



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DA NATUREZA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

INFLUÊNCIA DA SALINIDADE NO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE
SOLOS COMPACTADOS

Vitor Ribeiro Silos

Orientadoras:
Prof^a. Dr^a. Helena Polivanov
Prof^a. Dr^a. Andrea Ferreira Borges

Rio de Janeiro
Agosto de 2010

Vitor Ribeiro Silos

INFLUÊNCIA DA SALINIDADE NO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE
SOLOS COMPACTADOS

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação em Geologia apresentado ao Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de bacharel em Geologia.

Área de Concentração: Geologia de Engenharia e Ambiental.

Orientadoras: Prof.^a Dr.^a Helena Polivanov
Prof.^a Dr.^a Andrea Ferreira Borges

Aprovada por:

Prof.^a Dr.^a Helena Polivanov

Prof.^a Dr.^o Andrea Ferreira Borges

Prof. Dr. Emilio Velloso Barroso

Prof.^a Dr.^a Laura Maria Goretti da
Motta

Rio de Janeiro
Agosto de 2010

Silos, Vitor Ribeiro.

Influência da salinidade em solos compactados

X, 40 p. 29,7 cm (Instituto de Geociências – UFRJ, B. Sc., Curso de Graduação em Geologia, 2010).

Monografia – Universidade Federal do Rio de Janeiro, realizada no Instituto de Geociências

1. Salinidade 2. solos compactados 3. resistência

A Estrada em frente vai seguindo
Deixando a porta onde começa.
Agora longe já vai indo,
Devo seguir, nada me impeça;
Por seus percalços vão meus pés,
Até a junção com a grande estrada,
De muitas sendas através.
Que vem depois? Não sei mais nada.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a minha família: meu pai, por ter me mostrado a geologia, ciência à qual eu não conhecia nos idos de 2004, pela paciência e muito mais; minha mãe, pelo carinho, dedicação e por ser minha base e meu irmão, maior companheiro da minha vida.

Agradeço especialmente minhas orientadoras, Prof.^a Dr.^a Helena Polivanov e Prof.^a Dr.^a Andrea Borges pelo projeto e pela ajuda na execução do mesmo. A Prof.^a Dr.^a Helena Polivanov agradeço ainda pelos três anos de estágio, por ter tido paciência quando entrei “cru” no laboratório e por ter me dado força nesses anos.

Agradeço ao Prof. Dr. Emílio Barroso pelas sugestões e ensinamentos e a Fátima Seabra e Osório Luiz por toda ajuda dada nos ensaios nos laboratórios de Solos e Via Úmida, respectivamente.

Agradeço ao meu braço direito nesse projeto, Matheus Amaral, e pela colaboração de Mário e Kadson.

Agradeço aos meus amigos, que me aturaram em toda a faculdade. Sem vocês, com certeza, a faculdade não teria graça alguma. Muito obrigado pelas descontrações, estudos e pelas tantas alegrias por qual passamos nesses cinco anos.

Agradeço a Prof.^a Dr.^a Laura Maria Goretti da Motta por ter cedido seu laboratório, a Msc. Mariluce Ubaldo por toda atenção e sugestões dadas e todos os técnicos do Setor de Geotecnia da COPPE/UFRJ.

Por fim, agradeço a minha amada Anna Claudia, pelo carinho, pela paciência e pela força que me encorajava a continuar.

RESUMO

A construção de aterros é uma prática que visa buscar soluções para ordenar e ocupar o espaço físico. Pode-se exemplificar a sua aplicação no desenvolvimento de áreas habitacionais, transporte, e demais funções. Os aterros convencionais são construídos com solos compactados, ou seja, material de empréstimo depositado na área de interesse, compactado, dando ao material características físicas adequadas. Quando localizados em zonas costeiras ou submetidos à percolação de soluções salinas pode haver alterações no corpo compactado devido às mudanças de estrutura do solo argiloso. A razão deste fato está nos argilominerais, os quais podem mudar as cargas elétricas adsorvidas na superfície em presença de soluções salinas. Dessa forma pretende-se verificar se este efeito das variações físico-químicas do ambiente influenciam na resistência de aterros construídos em zonas costeiras ou que estejam submetidos a processos de salinização por outros fenômenos. Para a realização deste trabalho foi utilizado o CBR (Índice de Suporte Califórnia) e o ensaio triaxial de resiliência como índices de quantificação da alteração da resistência do material compactado com água e do material compactado com a solução salina. Além desses ensaios, foram feitos a caracterização física, química e mineralógica do solo, e lâminas de micromorfologia do material compactado sem solução salina e com solução salina. Como resultado do trabalho, constatou-se a perda de resistência do material compactado com solução salina em relação com o material sem esta solução, comprovados com a diminuição do valor do CBR e uma maior deformação do corpo de prova compactado com solução salina no ensaio de Resiliência.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização da área de coleta (Fonte da imagem - Google)	3
Figura 2. Coleta de material, dia 12 de fevereiro de 2010.	4
Figura 3. Figura da curva de compactação	9
Figura 4. Ilustração das etapas de homogeneização, colocação de uma camada no cilindro, golpe com o soquete, raspagem com a régua biselada e pesagem do corpo de prova.	10
Figura 5. Ilustração das etapas da confecção das lâminas.	12
Figura 6. Ilustração das etapas de submersão dos corpos de prova e realização do CBR.	14
Figura 7. Ensaio Triaxial de Resiliência.	16
Figura 8. Curva granulométrica do solo utilizado no presente estudo	17
Figura 9. Fotos das lâminas micromorfológicas do material compactado sem salinidade (a- ramo seco, b- umidade ótima, c- ramo úmido).	22
Figura 10. Fotos das lâminas micromorfológicas do material compactado com salinidade (a- ramo seco, b- umidade ótima, c- ramo úmido).	23
Figura 11. Imagem do programa de computador do ensaio de Módulo de Resiliência.	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Energias de compactação.	9
Tabela 2. Limites de Aterberg do solo estudado	18

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Gráfico do ensaio de compactação com água sem NaCl do solo deste estudo	20
Gráfico 2. Gráfico do ensaio de compactação com água e solução de NaCl.	21
Gráfico 3. Gráfico do ensaio de compactação com as duas curvas.	21
Gráfico 4. Ensaio CBR para material compactado sem NaCl.	25
Gráfico 5. Ensaio CBR para material compactado com NaCl.	26
Gráfico 6. Gráfico do ensaio CBR com as duas curvas.	26
Gráfico 7. Gráfico de Expansão sem NaCl.	27
Gráfico 8. Gráfico de Expansão com NaCl.	28
Gráfico 9. Gráfico do ensaio de expansão com as duas curvas.	28
Gráfico 10. Gráfico de Água absorvida sem NaCl.	29
Gráfico 11. Gráfico de Água absorvida com NaCl.	29
Gráfico 12. Gráfico do ensaio de água absorvida com as duas curvas.	30
Gráfico 13. Gráfico do Índice de vazios sem NaCl.	31
Gráfico 14. Gráfico do Índice de vazios com NaCl.	31
Gráfico 15. Gráfico do índice de vazios com as duas curvas.	32
Gráfico 16. Gráfico da envoltória de M.R. x Tensão desvio (sem solução salina).	33
Gráfico 18. Gráfico da envoltória de M.R. x Tensão confinante(sem solução salina).	34
Gráfico 19. Gráfico da envoltória de M.R. x Tensão desvio de material com solução de 12000 ppm.	35
Gráfico 20. Gráfico da envoltória de M.R. x Tensão confinante de material com solução de 12000 ppm.	35
Gráfico 21. Gráfico da envoltória de M.R. x Tensão desvio de material sem solução e com solução de 12000 ppm.	36
Gráfico 22. Gráfico da envoltória de M.R. x Tensão confinante de material sem solução e com solução de 12000 ppm.	37

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Considerações gerais	1
1.2. Objetivo	2
2. MATERIAIS E MÉTODOS	3
2.1. Coleta das amostras	3
2.2. Procedimentos laboratoriais	5
2.2.1. Ensaio físicos	5
2.2.1.1. Análise granulométrica	6
2.2.1.2. Determinação da massa específica real	6
2.2.1.3. Limites de Atterberg	6
2.2.1.3.1. Limite de Liquidez	6
2.2.1.3.2. Limite de Plasticidade	6
2.2.1.3.3. Índice de Plasticidade	7
2.2.2. Caracterização mineralógica	7
2.2.3. Ensaio de compactação Proctor Normal	8
2.2.4. Micromorfologia	10
2.2.5. CBR	13
2.2.6. Ensaio Triaxial de Resiliência	14
3. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	17
3.1. Ensaio Físicos	17
3.1.1. Análise Granulométrica, Densidade real dos grãos e limites de Atterberg	17
3.1.2. Ensaio Mineralógicos	19
3.1.3. Ensaio de Compactação	19
3.1.4. Micromorfologia	21
3.1.5. Ensaio CBR	23
3.1.6. Expansão e Absorção de água	26
3.1.7. Índice de vazios	29
3.1.8. Ensaio Triaxial de Resiliência	31
4. CONCLUSÕES	37
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38
ANEXO I	44

1. INTRODUÇÃO

1.1. Considerações gerais

A costa do Brasil vem sofrendo modificações antropogênicas ao longo do tempo, principalmente, após a chegada dos colonizadores portugueses no século XV primeiramente foi a exploração do pau-brasil, depois a construção de cidades litorâneas, fortalezas, portos e aterros.

Os primeiros aterros construídos no Brasil datam do fim do século XIX, como por exemplo: aterro na cidade de Vitória na região do Parque Moscoso, Jucutuquara e Ilha de Santa Maria e os primeiros aterros de igarapés em Manaus (Schweickardt, 2009), porém somente no século seguinte que eles entraram em expansão devido às necessidades de crescimento das cidades, como exemplo: Parque Brigadeiro Eduardo Gomes, ou simplesmente Aterro do Flamengo, na década de 60 e o aterro da Ilha do Fundão na década de 50, ambos na cidade do Rio de Janeiro; o Aterro da Praia Grande, no centro da cidade de Niterói, na década de 70 e os aterros em fase de construção em Dubai, na Índia (projeto *Palm Islands*) e o aterro do aeroporto internacional de Kansai, em Osaka, no Japão.

Aterro consiste no preenchimento ou recomposição de escavações, utilizando-se material de empréstimo, para elevação de greide ou de cotas de terraplenos. Os aterros podem ser compactados ou não, a depender do fim a que se destina (CEHOP – Companhia Estadual de Habilitação e Obras Públicas).

Compactação de solos tem como objetivo a diminuição da porosidade, ou seja, redução de todo o espaço vazio do solo, fornecendo assim uma maior compacidade, aumentando sua estabilidade mecânica.

As cidades de Vitória e Rio de Janeiro são duas cidades brasileiras cujas costas são compostas de importantes aterros, chamados aterros hidráulicos. Aterro hidráulico é um método construtivo em que o aterro é construído com material transportado por um fluxo de água, seja por meio da gravidade ou usando bombas (dragas). Quando o material de empréstimo está em uma cota acima do local de deposição do material, o fluxo ocorre por meio da gravidade e, caso não seja possível ocorrer o fluxo pela gravidade se usam

dragas para bombear o material até o local específico.

Muito se fala sobre erosão costeira, que é um grande problema encontrado em aterros costeiros, porém é muito difícil se obter estudos em relação ao problema abordado nesse trabalho, a influência salina na resistência dos aterros. Será investigado neste trabalho se a salinidade exerce uma influência na perda da resistência do aterro.

O núcleo dos fenômenos físicos e físico-químicos do solo é basicamente a fração coloidal, ou seja, os argilo-minerais, cuja estrutura é composta por camadas constituídas de folhas de sílica e de alumina intercaladas, com capacidade de absorção e retenção de água.

Solos em ambientes de água doce e água salina influenciam na estrutura dos seus respectivos argilo-minerais. Em água doce, os argilo-minerais tendem a ter uma estrutura dispersa, ou seja, as partículas são orientadas, sedimentando-se isoladamente e se dispõem uniformemente na posição de menor energia possível. Porém, em ambiente de água salina, os argilo-minerais tendem a se flocular, pois os íons existentes fazem com que os colóides neutralizem suas cargas e se choquem, dessa maneira começam a formar flocos e são dispostas sob a ação da gravidade.

A hipótese básica deste trabalho é baseada neste princípio e tem-se como suposição que o material compactado com a solução salina, tenha sua estrutura modificada devido à floculação das argilas, com isso, diminuindo sua resistência.

1.2. Objetivo

O trabalho tem como objetivo analisar a resistência de aterros construídos em zonas costeiras, buscando verificar o efeito da presença de soluções salinas no comportamento de solos compactados. Neste projeto foi usado o CBR (Índice de Suporte Califórnia (ISC)) e o ensaio de resiliência como índices para quantificar as alterações de resistência de solos compactados após a percolação de soluções salinas. A hipótese deste estudo se baseia no fato que a resistência dos solos compactados pode ser influenciada com a presença de soluções salinas devido às modificações que ocorrem na estrutura das argilas em função do ambiente em que ele se encontra.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Coleta das amostras

A coleta do material deformado foi feita em talude na RJ- 104, Rodovia Amaral Peixoto nº535 no bairro Caramujo, no município de Niterói. Foram coletados por volta de 300 kg de material e foram acondicionados em sacos plásticos até serem levados ao laboratório.

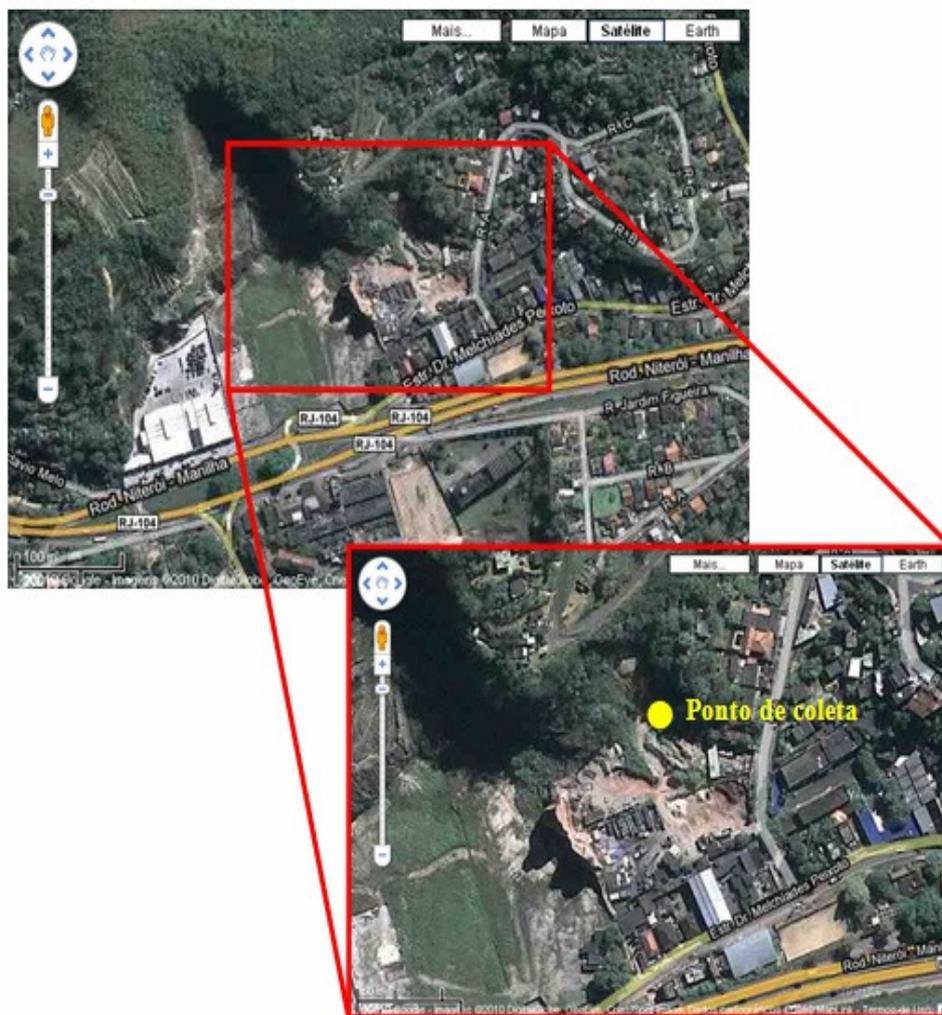


Figura 1. Localização da área de coleta do material usado neste estudo(Fonte da imagem-Google)

O solo coletado foi um solo residual jovem (horizonte C) proveniente de um granito

da Suíte Rio de Janeiro, suíte de idade Neoproterozóica, segundo o mapa geológico (escala 1:400.000) elaborado pelo CPRM lançado em 2001 (Carvalho Filho, 2000).



Figura 2. Coleta de material, dia 12 de fevereiro de 2010.

O material foi coletado na parte inferior da encosta, no material escorregado. Foi utilizado este solos por se tratar de um material utilizado em aterros, pois este material é comercializado para esse fim. Para minimizar problemas de heterogeneidade, esse material antes de ser utilizado nos ensaios foram homogeneizados rigorosamente.

2.2. Procedimentos laboratoriais

A metodologia do trabalho foi composta pela etapa de coleta do material em campo e pelas etapas laboratoriais, que consistiu na caracterização química, física e mineralógica do solo e posterior execução dos ensaios de compactação, sendo adotado o Proctor Normal segundo a norma NBR 7.182/86. Para avaliar o efeito na resistência mecânica foram realizados ensaios de Índice de Suporte Californiano (ISC) ou do inglês Califórnia Bearing Ratio (CBR). Foram realizadas também ensaios de resiliência e análises micromorfológicas.

A seguir foi realizado um novo ensaio de compactação em amostras homogenizadas com soluções salinas (cloreto de sódio) e determinado o Índice de resistência (CBR) para se avaliar o grau de variação da resistência de solos compactados em ambientes salinos e não salinos. A submersão dos cilindros compactados também foi feita em solução salina (35000 ppm de cloreto de sódio), buscando modelar a situação com a utilização de água do mar no ensaio. Foi feito também limites de Atterberg em amostra com a solução salina de 35000 ppm para observar uma possível diferença.

Foi realizado também ensaio triaxial de resiliência em amostra sem solução salina e em amostra com a solução salina, objetivando observar variações de comportamento dos materiais em ambiente de diferentes condições geoquímicas.

O ensaio de resiliência também foi realizado em uma amostra com solução salina intermediária de 12000 ppm de NaCl. Ressalta-se que essas soluções salinas foram preparadas com água destilada.

2.2.1. Ensaios físicos

As análises físicas consistiram da granulometria, determinação da densidade real dos grãos e Limites de Atterberg.

2.2.1.1. Análise granulométrica

A análise granulométrica de partículas sólidas compreende a determinação da

distribuição do tamanho das mesmas, bem como da frequência com que ocorrem em uma determinada classe ou faixa de tamanho, o ensaio foi feito segundo a norma NBR 7181 (ABNT, 1984). A norma preceitua o método para análise granulométrica por peneiramento e por sedimentação.

2.2.1.2. Determinação da densidade real dos grãos

Densidade real dos grãos é a relação da massa da partícula sólida e o seu volume em relação a água destilada a 4 ° C. O ensaio foi feito com o solo que passa na peneira de 4,8 mm (na análise granulométrica), e utilizado picnômetros, conforme norma NBR 6508 (ABNT, 1984).

2.2.1.3. Limites de Atterberg

Os Limites de Atterberg são limites de consistência dos materiais e visam caracterizar a interação do solo com a água. Os limites de Atterberg são: limite de liquidez (LL) e limite de plasticidade (LP).

2.2.1.3.1. Limite de Liquidez

O limite de liquidez é o limite entre o estado líquido e o estado plástico. O ensaio foi executado segundo a NBR 6459 (ABNT, 1984).

2.2.1.3.2. Limite de Plasticidade

O limite de plasticidade é o limite entre o estado plástico e semi-sólido, ou seja, à partir desse momento o material começa a perder a capacidade de ser moldado e passa a ficar quebradiço. O ensaio foi executado segundo a NBR 7180 (ABNT, 1984).

2.2.1.3.3. Índice de Plasticidade

O índice de plasticidade se comporta na faixa do estado plástico, e é obtido através da diferença entre o limite de liquidez e o limite de plasticidade.

$$IP = LL - LP \quad \text{(Equação 1)}$$

Onde:

IP – Índice de Plasticidade

LL – Limite de Liquidez

LP – Limite de Plasticidade

O índice de plasticidade é dado em porcentagem, quanto maior for seu resultado, mais plástico será o solo. Quando o limite de liquidez ou o limite de plasticidade não forem possíveis de se determinar, significa que o solo é NP (não-plástico).

2.2.2. Caracterização mineralógica

A caracterização mineralógica do solo foi obtida através da difratometria de raios-X. Após a separação do material fino do solo por meio da decantação, foi preparada uma pasta com esse material para a confecção de lâminas, utilizando o método do esfregaço (Theisen & Harvard, 1962). Após este procedimento, os materiais foram submetidos ao difratômetro Rigaku – Termoflex velocidade de 1°/min, ddp de 40kV e corrente de 30mA.

As lâminas com as amostras foram submetidas a uma atmosfera saturada de etilenoglicol por 4 horas para determinar os minerais que expandem. E, logo após, foram aquecidas a temperaturas de 500°C em forno tipo mufla para a identificação de possível colapso e/ou destruição da estrutura dos argilominerais.

A interpretação da análise é feita através das posições angulares, representadas por picos nos difratogramas. Os valores angulares são convertidos em graus de 2θ para espaçamento interplanar (d em Å), através das tabelas com resoluções diretas da Lei de Bragg (Formoso, 1969). Os minerais são identificados de acordo com o valor (d) do pico de maior intensidade, onde são comparados com tabelas específicas com os valores (d) correspondentes a cada mineral.

2.2.3. Ensaios de compactação Proctor Normal

O solo coletado foi disposto no laboratório para que fosse seco ao ar para os procedimentos de compactação. A etapa de secagem durou por volta de cinco dias.

Após a secagem ao ar e realização da caracterização do material, foi feita a compactação do solo. A seguir esse ensaio foi repetido com solução salina com a concentração de 35000 ppm misturada à água destilada, para equivaler à água do mar que possui em média essa concentração de NaCl, já que o trabalho tem como objetivo a avaliação do efeito da presença da água do mar em aterros em zonas costeiras.

O material foi compactado com a solução salina para que tenhamos o resultado mais crítico que pudermos encontrar, pois ale de homogenizados com a solução salina, o recipiente para a submersão dos cilindros estão com a solução salina também.

Para o ensaio de compactação foi utilizado o método de compactação Proctor Normal. Através dele é possível obter a variação da massa específica seca e o teor de umidade na compactação. Busca-se a umidade e a massa específica seca ótimas.

A metodologia foi desenvolvida pelo engenheiro Ralph Proctor em 1933, sendo normatizada nos Estados Unidos pela A.A.S.H.T.O. - American Association of State Highway and Transportation Officials e no Brasil sua execução segue a norma ABNT NBR 7182/1986 - Ensaio de Compactação.

O ensaio consiste em compactar uma porção de solo em um cilindro com volume conhecido, fazendo-se variar a umidade de forma a obter o ponto de compactação máxima no qual se obtêm a umidade ótima de compactação. O ensaio pode ser realizado em três níveis de energia de compactação, conforme as especificações da obra: normal, intermediária e modificada, conforme a Tabela 1.

Tabela 1 – Energias de compactação.

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

Fonte: NBR 7182/86.

O ensaio de compactação foi feito segundo a NBR 7182 (ABNT, 1986) que prescreve todo o método e materiais utilizados para a compactação.

A curva que representa o gráfico de compactação esta representada a seguir.

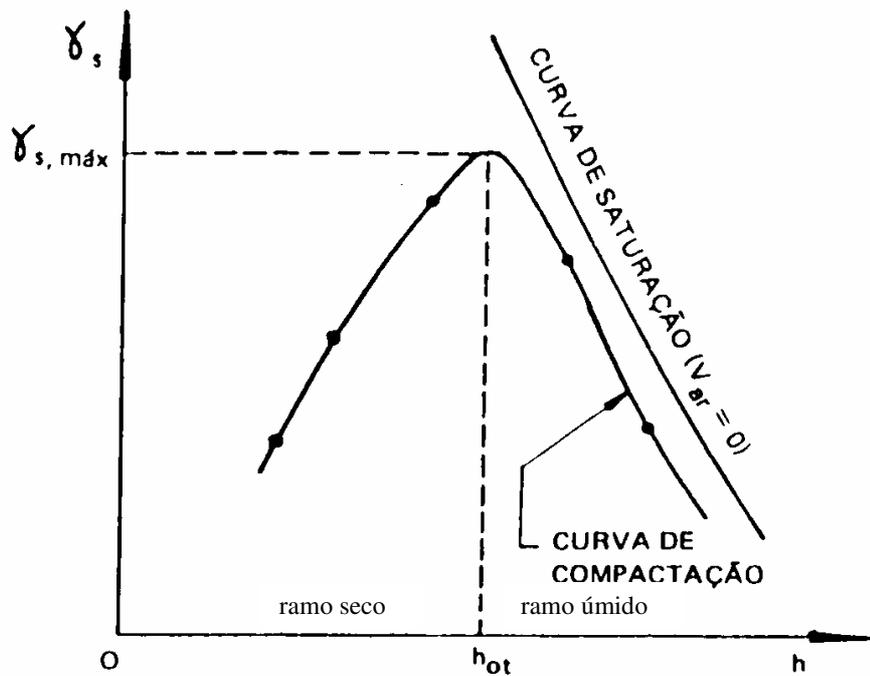


Figura 3. Figura da curva de compactação

O primeiro lote de ensaios foi feito sem a influência da solução salina. O material foi homogeneizado com determinadas quantidades de água e foram compactados cinco corpos de prova em cilindro grande e utilizado soquete grande. Para cada cilindro foram efetuados 12 golpes por camadas, sendo 5 camadas por cilindro, ou seja, foi utilizada a energia normal. A figura 3 ilustra o processo.

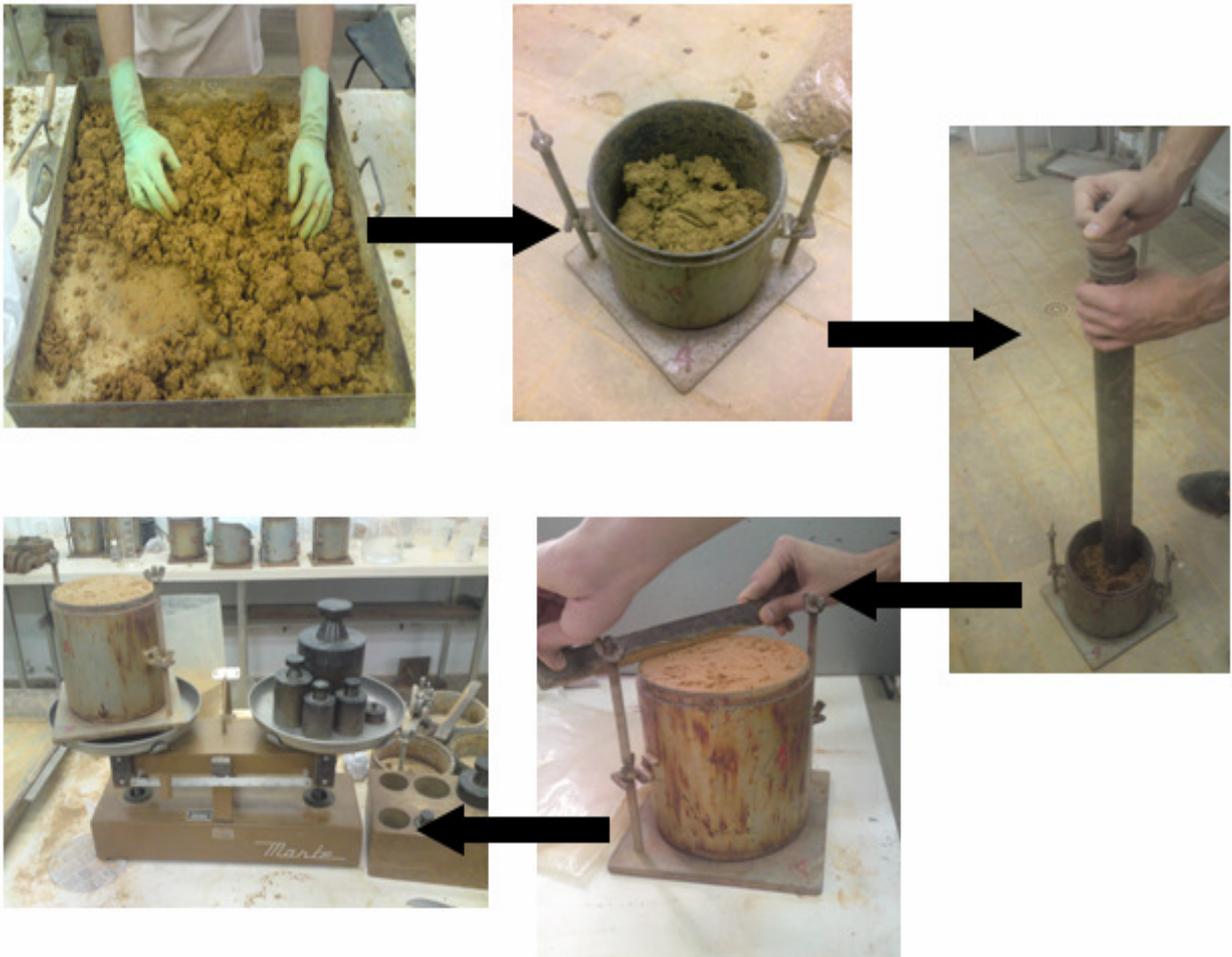


Figura 4. Ilustração das etapas de homogeneização, colocação de uma camada no cilindro, golpe com o soquete, raspagem com a régua biselada e pesagem do corpo de prova.

2.2.4. Micromorfologia

A micromorfologia é uma técnica de estudo de amostras não deformadas de solo que permite, com a ajuda de técnicas microscópicas e ultramicroscópicas, identificar os constituintes elementares e as diversas associações destes (esqueleto, plasma, nódulos, etc.), além de permitir precisar suas relações mútuas no espaço e, muitas vezes, no tempo. Para o preparo de uma lâmina é necessária a coleta do material indeformado em campo, impregnação com resina para seu endurecimento e a posterior laminação. Com as

respectivas lâminas prontas é possível realizar a sua interpretação no microscópio

A micromorfologia está documentada desde a década de quarenta do século passado (Kubiena, 1938). Trabalhos pioneiros usando análise de imagens para quantificar e caracterizar a porosidade de amostras de solos impregnadas foram realizados por Jongerius *et al.* (1972) e Murphy *et al.* (1977 a, b). Bouma *et al.* (1977) introduziram o uso desta técnica no estudo da continuidade dos poros. Bullock & Thomasson (1979) fizeram comparações de medidas de macroporosidade, derivadas da análise de imagens, com àquelas oriundas da retenção de água, método comumente utilizado na determinação da distribuição do tamanho de poros. Segundo Pires (2006), no Brasil os trabalhos pioneiros foram realizados na década de setenta em estudos:

- (i) a respeito de cutans (revestimento de argilas) feito por Falci & Mendes (1973);
- (ii) com relação às técnicas de impregnação de amostras de solo (Mendes *et al.*, 1973);
- (iii) investigando a gênese de solos do município de Piracicaba, SP (Perecin & Campos, 1976);
- (iv) avaliando a gênese de pequenos agregados arredondados constituídos de material fino de um solo de Minas Gerais (Moura Filho & Buol, 1976);
- (v) usando micromorfologia como técnica auxiliar para interpretações pedogenéticas realizado por Dematté *et al.* (1977); e
- (vi) micromorfologia usada como técnica de estudo de solos compactados por Crispim (2007).

O procedimento para a descrição das lâminas micromorfológicas são as seguintes: impregnação e endurecimento da amostra, corte e polimento e posterior leitura em microscópio.

Para a impregnação da amostra, foi feita uma mistura com resina plástica Araldite XGY-1109, 5% de endurecedor HY-951 e 50 a 70g de acetona P.A., e adicionada na caixa onde se encontrava a amostra compactada de solo.

Com a polimerização, a amostra tornou-se rija, resistente, o que permitiu proceder o seu corte e a sua laminação. Foi necessária condição de vácuo, para melhor penetração da resina na amostra (com a utilização de um dessecador conectado a um compressor). O

equipamento utilizado foi um compressor de vácuo modelo CL nº BD – 2343 DIA-PUMP da FANEM LTDA, voltagem 110 Kw 0,165. Faixa de leitura do manômetro 0 a 2 kgf/cm².

Depois do endurecimento da amostra deu-se sequência à sua laminação e, por último, cada fatia foi polida em um disco em rotação com abrasivo e água, até alcançar uma superfície lisa e plana o suficiente para ser colada em lâmina de vidro. As amostras coladas foram desbastadas em serras especiais até alcançar alguns milímetros. Finalmente o material está adequado para estudos microscópicos. A figura 5 ilustra o processo de confecção das lâminas.

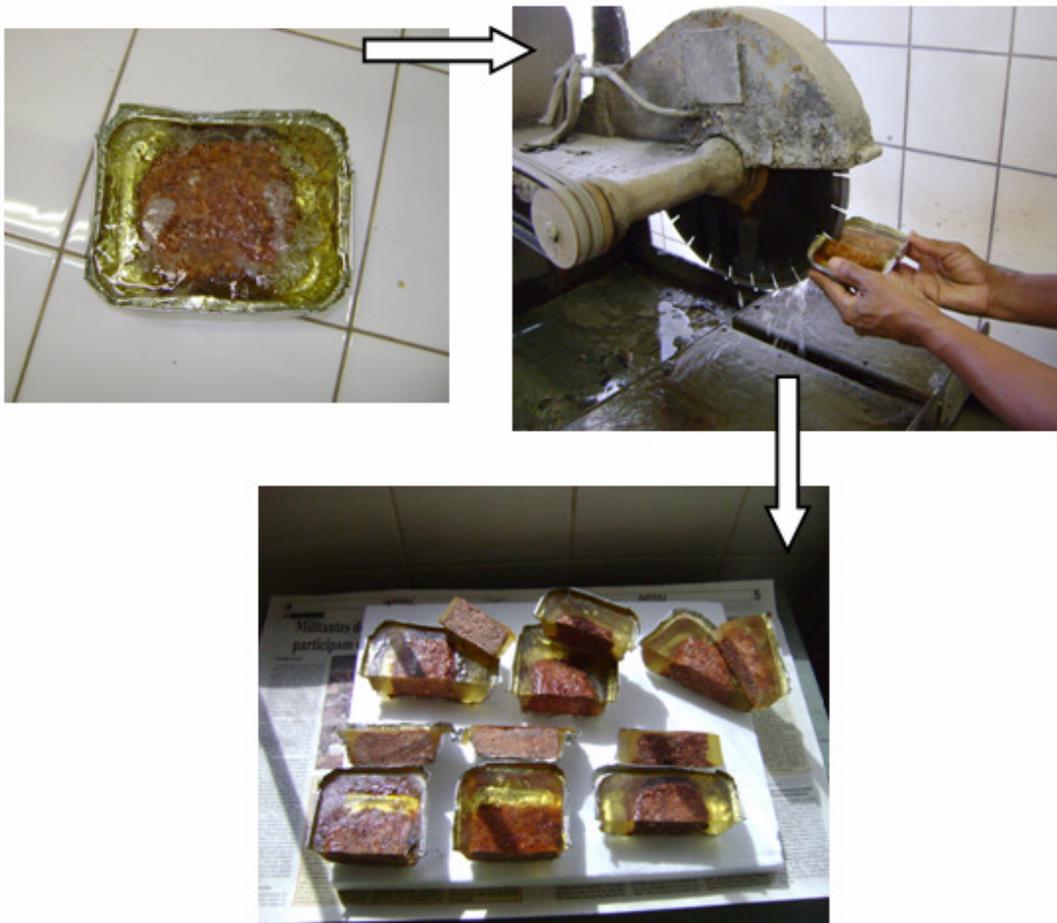


Figura 5. Ilustração das etapas contendo as etapas da confecção das lâminas.

2.2.5. Ensaio CBR

Após a compactação dos cinco corpos de prova, eles foram submersos em recipientes com água, onde ficaram por quatro dias, sendo monitorados de 24 em 24 horas. No quarto dia, cada corpo de prova é retirado do recipiente, levado ao aparelho CBR e determinado seu índice de resistência e expansibilidade. As medições efetuadas de 24 em 24 horas durante toda semana (de segunda à sexta-feira) são utilizadas para o cálculo da expansão e o posterior gráfico de expansão e água absorvida.

O mesmo procedimento acima descrito foi feito com o material homogeneizado com a solução salina e submetido à submersão no recipiente com a solução salina.

O Índice de Suporte Califórnia (ISC ou CBR – Califórnia Bearing Ratio) é a relação em porcentagem, entre a pressão exercida por um pistão de diâmetro padronizado necessária à penetração no solo até determinado ponto (0,1” e 0,2”) e a pressão necessária para que o mesmo pistão penetre a mesma quantidade em solo-padrão de brita graduada.

Através do ensaio de CBR é possível conhecer qual será a expansão de um solo quando estiver saturado.

Apesar de seu caráter empírico, o ensaio CBR é mundialmente difundido e serve de base para o estudo da perda de resistência de um solo compactado.

O ensaio foi realizado segundo a norma da ABNT NBR 9895/1987 nos dez corpos de prova que haviam sido compactados. Conforme descrito, foram executados ensaios de compactação e CBR em cinco amostras sem solução salina e depois, um segundo lote de ensaio, com solução salina de 35000 ppm de NaCl. A figura 4 ilustra o processo de realização do ensaio.

Após a realização do CBR, foi retirada uma pequena amostra do solo compactado para se fazer sua impregnação para a confecção de lâminas delgadas de micromorfologia.



Figura 6. Ilustração das etapas de submersão dos corpos de prova e realização do CBR.

2.2.6. Ensaio Triaxial de Resiliência

A medida dos deslocamentos verticais sofridos por um pavimento sujeito à ação de cargas transientes originadas pela passagem de rodas de veículos em sua superfície foi realizada de forma pioneira por Porter e Barton no órgão rodoviário do estado da Califórnia, em 1938, através da instalação de sensores mecano-eletromagnéticos dentro dos pavimentos (Medina, 1997)

Em 1951, Francis Hveem realizou o primeiro estudo sistemático para determinar a deformabilidade de pavimentos, estabelecendo valores máximos admissíveis de deflexões para a vida de fadiga satisfatória de diferentes tipos de pavimentos. Hveem relacionou o trincamento progressivo dos revestimentos asfálticos à deformação resiliente (elástica) das camadas dos pavimentos. O termo resiliente foi usado por Hveem em lugar de deformação elástica sob o argumento de que as deformações nos pavimentos são muito maiores do que as que ocorrem nos sólidos elásticos com que lida o engenheiro – concreto, aço, etc. (Medina, 1997).

No âmbito brasileiro, os estudos de laboratório sobre resiliência dos solos, iniciados em 1977 na COPPE/UFRJ, tiveram como referência fundamental o Special Report 162 do TRB de 1975 (MEDINA e MOTTA, 2005). Na elaboração de várias teses de mestrado e doutorado no estudo da mecânica dos pavimentos, foi obtido grande quantidade de informações sobre o comportamento em carregamentos cíclicos de solos brasileiros (como em SVENSON, 1980, com solos argilosos; PREUSSLER, 1978, com solos arenosos) bem como, em misturas betuminosas (como em PINTO, 1991) e em bases cimentadas (como em CERATTI, 1991). A partir destes dados, foi possível se obter parâmetros de resiliência e modelos de fadiga, adotados para dimensionamento de reforços dos pavimentos flexíveis por PREUSSLER (1983) e nos dimensionamentos de pavimento novo (MOTTA, 1991).

O módulo de resiliência (MR) de solos é a relação entre a tensão-desvio (σ_d), aplicada repetidamente em uma amostra de solo e a correspondente deformação específica vertical recuperável ou resiliente (ϵ_R), conforme a equação seguinte:

$$MR = \frac{\sigma_d}{\epsilon_R} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

MR – Módulo de Resiliência

σ_d – Tensão desvio

ϵ_R – Deformação específica resiliente

A deformação resiliente é definida na Mecânica dos Pavimentos como sendo a deformação elástica ou recuperável dos solos e das estruturas de pavimentos sob a ação de cargas repetidas. Reflexo de tais deformações repetidas podem ser vistas nos revestimentos asfálticos que apresentam trincamento progressivo e às vezes prematuro (Marangon, 2004).

O ensaio é realizado em duas etapas: a etapa do condicionamento e a etapa do ensaio propriamente dito. O condicionamento tem como objetivo a redução da influência das deformações plásticas e da história de tensões do próprio solo. O ensaio propriamente dito é realizado logo em seguida aplicando as tensões desvio e confinante, medindo assim suas deformações resilientes.

O método utilizado na realização do ensaio triaxial de resiliência é ditado na norma DNER-ME 131/94 e o ensaio foi realizado no Laboratório de Pavimentação da COOPE/UFRJ, utilizando o equipamento triaxial de carga repetida mostrada na figura 6.



Figura 7. Ensaio Triaxial de Resiliência.

3. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

3.1. Ensaio Físicos

3.1.1. Análise Granulométrica, Densidade real dos grãos e limites de Atterberg

Os primeiros ensaios realizados foram os físicos, objetivando caracterizar o solo. O solo foi identificado como areno-siltoso com base na Curva Granulométrica. As porcentagens foram as seguintes: Argila – 9%, Silte – 37%, Areia Fina – 8%, Areia Média – 9%, Areia Grossa – 21% e Pedregulho – 16%.

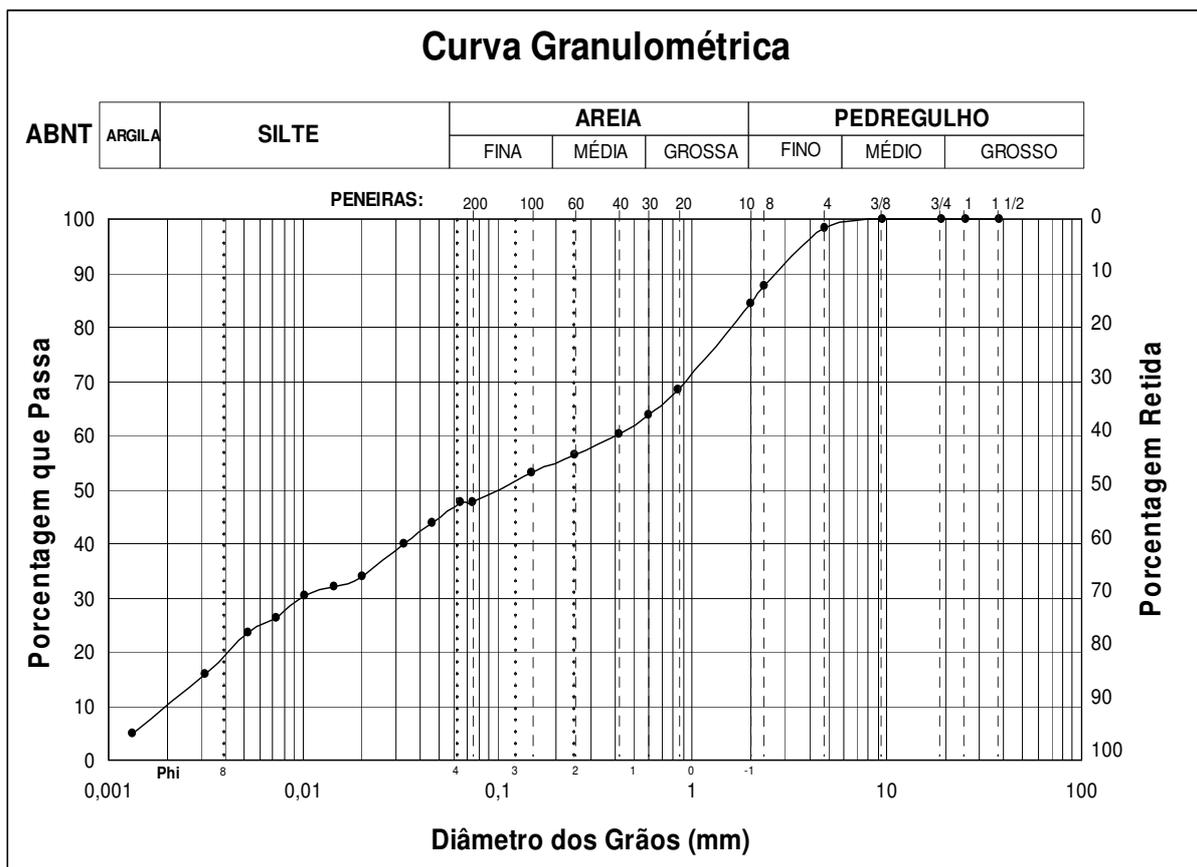


Figura 7. Curva granulométrica do solo utilizado no presente estudo.

Obtivemos na densidade real dos grãos uma média de 2,64.

Os limites de Atterberg foram determinados com o intuito de estudar o comportamento do solo com a mudança dos teores de umidade. Foram determinados também limites de Atterberg em amostras com a solução salina de 35000 ppm. Os resultados estão dispostos na tabela 2.

Tabela 2. Limites de Atterberg do solo estudado.

Amostra	LL	LP	IP
Sem solução	51%	29%	22%
Com solução	46%	26%	20%

Observa-se que o Índice de Plasticidade do material com solução salina é menor do que o do material somente com água.

Na classificação SUCS (Sistema Unificado de Classificação dos Solos) o solo estudado é classificado como SC (areia argilosa).

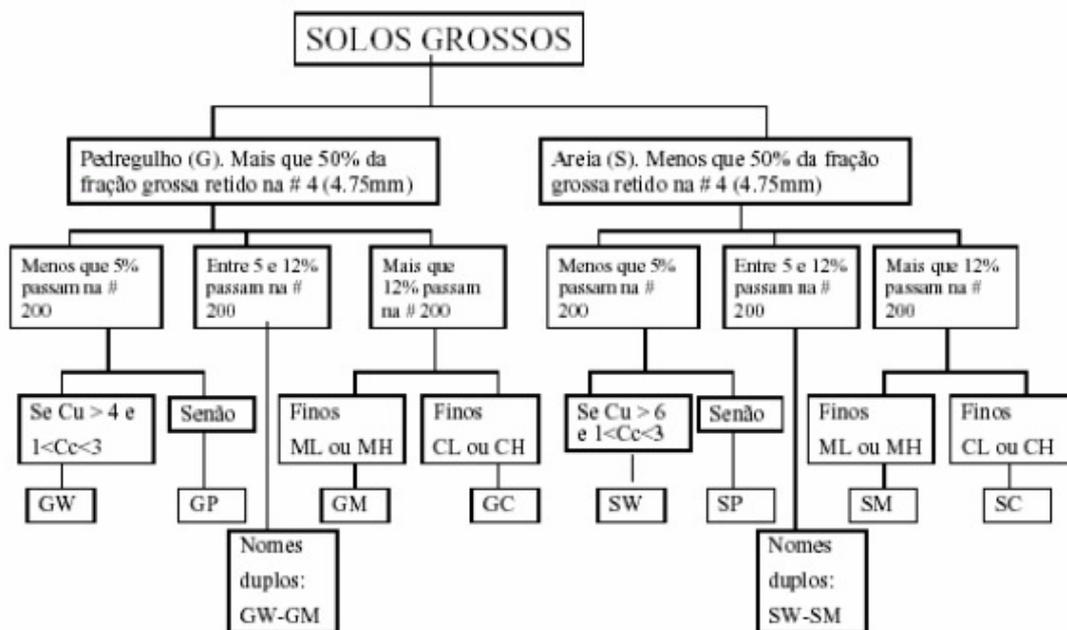


Figura 8. Classificação de solos de acordo com o SUCS (extraído de MACHADO, 2002)

3.1.2. Ensaios Mineralógicos

A composição mineralógica da fração argila do solo estudado possui uma predominância de caulinita e traços de ilita.

3.1.3. Ensaio de Compactação

Os gráficos 1 e 2 são referentes à compactação Proctor. Foram realizados cinco pontos com diferentes umidades cada um. Pode-se observar que o teor de umidade ótima se manteve quase que o mesmo para as amostras compactadas sem solução para as amostras compactadas com solução salina, ou seja, 19% para a amostra com água pura e 18% para a amostra com solução salina. Porém a massa específica seca apresentou expressiva queda do material com salinidade. Observa-se que a massa específica aparente seca do material sem NaCl é de $1,63 \text{ g/cm}^3$ e de $1,18 \text{ g/cm}^3$ para o material com NaCl.

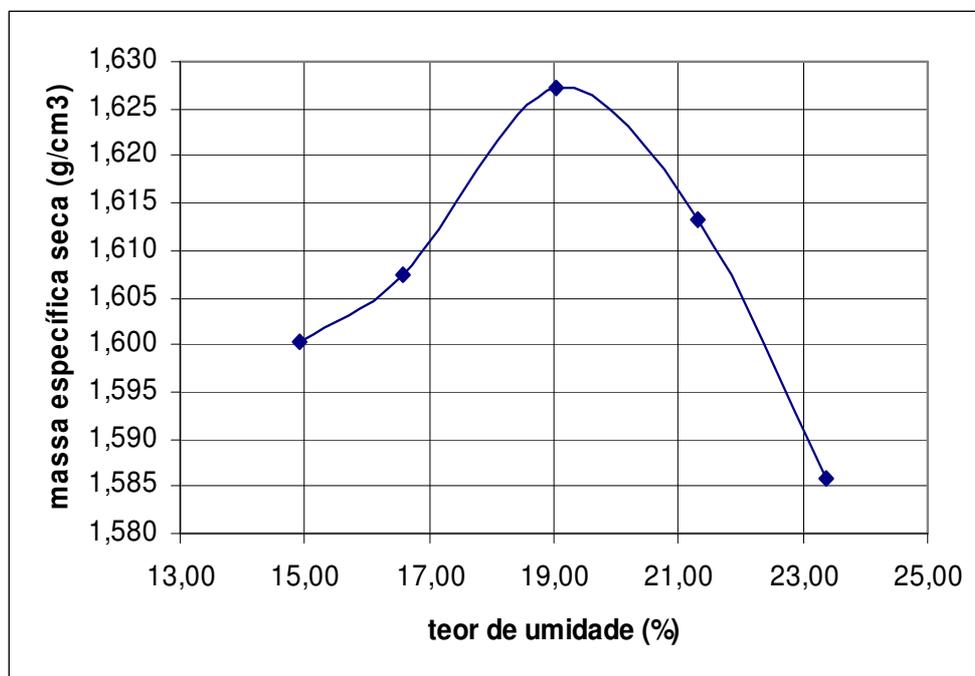


Gráfico 1. Gráfico do ensaio de compactação com água sem NaCl do solo deste estudo.

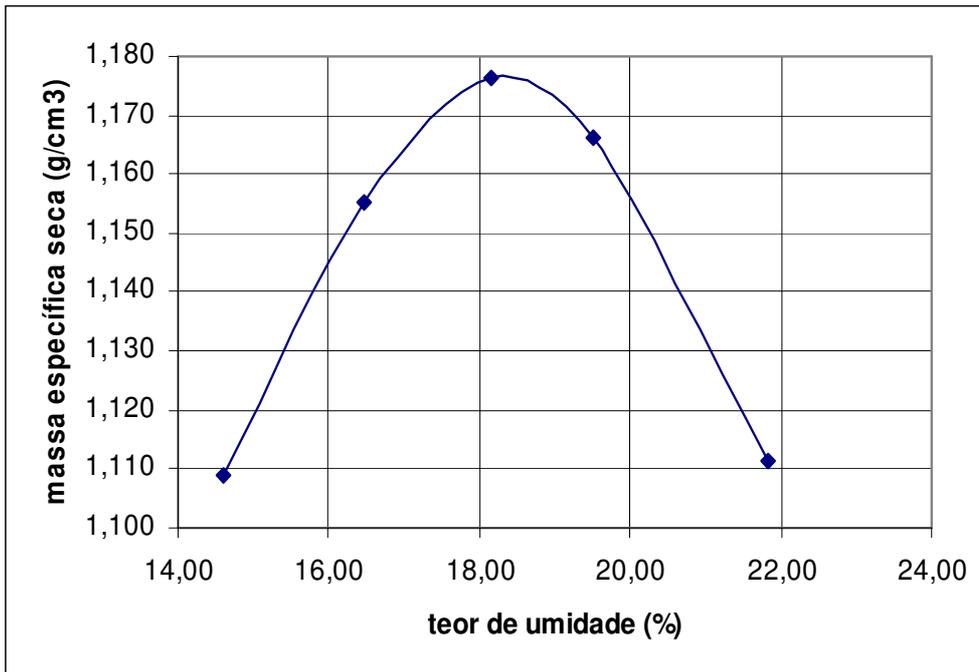


Gráfico 2. Gráfico do ensaio de compactação com água e solução de NaCl do solo deste estudo.

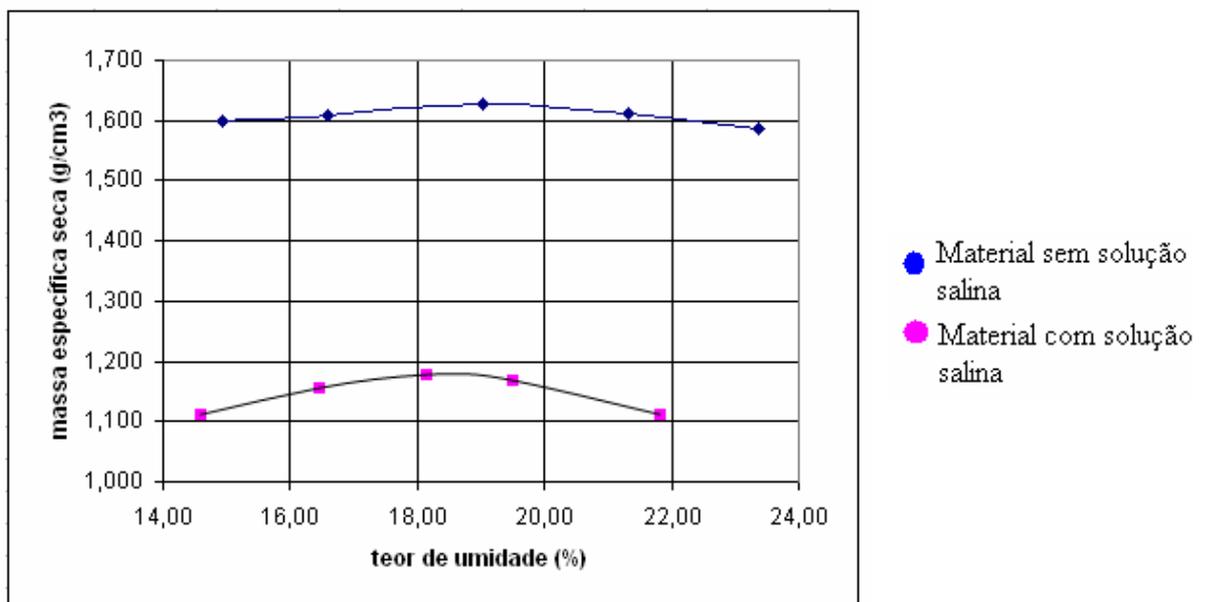


Gráfico 3. Gráfico do ensaio de compactação com as duas curvas do solo deste estudo .

Com a comparação acima, podemos observar melhor essa diferença entre os materiais sem salinidade e com salinidade.

3.1.4. Micromorfologia

Foram feitas 6 lâminas micromorfológicas com o intuito de se observar em variações de estrutura dos solos, compactados sem mistura salina e com salinidade. Foram coletadas três amostras indeformadas do cilindro compactado com água e mais três amostras de material compactado com solução salina, essas três amostras de cada cilindro foram retiradas, respectivamente, do ramo seco, da umidade ótima e do ramo úmido da curva de compactação. As fotos encontram-se nas figuras 9 e 10.

O material é composto basicamente de plasma (material argiloso) e quartzo. Encontram-se, também pouca mica e feldspato.

As lâminas estão orientadas na vertical, conforme a compactação.

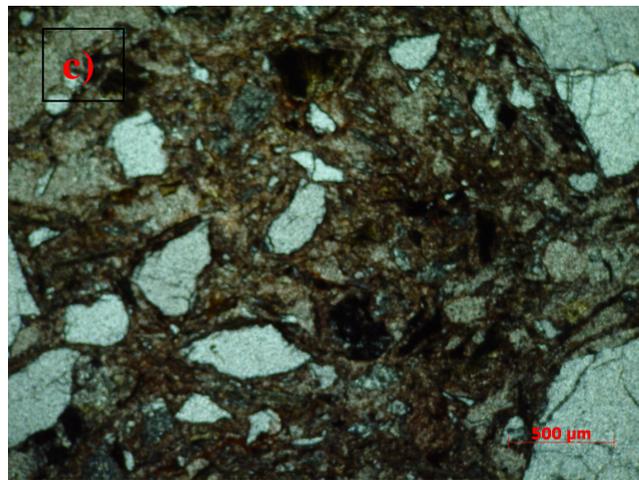
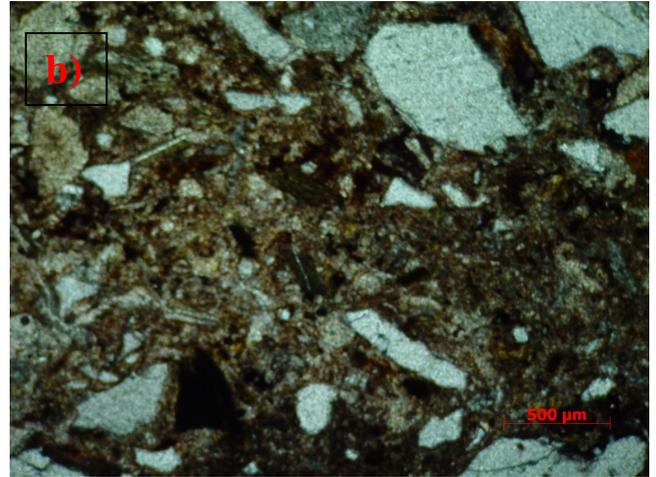
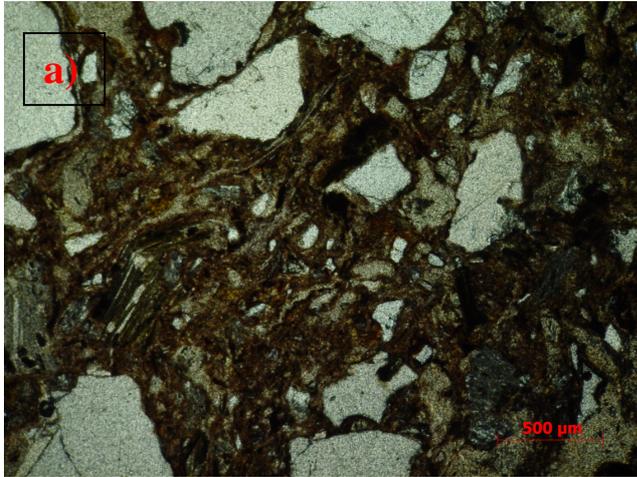


Figura 9. Fotos das lâminas micromorfológicas do material compactado sem salinidade (a- ramo seco, b- umidade ótima, c- ramo úmido).

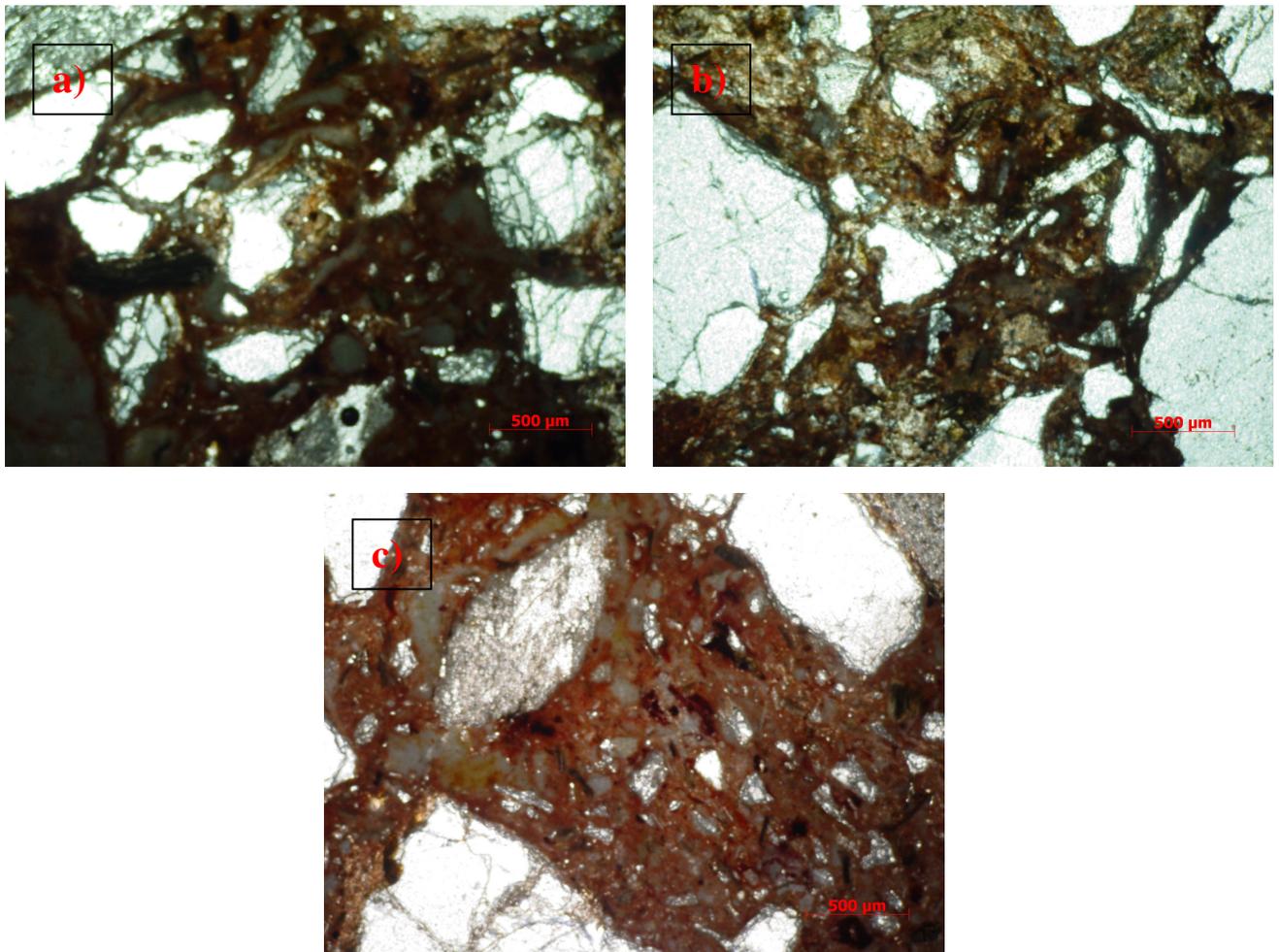


Figura 10. Fotos das lâminas micromorfológicas do material compactado com salinidade (a- ramo seco, b- umidade ótima, c- ramo úmido).

Esta análise não foi elucidativa, pois não foi observada nenhuma alteração e/ou diferença entre as lâminas do material compactado sem solução e do material compactado com solução salina, possivelmente porque o solo é muito granular. Talvez o mais indicado para se ver esse tipo de estrutura seria a utilização de MEV (Microscópio Eletrônico de Varredura).

3.1.5. Ensaio CBR

O ensaio CBR foi utilizado para determinação do índice de resistência dos corpos compactados. Pode-se observar uma diminuição da resistência do material, devido a

queda da curva do Gráfico 5 em relação ao Gráfico 4. O valor do CBR para o material compactado sem NaCl foi de 7% e o valor do material compactado com NaCl foi de 3%.

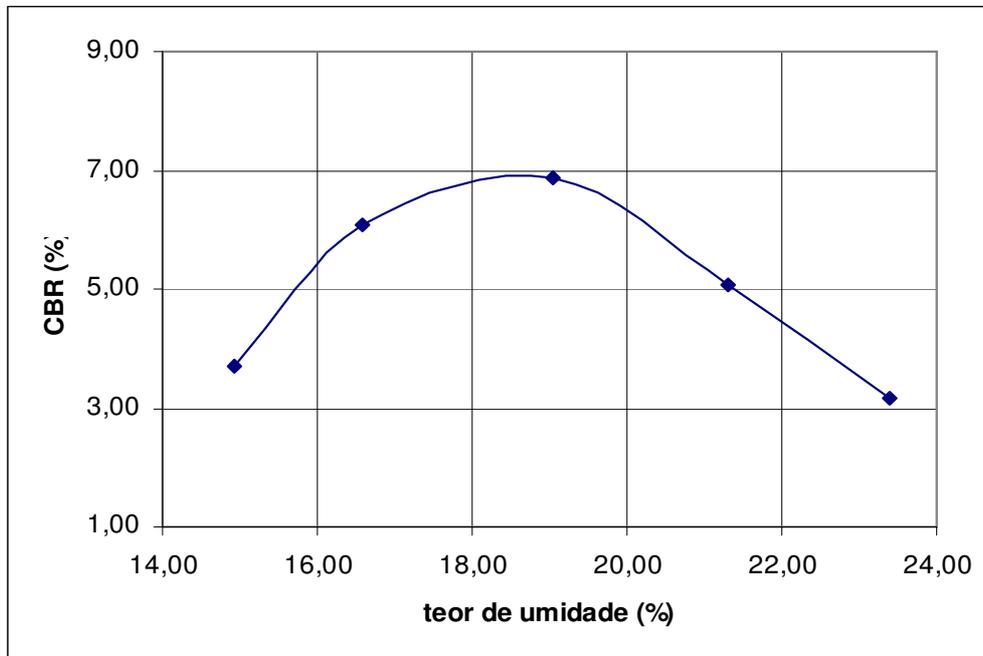


Gráfico 4. Ensaio CBR para material deste estudo compactado sem NaCl do solo deste estudo.

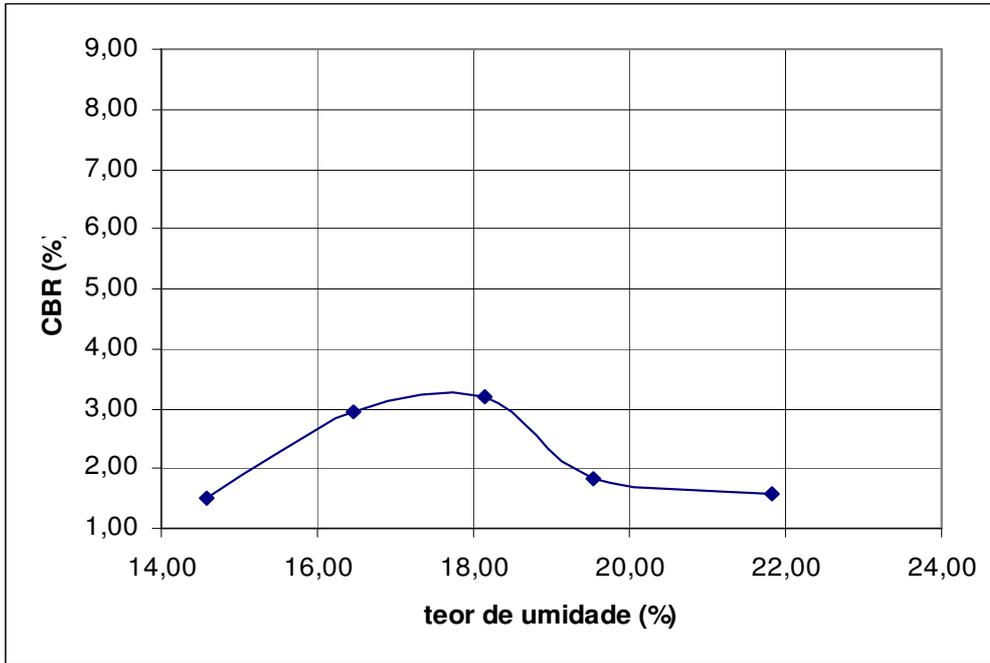


Gráfico 5. Ensaio CBR para material o compactado com NaCl do solo deste estudo .

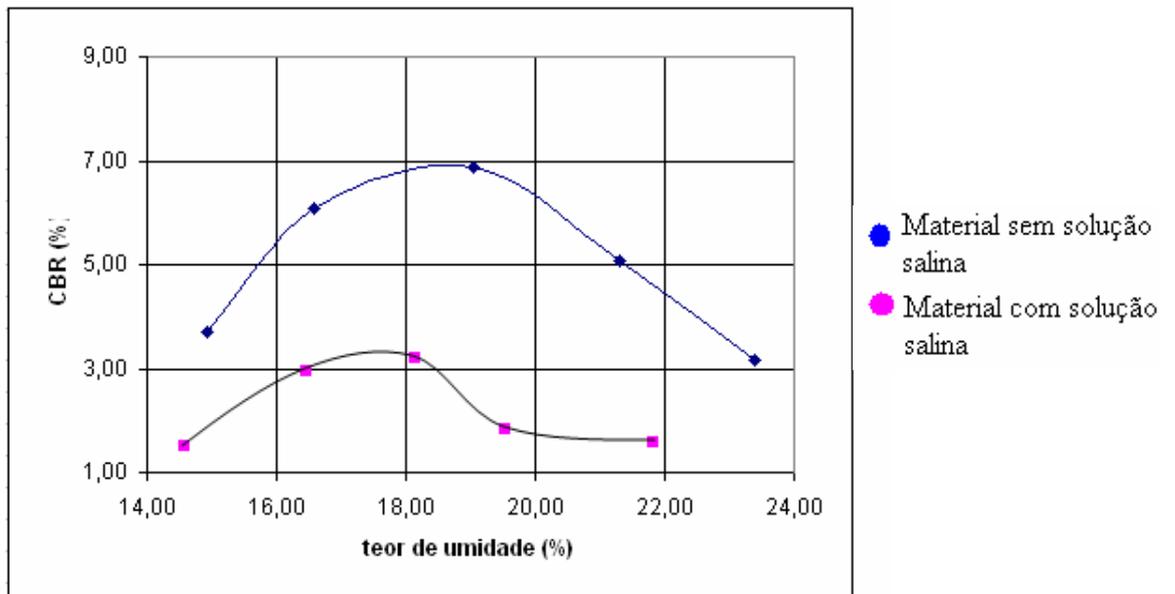


Gráfico 6. Gráfico do ensaio CBR com as duas curvas do solo deste estudo.

O gráfico 6 nos mostra a diferença entre os valores de CBR nos materiais compactados sem solução e com solução salina. A curva em rosa, que representa o material com solução salina, tem os valores menores do que a curva em azul, que representa o material sem solução.

3.1.6. Expansão e Absorção de água

A expansão do material e a absorção de água foram medidas durante a submersão dos corpos de prova para a realização do CBR. A expansão do material sem NaCl foi de 0,0076% (gráfico 7) enquanto que no material com NaCl (gráfico 8) foi de 0,022%, ou seja, o material com a solução salina expandiu um pouco mais do que o material com água pura. O resultados dos dados de água absorvida para o material sem NaCl (gráfico 10) foi de 125g, enquanto que no material com NaCl (gráfico 11) foi em torno de 170g na umidade ótima.

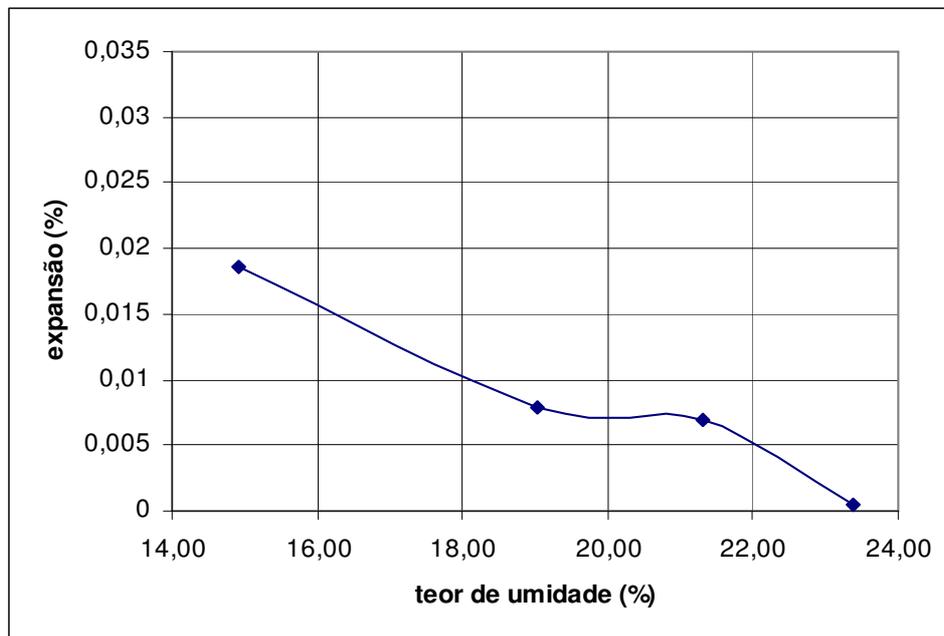


Gráfico 7. Gráfico de Expansão sem NaCl do solo deste estudo.

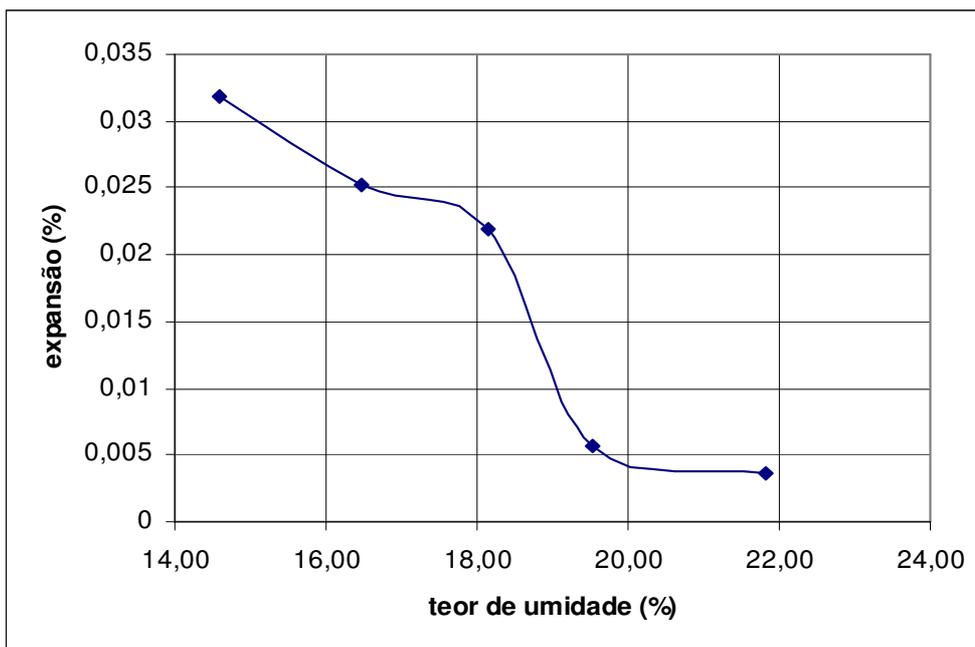


Gráfico 8. Gráfico de Expansão com NaCl do solo deste estudo.

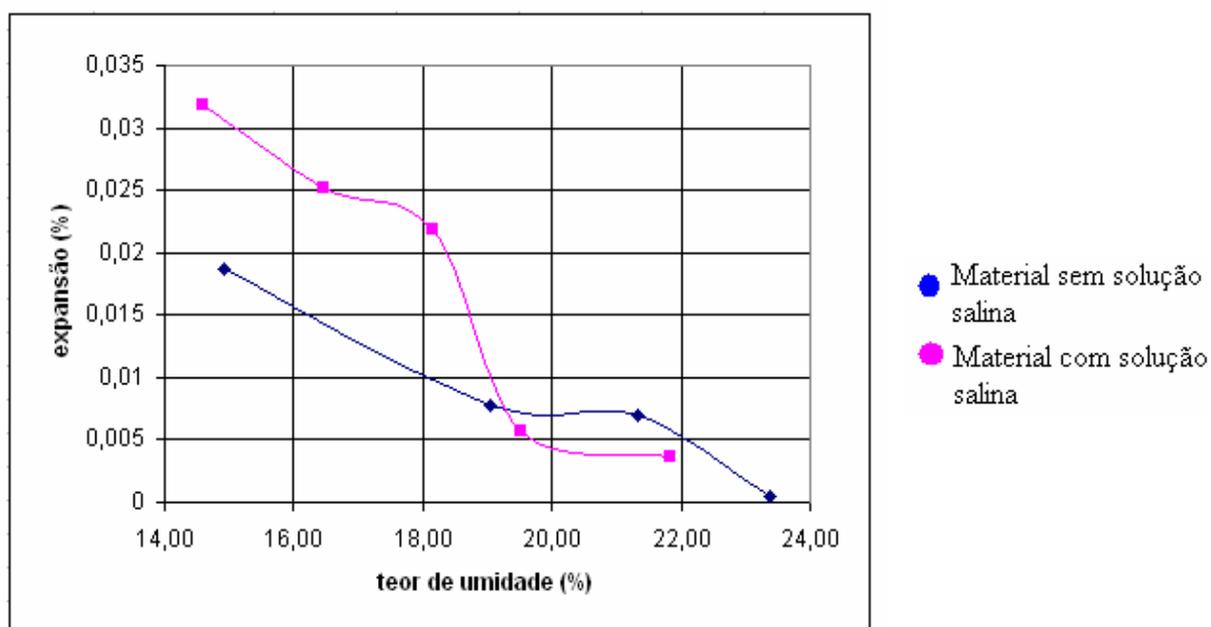


Gráfico 9. Gráfico do ensaio de expansão com as duas curvas do solo deste estudo .

O gráfico da figura mostra as duas curvas do ensaio de expansão no mesmo gráfico, pode-se observar que ambas as curvas começam com valores mais altos e vão aos poucos diminuindo com o aumento do teor de umidade.

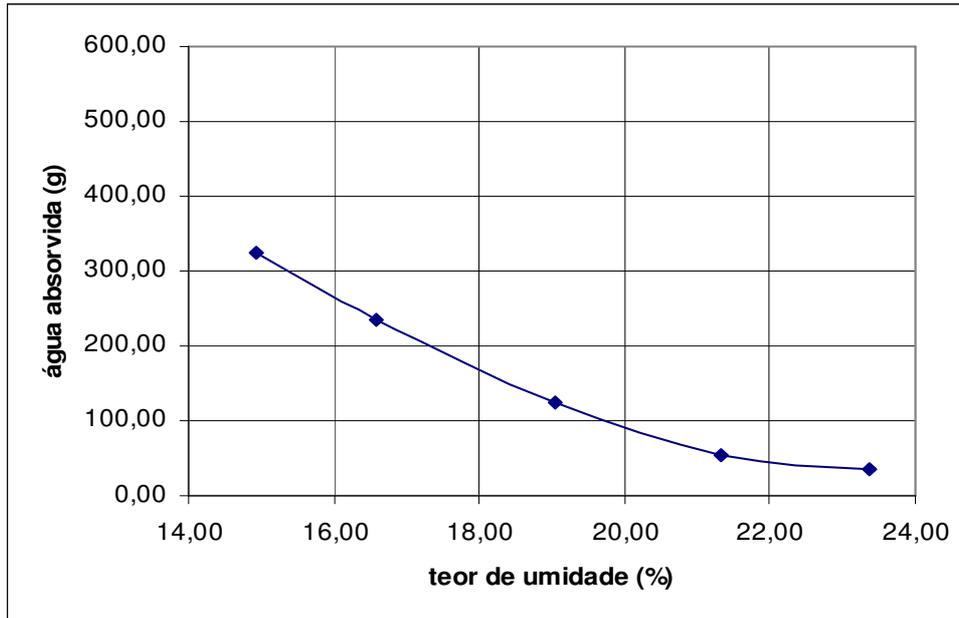


Gráfico 10. Gráfico de Água absorvida sem NaCl do solo deste estudo.

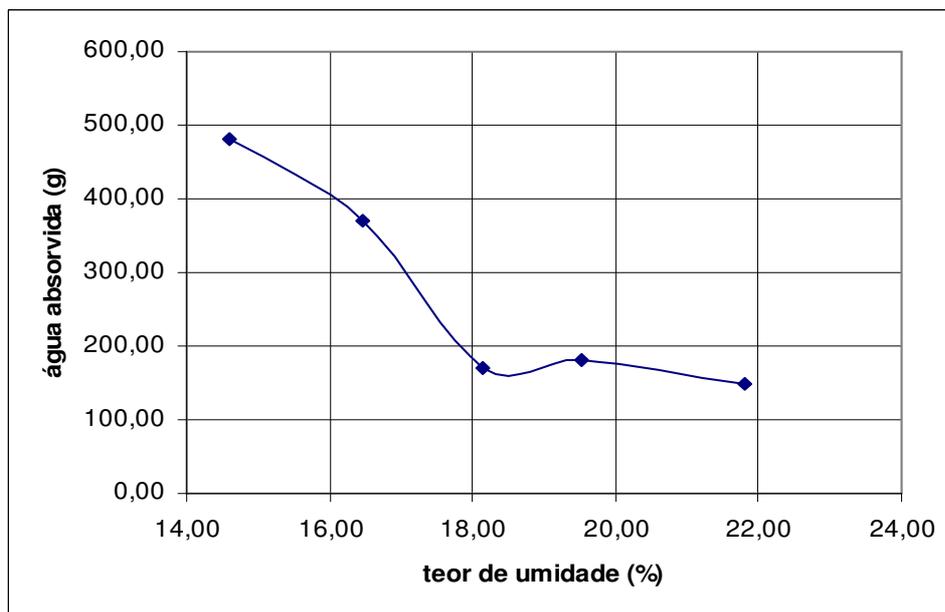


Gráfico 11. Gráfico de Água absorvida com NaCl do solo deste estudo.

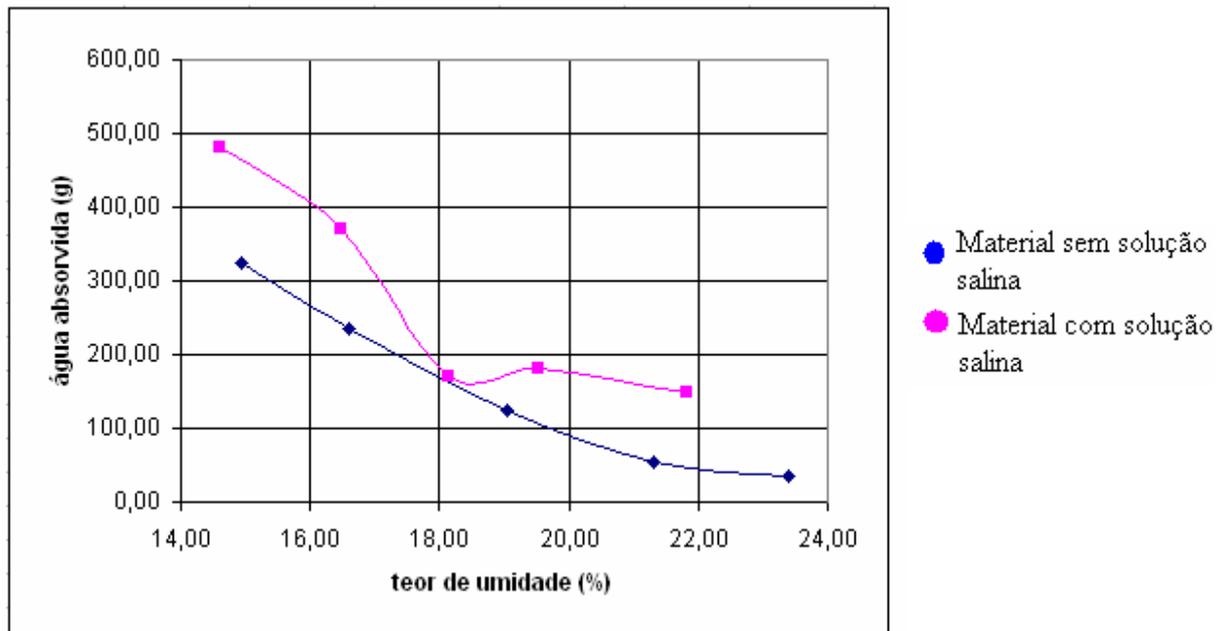


Gráfico 12. Gráfico do ensaio de água absorvida com as duas curvas do solo deste estudo .

O gráfico acima mostra as duas curvas de água absorvida durante a submersão. Novamente os valores iniciais das duas curvas são maiores que os finais, pois os primeiros pontos fazem parte do ramo seco na curva de compactação, logo absorvem mais água que os últimos pontos, que fazem parte do ramo úmido da curva.

3.1.7. Índice de vazios

Por último foram analisados os dados do Índice de vazios. Há uma diferença significativa entre os dois materiais. O material sem NaCl ficou em torno de 0,624 (gráfico 13) enquanto que no material com NaCl (gráfico 14) ficou em torno de 1,247 na umidade ótima. O cálculo utilizado foi:

$$e = \gamma_g / \gamma_s - 1$$

Onde:

γ_g = densidade real dos grãos

γ_s = massa específica seca

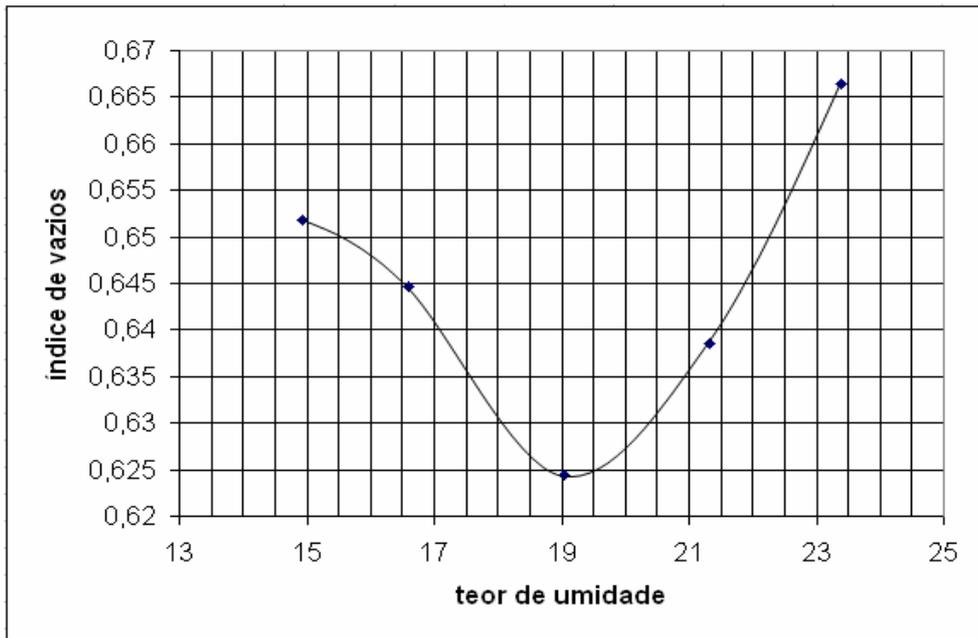


Gráfico 13. Gráfico do Índice de vazios sem NaCl do solo deste estudo .

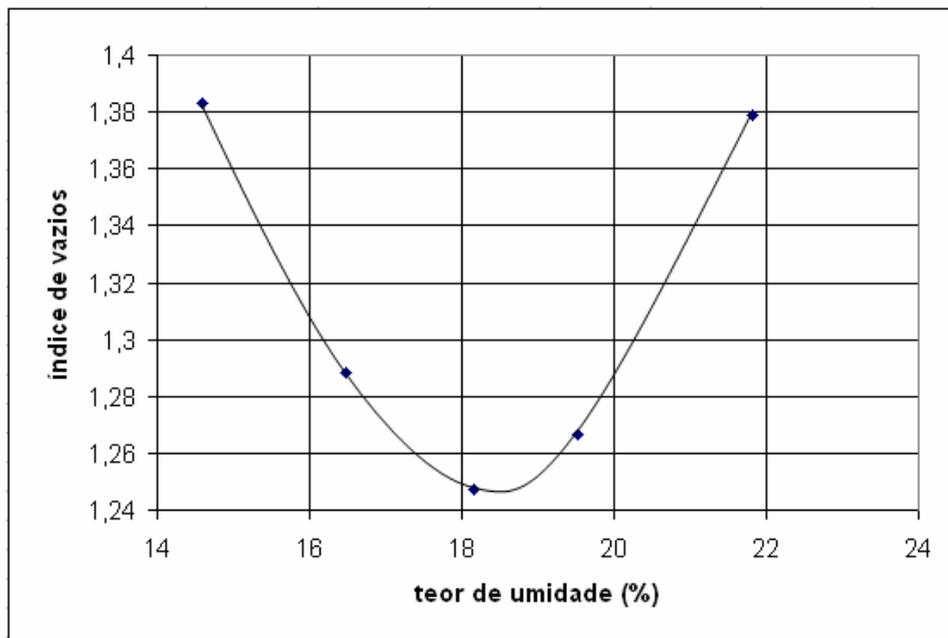


Gráfico 14. Gráfico do Índice de vazios com NaCl do solo deste estudo.

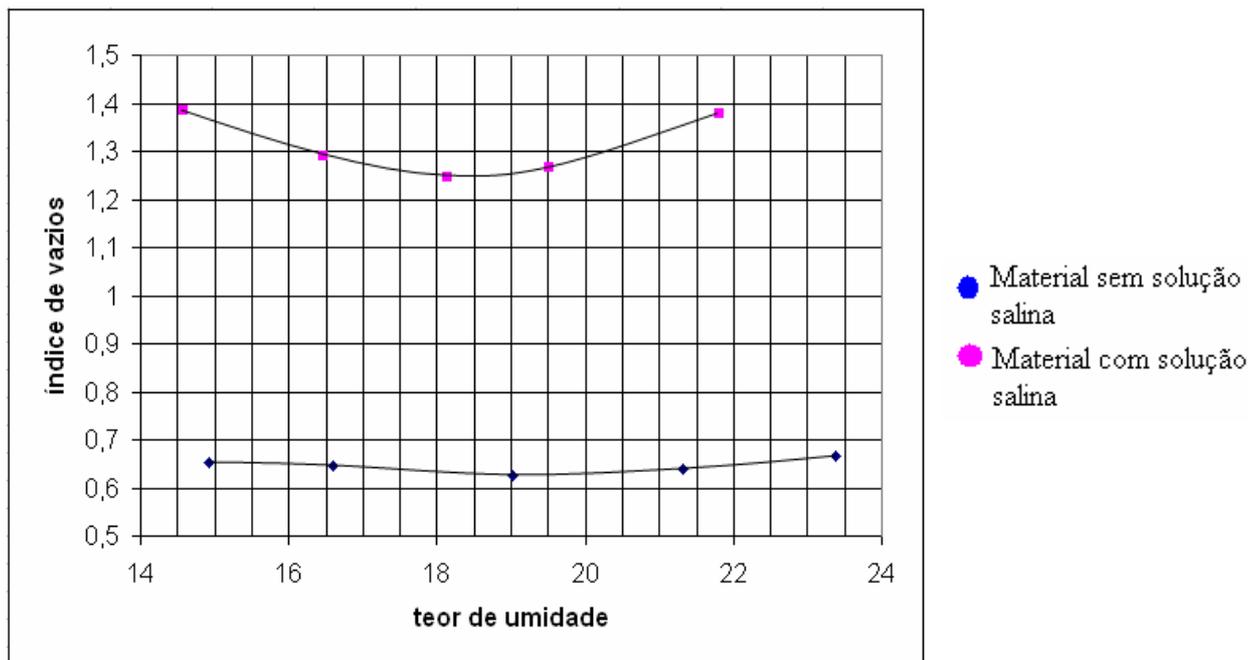


Gráfico 15. Gráfico do índice de vazios com as duas curvas do solo deste estudo.

O gráfico mostra as duas curvas de índice de vazios. Podemos observar que o material com solução salina possui um índice de vazios maior que o material sem solução, isso quer dizer que o material se expandiu mais, visto no ensaio de expansão, com isso o material teve mais espaço para absorver mais água, visto no ensaio de absorção de água. Tudo isso leva à um menor valor de CBR, pois o material com solução salina fica com sua resistência comprometida.

3.1.8. Ensaio Triaxial de Resiliência

Para a realização do ensaio, o material foi homogenizado na umidade ótima e posto em câmara úmida por 24 horas. Os corpos de prova para a realização do ensaio são compactados em moldes diferentes dos utilizados no ensaio de compactação, nesse caso o molde é tripartido para que após a compactação possa ser deformado e colocado no aparelho de triaxial de carga repetida para obtenção do módulo de Resiliência.

Com o corpo de prova no aparelho, foi iniciada a fase de condicionamento, na qual o corpo de prova era solicitado por três níveis de carga com 500 golpes cada. Após o

condicionamento, foi realizado o ensaio propriamente dito com 18 estados de tensões desvio e confinantes diferentes.

O ensaio triaxial de resiliência fornece como resultado dois gráficos: um que relaciona o Módulo Resiliente e a Tensão desvio, outro que relaciona o Módulo resiliente e a Tensão confinante, cada um tem sua respectiva “envoltória”. Os gráficos 17 e 18 são do material ensaiado sem solução salina e os gráficos 19 e 20, com solução salina.

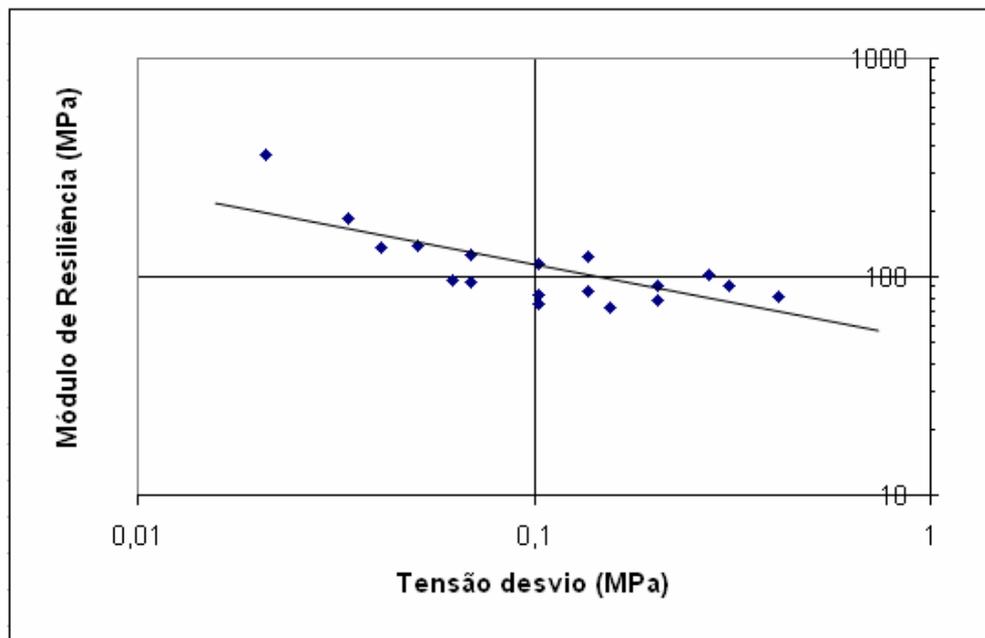


Gráfico 16. Gráfico da envoltória de M.R. x Tensão desvio (sem solução salina) do solo deste estudo.

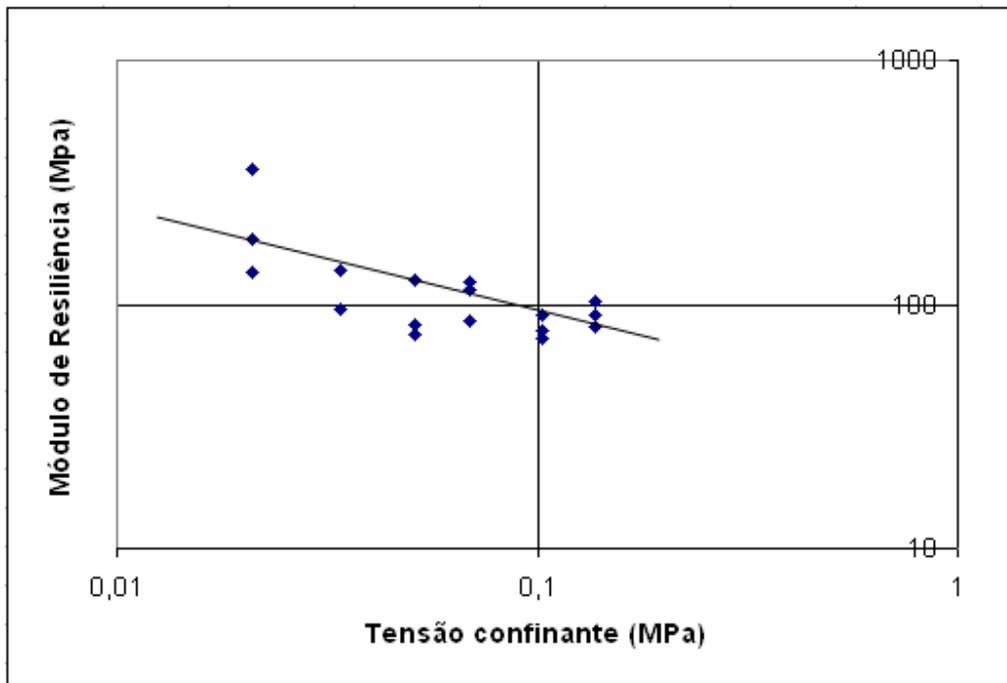


Gráfico 18. Gráfico da envoltória de M.R. x Tensão confinante (sem solução salina) do solo deste estudo.

Pode-se observar a quase horizontalidade do gráfico que relaciona a tensão confinante isso se dá pelo fato da não dependência do material argiloso com tensão confinante. Materiais plásticos são melhor representados pelos gráficos em função de tensão desvio (Miceli, 2006).

Foi obtida uma deformação total de 6,2150 mm, deixando o corpo de prova com uma altura de 193,785 mm, sendo que a altura inicial era de 200 mm, esses dados encontram-se no Anexo I.

Em Ferreira et al. (2010), o mesmo material, só que com uma solução salina de 12000 ppm de NaCl, não foi capaz de suportar toda a carga do ensaio e rompeu no penúltimo pulso. Os gráficos encontram-se a baixo.

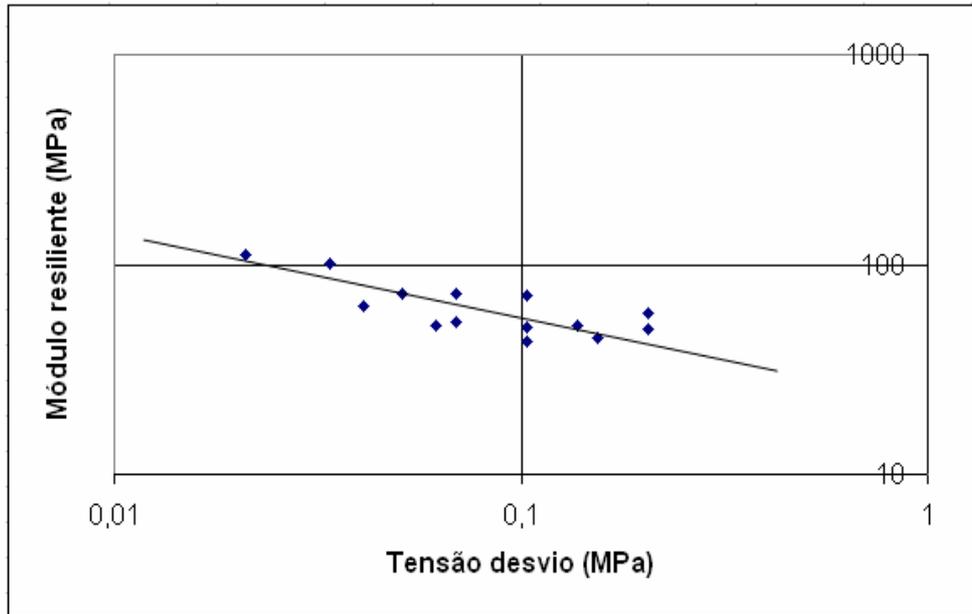


Gráfico 19. Gráfico da envoltória de M.R. x Tensão desvio de material com solução de 12000 ppm do solo deste estudo .

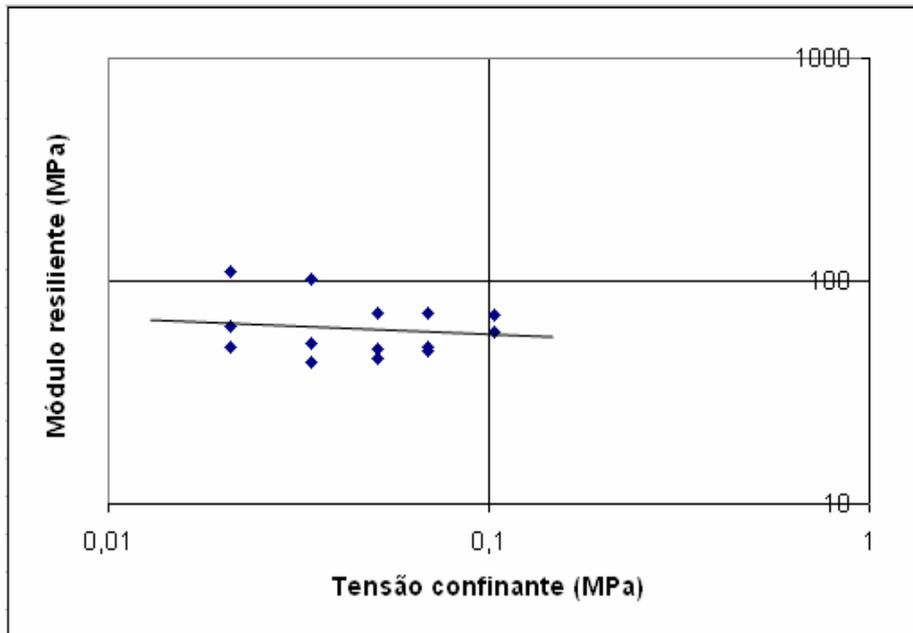


Gráfico 20. Gráfico da envoltória de M.R. x Tensão confinante de material com solução de 12000 ppm do solo deste estudo.

Pode-se observar que as duas envoltórias diminuem de valor em relação ao mesmo material sem solução salina. Outro fato importante foi o da não capacidade de suportar a última carga do ensaio.

Observa-se que o material sem solução e o material com solução têm diferentes respostas ao ensaio triaxial de resiliência. Quanto maior a tensão desvio, menor o Módulo de Resiliência, ou seja, mais deformado está o corpo de prova, logo ele se encontra com menos resistência. Isso foi observado não somente no corpo de prova com solução salina, e sim no corpo de prova sem solução também, porém no corpo de prova com NaCl o Módulo Resiliente é menor ainda.

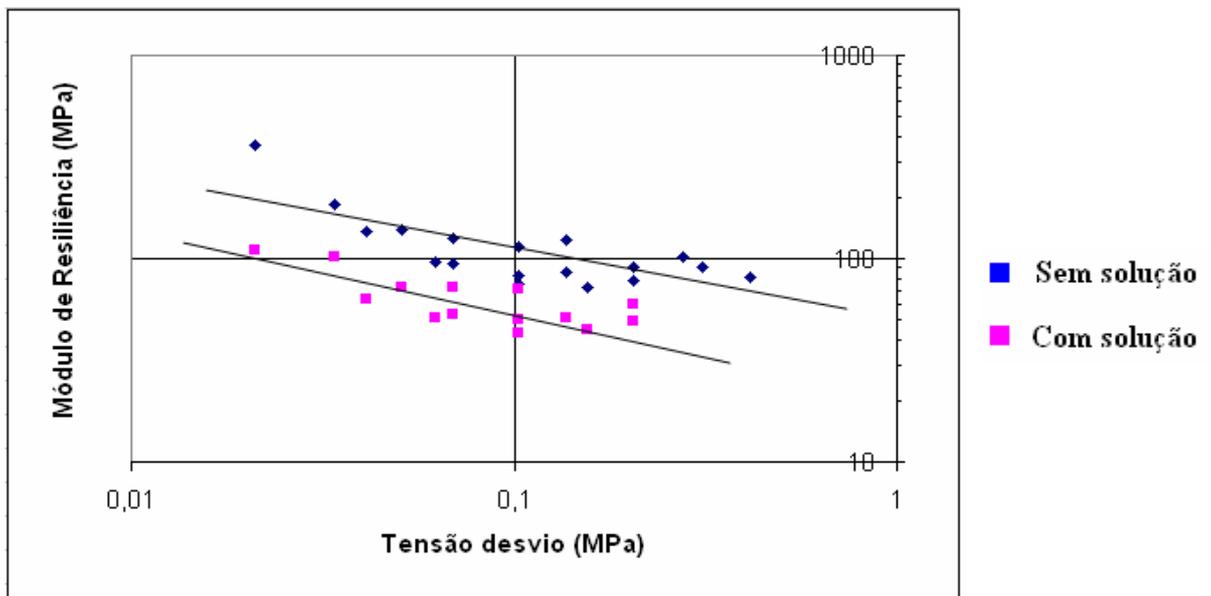


Gráfico 21. Gráfico da envoltória de M.R. x Tensão desvio de material sem solução e com solução de 12000 ppm do solo deste estudo .

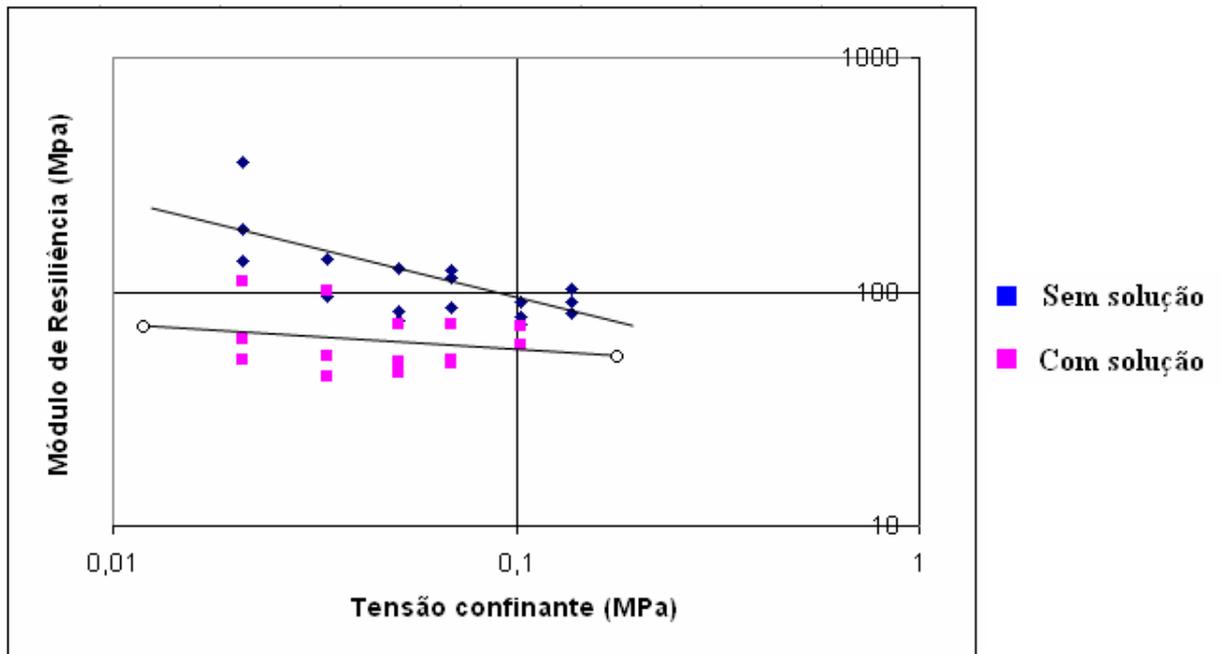




Figura 11. Imagem do programa de computador do ensaio de Módulo de Resiliência.

Podemos observar que o material obteve uma deformação plástica (deformação permanente) de 7,063 mm, sendo que a deformação crítica era de 4,00 mm.

4. CONCLUSÕES

A exposição do material à solução salina afetou sua resistência, diminuindo-a. Isso é evidenciado pela diminuição da massa específica aparente seca e aumento no índice de vazios, pela diminuição do valor do CBR e por um leve aumento da expansão, resultando em uma absorção de água um pouco maior.

A salinidade possivelmente modificou a estrutura dos solos tendendo à um estado de maior floculação na presença de sais, no entanto essa suposição não foi confirmada através da micromorfologia.

Outra evidência da diminuição da resistência do material compactado com solução salina foi observada através do ensaio de resiliência, onde foi possível observar que a resiliência diminuiu nos materiais salinizados. O ensaio de resiliência apresentou resultado satisfatório na amostra compactada somente com água, e seu módulo diminuiu nas salinizadas na proporção de 12.000 ppm de sal. Enfatiza-se que no material com 35.000 ppm não foi possível realizar este ensaio, pois o corpo de prova rompeu antes do início do ensaio propriamente dito.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. NBR 6459 Solo-Determinação do Limite de Liquidez. Rio de Janeiro, 6 p, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. NBR 6508 Massa específica real dos grãos. Rio de Janeiro, 8 p, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. NBR 7180 Solo-Determinação do Limite de Plasticidade. Rio de Janeiro, 3 p, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. NBR 7181 Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 13 p, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. NBR 7182 Ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 10 p, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. NBR 9895 Solo-Índice de Suporte California. Rio de Janeiro, 14 p, 1987.

BOUMA, J.; JONGERIUS, A.; BOERSMA, O. H.; JAGER, A.; SCHOODERBEEK, D. The function of different types of macropores during saturated flow through four swelling soil horizons. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.41, p.945-950, 1977.

BULLOCK, P.; THOMASSON, A.J. Rothamsted studies of soil structure. II. Measurement and characterization of macroporosity by image analysis and comparison with data from water retention measurements. *Journal of Soil Science*, Oxford, v.30, p.391-413, 1979.

CARVALHO FILHO, A. C., LUMBRERAS, J. F., SANTOS, R. D. O solos do Estado do Rio de Janeiro. CD-ROOM, Brasília: CPRM, 30-31 p, 2000

CERATTI, J. A. P. Estudo do comportamento a fadiga de solos estabilizados com cimento para utilização em pavimento. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 250 p, 1991.

CHAGAS, L. C. M. Estudos do comportamento mecânico de solos da Região Amazônica e seu inter-relacionamento com as suas propriedades físicas e mecânicas. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes), IME, Rio de Janeiro, 228 p, 2003.

CRISPIM, F. A. Compactação de solos: influência de métodos e de parâmetros de compactação na estrutura dos solos. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Viçosa, MG, 168 p, 2007.

DEMATTE, J. L. I.; WILDING, L. P.; HOLOWAYCHUCK, N. Solos da região de São Pedro, Estado de São Paulo. III. Micromorfologia. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.1, p.104-107, 1977.

DNER-ME - Determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas – 14 p, 049/1994.

FALCI, S. C.; MENDES, A. C. T. Identificação de cutans em perfis de latossol roxo e terra roxa estruturada. Anais da ESALQ, Piracicaba, v.30, p.49-70, 1973.

FERREIRA, M. R. A., SILOS, V. R., POLIVANOV, H., BORGES, A. F. Avaliação da alteração da resistência de solos compactados contaminados com soluções salinas. XXXV Congresso Brasileiro de Geologia, Belém, PA, 2010. Trabalho ainda não publicado.

FORMOSO, M. L. L. Difractometria de Raios X in : C. B. GOMES (Ed) Técnicas analíticas instrumentais. 1984. Ed. Edgard Blucher Ltda., p 1 – 43. Hot Mix Study – Final Report, Part1, 1969.

HICKS, R. G., MONISMITH, C. L. Factors influencing the resilient properties of granular materials. Transportation Research Record, v.354, p.15-31, 1971.

JONGERIUS, A.; SCHOODERBEEK, D.; JAGER, A. The application of the Quantimet 720 in soil micromorphometry. The Microscope, Chicago, v.20, p.243-254, 1972.

KUBIENA, W.L. Micropedology. Ames: Collegiate Press. 243 p. 1938.

MACHADO, S. L. – “Apostila de Mecânica dos Solos” – Universidade Federal da Bahia (UFBA) – Departamento de Geotecnia da Escola Politécnica de Engenharia, 2002.

MARANGON, M. Proposição de estruturas típicas de pavimentos para a região de Minas Geras utilizando solos lateríticos locais a partir da pedologia, classificação MCT e resiliência. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 448 p, 2004.

MEDINA, J. Mecânica dos Pavimentos. 1 ed. Rio de Janeiro, Editora UFRJ. 380 p, 1997

MEDINA, J., MOTTA, L. M. G. Mecânica dos Pavimentos- 2º edição. Editora COPPE, Rio de Janeiro, 570 p, 2005.

MENDES, A. C. T.; FALCI, S. C.; DEMATTÉ, J. L. I. Secções delgadas de solos: método de impregnação. Anais da ESALQ, Piracicaba, v.30, p.35-48, 1973.

MICELI, G. Comportamento de solos do Estado do Rio de Janeiro estabilizados com emulsão asfáltica. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes), IME, Rio de Janeiro, 267 p, 2006.

MOTTA, L. M. G. Método de dimensionamento de pavimentos flexíveis: critério de confiabilidade e ensaios de cargas repetidas. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 366 p, 1991.

MOURA FILHO, W.; BUOL, S. W. Studies of a Latosol Roxo (Eutrútox) in Brazil: Micromorphology effect on ion release. *Experientiae*, Viçosa, v.21, p.161-177, 1976.

MURPHY, C. P.; BULLOCK, P.; TURNER, R.H. The measurement and characterization of voids in soil thin sections by image analysis: Part I: Principles and techniques. *Journal of Soil Science*, Oxford, v.28, p.498-508, 1977a.

MURPHY, C. P.; BULLOCK, P.; TURNER, R.H. The measurement and characterization of voids in soil thin sections by image analysis: Part I: Applications. *Journal of Soil Science*, Oxford, v.28, p.509-518, 1977b.

PARREIRA, A. B., CARMO, C. A. T., CUNTO, F. J. C. Estudo do módulo de resiliência de materiais usados em pavimentação, In: Reunião Anual de Pavimentação, 31, São Paulo-SP, Anais, Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Pavimentação, 7 p, 1998.

PASTORE, E. P. & FONTES, R.M. Caracterização e Classificação dos Solos. In:

OLIVEIRA, A. M. S. & BRITO, S. N. A. (org). Geologia de Engenharia. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 40 p,1998.

PERECIN, D.; CAMPOS, D. A. F. Evidências micromorfológicas de gênese de solos de Piracicaba, SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 15, 1975, Campinas. Anais. Campinas: SBCS, p.461-466. 1976.

PINTO, S. Estudo do comportamento à fadiga de misturas betuminosas e aplicação na avaliação estrutural de pavimentos. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 450 p, 1991.

PIRES, L. F. Tomografia computadorizada, atenuação de raios gama e análise micromorfológica na avaliação de alterações na estrutura e retenção de água pelo solo. 1.ed. Piracicaba, 23 p, 2006.

PREUSSLER, E. S. Ensaio triaxiais dinâmicos de um solos arenoso. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 149 p, 1978.

PREUSSLER, E. S. Estudo de deformação resiliente de pavimentos flexíveis e aplicação ao processo de camadas de projeto. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 266 p, 1983.

SCHWEICKARDT, J. C. Ciência, Nação e Região: as doenças tropicais e o saneamento no Estado do Amazonas (1890-1930). Tese (Doutorado em História das Ciências e da Saúde) – Casa de Oswaldo Cruz/Fiocruz, Rio de Janeiro, 425p, 2009.

SILVA, B. A. Aplicação das metodologias MCT e resiliente a solos finos do centro-norte do Mato Grosso. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes), IME, Rio de Janeiro, 277 p, 2003.

SVENSON, M. Ensaio triaxiais dinâmicos de solos argilosos. Dissertação (Mestrado em

Engenharia Civil), COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 144 p, 1980.

THEISEN, A. A., HARWARD, M. E. A paste method for preparation of slides for clay mineral identification by X-Ray diffraction. Soil Science of American Proceedings, 26: 90-91, 1962.

ZARMAN, M.; CHEN, D.; LAGUROS, J. Resilient moduli of granular materials. Journal of Transportation Engineering, v.120, n°6, p. 967-988, nov/dec. 1994.

ANEXO I

Relatórios de Ensaio Triaxial Dinâmico