



CENTRO UNIVERSITÁRIO DE BRASÍLIA – UniCEUB
Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas – FATECS

PROGRAMA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

LUCIANA QUEIROZ DE AMORIM

**CARACTERIZAÇÃO DO SOLO LATERÍTICO DE BRASÍLIA ATRAVÉS
DA METODOLOGIA RACIONAL PARA A ANÁLISE DE
DENSIFICAÇÃO E RESISTÊNCIA DE GEOMATERIAIS
COMPACTADOS “ RAMCODES”**

BRASÍLIA-DF
2016



LUCIANA QUEIROZ DE AMORIM

**CARACTERIZAÇÃO DO SOLO LATERÍTICO DE BRASÍLIA ATRAVÉS
DA METODOLOGIA RACIONAL PARA A ANÁLISE DE
DENSIFICAÇÃO E RESISTÊNCIA DE GEOMATERIAIS
COMPACTADOS “ RAMCODES”**

Relatório final de pesquisa de Iniciação Científica
apresentado à Assessoria de Pós-Graduação e
Pesquisa pela Faculdade de Tecnologia e
Ciencias Sociais Aplicadas - FATECS

Orientação:

Ivonne Alejandra Gutiérrez Góngora D.Sc.

**BRASÍLIA-DF
2016**

RESUMO

CARACTERIZAÇÃO DO SOLO LATERÍTICO DE BRASÍLIA ATRAVÉS DA METODOLOGIA RAMCODES

Luciana Queiroz de Amorim

Centro Universitário de Brasília UniCEUB, Brasília – Brasil.

lucianamorim.europa@gmail.com

Ivonne Alejandra Gutiérrez Góngora

Centro Universitário de Brasília UniCEUB, Brasília – Brasil.

ivonne.gongora@uniceub.br

RESUMO: Alguns dos conceitos tradicionais da mecânica dos solos aplicados à pavimentação rodoviária, recomendam que a compactação de um solo, esteja executada preferivelmente em condições de umidade ótima e no máximo peso unitário seco, obtidos através dos ensaios Proctor, fato que na teoria garante a máxima resistência ao puncionamento do ensaio CBR. Um dos maiores questionamentos para os solos tropicais é, se a umidade ótima de compactação garante o maior desenvolvimento de resistência mecânica, pois algumas pesquisas realizadas contradizem dita teoria, os resultados obtidos por diversos pesquisadores apresentam que não necessariamente ao compactar um solo com a umidade ótima do ensaio Proctor, são obtidos os maiores índices de resistência. A presente pesquisa pretendeu caracterizar o solo laterítico de Brasília sob os critérios da metodologia RAMCODES. A metodologia RAMCODES foi desenvolvida com o intuito de avaliar as características de um solo, através do estudo da resistência ao puncionamento sob diferentes condições de compactação e graus de saturação. O método visa determinar a combinação de grau de saturação, máximo peso unitário seco que desenvolve a melhor resistência através do ensaio CBR. A metodologia da pesquisa foi dividida em três etapas principais: caracterização física do solo, ensaios de compactação e Índice de Suporte Califórnia (ISC). Os ensaios de CBR foram realizados sob amostras compactadas em diferentes energia e graus de saturação diferentes, conforme as curvas de compactação do material nas energias: normal, intermediária e modificada. Dos resultados obtidos na pesquisa foram plotadas curvas de desempenho e superfícies que permitem determinar a melhor combinação entre grau de saturação, energia de compactação e resistência mecânica. Observou-se que o aumento da umidade reduzia os valores do ISC, ou seja, a resistência do solo compactado. Fato esse que confirma que nem sempre a umidade ótima será a melhor para a resistência do solo. Considera-se necessário o uso de uma nova metodologia, que relacione não só parâmetros como umidade ótima para conhecer a melhor condição de resistência do solo.

Palavras Chave: Metodologia Ramcodes. Solo laterítico. Resistência de Geomateriais compactados. Grau de saturação. Análise de Densificação.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	12
1 INTRODUÇÃO	8
2 OBJETIVOS	9
2.1 Objetivo geral	9
2.2 Objetivos específicos.....	9
3 REFERENCIAL TEÓRICO.....	10
3.1 SOLOS TROPICAIS E SUA COMPOSIÇÃO	10
3.2 SOLOS LATERÍTICOS	10
3.2.1 SOLOS LATERÍTICOS DE BRASÍLIA	11
3.3 COMPACTAÇÃO DO SOLO.....	12
3.4 METODOLOGIA RAMCODES.....	12
3.4.1 O significado RAMCODES.....	12
3.4.2 RAMCODES em solos compactados - Classificação quantitativa.....	13
3.4.3 Potencial de densificação.....	15
3.4.4 Relação entre o teor de água, a densidade e a resistência.....	15
3.4.5 Comportamento do solo não saturado	15
4 METODOLOGIA	16
4.1 SELEÇÃO E COLETA DE MATERIAIS	16
4.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO SOLO	17
4.2.1 ENSAIO DE GRANULOMETRIA	17
4.2.2 LIMITES DE ATTERBERG	19
4.2.3 DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DOS GRÃOS (GS).....	20
4.2.4 ENSAIO DE COMPACTAÇÃO.....	21
4.2.5 ENSAIOS DE CISLHAMENTO DIRETO	22
4.3 ENSAIO DE ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA (ISC).....	26
5 RESULTADOS E ANÁLISE DE RESULTADOS.....	27
5.1 ENSAIO DE COMPACTAÇÃO.....	27
5.2 ENSAIO DE ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA (ISC).....	27
6 CONCLUSÕES.....	30
7 SUGESTÕES DE PESQUISAS FUTURAS.....	31
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	32
9 ANEXO.....	34

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Perfil esquemático de ocorrência de solos em ambiente tropical (NOGAMI et al, 2000)	10
Figura 2. Perfil de solo mostrando os horizontes A, B e C (Marangon, 2004).....	11
Figura 3. Amostra do solo laterítico de Brasília	12
Figura 4. Amostra do local da coleta do solo.....	16
Figura 5. Preparação do solo laterítico.....	17
Figura 6. Curva Granulométrica do solo natural.....	18
Figura 7. Gráfico dos ensaios de Limite de Liquidez e Limite de Plasticidade	19
Figura 8. Curvas de compactação para as Energias Normal, Intermediária e Modificada	21
Figura 9. Curvas de tensão cisalhante versus deformação do solo natural seco.....	22
Figura 11. Curva da envoltória de Mohr na tensão do ponto de pico do solo seco ...	23
Figura 10. Curva da envoltória de Mohr na tensão do ponto residual do solo seco ..	23
Figura 12. Curvas de tensão cisalhamento versus deformação do solo natural saturado	24
Figura 13. Curva da envoltória de Mohr na tensão do ponto residual do solo saturado	24
Figura 14. Curva da envoltória de Mohr na tensão do ponto de pico do solo	25
Figura 15. Corpos de prova imersos em água	26
Figura 16. Equipamento Índice de Suporte de Califórnia	26
Figura 17. Curvas de compactação para as Energias Normal, Intermediária e Modificada (BASE e TOPO) do corpo de prova	27
Figura 18. Curvas de Umidade versus ISC (BASE e TOPO)	28

Figura 19. Curvas de Saturação versus ISC (BASE e TOPO)29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Valores típicos do fator F_p segundo os tipos de solo (Sánchez-Leal, F.J., 2002a)	14
Tabela 2. Ensaio de caracterização realizados no solo.....	17
Tabela 3. Resultado da Composição granulométrica.....	18
Tabela 4. Sistemas de classificação do solo.....	19
Tabela 5. Valores obtidos para os Limites de Consistência	20
Tabela 6. Valor encontrado do G_s	20
Tabela 7. Caracterização física do solo	20
Tabela 8. Valores do Peso unitário seco e da umidade ótima (w%)	21
Tabela 9. Parâmetros obtidos de resistência ao cisalhamento para SN	25

LISTA DE ABREVIATURAS

CBR –Califórnia Bearing Ratio

ISC – Califórnia Bearing Ratio

RAMCODES – Metodologia Racional para a análise de densificação e resistência de geomateriais compactados

SN – Solo natural

FP – fator característico

WL – Limite de liquidez do material

F – fração que passa na peneira #200

G - fração retida na peneira #4

RS1 e RS2 - solos sem britas

DMS - densidade máxima seca

SUCS – sistema Unificado de Classificação dos solos

GS –

ML – silte de baixa compressibilidade

LL – Limite de Liquidez

LP – Limite de Plasticidade

IP – Índice de Plasticidade

1 INTRODUÇÃO

Os solos tropicais apresentam características particulares na sua estruturação. De forma geral, são solos compostos por argilominerais, com uma estruturação altamente porosa e pela presença de metais tais como silicatos de alumínio e óxidos de ferro. Estes ao entrar em contato com a água podem gerar a ruptura da sua estrutura. A estrutura altamente floculada e os metais constituintes da estrutura mineral, conferem ao solo um comportamento geomecânico que sai dos conceitos tradicionais da mecânica dos solos.

Para entender o comportamento dos solos lateríticos tropicais, é importante abordar o problema desde a mecânica dos solos não saturados e a relação existente entre o grau de saturação, o nível de compactação e a resistência. Um conceito conhecido da mecânica dos solos, apresenta que à medida que a sucção de um solo é acrescentada proporcionalmente, sua resistência mecânica também aumenta.

Alguns dos conceitos tradicionais da mecânica dos solos aplicados à pavimentação rodoviária, recomendam que a compactação de um solo, esteja preferivelmente com a umidade ótima, através dos ensaios Proctor, fato que na teoria garante a máxima resistência ao puncionamento do ensaio CBR. Um dos maiores questionamentos para os solos tropicais é, se a umidade ótima de compactação garante o maior desenvolvimento de resistência mecânica, pois algumas pesquisas realizadas nos Estados Unidos e na Venezuela, apresentaram que não necessariamente ao compactar um solo com a umidade ótima do ensaio Proctor, são obtidos os maiores índices de resistência. Em condições de chuva ou seca, mesmo o solo estando compactado, ele pode apresentar uma mudança no seu comportamento mecânico, regido por propriedades importantes como sucção.

Diante do anterior, procura-se que com as metodologias atuais existentes no Brasil seja necessário analisar a situação em que o solo apresenta características ideais de resistência. Considera-se, portanto, importante o uso de uma nova metodologia, que relacione não só parâmetros como umidade ótima para conhecer a melhor condição de resistência do solo.

A metodologia que avalia a resistência dos solos em diferentes estados de compactação e sob diferentes graus de saturação, é chamada de “Metodologia Racional para a Análise da Densificação e Resistência de Geomateriais Compactados denominada “RAMCODES”.

A proposta para a presente pesquisa é de caracterizar a argila laterítica de Brasília sob os critérios da metodologia RAMCODES. Os ensaios a serem realizados correspondem à compactação sob diferentes energias e ensaios de CBR sob amostras com diferentes graus de compactação e níveis de saturação diferentes. O anterior visa obter curvas de desempenho e superfícies que permitam determinar qual é a melhor combinação entre grau de saturação, energia de compactação e resistência mecânica.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Caracterizar a argila laterítica de Brasília sob os critérios da metodologia “RAMCODES”.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Efetuar a caracterização física do solo laterítico de Brasília.
- Obter curvas de desempenho e superfícies que permitam determinar qual é a melhor combinação entre grau de saturação, energia de compactação e resistência mecânica.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 SOLOS TROPICAIS E SUA COMPOSIÇÃO

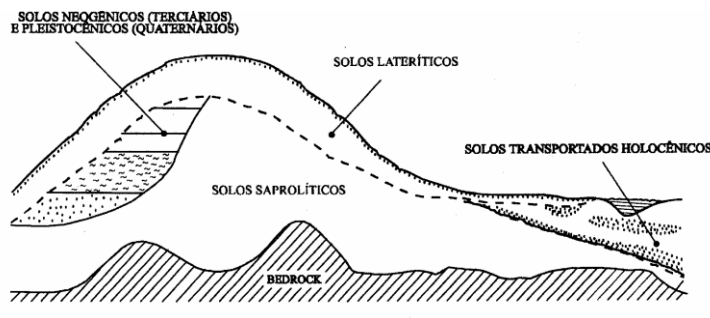
São chamados solos tropicais aqueles que apresentam peculiaridades de propriedades e de comportamento, em decorrência da atuação nos mesmos de processos geológicos e/ou pedológicos, típicos das regiões tropicais úmidas.

Encontram-se os seguintes solos nas regiões tropicais:

- Lateríticos;
- Saprólíticos;
- Transportados.

Um perfil esquemático da ocorrência desses solos pode ser visto na Figura 1.

Figura 1. Perfil esquemático de ocorrência de solos em ambiente tropical (NOGAMI et al, 2000)



3.2 SOLOS LATERÍTICOS

São solos superficiais, típicos das partes bem drenadas das regiões tropicais úmidas, resultante de uma transformação da parte superior do subsolo pela atuação do intemperismo.

Os solos lateríticos encontram-se predominantemente no Brasil. Este tipo de solo apresenta características particulares devido a sua composição física e química. Geralmente são compostos por óxidos de ferro, fazendo com que se comportem de forma diferenciada sob condições de compactação.

No processo de laterização há um enriquecimento no solo de óxidos hidratados de ferro e/ou alumínio e a permanência da caolinita como argilo-mineral, atribuindo a estes solos uma coloração típica: vermelho, amarelo, marrom e alaranjado.

Segundo Nogami et al. (1985) apud Marangon (2004), solo laterítico é definido pelo Comitê de Solos Tropicais da Associação Internacional de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações (ISSMEF), como aquele que pertence aos horizontes A (camada mineral com enriquecimento de matéria orgânica) e B (apresenta máxima expressão de cor, estrutura e/ou que possuem materiais translocados), de perfis bem drenados, desenvolvidos sob atuação de clima tropical úmido. Estes solos têm tendência a possuírem uma grande parcela da sua granulometria menor que 2 mm de diâmetro e em alguns locais podem apresentar, pedregulhos lateríticos denominados de laterita, que são massas consolidadas, maciças ou porosas, de mesma mineralogia dos solos lateríticos e que tem sido muito aproveitadas como materiais de construção rodoviária.

De acordo com Schellmann (1981), laterita pode ser definida como sendo acumulações superficiais ou subsuperficiais de produtos proveniente do intemperismo de rochas, que foram desenvolvidas sob condições favoráveis a uma maior mobilidade dos elementos alcalinos, alcalino-terrosos, sílica e imobilização de ferro e alumínio.

Na Figura 2 é apresentado um perfil de solo em corte onde se identifica a distinção entre os horizontes A, B (lateríticos) e C (saprolítico).



Figura 2. Perfil de solo mostrando os horizontes A, B e C (Marangon, 2004)

3.2.1 SOLOS LATERÍTICOS DE BRASÍLIA

O solo laterítico do Distrito Federal representado na Figura 3, devido aos variados processos de formação dos solos, apresentam propriedades particulares, assim como comportamentos mecânicos e hidráulicos específicos. Além de apresentar uma cor

característica vermelha, amarela, marrom ou laranja que dependerá de sua formação e do seu grau de intemperização.



Figura 3. Amostra do solo laterítico de Brasília

3.3 COMPACTAÇÃO DO SOLO

A compactação é um método de estabilização e melhoria do solo através de processo manual ou mecânico, visando reduzir o volume de vazios do solo, propiciando o aumento de contato entre os grãos e tornando o aterro mais homogêneo, melhorando as suas características de resistência, deformabilidade e permeabilidade.

Os materiais compactados são empregados em diversas obras de engenharia, tais como: aterros para diversas utilidades, camadas para pavimentos, construção de barragens de terra, preenchimento com terra do espaço atrás de muros de arrimo e reenchimento das inúmeras valetas que se abrem diariamente nas ruas das cidades. Os tipos de obra e de solo disponíveis vão ditar o processo de compactação a ser empregado, a umidade em que o solo deve se encontrar na ocasião e a densidade a ser atingida.

O início da técnica de compactação é creditada ao engenheiro Ralph Proctor, que, em 1933, publicou suas observações sobre a compactação de aterros, mostrando ser a compactação função de quatro variáveis, tais como: Peso específico seco, umidade, energia de compactação, tipo de solo.

3.4 METODOLOGIA RAMCODES

3.4.1 O significado RAMCODES

A metodologia RAMCODES se baseia em experimentos fatoriais para solos não saturados e em estudos empíricos de desenho e controle para análises de

densificação e resistência de geomateriais compactados, ou seja, solos e misturas asfálticas.

Segundo Sánchez-Leal (2002) autor do desenvolvimento dessa metodologia desde 1988, RAMCODES fundamenta-se em três aspectos essenciais, tais como: classificação quantitativa que define as características de um solo em um valor numérico único em uma escala contínua. A segunda característica é o potencial de densificação através do estudo da probabilidade de que o geomaterial alcance uma densidade dentro de uma categoria de conteúdos de água, ou de asfalto a partir de uma energia de compactação particular, em relação ao conteúdo de água/asfalto. A densidade e a resposta do geomaterial, seja pela resistência, deformabilidade, módulos, entre outros, através das condições particulares de um experimento.

Podemos mencionar também nos mapas de resistência, que são de grande utilidade no estudo do comportamento do solo, associando os conceitos de Mecânica dos solos não saturados, tais como o intertravamento entre as partículas e a sucção. Estas variáveis são comumente trabalhadas e medidas em laboratório e no campo, tais como, o conteúdo da água e o peso unitário seco. Estes mapas podem ser transformados também em cartas de controle, a fim de garantir que a compactação do material seja realizada nas condições previstas durante o projeto.

Uma das significativas utilizações da metodologia de RAMCODES no controle da qualidade de compactação, é demonstrar que com a metodologia tradicional baseada no alcance de um nível mínimo de densificação e ensaios de CBR, erros são cometidos. Sendo que estes poderiam acarretar em problemas nas estruturas de pavimentação, ou mesmo, ocasionar às empresas de construção gastos dispendiosos devido a possíveis atrasos.

3.4.2 RAMCODES em solos compactados - Classificação quantitativa

Consiste em resumir em um único valor as características do solo que mais afetem seu comportamento. Essas características, segundo Sánchez (2002), são a proporção granulométrica e a superfície específica da parte fina do solo. Além de associar os tipos de materiais em uma escala contínua, onde para uma mesma região ou origem

geológica, cada valor nessa escala, representaria a um material com as mesmas propriedades.

Em consequência, por um lado, se avalia as variabilidades das propriedades e respostas dos materiais a partir de suas características índices, e por outro lado, obtém-se vários estudos das propriedades e respostas para distintas classes de materiais, o que resultaria em um banco de dados muito útil na antecipação dos comportamentos e na seleção dos materiais.

Para realizar a classificação quantitativa, o autor propôs o fator característico, F_p , definido como o produto linear da proporção granulométrica entre a fração fina e grossa do solo, e o limite de liquidez (medida na fração fina do solo).

Partindo da expressão proposta teremos:

$$F_p = (1 + WL)F / (1 + G)$$

Onde:

WL= limite de liquidez do material, em decimal;

F= fração que passa na peneira #200, em decimal;

G= fração retida na peneira #4, em decimal.

O fator característico F_p esta diretamente associado à classificação descritiva segundo a (Tabela 1) a seguir:

Tabela 1. Valores típicos do fator F_p segundo os tipos de solo (Sánchez-Leal, F.J., 2002a)

Tipo	Intervalo de F_p	Classificação
RS1	0.0-0.2	Brita siltosa y argilosa
RS2	0.2-0.5	Areia siltosa e argilosa com brita
RS3	0.5-0.7	Areia siltosa e argilosa
RS4	0.7-1.4	Argila leves siltosas e arenosas
RS5	>1.4	Argilas livres
RS1*	0.0-0.2	Areias limpas
RS2*	0.0-0.2	Areias sem britas

Nota: RS1* y RS2* são solos sem britas. A pesar de que seus valores de F_p coincidem com os tipos RS1 e RS2, respectivamente, aqueles se comportam de maneira diferente.

3.4.3 Potencial de densificação

Obtém-se a partir da relação entre o teor de água e o valor da densidade seca alcançada a partir da mesma energia e método de compactação desenvolvida no ensaio de laboratório. Os parâmetros de referência para o potencial de densificação são a densidade máxima seca (DMS) e o teor de água associada, denominada ótima, assim como a forma da curva que descreve tal relação (curva de compactação).

O potencial de densificação obtido no laboratório correlaciona de maneira estrita a densificação obtida no campo por meio da compactação com equipamentos pesados de compactação.

3.4.4 Relação entre o teor de água, a densidade e a resistência

Para a avaliação da relação entre o teor de água, a densidade seca e a resistência (representada pelo ensaio CBR), segundo Sánchez (2002) propôs os “mapas de resistência” definidos como a representação em diagramas de contorno, a traves de uma superfície de resposta, que descreve a resistência do solo quando compactado com o mesmo método de compactação em uma escala ampla de teor de água e densidades secas. A superfície é um ajuste estatístico dos dados obtidos no ensaio CBR, realizado através da aplicação da normativa ASTM D 1883 para o estudo da resistência do solo.

3.4.5 Comportamento do solo não saturado

O solo compactado é por definição um solo não saturado. Seu comportamento de resistência está influenciado pela sua estrutura e pelas condições de carga. A energia e o método de compactação fornece ao solo uma estrutura específica que é mantida pelo confinamento (sobrecarga, restrição lateral), a sucção (medida através do teor de umidade e do grau de saturação) e pelo intertravamento das partículas. No ensaio de CBR, o confinamento, as condições de restrição lateral, assim como a velocidade e o tipo de carga estão preestabelecidas e permanecem constantes durante o ensaio. Em consequência, a resposta da resistência da estrutura é administrada pela sucção e pelo intertravamento das partículas que se resumem respectivamente no teor de umidade e na densidade.

4 METODOLOGIA

O desenvolvimento desse projeto de iniciação científica foi dividido em seis etapas. Para o início da execução foram obtidas as amostras do solo laterítico de Brasília. Após a obtenção do solo, na segunda etapa, foram realizados ensaios de peneiramento e sedimentação com o objetivo de caracterizar granulometricamente o mesmo, além de realizar outros ensaios para caracterização física. A terceira e a quarta etapas consistem em compactar corpos de prova a diferentes graus de saturação, nas diferentes energias de compactação (normal, intermediária e modificada). Em seguida, na quinta e última etapa a partir das amostras compactadas em diferentes energias de compactação, foram realizados ensaios de Índice de suporte de Califórnia, CBR.

4.1 SELEÇÃO E COLETA DE MATERIAIS

Na primeira etapa da pesquisa foram realizados a coleta e preparação do solo laterítico de Brasília, a fim de realizar estudos e ensaios com o solo natural, visando obter suas características e propriedades físicas, químicas e mecânicas.

O material foi coletado no terreno localizado na 503 Norte, ao lado do Edifício da atual Disbrave, Distrito Federal – Brasília (Figura 4). O solo foi levado ao laboratório de Engenharia do Bloco 11, da faculdade UniCEUB (Centro Universitário de Brasília), para a realização de ensaios de caracterização do solo (Figura 5).



Figura 4. Amostra do local da coleta do solo



Figura 5. Preparação do solo laterítico

4.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO SOLO

Após a coleta do solo foi realizado a caracterização do mesmo a través de alguns ensaios de laboratório. O material coletado possui características com coloração avermelhada devido à alta concentração de óxidos de ferro. Os solos podem ser classificados em grupos e subgrupos para determinar suas propriedades. Foi utilizado o sistema de classificação SUCS (Sistema Unificado de Classificação de Solos), para identificar o tipo de solo. Foram realizados os ensaios de granulometria/sedimentação, massa específica (GS), limites de liquidez/plasticidade, compactação e cisalhamento direto de acordo com as normas da ABNT (Tabela 2).

Tabela 2. Ensaio de caracterização realizados no solo

Ensaio	Norma
Ensaio de Granulometria	NBR 7181
Limite de Liquidez	NBR 6459
Determinação da Massa Especifica (GS)	NBR 6508
Ensaio de Compactação	NBR 7182
Ensaio de Cisalhamento Direto	NBR 7182

4.2.1 ENSAIO DE GRANULOMETRIA

A análise foi feita conforme a Norma NBR 7181. Para a determinação da curva granulométrica foram utilizados os procedimentos de peneiramento e sedimentação a partir das recomendações da norma, de acordo com a quantidade de material passante ou retido na peneira N° 200 e 0,075 mm de abertura. Na figura 6 são apresentados os resultados das amostras do solo com defloculante e na Tabela 3 a composição granulométrica com e sem defloculante.

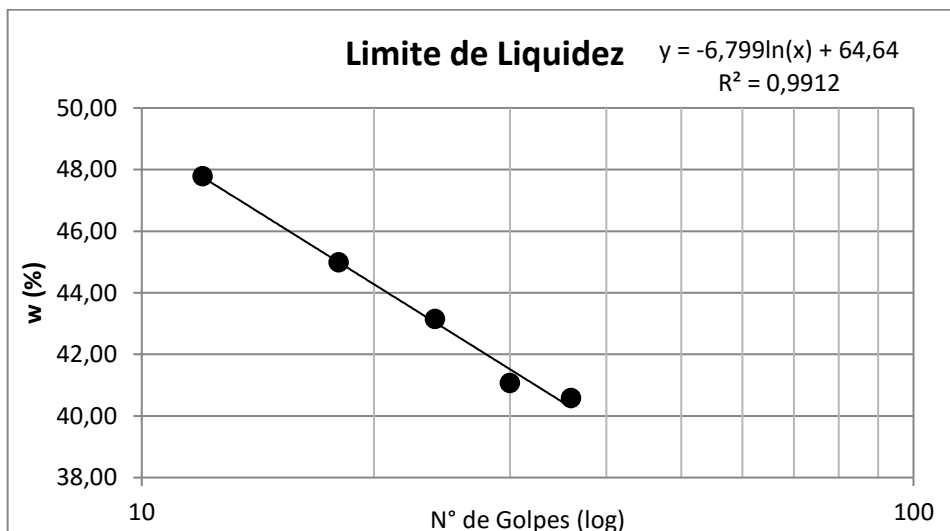
Tabela 4. Sistemas de classificação do solo

Tabela Sistema de Classificação Unificada SUCS	
Descrição	
% passante na # 4	99,49%
% passante na # 200	76,10%
LL	43%
LP	31%
IP	12%
Classificação:	Solo fino, ML- silte de baixa
Tabela sistema de Calssificação AASHTO	
Descrição	
% mais fina que passa na # 10	98,79%
% mais fina que passa na # 40	96,70%
% mais fina que passa na # 200	76,10%
LL	43%
LP	31%
IP	12%
IG	10,00
Classificação:	A-7-5(10)

4.2.2 LIMITES DE ATTERBERG

Com a realização dos ensaios de Limite de Liquidez e Limite de Plasticidade, de acordo com a normas NBR 6459 e NBR 7180, respectivamente, foram obtidos os resultados ilustrados na Figura 7.

Figura 7. Gráfico dos ensaios de Limite de Liquidez e Limite de Plasticidade



Na Tabela 5 são apresentados os valores obtidos de Limites de Consistência. A partir dos ensaios de limite de liquidez e limite de plasticidade, é possível obter o índice de plasticidade do solo (IP)=12. Assim, tem-se que:

$$IP=43-34$$

$$IP=12\%$$

LIMITE DE LIQUIDEZ - (LL%)	43
LIMITE DE PLASTICIDADE - (LP%)	31
ÍNDICE DE PLASTICIDADE – (IP%)	12

Tabela 5. Valores obtidos para os Limites de Consistência

4.2.3 DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DOS GRÃOS (GS)

O ensaio de GS foi realizado em amostras passantes da peneira de 4,8mm, obtendo um valor médio de 2,71 (Tabela 6). O resultado do peso específico (Gs) apresentado na Tabela 6 está coerente com o encontrado por Chrusciak et al. (2013), o que condiz com o valor de Gs 2,68g/cm³. Na Tabela 7 são apresentados de forma resumida, os valores das frações constituintes do solo de acordo com o ensaio de granulometria e o ensaio de Limites de Atteberg.

Tabela 6. Valor encontrado do Gs

Massa específica dos grãos # 2mm			
Ensaio com picnômetro:	A	B	C
Picnômetro N°	7	8	10
Temperatura (°C)	25,8	25,4	25,6
Pic. + água (g)	644,92	656,28	640,72
Pic. + água + solo(g)	675,94	687,22	671,67
G (g/cm ³)	2,71	2,70	2,70
		G_s :	2,71

Tabela 7. Caracterização física do solo

Areia	Silte	Argila	LL	LP	IP
(%)	(%)	(%)			
39,7	19,8	39,4	43	31	12

4.2.4 ENSAIO DE COMPACTAÇÃO

A fim de melhorar as propriedades mecânicas do solo, como o aumento de sua resistência e redução dos vazios se faz necessário usar de ferramentas como o ensaio de compactação.

Na Figura 8 e na Tabela 8, são apresentados os resultados dos ensaios de compactação para as diferentes energias do Proctor normal, intermediária e modificada. Os ensaios foram realizados segundo a Norma NBR 7182/86. A metodologia Proctor é usada para determinar o peso específico seco máximo de compactação e o teor de umidade ótima correspondente.

Figura 8. Curvas de compactação para as Energias Normal, Intermediária e Modificada

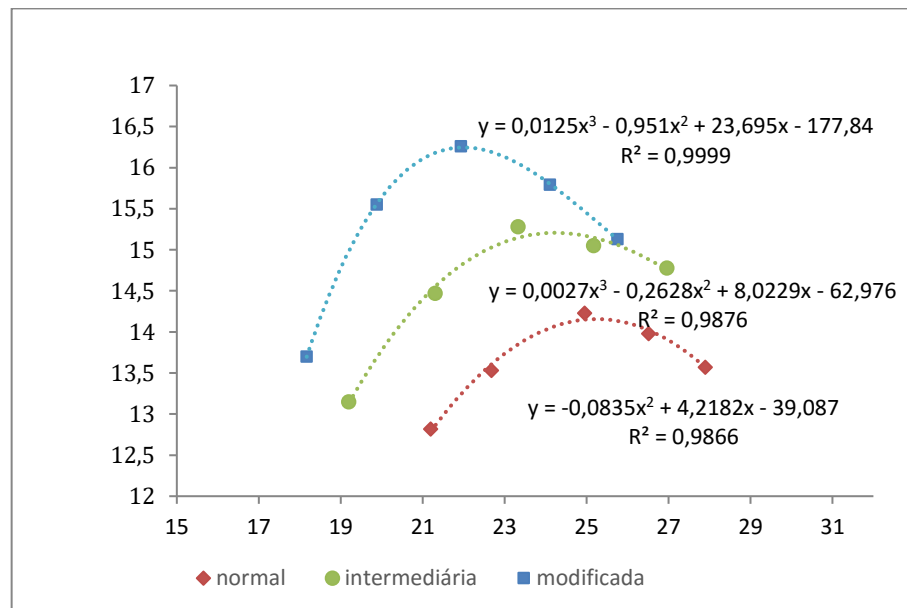


Tabela 8. Valores do Peso unitário seco e da umidade ótima (w%)

Energia de Compactação			
Normal	Intermediária	Modificada	
14,23	15,28	16,26	Peso específico (kN/m³)
24,96	23,33	21,94	Umidade ótima(%)

No ensaio de compactação à energia normal, foram obtidos valores de umidade ótima de trabalho e peso específico respectivamente de 24.96 % e 14,23 kN/m³. Já à energia intermediária, a umidade ótima foi de 23,33% e o peso específico foi 15,28 kN/m³. Quando realizado o ensaio para energia modificada, foram obtidos valores de 21,94% de umidade e 16,26 kN/m³ de peso específico.

Após a realização de todos os ensaios de caracterização mencionados, iniciou-se um novo Ensaio de Compactação fazendo uso da metodologia “RAMCODES”, a qual emprega condições como grau de saturação e diferentes energias de compactação, entre outras propriedades, para avaliar qual é a melhor condição para gerar um solo com resistência adequada para os projetos existentes.

4.2.5 ENSAIOS DE CISALHAMENTO DIRETO

Com o objetivo de avaliar os parâmetros de resistência do solo ao cisalhamento foi utilizado o critério de ruptura de Mohr-Coulomb, que pode ser determinado em laboratório através de ensaios com corpos de prova cilíndricos de acordo com a norma NBR 7182. O solo foi compactado na umidade ótima da energia de Proctor modificada.

O ensaio de Cisalhamento Direto foi realizado a partir dos dados coletados da curva de compactação da Energia Modificada (Figura 8), com valor de umidade ótima de 21,94% (Tabela 8). Baseado no solo natural seco e saturado obteve-se os resultados sinalados nos gráficos das Figuras 9 a 14.

As tensões avaliadas para obter a envoltória de Mohr foram: 200kPa, 400kPa, 600kPa e 800kPa. Para os diferentes níveis de tensão, o comportamento de cada curva representa a tensão máxima de ruptura.

Figura 9. Curvas de tensão cisalhante versus deformação do solo natural seco

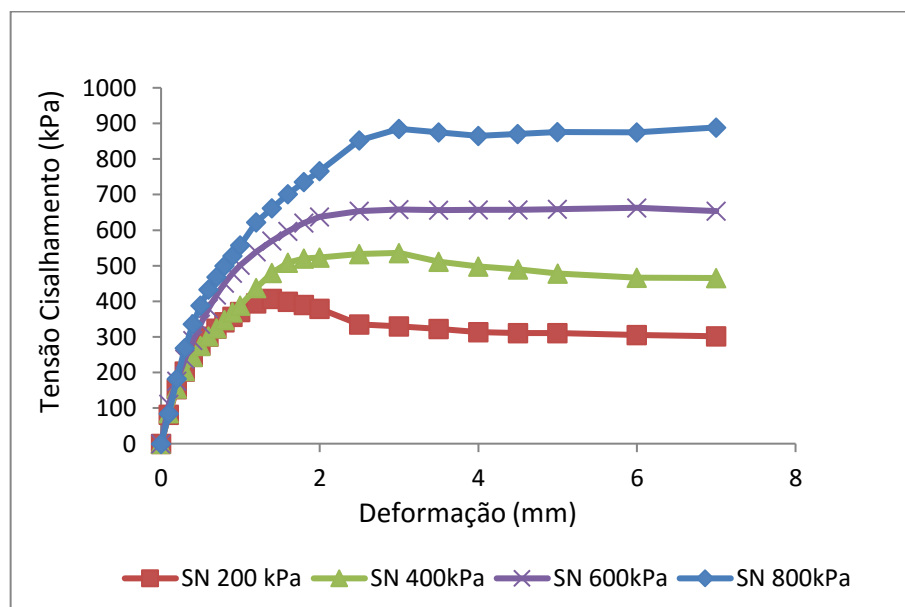


Figura 10. Curva da envoltória de Mohr na tensão do ponto de pico do solo seco

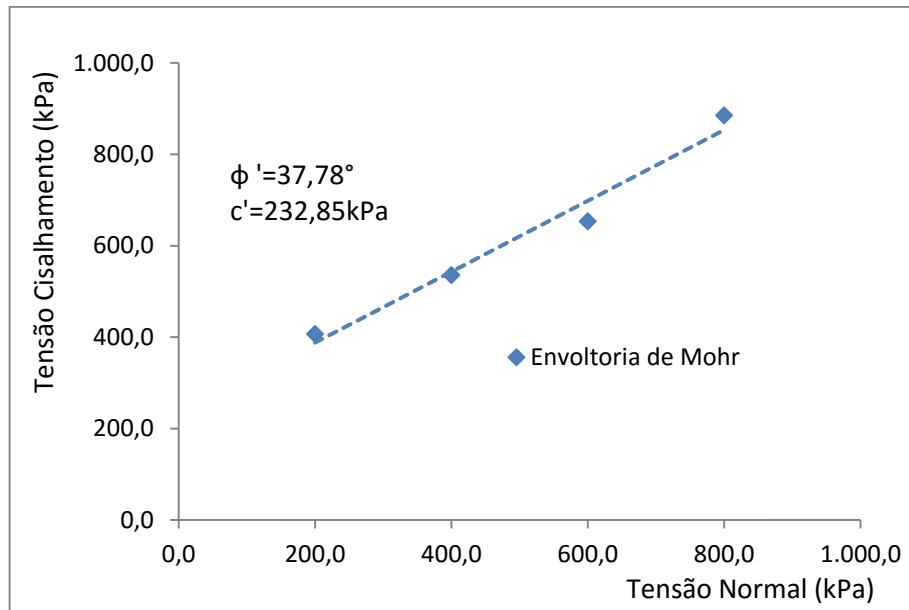


Figura 11. Curva da envoltória de Mohr na tensão do ponto residual do solo seco

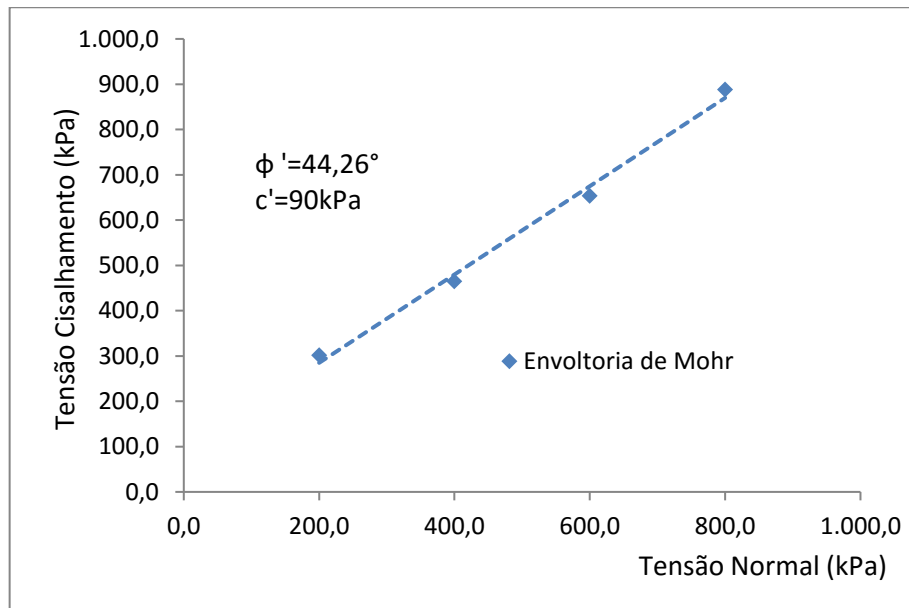


Figura 12. Curvas de tensão cisalhamento versus deformação do solo natural saturado

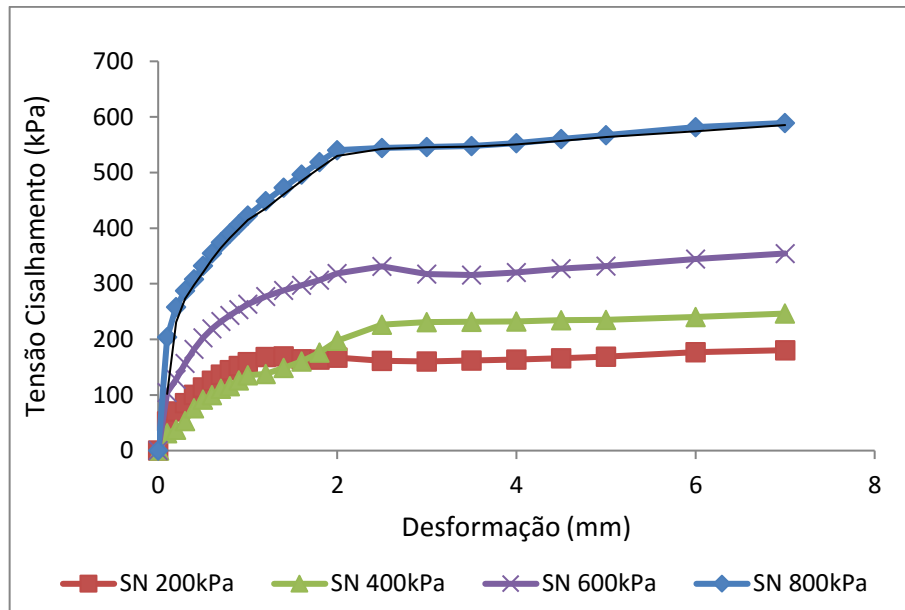


Figura 13. Curva da envoltória de Mohr na tensão do ponto residual do solo saturado

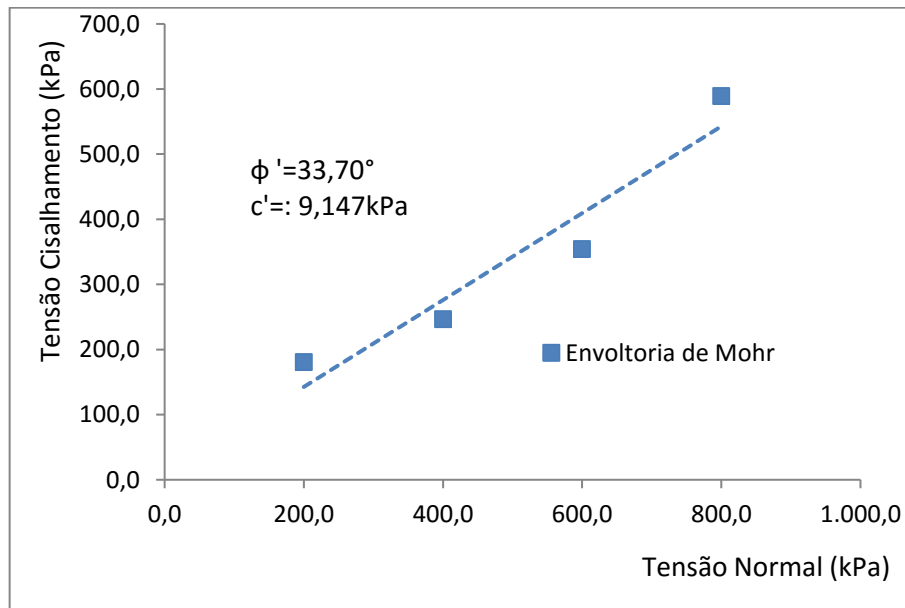
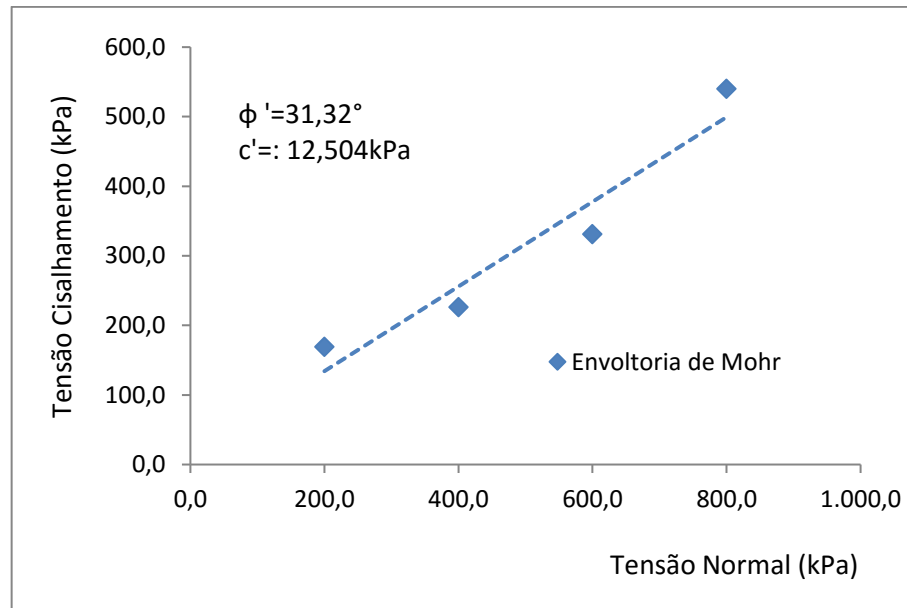


Figura 14. Curva da envoltória de Mohr na tensão do ponto de pico do solo



Na Tabela 9 são apresentados os parâmetros de resistência ao cisalhamento para o solo laterítico de Brasília, avaliado nas condições de estado seco e posterior à saturação. Dos resultados obtidos nos ensaios de resistência ao cisalhamento, pode-se concluir que a saturação dos corpos de prova gerou uma redução significativa na coesão do solo, por enquanto que o ângulo de atrito se manteve aproximadamente constante para as condições pico e residual (Tabela 9).

Tabela 9. Parâmetros obtidos de resistência ao cisalhamento para SN

Condição de ensaio	Resistência	Coesão (kPa)	Ângulo de atrito (°)
Seco	Pico	233	38
	Residual	90	44
Saturado	Pico	13	31
	Residual	9	34

4.3 ENSAIO DE ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA (ISC)

O objetivo principal do ISC (Índice de Suporte Califórnia) é determinar o índice de resistência do solo compactado para utilização em bases, sub-bases e subleitos de estruturas de pavimento.

Na presente pesquisa, inicialmente, realizou-se ensaios na base dos corpos de prova com o solo seco e posteriormente ensaios de expansão no topo, onde os mesmos ficaram imersos em um tanque com água (Figura15). Os corpos de prova ficaram em imersão durante 24 horas a fim de medir a expansão do solo. A determinação da variação na altura é realizada a cada 24 horas através do uso de relógios comparadores.

Figura 15. Corpos de prova imersos em água



Posteriormente ao tempo de saturação dos corpos de prova, foi realizado o ensaio de penetração a uma velocidade de 1,25 mm/min, determinando a carga e respectiva deformação vertical (Figura 16).

Figura 16. Equipamento Índice de Suporte de Califórnia



5 RESULTADOS E ANÁLISE DE RESULTADOS

5.1 ENSAIO DE COMPACTAÇÃO

As curvas ilustradas na Figura 17 apontam resultados, onde a umidade ótima diminui com a intensificação da energia de compactação (normal para modificada), enquanto a massa específica seca aumenta.

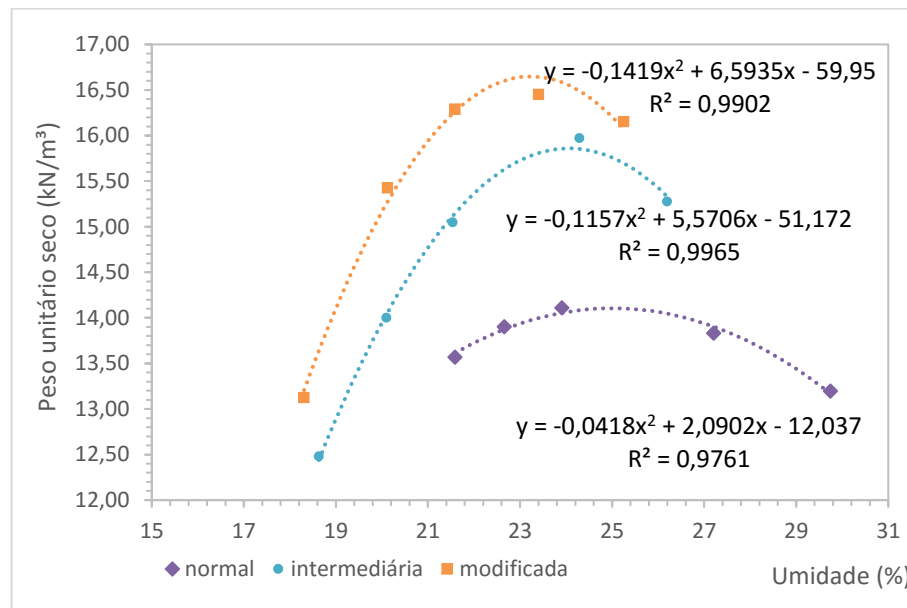


Figura 17. Curvas de compactação para as Energias Normal, Intermediária e Modificada (BASE e TOPO) do corpo de prova

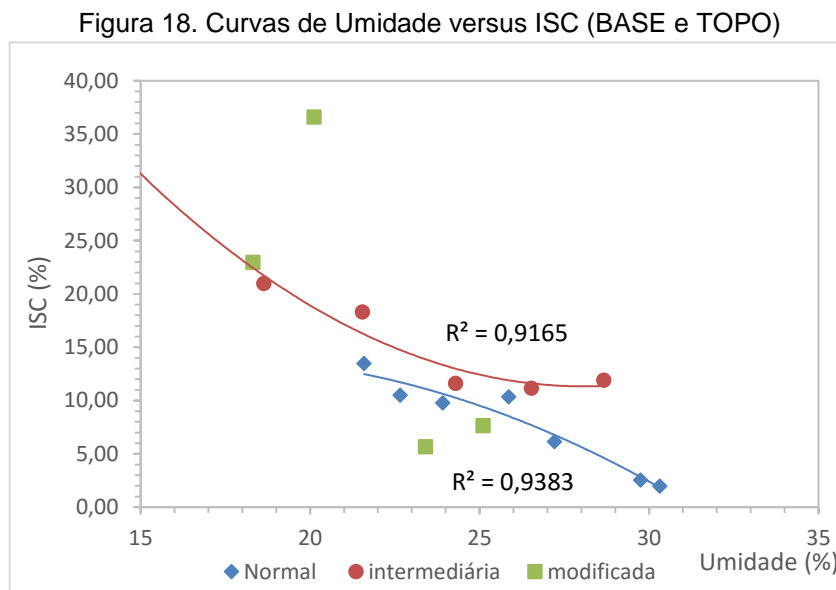
5.2 ENSAIO DE ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA (ISC)

A partir das condições definitivas de compactação apresentadas na Tabela 8 e na Figura 17, foram compactados no mínimo cinco corpos para cada energia de compactação, para posteriormente determinar o ISC. Para cada energia foram compactados no mínimo cinco corpos de prova conforme a seguinte distribuição: Um corpo de prova na umidade ótima, dois corpos no ramo seco e dois no ramo úmido.

Os ensaios de índice de suporte de Califórnia (ISC), foram realizados na base e no topo de cada corpo de prova, em condições antes e depois da saturação por 24 horas. Segundo a metodologia RAMCODES, as avaliações do índice de resistência devem ser realizadas em diferentes energias de compactação e distintos graus de saturação.

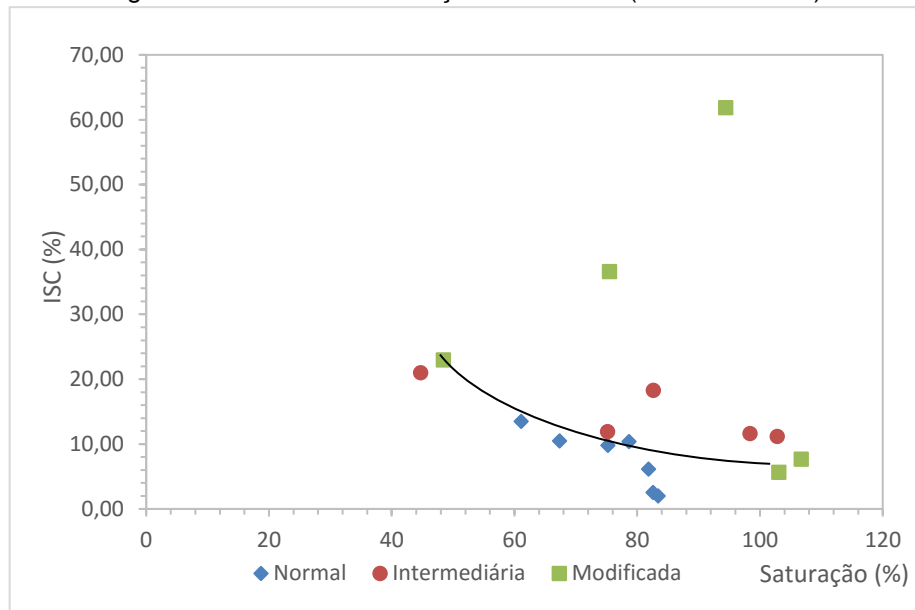
Na Figura 18 é apresentado graficamente as curvas de umidade versus ISC, onde pode-se observar uma dispersão dos pontos da curva de energia modificada,

enquanto nas demais energias, observa-se uma tendência mais decrescente com relação ao aumento de umidade. Contrário ao estabelecido na mecânica de solos tradicional, conforme a Figura 18 os maiores valores de ISC não foram obtidos com a umidade ótima de compactação. Nas energias normal e intermediária os maiores valores foram obtidos para as menores umidades de compactação. Na energia modificada não foi evidenciada uma clara relação entre umidade e ISC. Em função dos resultados obtidos na presente pesquisa, é possível concluir que as teorias de comportamento mecânico estabelecidos na mecânica de solos tradicional, não necessariamente são aplicáveis para os solos lateríticos. Diversas pesquisas têm evidenciado que os solos tropicais, apresentam comportamento mecânicos influenciados pelas concessões lateríticas, grau de saturação, sucção e nível de intemperismo do solo.



Na Figura 19 é apresentado um gráfico que relaciona o grau de saturação com o índice de Suporte de Califórnia (ISC). De forma geral o gráfico apresenta uma tendência decrescente com o aumento do grau de saturação, apresentando os máximos valores de ISC para os menores de graus de saturação. Foi evidenciado dispersão nos resultados obtidos fato que sugeri a realização de ensaios complementares para confirmar a tendência dos resultados.

Figura 19. Curvas de Saturação versus ISC (BASE e TOPO)



6 CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos na pesquisa é possível concluir:

- A saturação dos corpos de prova previamente à realização do ensaio de resistência ao cisalhamento gera uma redução significativa da coesão, por enquanto que o ângulo de atrito se mantém aproximadamente constante.
- Para a amostra de solo estudada foi evidenciado que o maior índice de Suporte de Califórnia não necessariamente é atingido com a umidade ótima de compactação.
- O Índice de Suporte de Califórnia apresentou m comportamento decrescente com o aumento do grau de saturação.

7 SUGESTÕES DE PESQUISAS FUTURAS

- Realizar ensaios para determinar a sucção matricial e osmótica, e estabelecer se existe alguma correlação com o grau de saturação e o índice de suporte de Califórnia (ISC).
- Caracterizar outros tipos de solos tropicais através da Metodologia RAMCODES para estabelecer curvas de comportamento típico para este tipo de materiais.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

_NBR 7181/1988: Solo - Análise granulométrica.

_NBR 6457/1986: Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização.

_NBR 6508/1984: Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm – Determinação da massa específica.

_NBR 7183/1982: Determinação do limite e relação de contração de solos.

_NBR 9895/1987: Solo - Índice de Suporte Califórnia - Método de ensaio.

_NBR 7182/1988: Solo - Ensaio de compactação.

_NBR 6458/1988: Grãos de pedregulho retidos na peneira de 4,8 mm - Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água.

GRECO, Jisela Aparecida Santanna. Solos – Conceitos e Ensaio da Mecânica dos Solos. Classificação dos solos para Fins Rodoviários. Disciplina ETG033, Construção de Estradas e Vias Urbanas. Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

SANCHEZ, L. F. J. (2011). ¿Qué es RAMCODES? Evento Supertraining Maracaibo, Venezuela. Disponível em <[http:// www.youtube.com/watch?v=E7AWIBc0CIE](http://www.youtube.com/watch?v=E7AWIBc0CIE)> Acesso em: abr. 2015.

SANCHEZ, L. F. J. (2011). Anguas, P. G; López, J. A. Gómez; García, Pérez, N. RAMCODES: Metodología Racional para el analisis de densificacion y Resistencia de Geomateriales Compactados. Publicación Técnica No.200. Sanfanadila, Qro, 2002. Secretaria de Comunicaciones y Transportes Instituto Mexicano del Transporte.

MARQUES, Geraldo Luciano de Oliveira. Curso básico intensivo de pavimentação urbana da ABPV (Módulo II – Materiais empregados em Pavimentação). 2009. Disciplina elementos de Geologia da UFJF.

MARANGON, M., 2004, “Proposição de Estruturas Típicas de Pavimentos para Região de Minas Gerais. Utilizando Solos Lateríticos Locais a partir da Pedologia,

Classificação MCT e Resiliência”. Tese de Doutorado. Programa de Engenharia Civil. COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro/RJ.

NOGAMI, J. S., VILLIBOR, D. F., Beligni, M. e Cincerre, J. R., 2000. “Pavimentos com Solos Lateríticos e gestão de manutenção de Vias Urbanas”. São Paulo.

NOGAMI, J. S. et al, 1985 “Peculiarities of Geotechnical Behavior of Tropical Lateritic and Saprolitic Soils”. Progress Report. Committee on Tropical Soils of the ISSMFE. Theme 1, Topic 1.1. Preliminar Y Remarkes. ABMS.

CHRUSCIAK, M.R. (2012). *Análise da Melhoria de Solos Utilizando Fragmentos de Borracha*. Dissertação de Mestrado, publicação G.DM-22/13, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, DF,91p.

FRANCO, K. L. B (2012). *Caracterização do comportamento geotécnico de mistura de resíduo de pneus e solo laterítico*. Dissertação de Mestrado, Publicação U.F Rio, Departamento de Engenharia Sanitária, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, RN, 77p.

9 ANEXO