupo A-1 e ainda a areia fina com silte não plástico excedendo os limites do Grupo A-3.

  -Subgrupos A-2-6 e A-2-7 - Incluem solos semelhantes aos descritos nos subgrupos A-2-4 e A-2-5, exceção feita da porção de finos que contem argila plastica com caracteristicas dos grupos A-6 ou A-7.

- Grupo A-3: O material típico é a areia fina de praia ou de deserto, sem silte ou argila. Também inclui misturas de areia fina mal graduada e quantidades limitadas de areia grossa e pedregulho depositado pelas correntes.
- Grupo A-4: O solo típico deste grupo é siltoso não plástico, ou moderadamente plástico, possuindo, geralmente, 5% ou mais passando na peneira nº200. Incluem

também, misturas de solo fino siltoso com até 64% de areia e pedregulho retidos na peneira nº200.

- Grupo A-5: O solo típico desse grupo é semelhante ao que foi descrito no A-4, exceto que ele é altamente elástico, conforme indica seu elevado limite de liquidez.
- Grupo A-6: O solo argiloso e plástico, tendo geralmente 75% ou mais de material passando na peneira nº 200. O grupo também inclui misturas de solos finos argilosos, podendo conter até 64% de areia e pedregulho retidos na peneira nº200. Os solos deste grupo comumente sofrem elevada mudança de volume entre os estados seco e úmido.
- Grupo A-7: O solo semelhante ao descrito no grupo A-6, com a diferença que possui as características de alto limite de liquidez do grupo A-5, podendo ainda ser elástico e estar sujeito à elevada mudança de volume.

  -Subgrupo 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.

  -Subgrupo A-7-6- Inclui materiais com elevados índices de plasticidade em relação aos limites de liquidez, estando sujeitos a elevadas mudanças de volume.

2.5.3 Classificação MCT

O sistema de Classificação MCT foi desenvolvido por Nogami e Villibor, com a finalidade de melhor caracterizar os solos tropicais. O sistema permite avaliar as propriedades fundamentais dos solos associados à contração, permeabilidade, expansão, coeficiente de penetração d'água, coesão, capacidade de suporte e famílias de curvas de compactação, fazendo uso de corpos-de-provas de dimensões menores que as convencionais (DNIT, 2006).

Com o acelerado desenvolvimento dos países de clima tropical, e o crescente aumento das obras de engenharia geotécnica, como estradas, barragens e aterros, pode-se perceber que existia uma incoerência entre as propriedades esperadas dos solos finos e as que realmente eles apresentavam. Dessa forma os estudos relacionados à geologia e pedologia passaram a ser considerados importantes a geotecnia no sentido de se compreender o fator de diferenciação na

formação dos solos existentes nas regiões tropicais e sua influencia no comportamento geotécnico. Foi a partir desse cenário que Nogami e Villibor propuseram uma nova sistemática de classificação denominada M (miniatura), C (compactada), T (tropical) (BERNUCCI et al.,2008).

> [...] O desenvolvimento da nova Sistemática MCT permitiu um amplo estudo geotécnico dos solos finos (100% passantes na peneira de 2,00 mm), que são de interesse para diversas aplicações rodoviárias (VILLIBOR e NOGAMI, 2009, p.39).

De acordo com Bernucci et al. (2008), a principal finalidade da classificação é de separar os solos de comportamento laterítico – Solos Lateríticos, (representados pela letra L), daqueles de comportamento não-laterítico – Solos Saprolíticos, (representados pela letra N), uma vez que os solos lateríticos apesar de serem plásticos, e de possuírem baixa deformabilidade exibem propriedades peculiares como, por exemplo, elevada resistência e baixa expansibilidade.

Johnston (2010) apresenta os solos tropicais segundo a classificação MCT em:

- Areias não lateríticas (NA): São areia, siltes e misturas de areia e silte onde os grãos são constituídos essencialmente de quartzo e/ou mica, praticamente sem finos argilosos coesivos e siltes caoliníticos. Possuem pequena capacidade de suporte, quando compactados.
- Solos Arenosos não lateríticos (NA'): Misturas de areia quartzosas com finos passando na peneira nº 200. Solos saprolíticos originados de rochas ricas em quartzo como granitos, gnaisses, arenitos e quartzitos impuros.
- Solos Siltosos não lateríticos (NS'): Saprolítico resultante de intemperismo tropical nas rochas eruptivas e metamórficas. Caracterizam-se por possuírem baixa capacidade de suporte quando imersos em água depois de compactados.
- Solos Argilosos não Lateríticos (NG'): Solos saprolíticos originados de rochas sedimentares argilosas.
- Areias lateríticas (LA): Apesar de possuírem elevada capacidade de suporte e módulo de resiliência elevado, tornam-se indesejáveis para pavimentos econômicos porque quando devidamente compactados podem ser permeáveis pouco coesivos e pouco contráteis quando secos.

- Solos Arenosos lateríticos (LA'): Conhecidos pedológicamente no Brasil por latossolos arenosos. Possuem elevada capacidade quando compactados, elevado módulo de resiliência, baixa permeabilidade, pequena expansão por imersão em água, podendo ser utilizados em bases e sub-bases de pavimentos.
- Solos Argilosos lateríticos (LG'): Conhecidos pedológicamente por latossolos, solos podzólicos e terra roxa estruturada. Apresentam propriedades similares às do solo LA' quando possuem porcentagem elevada de grão de areia.

2.6 Resíduo de Construção Civil – RCC

Conforme a definição da Resolução do Conama n.307 (2002), os chamados resíduos de construção civil são:

> [...] os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfaltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica, etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha.

2.6.1 Classificação dos Resíduos

Os RCC's - Resíduos da Construção Civil - possuem diversas classificações em função das características apresentadas por eles e dos processos que deram origem aos mesmos. Segundo Resolução nº 307 de 2002 do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, Art. 3º, os resíduos da construção civil deverão ser classificados, da seguinte maneira:

- Classe A: Composta pelos seguintes resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados:

  - de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infra-estrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem;

  - de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto;

  - de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meio-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras;

- Classe B - são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras e outros;
- Classe C - são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem/recuperação, tais como os produtos oriundos do gesso;
- Classe D: são resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde, oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros bem como: telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde. (nova redação dada pela Resolução n° 348/04).

2.6.2 Impactos Ambientais

A definição, segundo a resolução do Conama n. 001 de 23 de janeiro de 1986 Artigo 1º, considera impacto ambiental como:

> [...] qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam: a saúde, a segurança e o bem-estar da população; as atividades sociais e econômicas; a biota; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; a qualidade dos recursos ambientais.

A indústria da construção civil vem crescentemente contribuindo com a produção em larga escala de resíduos, tornando-se um dos setores que mais gera resíduos sólidos. Segundo Blumenschein (2004), em todos os processos de construção são causados, de alguma forma, grandes prejuízos ao meio ambiente. Entre as etapas desse processo é possível destacar a ocupação de terras; a extração da matéria prima; o processamento, a produção de seus componentes; a demolição; o descarte e o próprio processo construtivo.

A geração de elevados volumes de resíduos da construção e demolição vem preocupando, cada vez mais as autoridades e a população. De acordo com Hewerton Bartoli, vice-presidente da Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição (ABRECON), estima-se que só o Brasil desperdiça em média 8 bilhões de reais ao ano,

justamente por não reciclar materiais de construção. O desperdício desses resíduos é tão grande, que chegam a ser responsáveis por 60% de todo o lixo sólido urbano gerado (ABRECON, 2015).

Conforme Bagatini (2011) a existência de prováveis áreas que sofrem danos devido ao contato com resíduos contaminados pode vir a acarretar serias conseqüências ambientais e sanitárias, tornando-as restritas para determinados usos. As atividades da indústria da construção civil são consideradas como importantes fontes de contaminação de áreas, principalmente nos processos em que se faz uso de substâncias perigosas e, consequentemente, geram resíduos perigosos.

Dessa forma, a necessidade da existência de políticas públicas, é de fundamental importância para o controle da geração de resíduos e para a avaliação dos impactos gerados nos mesmos (SANTOS, 2007).

2.6.3 Reciclagem e Destinação Final

A preocupação mundial com a reciclagem dos resíduos sólidos de construção vem crescendo cada vez mais devido ao consumo desenfreado e por muitas vezes inconseqüente dos materiais de origem natural. Para tentar minimizar a ameaça da poluição do espaço urbano por meio da disposição irregular de resíduos, as políticas públicas e ambientais vêm sendo amplamente discutidas, principalmente ao que se refere a respeito da quantificação e destinação adequada que os mesmos devem receber (BAGATINI,2011, p. 23).

> Um dos grandes problemas enfrentados atualmente pela indústria da construção civil é o desperdício de materiais, gerando volume de entulho que é quase o dobro do volume de resíduos sólidos urbanos. Este entulho quando reciclado pode gerar agregados com propriedades adequadas e custos inferiores aos preços médios de mercado. Vários estudos realizados têm comprovado a viabilidade no aproveitamento destes resíduos na própria construção civil, desde que se estabeleça uma metodologia adequada" (OLIVEIRA *et al*, 2006, apud PEDROZZO, 2014, p. 30).

Segundo Rafael Clemente Filgueira, gerente da Usina de Reciclagem de Entulho de Osasco, administrada pelo Inac, a destinação adequada dos resíduos e a reutilização, além da economia ambiental, uma vez que se deixa de extrair novos materiais da natureza, é altamente viável economicamente. Os resíduos possuem reaproveitamento de 70% e seu recondicionamento da origem a produtos como areia, pedrisco, brita, rachão e bica corrida, e podendo ser utilizados nas mais diversas áreas de construção (ABRECON, 2015).

Para a correta destinação final dos resíduos da construção civil, o artigo 10 da Resolução do Conama n. 307 (2002) prevê que a destinação deverá ser feita da seguinte forma:

- Classe A: os resíduos desta classe "[...] deverão ser reutilizados ou reciclados na forma de agregados, ou encaminhados a áreas de aterro de resíduos da construção civil, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura.";
- Classe B: os resíduos desta classe "[...] deverão ser reutilizados, reciclados ou encaminhados a áreas de armazenamento temporário, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura.";
- Classe C: os resíduos desta classe "[...] deverão ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas especificas.";
- Classe D: os resíduos dessa classe "[...] deverão ser armazenados, transportados, reutilizados e destinados em conformidade com as normas técnicas especificas. '.

A NBR 15.113 (2004) destaca que os aterros licenciados deverão praticar a gestão e manejo de forma correta dos resíduos, respeitando os requisitos mínimos exigidos para o projeto, implantação e operação do aterro de resíduos de Classe A e resíduos inertes. Os resíduos, quando tiverem de ser descartados, deverão ser dispostos adequadamente em locais que possuam totais condições de recebimento, e que atendam rigorosamente as exigências apresentadas na NBR 15.114, também chamados de áreas de reciclagem.

A NBR 15.114 (2004c) prevê que os resíduos podem ser reciclados e por sua vez, modificados em novos materiais de construção, após passarem por um rigoroso processo seletivo. O processo consiste na retirada do volume orgânico, do volume de materiais que apresentam baixa resistência, e até mesmo dos resíduos que possuem mercado de comercialização, tais como o plástico, o papel, o papelão, a madeira e o metal. Esses materiais são encaminhados para empresas responsáveis pelo seu destino final, restando apenas os resíduos como pedra britada, cerâmica, tijolos, etc, que será para a produção de agregado que poderá ser aplicado em obras de infraestrutura. Ainda, segundo esta Norma, entende-se por área de reciclagem aquela destinada a produção de agregados reciclados a partir do recebimento e transformação de resíduos de classe A da construção civil, e que já passaram previamente pelo processo de triagem.

3 MÉTODO DE PESQUISA

No presente trabalho pretende-se analisar o comportamento de misturas de solo argiloso laterítico do município de Ijuí, com agregado miúdo reciclado (RCC) do município de Santa Rosa, descrevendo a metodologia utilizada desde a classificação e escolha dos materiais da mistura, aos ensaios em laboratório, compreendendo as normas técnicas e os procedimentos de ensaio realizados.

Dividiu-se este capítulo em quatro partes principais, iniciando pela apresentação da estratégia e delineamento da pesquisa, na sequência detalham-se os materiais utilizados e conclui-se com a exposição dos ensaios laboratoriais necessários.

3.1 Estratégia de Pesquisa

A referente pesquisa abordada nesse trabalho pode ser considerada como quantitativa e aplicada, pois teve como objetivo apresentar uma solução econômica para bases e sub-bases de pavimentos, fazendo uso de resultados para se chegar a uma aplicação. Quanto aos métodos, se trata de 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 de solo argiloso laterítico e resíduo de construção civil (RCC – Classe A).

3.2 Delineamento

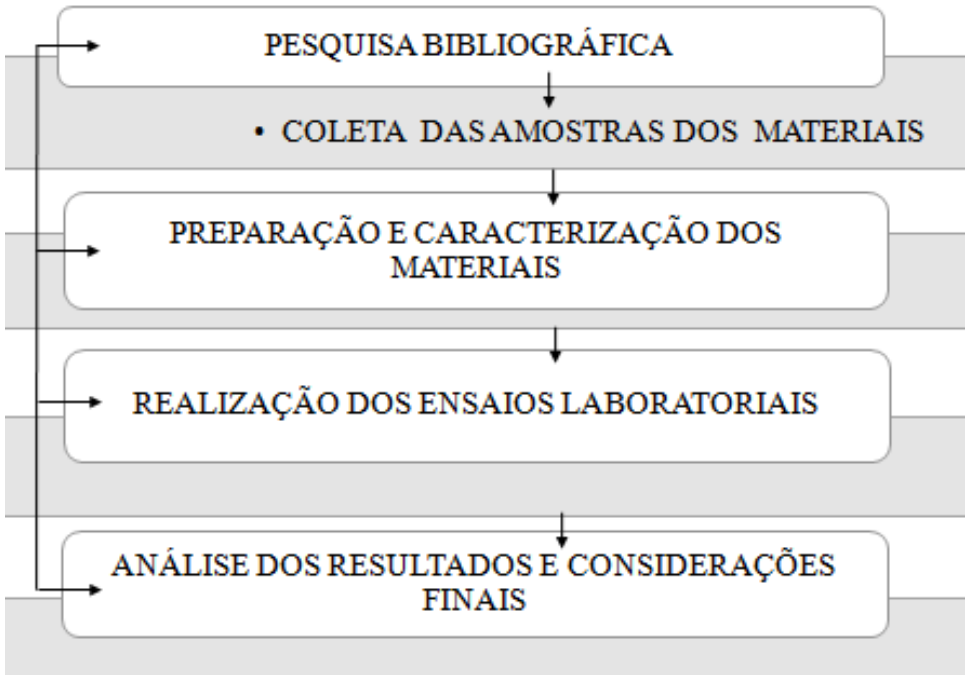
Após a finalização da fundamentação teórica, amostras de materiais, solo natural e resíduo de construção civil moído, foram coletadas, preparadas e caracterizadas, para a sua utilização nos ensaios laboratoriais. Foram determinadas as misturas de solo e RCC, em proporções definidas em 20%, 30% e 40%. Estas misturas foram então submetidas a ensaios laboratoriais para a avaliação das suas propriedades físico-mecânicas relevantes à aplicação em camadas de base e sub-base de pavimentos econômicos.

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Engenharia Civil do Campus Ijuí da UNIJUÍ (LEC) – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul.

Ao fim da análise e da interpretação dos resultados dos ensaios laboratoriais foram traçadas as conclusões acerca da viabilidade ou não, da utilização destas misturas como camadas de pavimentos econômicos.

A Figura 9 a seguir, apresenta de forma esquemática o delineamento da pesquisa.

Figura 9: Exemplo de delineamento de pesquisa



Fonte: Autoria Própria (2015)

3.3 Materiais

Nesta seção apresentam-se os materiais estudados nesta pesquisa, solo e resíduo da construção civil além das misturas propostas.

3.3.1 Solo

O solo utilizado para o estudo dessa pesquisa foi retirado de um corte próximo ao prédio do Hospital Veterinário, que está inserido 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).

A profundidade de extração das amostras ocorreu em torno de 2 metros da superfície, pertencente ao horizonte B conforme se pode observar na Figura 10. As amostras de argila vermelha utilizadas nesta pesquisa foram armazenadas em padiolas para ser seca ao ar, e posteriormente foram realizados os procedimentos para prepará-la aos ensaios de caracterização conforme as condições prescritas na norma NBR 6457.

Figura 10: Local de retirada de solo

Fonte: Autoria Própria (2015)

3.3.2 Resíduo de Construção Civil (RCC) – Classe A

O Resíduo da Construção Civil, denominado na sequência sempre por RCC, utilizado nas misturas é proveniente da RESICON - Central de Triagem e Reciclagem de Resíduos de Construção Civil do Noroeste do RS, que está localizada no município de Santa Rosa (RS), próximo a ERS 344, km 36,5, distante aproximadamente 100 km da cidade de Ijuí.

O resíduo de construção civil passou por uma triagem inicial, na qual todo o material que não foi considerado resíduo de classe A (resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, de acordo com a resolução do Conama n. 307) foram retirados.

O resíduo, classe A, previamente separado, foi depositado sobre uma mesa vibratória. Desta mesa vibratória foi resultado um material fino (mistura de areia, solo e RCC). O resíduo restante foi conduzido por esteiras transportadoras até um britador que reduziu, através de impactos, o tamanho do material e gerou várias granulometrias.

O RCC utilizado para as misturas é denominado pó de pedra ou areião (Figura 11) e possui graduação fina com material de até 4,60 mm. Este resíduo foi escolhido, pela semelhança de granulometria com a areia média utilizada em pesquisa de misturas ALA (Argila Laterítica e Areia), com indicação de possuir bom comportamento para uso em pavimentos econômicos.

Figura 11: Pó de pedra ou Areião

Fonte: Autoria Própria (2015)

3.3.3 Misturas

As misturas de solo natural e resíduo de construção civil – RCC (ALARC) foram definidas nas seguintes proporções de acordo com o proposto por Villibor e Nogami (2009) para misturas ALA conforme relatado no item 2.2 da revisão, com a sua denominação a partir de agora utilizada:

- ALARC 20%: 80% de solo natural e 20% de RCC;
- ALARC 30%: 70% de solo natural e 30% de RCC;
- ALARC 40%: 60% de solo natural e 40% de RCC.

3.4 Ensaios Laboratoriais – Metodologia Tradicional

Nesta seção inicialmente descreve-se a preparação das amostras e na sequência os ensaios de análise granulométrica, de obtenção dos Limites de Atterberg, de compactação, de obtenção do Índice Suporte Califórnia e os da Sistemática MCT.

3.4.1 Preparação das Amostras

Como prevê a NBR 6457 (1986), é necessária a preparação das amostras de solos para a caracterização dos materiais através da análise granulométrica, determinação dos limites de consistência e massa específica aparente (ABNT, 1986).

Segundo a norma descrita acima, as amostras para os ensaios de caracterização devem ser preliminarmente preparadas da seguinte forma (ABNT, 1986):

I. Secar as amostras ao ar até próximo à umidade higroscópica;

II. Desmanchar os torrões e homogeneizar a amostra;

III. Com o auxilio de um repartidor ou pelo quarteamento, reduzir a quantidade de material até obter uma quantidade suficiente para a realização do ensaio (ABNT, 1986).

Para os ensaios de análise granulométrica, é necessário passar a amostra preparada na peneira 76 mm, o material que ficar retido deve ser descartado. E para a realização dos ensaios de limite de liquidez e de plasticidades, é necessário que a amostra passe na peneira nº40 (0,42 mm), de modo a se ter cerca de 200g de material passante. Por fim, para os ensaios de determinação da massa específica dos grãos de solo é necessário passar a amostra na peneira nº4 (4,75 mm), de modo a ter cerca de 500g de material passante (ABNT, 1986).

3.4.2 Análise Granulométrica

"A análise granulométrica é a determinação da faixa de tamanho das partículas presentes em um solo, expressa como uma porcentagem do peso total seco." (Das, 2007, p.22).

Dois, são os métodos utilizados para a determinação da granulometria dos grãos: o ensaio de peneiramento (para partículas maiores que 0,075 mm de diâmetro, como ilustra a Figura 12) e o ensaio de sedimentação (para partículas menores que 0,075 mm de diâmetro). Ressalta-se que

os métodos do antigo DNER, incorporado atualmente ao DNIT, são semelhantes aos ensaios da ABNT, citados no parágrafo seguinte.

Figura 12: Ensaio de Peneiramento

Fonte: Autoria Própria (2015)

Conforme estabelece a NBR 7181 (1984 versão corrigida 1988), a amostra de solo, já preparada assim como anteriormente descrita através da NBR 6457 (1986), deve passar na peneira nº10 para assim poder ser utilizada para o ensaio de sedimentação. É separada uma amostra 70g, já que se tratava de um solo siltoso e argiloso. Este material é pesado em balança de precisão e seu valor é então anotado. Após esse processo o material é transferido para um béquer de 250 cm³ e misturado com defloculante, cerca de 125 cm³ de solução de hexametafosfato de sódio. O conteúdo do béquer deve ser agitado até que todo o material fique imerso e deve ficar em repouso por no mínimo 12 horas (ABNT, 1984 versão corrigida 1986).

Após o tempo definido, o material da mistura deve ser transferido para o aparelho de dispersão, como mostra a Figura 13, removendo todo o material aderido ao béquer, deve-se adicionar água destilada e o aparelho de ficar ligado de 15 a 20 minutos. (ABNT, 1984 versão corrigida 1986)

Figura 13: Aparelho de Dispersão

Fonte: Autoria Própria (2015)

Assim como a prevê a NBR 7181 (1984), o material deve ser transferido para uma proveta, onde se deve colocar água destilada até a marca de 1000 cm³, agitando o conteúdo por 1 minuto. Imediatamente após a agitação, a proveta deve ser colocada sobre uma mesa e deverá ser realizada a leitura na hora exata de inicio da sedimentação, após o mergulho do densímetro na solução. Os tempos de leitura são: 0.5, 1, 2, 4, 8, 15, e 30 minutos, e 1, 2, 4, 8, e 24 horas, a contar do início da sedimentação (ABNT, 1984 versão corrigida 1986).

Ao término das leituras, o material da proveta deve ser lavado na peneira de nº 200 (0,075 mm). O material retido é seco em estufa por no mínimo 16 horas e só então, com esse material já seco, ele é peneirado nas peneiras; nº 16, 30, 40, 60, 100 e 200. O material retido em casa peneira deverá ser pesado e seus valores devidamente anotados (ABNT, 1984 versão corrigida 1986).

Ainda segundo a NBR 7181 (1984), o peneiramento grosso, que deve ser realizado ao inicio do ensaio, ocorre da seguinte forma: o material retido na peneira nº 10 (2,0 mm) é pesado e peneirado nas peneiras nº 50, 38, 25, 19, 9.5 e 4. E ao final, quando são obtidos todos os resultados a partir da sedimentação, do peneiramento fino e do peneiramento grosso é possível traçar a curva de granulometria do material estudado (ABNT, 1984 versão corrigida 1986).

3.4.3 Limite de Atterberg

De acordo com Das (2007), quando estão presentes minerais de argila em um solo com granulação fina, este pode vir a ser modelado junto à presença de alguma quantidade de água sem que o mesmo se esfarele. Essa propriedade coesiva é causada pela absorção da água que cerca as partículas de argila. Dessa forma o cientista Atterberg desenvolveu um método para descrever a consistência de solos com grãos finos e teor de umidade variável.

Ainda segundo o autor, de acordo com o teor de umidade presente no solo, o seu comportamento pode vir a ser dividido em quatro fases: sólido, semi-sólido, plástico e líquido. O teor de umidade no ponto de transição do estado semi-sólido para o estado plástico é denominado de*limite de plasticidade,* e o ponto de transição do estado plástico para o estado líquido, o *limite de liquidez* (DAS, 2007).

Ortigão (2007) definiu os limites como de: contração (LC), plasticidade (LP) e de Liquidez (LL), sendo eles os correspondentes à transição entre os estados físicos. A diferença, em percentagens, entre os limites de plasticidade e liquidez, é denominada índice de plasticidade (IP).

O índice de plasticidade (IP) será dado pela Equação 1:

$$IP = LL - LP \tag{1}$$

Onde:

LL: Limite de Liquidez

LP: Limite de Plasticidade

Para a determinação do Limite de Liquidez o ensaio é realizado em conformidade com a NBR 6459 (1984) em um aparelho denominado de Casagrande - Figura 14, que consiste essencialmente de uma concha metálica que, acionada por uma manivela, golpeia a base do aparelho citado (ABNT, 1984 versão corrigida 1988).

Figura 14: Aparelho de Casagrande

Fonte: Autoria Própria (2015)

O processo para a realização do ensaio será descrito conforme a NBR 6459 (1984). O ensaio se inicia, separando-se uma fração da amostra do solo passante na peneira 0,42 mm de abertura de malha. Essa amostra é preparada com água destilada, na qual, a partir de movimentos de amassamento é conseguindo uma pasta homogênea. Essa pasta é então colocada no aparelho de Casagrande onde é feito uma ranhura no centro da concha. A manivela do aparelho é então girada, fazendo com que a concha bata contra a base. Anotando-se o numero de golpes necessários para que as bordas da ranhura se unam (ABNT, 1984 versão corrigida 1988).

Ainda conforme a Norma, ao encontro das bordas uma amostra do material deve ser coletado para verificação da umidade. O restante do material é ensaiado novamente, a fim de se obter no mínimo três pontos, cobrindo um intervalo de 35 a 15 golpes. Com a obtenção dos resultados, deve-se construir um gráfico no qual as ordenadas são os números de golpes e as abscissas são os teores de umidade. A umidade correspondente a 25 golpes será o limite de liquidez (ABNT, 1984 versão corrigida 1988).

O ensaio de Limite de Plasticidade é determinado conforme prescreve a NBR 7180 (1984). São utilizados cerca de 50g de material para a realização do ensaio. A amostra é colocada em uma cápsula de cerâmica e aos poucos vai se adicionando água destilada, até resultar em uma massa plástica e homogênea. Separando-se uma pequena porção dessa massa forma-se uma pequena bola, que deverá ser rolada sobre uma placa de vidro esmerilhada com pressão

suficiente da mão, de modo com que essa pequena bolinha adquira a forma de cilindro de 3 mm de diâmetro. A operação deverá ser realizada até que a massa se fragmente como mostra a Figura 15, devido à perda de umidade (DNIT, 2006).

De acordo com a NBR 7180 (1984), na impossibilidade de se obter o cilindro com 3 mm de diâmetro, o solo pode ser considerado como não plástico (NP) (ABNT, 1984).

Figura 15: Amostra fragmentando-se

Fonte: Autoria Própria (2015)

3.4.4 Ensaio de Compactação do Solo

Conforme Senço (2001) entende-se por compactação de um solo a capacidade de reduzir os vazios desse solo comprimindo-o através de meios mecânicos. O processo é feito de maneira empírica e sem uma base técnica a que se possa orientar para se chegar aos resultados.

O grau de compactação dos solos é medido de através do seu peso específico aparente seco. A água atua como um agente de amolecimento das partículas ao ser adicionada no solo, essas partículas deslizam umas sobre as outras e se posicionam em uma formação compacta e de alta densidade (DAS, 2007).

Serão descritas a seguir as especificações segundo NBR 7182 (1986 versão corrigida 1988) para a determinação da relação entre o teor de umidade e a massa específica aparente seca de solos quando compactados (ABNT, 1986 versão corrigida 1988).

Para a realização dos ensaios foi necessária a utilização de dois cilindros, um pequeno (cilindro de Proctor) e um cilindro grande (cilindro de CBR) e dois soquetes (pequeno e grande), como mostra a Figura 16 (ABNT, 1986 versão corrigida 1988).

Figura 16: Cilindros e soquetes utilizados

Fonte: Bernardi (2013)

A Tabela 5 detalha as diferenças de características para diferentes energias de compactação usadas para a realização dos ensaios.

Tabela 5: Características dos Ensaios de Compactação de acordo com as Diferentes Energias

Cilindro	**Característica inerentes a cada energia de compactação**	**Energia**		
		Normal	**Intermediaria**	**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.

O ensaio inicia-se com a separação de cinco amostras iguais de solo (a quantidade de solo separada corresponderá à energia aplicada sobre ele). A primeira amostra é ensaiada com a

adição de água, de forma a se obter um teor de umidade de 5% abaixo da umidade ótima presumível. A amostra deverá ser misturada de forma que o material fique bem homogeneizado e então se compacta essa amostra, de acordo coma energia de compactação escolhida, estipulando o tamanho do soquete, o número de camadas e a quantidade de golpes correspondentes (ABNT, 1986 versão corrigida 1988).

Ao fim da compactação da última camada remove-se o cilindro de sua base e pesa-se o conjunto (solo+cilindro+água). Retira-se então uma pequena amostra da compactação do meio do solo contido no cilindro para poder determinar a quantidade de umidade. As próximas amostras deverão ser compactadas com um adicional de 2% de umidade em relação à primeira. As proporções ensaiadas devem ser desprezadas e dos cinco pontos obtidos ao final do ensaio, dois devem estar no ramo seco, um próximo à umidade ótima, e dois no ramo úmido da curva de compactação (ABNT, 1986 versão corrigida 1988).

Conforme o Manual de Pavimentação do DNIT versão 2006, estando o solo num teor de umidade h%, resulta, após a compactação (DNIT, 2006):

a) Uma massa especifica aparente úmida definida pela Equação 2 a seguir:

$$\gamma_h = \frac{P_h}{V} \tag{2}$$

b) Uma massa especifica aparente seca definida pela Equação 3 a seguir:

$$\gamma_S = \frac{P_h \times 100}{V(100+h)} \tag{3}$$

Onde:

γ_s: massa específica aparente seca, em g/cm³;

γ_h: massa específica aparente úmida, em g/cm³;

P_h: peso úmido do solo compactado, em g;

V: volume útil do molde cilíndrico, em cm³;

h: teor de umidade do solo compactado, em %.

A partir dos resultados encontrados, é possível traçar a curva de compactação, onde a abcissa são os teores de umidade, e a ordenada às massas específica aparente seca. A curva deve

possuir um formato que se assemelha a uma parábola. A massa especifica aparente seca máxima será a ordenada máxima da curva, e a umidade ótima o valor correspondente na curva ao ponto de massa especifica aparente seca máxima (ABNT, 1986 versão corrigida 1988).

3.4.5 Índice de Suporte Califórnia (ISC)

Segundo Brasil (2006) o Índice de Suporte Califórnia (ISC) consiste na determinação da relação entre a pressão necessária para produzir uma penetração de uma haste de cinco centímetros de diâmetro num corpo-de-prova de solo, a pressão necessária para produzir a mesma penetração numa brita padronizada, considerando como padrão (ISC = 100%). O valor dessa relação é expresso em percentagem, e permite determinar, por meio de equações empíricas, a espessura de pavimentos flexível necessária, em função do tráfego.

De acordo com a NBR 9895 (1987), para realização desse ensaio é utilizado um cilindro e um soquete grande, nas três energias: normal, intermediaria e modificada, respectivamente: 12 26 e 55 golpes por camada, num total de cinco camadas. As amostras devem ser compactadas na umidade ótima, encontradas a partir do ensaio de compactação, ou então em cinco pontos próximos desta umidade (ABNT, 1987).

Depois de finalizada a compactação do molde, o mesmo é pesado e levado para um tanque, onde o mesmo fica imerso em água por quatro dias, com um extensômetro, para a medição da expansão. Aos quatro dias, o corpo-de-prova é retirado da imersão e levado para o ensaio de penetração em uma prensa, como mostra a Figura 17. A partir deste ensaio é possível traçar a curva pressão aplicada pelo pistão versus penetração do pistão (ABNT, 1987).

Figura 17: Ensaio de Penetração

Fonte: Autoria própria (2015)

3.4.6 Ensaios da Sistemática MCT

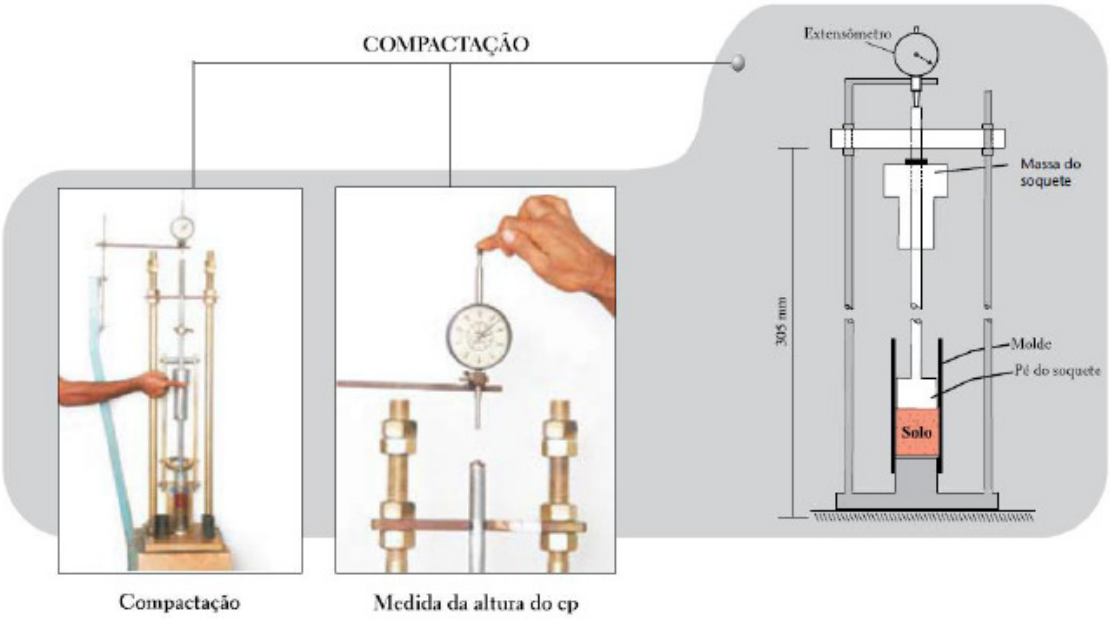
Conforme os pesquisadores Villibor e Nogami (2009) os ensaios (M1 a M8) e procedimento de classificação (M9) que fazem parte desta sistemática, são:

- M1 – Ensaio de Compactação Mini-Proctor;
- M2 – Ensaio Mini-CBR e Expansão;
- M3 – Ensaio de Contração;
- M4 – Ensaios de Infiltrabilidade e Permeabilidade;
- M5 – Ensaio de Compactação Mini-MCV;
- M6 – Ensaio de Penetração da Imprimadura Betuminosa;
- M7 – Ensaio Mini-CBR de Campo – Procedimento Dinâmico;
- M8 – Ensaio da Perda de Massa por Imersão;
- M9 – Classificação Geotécnica MCT.

Os ensaios realizados neste trabalho de conclusão foram M5, M8 e M9, e estão descritos a seguir. Villibor e Nogami (2009) estabelecem que os ensaios classificatórios das amostras são os ensaios de Compactação Mini-MCV (M5), que fornece os coeficientes “c’” e “d’” e o de Perda de Massa por Imersão (M8), que fornece o índice Pi.

O ensaio M5, é um ensaio de compactação em que são utilizadas várias energias, o equipamento e o cilindro utilizado têm diâmetro de 50 mm. O processo consiste em aplicar ao corpo de prova, com um determinado teor de umidade, um número crescente de golpes até que não haja mais acréscimo sensível em sua densidade. Na Figura 18 observam-se imagens do equipamento (VILLIBOR; NOGAMI, 2009).

Figura 18: Equipamento utilizado pra o ensaio de Mini-MCV



Fonte: Villibor e Nogami (2009, p.43)

Durante o ensaio são realizadas medidas da altura do corpo de prova para determinação da MEAS (Massa Especifica Aparente Seca). A cada teor de umidade de compactação (Hc), corresponde uma curva de deformabilidade; o coeficiente angular dado pela inclinação de cada uma delas, é denominado coeficiente c’. O coeficiente d’é a inclinação, medida nas proximidades da MEASmáx, da parte retilínea do ramo seco da curva de compactação

correspondente a 12 golpes no ensaio Mini-MCV, seu valor é obtido com a escala da MEASmáx em kg/m³ e a umidade em %, através da Equação 4 (VILLIBOR; NOGAMI, 2009):

$$d' = \frac{\Delta MEAS}{\Delta Hc} \tag{4}$$

Onde:

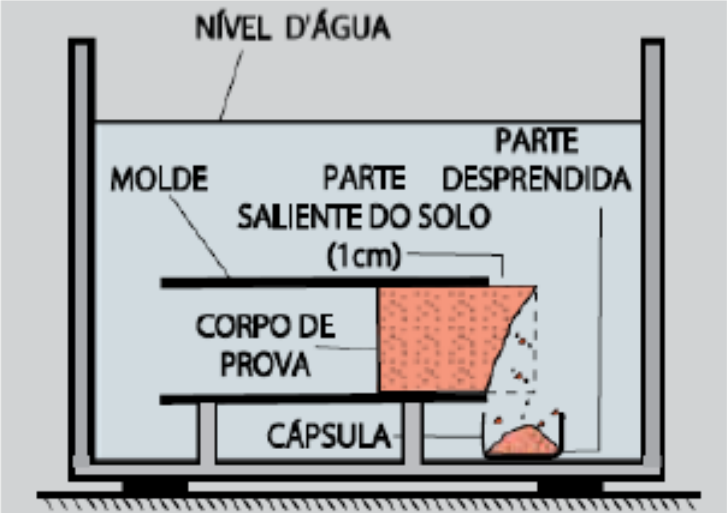
d' – inclinação da parte retilínea do ramo seco da curva correspondente a 12 golpes no ensaio M5

ΔMEAS – Massa específica aparente seca

ΔHc – Teor de umidade de compactação

Já para o ensaio M8, Villibor e Nogami (2009) afirmam que é fundamental que os corpos de prova sejam compactados de acordo com o Mini-MCV e somente poderão ser utilizados aqueles dos quais se possam obter uma curva de deformabilidade completa. Os corpos de prova são extraídos apenas parcialmente, a fim de que fiquem expostos, exatamente, 10 mm da sua parte inferior, após isso, os corpos de provas serão imersos em água e serão feitas as pesagens das massas desprendidas, conforme Figura 19.

Figura 19: Ensaio de perda de massa por imersão



Fonte: Villibor e Nogami (2009)

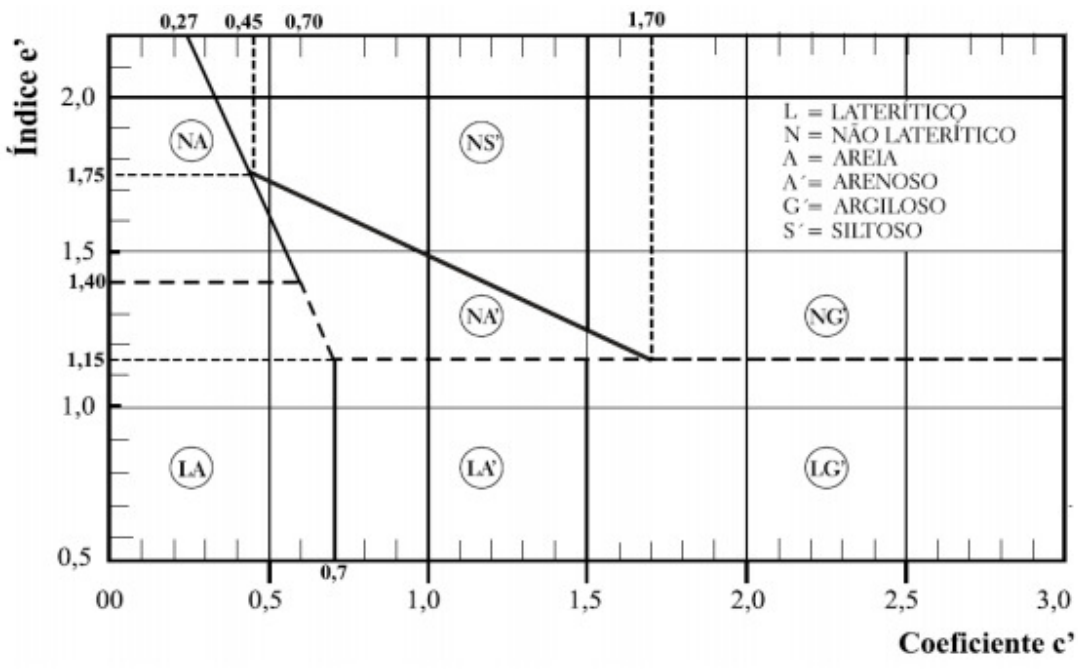
Para a classificação geotécnica MCT de solos tropicais, são utilizados coeficientes empíricos obtidos pelos dois ensaios acima descritos. O coeficiente c' é dado pela inclinação das

curvas de deformabilidade. Já o índice classificatório e' é calculado em função da perda de massa por imersão (Pi) em conjunto com o coeficiente d', dado pela seguinte Equação 5 (VILLIBOR; NOGAMI, 2009):

$$e' = \sqrt[3]{\frac{Pi}{100}} + \frac{20}{d'} \tag{5}$$

Com os valores dos coeficientes "c'" e "e'" são dispostos no gráfico da Figura 20 onde é possível obter a Classificação MCT dos solos tropicais (VILLIBOR; NOGAMI, 2009).

Figura 20: Classificação MCT



Fonte: Villibor e Nogami (2009)

4 RESULTADOS

Nesta divisão será feita a apresentação e analise e a discussão de todos os resultados encontrados, comparando-os com as respectivas especificações normativas para uso em pavimentos.

4.1 Análise Granulométrica

No capitulo anterior, como já citado, para a realização da análise granulométrica do resíduo de construção e das misturas, foram realizados os ensaios de granulometria assim como a NBR 7181/1984 preconiza. Inicialmente foram feitos os ensaios de granulometria por sedimentação e posteriormente o de peneiramento que complementa o ensaio.

A análise granulométrica do resíduo de construção civil – Classe A, assim como as misturas foram todas realizadas pelo procedimento de sedimentação. Dessa forma a Figura 21 mostra o ensaio de sedimentação sendo realizada nas quatro amostras diferentes. Na ordem da figura, da direita para esquerda estão o RCC, e as misturas ALARC 20, 30 e 40%.

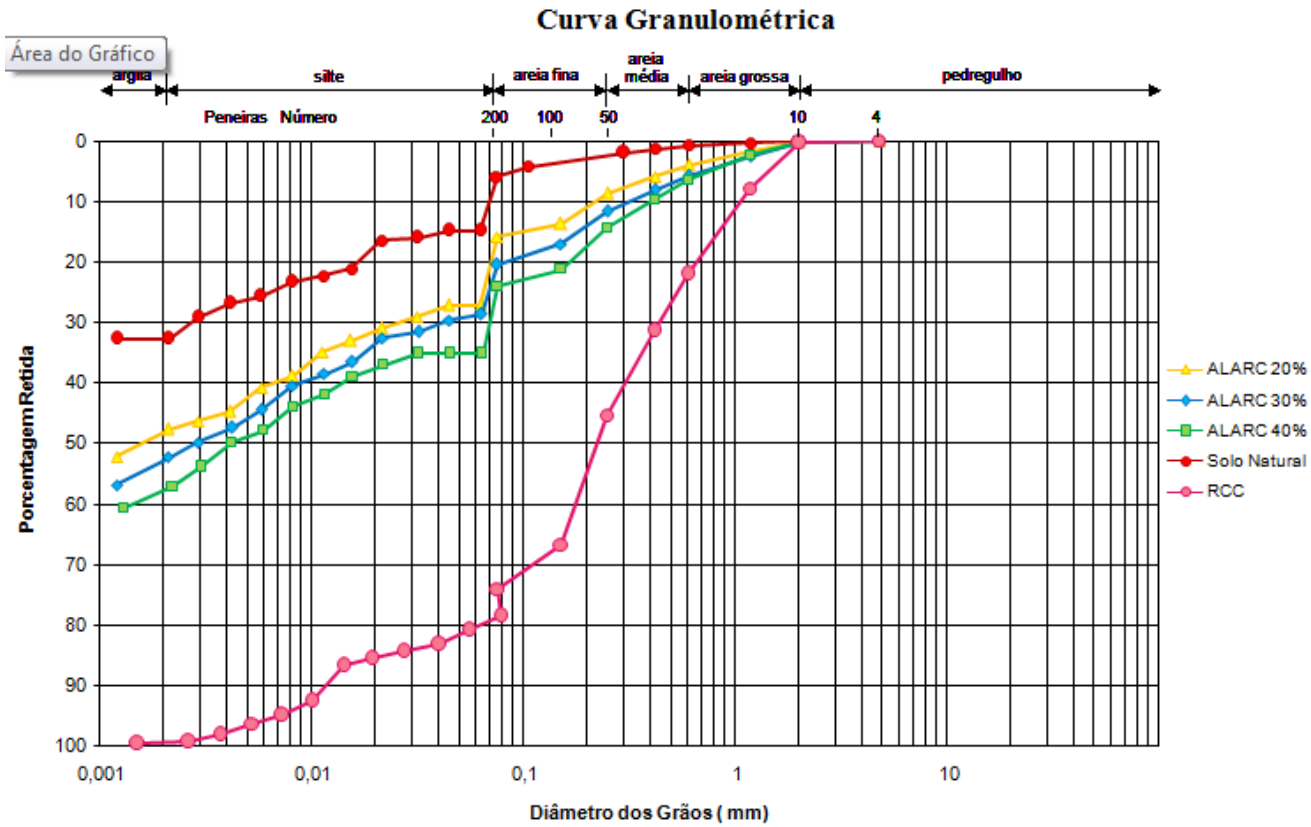
Figura 21: Ensaio de Sedimentação do RCC e Misturas

Fonte: Autoria Própria (2015)

Após a realização dos ensaios e colhidos os dados, foi possível traçar uma curva granulométrica conforme o gráfico da Figura 22. Pode-se perceber que a granulometria do resíduo de construção civil (RCC) ficou, em sua maior parte, compreendida entre as peneiras de nº 10 e nº 200, em contrapartida o solo natural caracterizou-se por ser extremamente fino, passando aproximadamente 95% do seu total na peneira de nº 200.

As misturas ALARC (Argila laterítica e areião de resíduo de construção) tiveram suas curvas granulométricas muito semelhantes com a curva apresentada pelo solo natural. Isso se deve às porcentagens de RCC utilizadas, já que nas misturas existe uma maior quantidade de solo do que do resíduo. Assim como o esperado (resultado já apresentado pela mistura ALA – Argila Laterítica e Areia, por Bernardi, 2013), pode-se perceber que com o aumento das porcentagens de resíduo no solo, houve uma pequena queda no traçado das curvas, que se justifica em pelo fato do resíduo ser um material de maior granulação.

Figura 22: Curva Granulométrica das Amostras



Fonte: Autoria Própria (2015)

Analisando as faixas de composição granulométrica da especificação DNIT-ES 141/2010 - base estabilizada granulometricamente, nenhuma amostra analisada satisfaz as condições para uso, por se tratar de um material extremamente fino. O mesmo ocorre na especificação DNIT-ES 098/2007 - base estabilizada granulometricamente com utilização de solo laterítico, onde as amostras também não se enquadram nas faixas granulométricas determinadas. (DNIT, 2007 e 2010)

4.2 Limites de Atterberg

Os ensaios foram realizados de acordo com o item 3.4.3 seguindo as vigências da NBR 6459/84 e a NBR 7180/84, e os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 6 abaixo:

Tabela 6: Limites de Atterberg das Amostras

Limites de Atterberg			
AMOSTRAS	**LL (%)**	**LP (%)**	**IP (%)**
Solo Natural	65	39	26
ALARC 20%	49	27	22
ALARC 30%	46	22	24
ALARC 40%	46	26	20

Fonte: Autoria Própria (2015)

De acordo com as especificações do DNIT-ES 141/2010, os materiais para utilização em camadas de base de pavimentos, executadas a partir do processo de estabilização granulométrica, devem apresentar limite de liquidez inferior ou igual a 25% e índice de plasticidade inferior ou igual a 6% (DNIT, 2010).

Já segundo a norma DNIT-ES 098/2007, para base estabilizada granulometricamente com utilização de solo laterítico, a fração dos materiais devem apresentar limite de liquidez inferior ou igual a 40% e índice de plasticidade inferior ou igual a 15%. Os solos lateríticos com IP > 15% poderão ser usados em misturas como outros materiais de IP ≤ 6% (DNIT, 2007).

Apesar de o solo natural apresentar índice de plasticidade superior a 15%, as amostras de mistura ALARC possuem um alto IP, não se enquadrando em nenhuma das especificações das normas acima citadas

Esses valores, de acordo com Villibor e Nogami (2009), foram estabelecidos para solos-agregados na necessidade de se evitar a perda de suporte ou o excesso de expansão, quando esses materiais forem submetidos ao aumento de umidade seja ela por infiltração ou degelo.

E colocaram em dúvida devido ao desempenho que sofriam as bases com solo-agregado em regiões tropicais. As argilas lateríticas, de regiões tropicais, possuem elevados valores de LL e IP e quando compactadas de maneira apropriada, mesmo entrando em contato com a água, quase não sofrem expansão e perda de suporte. Por este enfoque, para Villibor e Nogami não se justifica mais o uso de LL e IP para a caracterização e o estudo de materiais com finalidade de uso na pavimentação.

4.3 Classificação das amostras

4.3.1 Sistema Unificado de Classificação de Solo – SUCS

Segundo o Sistema Unificado de Classificação de Solo – SUCS, apresentado no item 2.5.1, a amostra de solo em estudo foi classificada como um solo MH. O solo MH corresponde a um silte de alta plasticidade e é classificado assim por possuir um limite de liquidez superior a 50%.

Já as amostras das misturas ALARC por possuírem limite de liquidez com valores abaixo de 50% foram classificadas como CL – podendo ser argila inorgânica de baixa e média plasticidade: argilas pedregulhosas, arenosas e siltosas. Todas as amostras em estudo apresentaram 50% ou mais dos grãos do material passando na peneira de nº 200, sendo classificados como solos de granulação fina.

4.3.2 Sistema Rodoviário de Classificação (HRB/AASHTO)

Para a classificação segundo o Sistema Rodoviário da (HRB/AASHTO), apresentado no item 2.5.2, foi necessário, além dos valores referentes ao limite de liquidez, limite de plasticidade

e índice de plasticidade, os valores referentes aos cálculos do Índice de Grupo (IG) do solo natural e de todas as misturas. Os resultados então apresentados na Tabela 7 abaixo:

Tabela 7: Índice de Grupo das Amostras

Índice de Grupo – IG	
AMOSTRA	**IG**
Solo Natural	**18**
ALARC 20%	**15**
ALARC 30%	**15**
ALARC 40%	**13**

Fonte: Autoria Própria (2015)

Com os valores obtidos através da granulometria, dos limites de consistência e dos índices de grupo foi possível classificar as amostras de solos e misturas ALARC.

O solo natural foi classificado como um A-7-5 (solos argilosos). Já as mistura ALARC 20%, 30% e 40% foram classificadas como A-7-6 (solos argilosos).

Conforme DNIT (2006), os solos do grupo A-7-5 encerram materiais com índice de plasticidade moderado em relação ao limite de liquidez. O grupo A-7-6 inclui materiais com elevados índices de plasticidade em relação aos limites de liquidez. Materiais classificados neste grupo estão sujeitos a elevadas mudanças de volume, e com comportamento para subleito considerado sofrível a mau.

Ambas as amostras, apresentam grandes variações de volume quando sujeitos a variações de umidade, o que, em muitos casos, obriga-as a substituição desses solos do subleito para garantia de estabilidade (SENÇO, 2001, p.205).

4.4 Compactação

Os ensaios de compactação das amostras de solo natural e das misturas ALARC foram realizados como previstos pela NBR 7182/1986. Para execução dos ensaios foram utilizadas as três energias de compactação, normal, intermediaria e modificada. Os resultados para umidade ótima e massa específica aparente seca máxima de todas as amostras, então descritas na Tabela 8 a seguir:

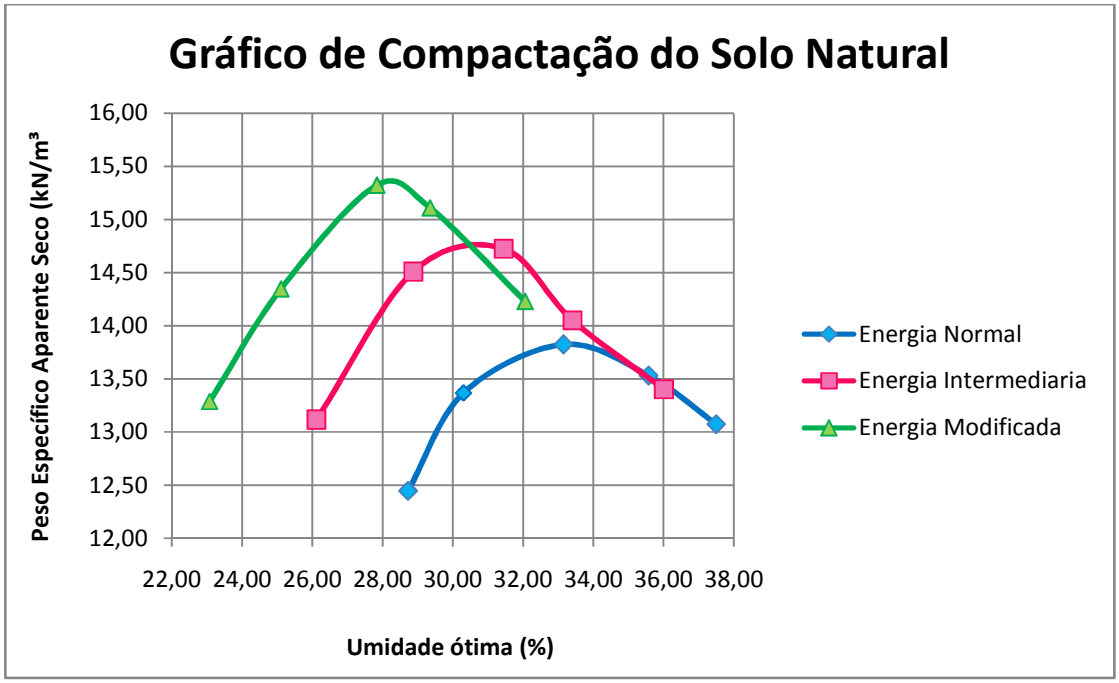
Tabela 8: Resultados para umidade ótima e peso específico aparente seco máximo

Ensaio de Compactação			
AMOSTRA	**Energia de Compactação**	**ρd (Kg/m³)**	**Wot (%)**
Solo Natural	**Normal**	**13,84**	**33,00**
	Intermediária	**14,75**	**31,00**
	Modificada	**15,4**	**28,00**
ALARC 20%	**Normal**	**14,7**	**25,72**
	Intermediária	**15,7**	**25,53**
	Modificada	**16,4**	**25,86**
ALARC 30%	**Normal**	**15,7**	**25,23**
	Intermediária	**15,9**	**26,06**
	Modificada	**16,9**	**22,15**
ALARC 40%	**Normal**	**15,7**	**23,98**
	Intermediária	**16,4**	**23,00**
	Modificada	**16,5**	**23,25**

Fonte: Autoria Própria (2015)

A Figura 23 apresenta as curvas de compactação da amostra de solo natural em suas três energias de compactação.

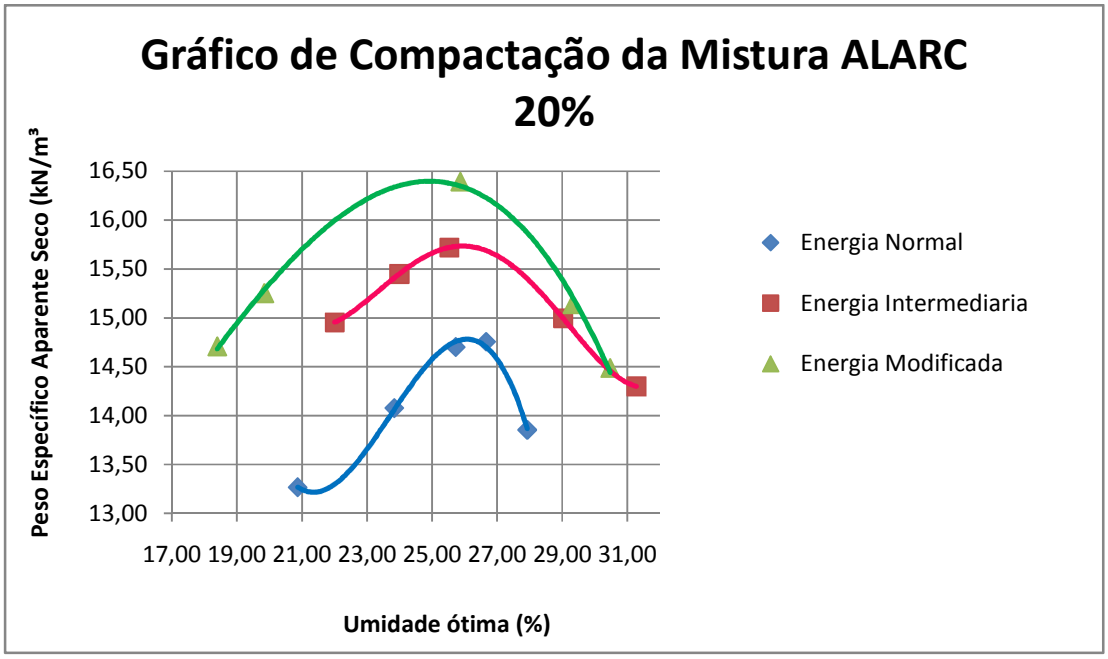
Figura 23: Curva de compactação do Solo Natural



Fonte: Bernardi (2013)

Assim como as curvas de compactação do solo natural, as curvas das misturas ALARC (apresentada na Figura 24) foram compactadas nas três energias. Foi possível perceber o mesmo comportamento descrito por Bernardi (2013), na qual as misturas apresentaram um aumento gradativo do peso específico aparente seco máximo com o aumento da energia de compactação.

Figura 24: Curva de Compactação ALARC 20%



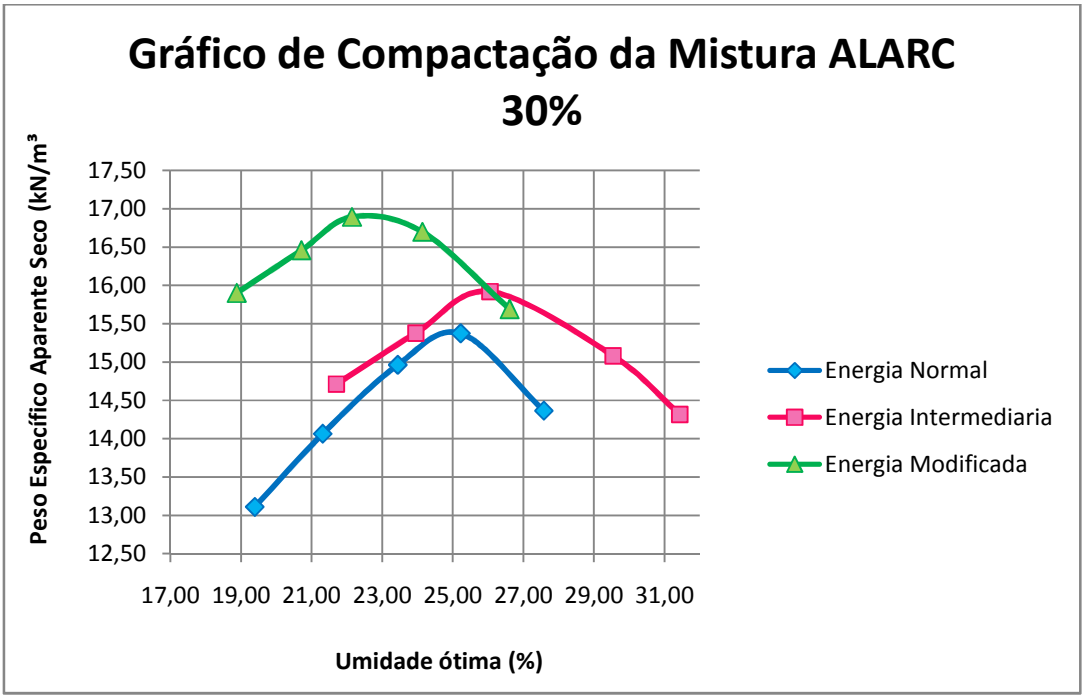
Fonte: Autoria Própria (2015)

Apesar da mistura ter apresentado um aumento gradativo do peso específico aparente seco, não houve uma diminuição da umidade ótima à medida que se aumenta o esforço de compactação como o esperado (comportamento de misturas ALA com areia pesquisada por Bernardi).

A variação da umidade ótima das misturas se deve provavelmente ao comportamento do resíduo de construção civil, que é composto desde materiais cerâmicos, areias e até mesmo de origem cimentícia, não apresentando uma dosagem padrão de seus componentes.

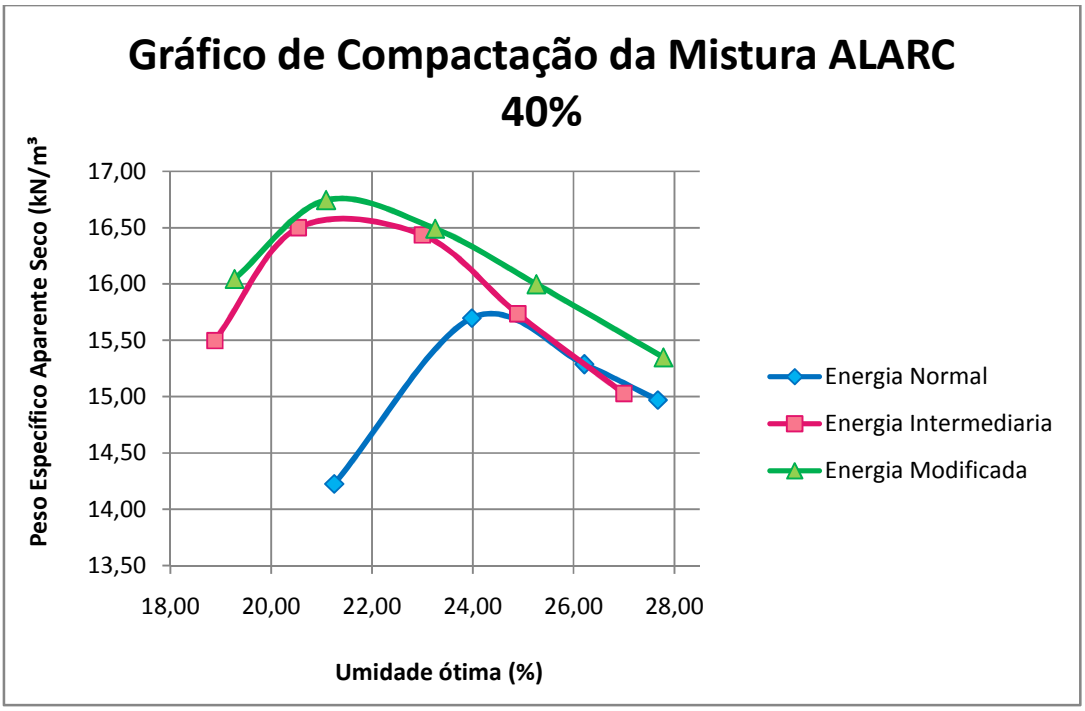
A afirmação pode ser vista nas próximas Figuras (24 e 25), e na Tabela 8, das curvas de compactação das misturas ALARC 30% e ALARC 40%,

Figura 25: Curva de Compactação Mistura ALARC 30%



Fonte: Autoria Própria (2015)

Figura 26: Curva de Compactação Mistura ALARC 40%

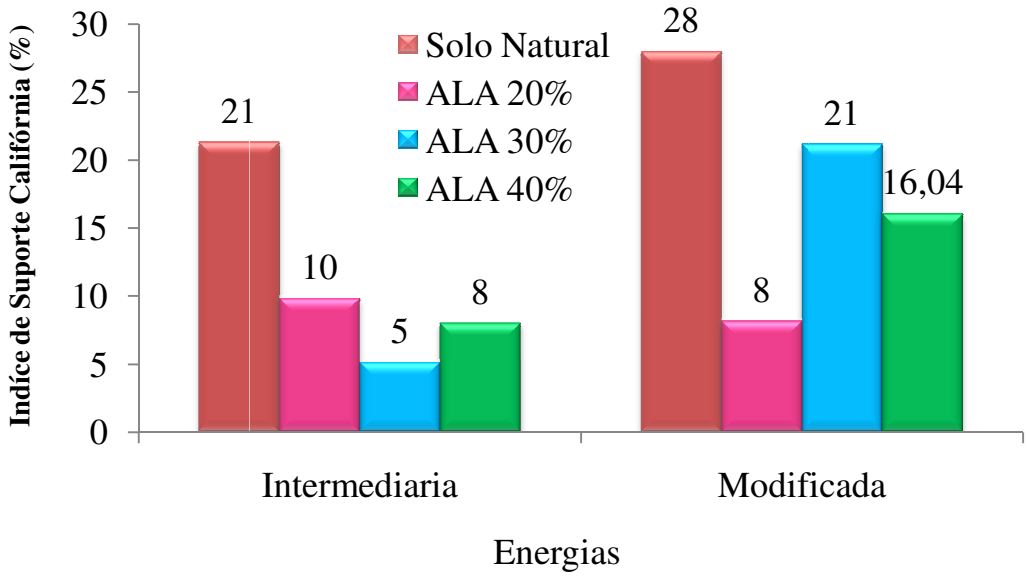


Fonte: Autoria Própria (2015)

4.5 Índice de Suporte Califórnia (ISC/CBR)

Os ensaios de ISC, das amostras de solo natural e das misturas foram realizados para a análise das suas capacidades de suporte e expansão. A Figura 27 mostra uma comparação entre os resultados de ISC do solo natural e das misturas ALARC.

Figura 27: Resultados CBR



Fonte: Autoria Própria (2015)

Percebe-se um pequeno aumento na resistência nas misturas de 30% e 40% na energia modificada devido à adição de um material mais resistente, mas há uma grande variabilidade nos resultados, que não apresentam um padrão especifico. Pode-se esclarecer que o ensaio de ISC não é um ensaio que representa e caracteriza bem os solos finos. Ressalta-se que os valores foram menores do que os obtidos pelo solo natural, comportamento que não era o esperado. O motivo deverá ser avaliado futuramente.

A Tabela 9 apresenta os resultados de compactação, os valores dos ISC, e a expansão do solo natural e das misturas ALARC.

Tabela 9: Valores de ISC

Índice de Suporte Califórnia					
AMOSTRA	**Energia de Compactação**	**ρd (Kg/m³)**	**Wot (%)**	**I.S.C. %**	**Expansão**
Solo Natural	**Intermediária**	**14,75**	**31,00**	**21**	**0,30**
	Modificada	**15,4**	**28,00**	**28**	**0,54**
ALARC 20%	**Intermediária**	**15,7**	**25,53**	**9,82**	**0,37**
	Modificada	**16,4**	**25,86**	**8,16**	**0,0783**
ALARC 30%	**Intermediária**	**15,9**	**26,06**	**5,14**	**0,1741**
	Modificada	**16,9**	**22,15**	**21,16**	**0,0696**
ALARC 40%	**Intermediária**	**16,4**	**23,00**	**8,01**	**0,1567**
	Modificada	**16,5**	**23,25**	**16,04**	**0,0522**

Fonte: Autoria Própria (2015)

De acordo com DNIT (2006), para os materiais de uso em sub-bases recomenda-se que devam apresentar ISC≥20%, IG=0 e expansão ≤ 1%. Analisando os resultados obtidos a partir da Tabela 9, na energia intermediária, percebe-se que nenhuma das misturas atende a recomendação completa, não apresentam ISC ≥ 20% e IG=0, mas atendem quanto à expansão.

A norma DNIT-ES 098/2007, prescreve que a sistemática usada para a execução de base de solo laterítico estabilizada granulometricamente, entre os requisitos citados anteriormente, o Índice de Suporte Califórnia (ISC) deve se enquadrar nos seguintes valores relacionados ao número N de operações do eixo padrão de 8,2 toneladas, para o período de projeto: ISC ≥ 60% para $N \leq 5 \times 10^6$ e ISC ≥ 80% para $N > 5 \times 10^6$. Pose-se perceber, analisando os resultados da Tabela 9, que assim, como as especificações anteriores, nenhuma das amostras atende a elas (DNIT, 2007).

Segundo Bernucci et al. (2008), a condição de saturação simulada a que o corpo de prova é exposto durante quatro dias de imersão pode ser considerada excessiva para certas situações. Os materiais não costumam trabalhar nas condições climáticas e hidrológicas brasileiras, seria interessante avaliar o ISC como originalmente concebido e também sem etapa de imersão, com a finalidade de melhor avaliar os valores e utilização em projetos.

De acordo com Souza (2007), vários pesquisadores debatem sobre a real eficácia da sistemática do ISC e apontam as suas diversas limitações. Assim, existem questionamentos acerca do tempo de imersão, período de quatro dias, da necessidade de grande quantidade de solo para a execução do ensaio, do efeito do confinamento do molde no resultado do ensaio, da grande dispersão de resultados, quando se ensaia uma mesma amostra em diferentes laboratórios.

4.6 Ensaios da Sistemática MCT

Os ensaios da Classificação MCT (M5 e M8) e o procedimento de classificação M9 foram realizados na Universidade Regional do Noroeste do Rio Grande do Sul, UNIJUÍ, no Laboratório de Engenharia Civil, LEC.

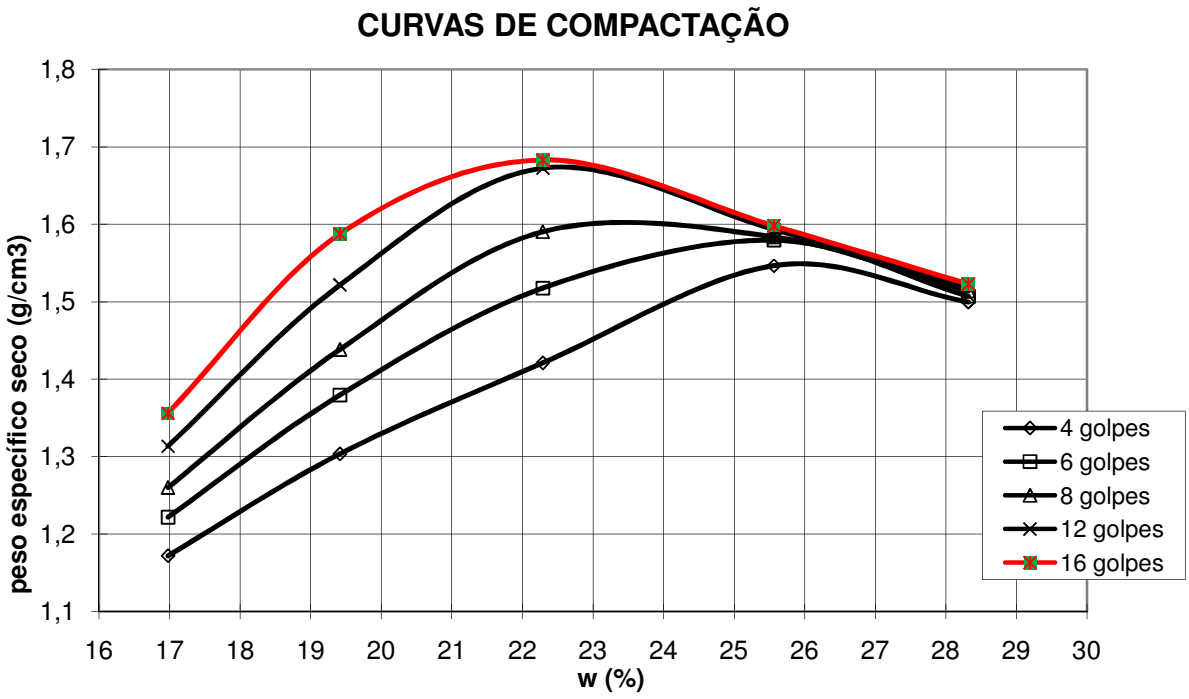
As amostras para a realização dos ensaios acima descritos foram preparadas conforme especificações de Nogami e Villibor (2009). O resíduo de construção civil (RCC) e solo natural foram coletados e secos em estufa a 110ºC por 24 horas. Todo o material foi devidamente passado na peneira de nº 10, e posteriormente foram separadas as misturas que seriam utilizadas para realização desses ensaios, e novamente passadas na peneira nº 10 (2,00 mm), sendo descartado o material retido.

4.6.1 Ensaio de Compactação Mini-MCV (M5)

O ensaio de compactação mini - MCV foi realizado de acordo com a norma DNER-ME 258/94. Para o ensaio foram moldados cinco corpos de provas. Cada amostra deve ser moldada em uma umidade diferente (as umidades devem ser estipuladas de forma que estejam acima e abaixo da umidade ótima na energia intermediária de cada amostra) e sobre elas deve ser aplicado um número crescente de golpes até não haver acréscimo sensível em sua densidade (DNIT, 1994).

A Figura 28 apresenta como exemplo as curvas de compactação da amostra ALARC 40%, de onde se obtém o coeficiente d', correspondente a curva de compactação a 12 golpes.

Figura 28: Curva de Compactação ALARC 40%



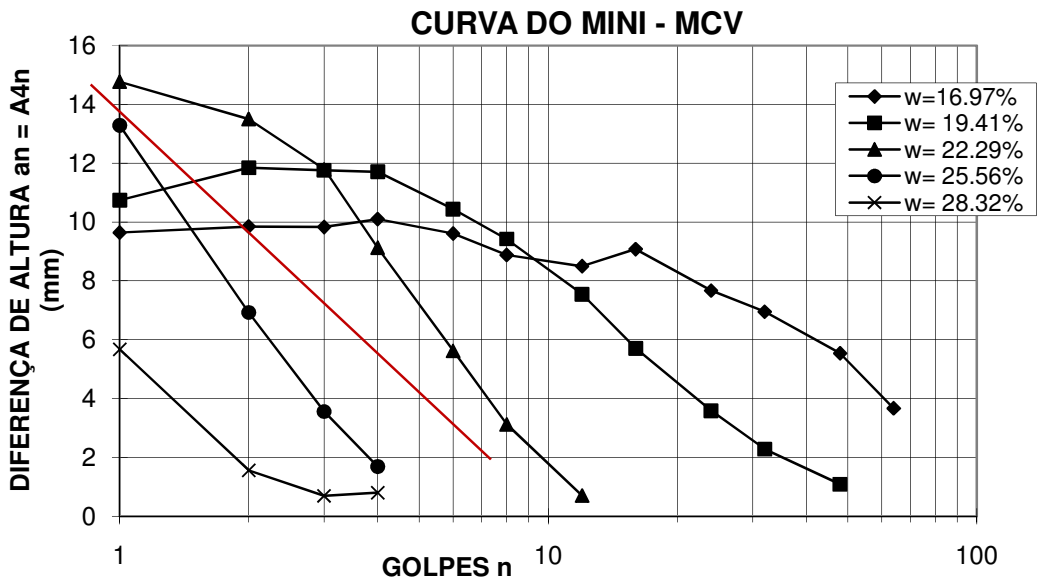
Fonte: Autoria Própria (2015)

O coeficiente d'é calculado através da fórmula expressa pela Equação 6 a seguir:

$$d' = \frac{\Delta MEAS\ (\frac{g}{cm^3})}{\Delta Hc\ (\%)} = \tag{6}$$

A Figura 29 apresenta a curva de deformabilidade da amostra ALARC 20% de onde o coeficiente c' é determinado, sendo a inclinação da reta assinalada em vermelho.

Figura 29: Curva de deformabilidade ALARC 20%



Fonte: Autoria Própria (2015)

Na Tabela 10 a seguir, são apresentados os resultados obtidos para os coeficientes "d'" e "c'" de todas as amostras ensaiadas. Através destes, observa-se que ocorre uma variação do coeficiente c', comandada pela granulometria, assim, quanto mais fino o material, maior o coeficiente.

Tabela 10: Coeficientes d' e c'

AMOSTRA	d'	c'
Solo Natural	41,5	2,86
ALARC 20%	39,2	1,72
ALARC 30%	37,3	1,71
ALARC 40%	94,8	1,33

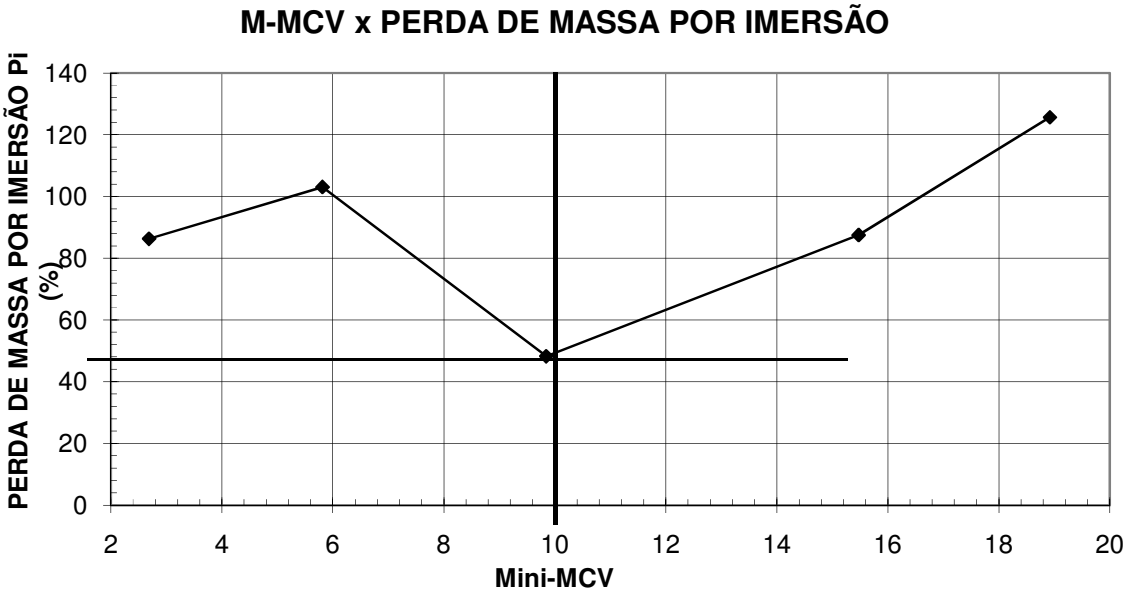
Fonte: Autoria Própria (2015)

4.6.2 Ensaio da Perda de Massa por Imersão (M8)

Os ensaios da Perda de Massa por Imersão (M8) foram realizados segundo a norma DNER-ME 256/94. Para realização dos ensaios foram moldados cinco corpos de prova para cada umidade e deixados em imersão por 20 horas. A partir dos valores calculados para cada teor de

umidade, foi representada a curva Mini-MCV x Pi, como pode ser vista na Figura 30 para a amostra ALARC 40% (DNER, 1994).

Figura 30: Perda de massa por imersão



Fonte: Autoria Própria (2015)

O Pi adotado para fins de classificação do solo é obtido nesta curva, para valores de Mini-MCV igual a 10 ou 15, dependendo se a massa específica aparente for considerada baixa ou alta. A MEAS será considerada baixa (10) quando o corpo de prova de 200 gramas tiver uma altura final superior a 48 mm e alta (15) para uma altura final do corpo de prova inferior a 48 mm.

Para todas as amostras foram encontrados os seguintes resultados, descritos na Tabela 11.

Tabela 11: Valores de Pi do Ensaio M8

AMOSTRA	PI
Solo Natural	0
ALARC 20%	8
ALARC 30%	68
ALARC 40%	49

Fonte: Autoria Própria (2015)

A Figura 31 mostra os corpos de prova sendo ensaiados na bacia de imersão durante a execução do ensaio M8.

Figura 31: Corpos de Prova no Ensaio de Imersão M8

Fonte: Autoria Própria (2015)

4.6.3 Classificação Geotécnica MCT (M9)

Os resultados obtidos a partir da perda de massa por imersão do solo, conforme apresentado acima, em conjunto com o valor do coeficiente d', permitem a determinação do segundo coeficiente classificatório necessário para enquadramento de um solo no ábaco da Classificação MCT, o coeficiente "e'" - índice de laterização, obtidos da Equação 6 apresentada no item 4.6.1. Os resultados de "e'" para todas as amostras estão descritas na Tabela 12.

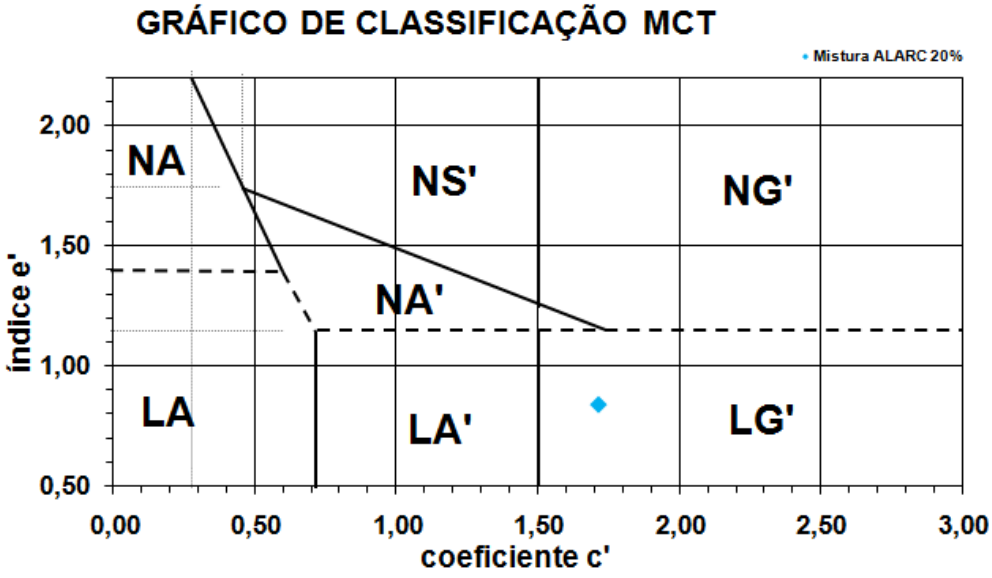
Tabela 12: Valores de e'

AMOSTRA	e'
Solo Natural	0,78
ALARC 20%	0,84
ALARC 30%	1,07
ALARC 40%	0,89

Fonte: Autoria Própria (2015)

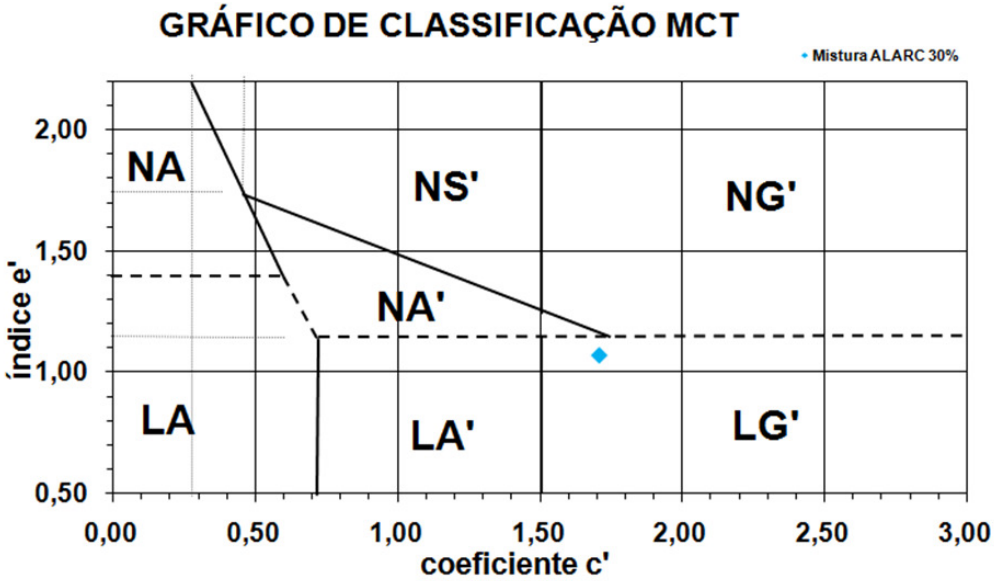
Com os resultados do índice “e’” e o coeficiente “c’” é possível classificar as amostras através dos gráficos da Classificação MCT, apresentados nas Figuras 32, 33 e 34.

Figura 32: Gráfico de Classificação MCT da ALARC 20%



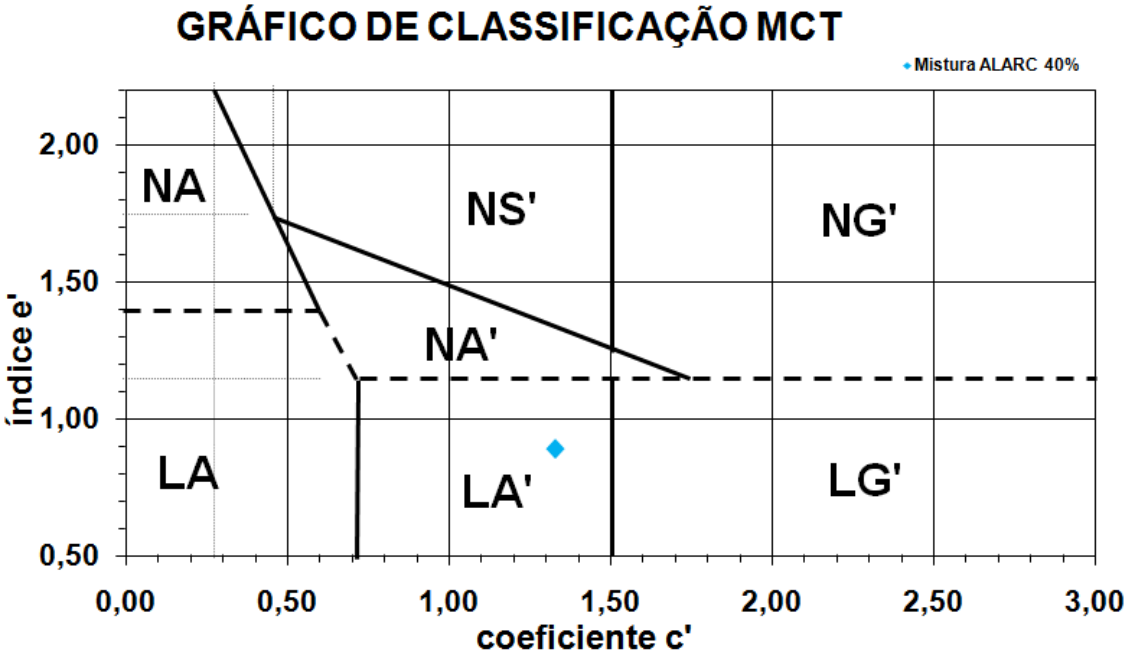
Fonte: Autoria Própria (2015)

Figura 33: Gráfico de Classificação MCT da ALARC 30%



Fonte: Autoria Própria (2015)

Figura 34: Gráfico de Classificação MCT da ALARC 40%



Fonte: Autoria Própria (2015)

Analisando os gráficos das Figuras 32, 33 e 34 da Classificação MCT, é possível perceber que as amostras ALARC 20 e 30% foram classificadas como LG' e a ALARC 40% como LA', ou seja, solos lateríticos argilosos e solo laterítico arenoso respectivamente.

O solo natural não se enquadrou nas regiões recomendadas de Nogami e Villibor (2009) para uso em pavimentos, diferente das misturas ALARC 20%, ALARC 30% e todas as misturas que ficaram na região satisfatória. Já a mistura ALARC 40% situou-se na região recomendada.

Dessa forma, a amostra ALARC 40%, é a mistura na qual poderia ser utilizada em campo, tendo em vista a complementação dos ensaios da Sistemática MCT.

5 CONCLUSÃO

Considerando o objetivo geral deste trabalho que é o de avaliar o uso de solo laterítico argiloso proveniente de Ijuí, em bases e sub-bases de pavimentos econômicos, misturados ao resíduo de construção civil (RCC), e os objetivos específicos que são de avaliar as misturas apresentam-se as seguintes conclusões.

De acordo com os ensaios da análise granulométrica, limites de Atterberg e ensaios da classificação MCT pode-se afirmar que:

- Pelo Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS) o solo natural é um solo MH – silte de alta plasticidade e as misturas ALARC como CL – Argila inorgânica de baixa e média plasticidade: argilas pedregulhosas, arenosas e siltosas;
- Pela classificação da ASHTO-HRB (classificação rodoviária) o solo natural foi classificado como um solo A-7-5. Já as misturas ALARC 20%, 30% e 40% foram classificadas como A-7-6 (solos argilosos). Os solos do grupo A-7-5 encerram materiais com índice de plasticidade moderado em relação ao limite de liquidez. O grupo A-7-6 inclui materiais com elevados índices de plasticidade em relação aos limites de liquidez. Ambos estando sujeitos a elevadas mudanças de volume, e com comportamento para subleito considerado sofrível a mau.
- Pelos resultados apresentados nos ensaios da classificação MCT, o solo natural e as misturas ALARC 20% e 30% são considerados solos LG' – solos lateríticos argilosos; A mistura ALARC 40% foi classificada como LA'.
- A variação do índice e' do solo natural para as misturas foi muito pequena, podendo-se afirmar que os solos das misturas mantêm o caráter laterítico mesmo com a variação da granulometria.
- Analisando os resultados dos ensaios de compactação pode-se concluir que: com os aumentos do teor de agregado miúdo e da energia de compactação houve um aumento do peso específico aparente seco máximo, mas não houve uma diminuição da umidade ótima, como era esperado, já que foi adicionado ao solo um material com maior textura e rigidez.

- Para os ensaios de ISC, foi concluído que: houve um pequeno aumento na resistência das misturas ensaiadas, porém não houve aumento da resistência comparado ao solo natural. Os resultados assim apresentaram certa variabilidade, constatando que o ensaio de ISC não caracteriza bem os solos finos tropicais lateríticos visando o uso em bases e sub-bases, reforçando o exposto por Bernucci et al.(2008);
- Pelas especificações do DNIT, antigo DNER, nenhuma das amostras de solo de misturas ALARC atendem as recomendações quanto ao uso em bases e sub-bases;
- Analisando os ensaios da sistemática MCT e a metodologia proposta por Villibor e Nogami (2009), conclui-se que: o solo natural encontra-se fora da região satisfatória do Gráfico de Classificação MCT proposta pelos pesquisadores da metodologia. Já as misturas ALARC 20 % e 30% encontram-se na região satisfatória e a mistura ALARC 40% encontra-se na região recomendável;

6 REFERÊNCIAS

ABRECON. Associação brasileira para reciclagem de resíduos da construção e demolição. Disponível em: <http://www.abrecon.org.br/Noticias.aspx>. Acesso em: 26 set. 2015.

ABRELPE. Associação brasileira de empresas de limpeza pública de resíduos especiais. **Recuperação energética – Caderno informativo – Resíduos Sólidos Urbanos.** 2012. Disponível em:<http://www.plastivida.org.br/2009/pdfs/2012_Caderno_Plastivida_Abrelpe.pdf>. Acesso em: 26 set. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457**: Amostras de solo – preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 1986. 9p.

_____. **NBR 6459**: Solo – determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 1984 versão corrigida 1988. 6p.

_____. **NBR 7180**: Solo – determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 1984. 3p.

_____. **NBR 7181**: Solo – análise granulométrica. Rio de Janeiro, 1984versão corrigida 1988. 13p.

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

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

_____. **NBR 15113**: Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes – Aterros – Diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 2004. 12p.

_____. **NBR 15114**: Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes – Áreas de Reciclagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 2004. 12p.

BAGATINI, Felipe. **Resíduos de Construção Civil: Aproveitamento como base e sub-base na pavimentação de vias urbanas.** 2011. 72 f. Dissertação para obtenção de titulo em Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/39135/000825270>. Acesso em: 14 set. 2015.

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

BASTOS, C.A.B. **Estudo geotécnico sobre a erodibilidade de solos residuais não saturados**. 1999. 251f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.

BEHAK, Leonardo. **Estabilização de um Solo Sedimentar Arenoso do Uruguai com Cinza de Casca de Arroz e Cal**. 2007. 171 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007

BERNARDI, Cândida. **Estudo de Misturas de Solo Argiloso Laterítico com Agregados Finos para Uso em Pavimentos Econômicos**. 2013. 68 f. Dissertação (Titulo em Engenharia) – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2013.

BERNUCCI, Liedi Bariani et al. **Pavimentação Asfáltica**: formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro: PETROBRAS; ABEDA, 2008. 504 f. Il

BLUMENSCHEIN, R. N. A. **A sustentabilidade na cadeia produtiva da indústria da construção**. 2004. 249 f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável) – Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Brasília, DF.

BORRÉ, Gracieli. **Estudo de Misturas de Solo-Agregado para Uso em Bases e Sub-bases de Pavimentos Econômicos**. 2013. 63 f. Dissertação (Titulo em Engenharia) –Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2013

BRASIL, Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Manual de Pavimentação**, Brasília, DF, 2006. Disponível em:http://www1.dnit.gov.br/arquivos_internet/ipr/ipr_new/manuais/Manual_de_Pavimentação_Versao_Final.pdf. Acesso em: 1 mai. 2015

BRONDANI, V; PINHEIRO , R. **Materiais para Infraestrutura de Transportes**. s.d

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução nº 307 de 23 de de janeiro de 1986.**. Diário oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 17 jul. 2002. Disponível em:< http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res0186.html>. Acesso em: 4 out. 2015.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução nº 001 de 5 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil**. Diário oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 17 jul. 2002. Disponível em:< http://www.mma.gov.br/estruturas/a3p/_arquivos/36_09102008030504.pdf>. Acesso em: 4 out. 2015.

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 10 setembro 2015.

DAS, Braja M. **Fundamentos de Engenharia Geotécnica**. Tradução de All Tasks; revisão técnica Leister de Almeida Barros. São Paulo: Thomson Learning, 2007. 561 p.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DE SÃO PAULO. **ETDE-P00/015: Sub-base ou base de solo arenoso fino de comportamento laterítico – SAFL**. São Paulo, 2005, 19p

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER-ME 228/94**: solos – compactação em equipamentos miniatura. Rio de Janeiro, 1994, 14p.

_____. **DNER-ME 256/94**: solos compactados com equipamento miniatura – determinação da perda de massa por imersão. Rio de Janeiro, 1994, 6p.

_____. **DNER-ME 258/94**: solos compactados em equipamentos miniatura – Mini-MCV. Rio de Janeiro, 1994, 14p.

_____. **DNIT-ES 098/2007**: pavimentação – base estabilizada granulometricamente com utilização de solo laterítico. Rio de Janeiro, 2007, 7p.

_____. **DNIT-ES 141/2010**: pavimentação – base estabilizada granulometricamente. Rio de Janeiro, 2010, 9p.

JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos na construção civil: contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento.** São Paulo, 2000. 102 p. Tese (livro docência). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

JOHNSTON, Marlova G. **Desempenho de pavimentos com materiais alternativos do Estado do Rio Grande do Sul**. 2010. 334 f. Dissertação (Doutorado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010. Disponível em: <http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/28933/000773533.pdf?sequence=1>. Acesso em: 10 mai. 2015.

LEITE, Mônica Batista. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição.** 2001. 266 f. Tese (Doutorado – Escola de Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Disponível em: < http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/21839>. Acesso em: 22 out. 2015.

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

PEDROZZO, G.D. **Avaliação do uso de agregado mipudo obtido através da reciclagem de entulhos em contreto de cimento portland**. 2014. 71 f. Dissertação (Titulo em Engenharia) – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2014

PINTO, Carlos de Sousa. **Curso Básico de Mecânica dos Solos**: em 16 aulas. São Paulo: Oficina de Textos, 2000. 247p.

SANTOS, Helaine Naves *et al*. **Ações referentes a gestão de resíduos da construção civil em Araguari-mg**. In: ENCONTRO NACIONAL DOS GEÓGRAFOS, XVI, 2010. [Porto Alegre, RS]. Disponível em: < www.agb.org.br/evento/download.php?idTrabalho=621>. Acesso em: 20 out. 2015.

SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 21., 2013, Ijuí. Estudo de misturas de solo-agregado para uso em bases e sub-bases de pavimentos econômicos. **Anais**... Ijuí: UNIJUÍ, 2013.

SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 20., 2012, Ijuí. Estudo do solo argiloso para uso em pavimentos econômicos.**Anais**... Ijuí: UNIJUÍ, 2012. CD-ROOM.

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.

SINDUSCON-SP. **Gestão ambiental de resíduos da construção civil – A experiência do Sinduscon SP / Tarcísio de Paula Pinto – coordenador.** São Paulo. Obra Limpa. Sinduscon SP. 2005. Disponível em: <http://www.sindusconsp.com.br/downloads/prodserv/publicacoes/manual_residuos_solidos.pdf >. Acesso em 02 out. 2015.

SOUZA, Ricardo Andrade de. **Estudo comparativo dos ensaios de CBR e Mini-CBR para solos de Uberlândia – MG**. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade , Federal de Uberlândia, 2007, 113p

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.

VARGAS, M.; **Introdução à Mecânica dos Solos**. São Paulo: McGRAWHILL do Brasil Ltda, 1978. 509 p.

VILLIBOR, Douglas Fadul; NOGAMI, Job Shuji. **Pavimentos econômicos**: tecnologia do uso dos solos finos lateríticos. São Paulo: Arte & Ciência, 2009. 292 p. il.

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.portaldetecnologia.com.br/wp-content/uploads/2009/12/PAVIMENTOS-DE-BAIXO-CUSTO-PARA-VIAS-URBANAS.pdf.> Acesso em 5 outubro 2015.

WAYHS, Carlos A. S.P. **Estudo de materiais alternativos utilizados em pavimentação de baixo custo na região noroeste do Rio Grande do Sul**. 2004. 104 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004. Disponível em: <http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/6591>. Acesso em: 9 mai. 2015.