

# Estudo Geotécnico do solo formado em bacia de despejo de rejeitos de dragagem em Rio Grande

Cláudio Renato Rodrigues Dias<sup>1</sup>, Vanessa Waltzer Timm Kerstner<sup>2</sup> &  
Celso Luís da Silva Pedreira<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Prof. Titular do DMC/FURG – email: [claudio@dmc.furg.br](mailto:claudio@dmc.furg.br)*

<sup>2</sup>*Curso de Eng. Oceânica da FURG*

<sup>3</sup>*Departamento de Materiais e Construção – FURG, Rio Grande, RS, [celpedreira@uol.com.br](mailto:celpedreira@uol.com.br)*

**RESUMO:** Um projeto de bacias de deposição de lamas de dragagem tem aspectos muito importantes, relacionados com a proteção do meio ambiente e com o aproveitamento do rejeito para uso em engenharia. Neste sentido, são apresentados neste trabalho: uma caracterização dos tipos de solos formados a partir da deposição do lodo numa bacia de sedimentação, bem como a determinação dos parâmetros geotécnicos de sedimentação, adensamento e resistência ao cisalhamento, para definir o uso do material em depósitos, como aterros e ilhas artificiais. Como uma nova proposta de análise do comportamento do solo, em relação à sedimentação e ao adensamento, construiu-se um novo equipamento, consolidômetro, que permite inicialmente avaliar o comportamento do solo em relação à sedimentação e posteriormente ao adensamento.

**PALAVRAS-CHAVE:** Dragagem, Bacias de disposição, Meio-ambiente, Aterros, Adensamento.

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. Comentários iniciais

O crescimento das obras de dragagens gera um grande volume de material dragado, que deve ser transportado e lançado em algum sítio de deposição. Torna-se então, cada vez mais relevante, definir um uso adequado do material (rejeito) de dragagem, de modo a manter o equilíbrio ambiental, com o mais baixo custo dos serviços de dragagem.

O Porto de Rio Grande, além de necessitar de dragagens periódicas, devido ao assoreamento em vários locais, atualmente também necessita de grandes serviços de dragagens com o objetivo de atingir maiores calados para acesso de grandes navios.

O lançamento em alto mar vem sendo feito já há algum tempo. Tem suas vantagens e desvantagens, sendo que se deve salientar, o custo elevado de transporte (distância até 30km).

A decisão entre diferentes alternativas de disposição/reutilização deverá levar em conta, além dos aspectos econômicos, os impactos ambientais.

Com uma parceria entre a Fundação Universidade Federal do Rio Grande e a Superintendência do Porto do Rio Grande, através de um projeto de pesquisa, deu-se início ao estudo do aproveitamento dos materiais de dragagem, procurando converter o processo de dragagem, com uso de tecnologias limpas, através do controle ambiental. Para o referente estudo, em 2000 foi submetido à Fundação de Amparo à Pesquisa do Rio Grande do Sul (FAPERGS) um projeto de pesquisa, que foi aprovado com a parceria acima (Dias [2]). Alunos do Curso de Engenharia Civil, da FURG, através do projeto de graduação, atuaram no projeto e construção de uma área de

depósito dos rejeitos de dragagem no Superporto do Rio Grande, a qual serviu como base para os estudos desta pesquisa. O curso de pós-graduação em Engenharia Oceânica teve em uma de suas dissertações, o desenvolvimento de estudos especiais, relacionados com consolidômetro de lama, além da análise de ensaios químicos para determinação do grau de contaminação por metais pesados, principalmente, desta lama (Kerstner [3]).

## **1.2. Objetivo da pesquisa**

O objetivo da pesquisa consiste na verificação do comportamento do material, proveniente de dragagens depositado em bacias de disposição, através de ensaios em laboratório. Além dos ensaios convencionais de caracterização e de adensamento, também foram feitos ensaios em consolidômetro de lama, confeccionado no Departamento de Materiais e Construção da FURG, com objetivo de determinação de parâmetros de sedimentação e consolidação da lama de dragagem, proveniente da área do Porto Novo de Rio Grande. Estes parâmetros são importantes na previsão de recalques por adensamento de possíveis aterros que poderão ser construídos com o material dragado ou sobre estes.

## **1.3. Disposição do material de rejeito de dragagem**

Uma das alternativas de disposição do material dragado é o lançamento no mar, ou no fundo de corpos hídricos interiores, ou ainda, em cavas abertas para este fim.

Em muitos casos, a disposição do material dragado em corpos d'água pode não ser uma solução aceitável, fazendo-se necessária sua disposição em terra. A disposição dos resíduos em terra é indicada quando:

- For viável a sua utilização como aterro;
- Os custos de disposição em mar sejam inibitórios;
- As condições hidrodinâmicas do sítio de disposição hídrica forem desfavoráveis (por exemplo, rios com pouca profundidade);
- Pretende-se remediar situações de assoreamento em corpos hídricos interiores (por exemplo, no caso de corpos lacustres);
- Os níveis de contaminação do material dragado sejam inadequados ao sítio de disposição hídrica, sendo permitida a disposição em locais confinados ou em aterros controlados.

## **1.4. Uso benéfico do material dragado**

Há muitos usos benéficos potenciais de material dragado, a depender das características físicas e químicas do mesmo.

Uso em engenharia: criação e melhoria das condições de uso (áreas saneadas), recuperação da linha da costa, preenchimento de áreas protegidas por enrocamentos, aterros de áreas degradadas, tais como jazidas, minas abandonadas, lixões e cortes de estradas. Também pode ser utilizado como matéria prima de material da construção civil como exemplo fabricação de tijolos. Tem sido também apontada a potencialidade como uso agrícola, funcionando como fertilizantes.

Algumas medidas corretivas de danos ambientais com utilização do rejeito são: restauração de cota de fundo alterada por dragagens pontuais, restauração de marismas e mangues.

Torna-se cada vez mais relevante definir um uso adequado do material (rejeito) de dragagem de modo a manter o equilíbrio ambiental com o mais baixo custo dos serviços de dragagem. O Porto do Rio Grande, localizado na região estuarina da Laguna dos Patos e no canal que a liga ao mar, sofre historicamente assoreamento em diversos pontos, ao longo das estruturas portuárias ou de seus canais de acesso. É de há muito conhecido que em vários pontos, devido à dinâmica dos fluxos d'água, tem-se necessidade de serviços de dragagem periódicos, para manutenção da movimentação de navios. Atualmente, outro fator importante vem colaborar com a necessidade de grandes serviços de dragagem, o objetivo de se atingir maiores calados, para acesso de grandes navios, numa tendência internacional de definir zonas de concentração de cargas de mercados globalizados.

Para obtenção de maior calado e manutenção por maior tempo desta facilidade, cada vez maior é o volume de material dragado que deve ser transportado e lançado em algum sítio de deposição. O lançamento em alto mar, que vem sendo feito já há algum tempo, é a solução adotada no momento. Outra solução, que pode se tornar mais viável economicamente é o lançamento em sítios em terra, em zonas previamente escolhidas, que deverão ser projetadas e monitoradas do ponto de vista geotécnico e geoquímico. Um tipo de sítio interessante e que já foi feito no passado, mesmo sem grandes preocupações com seu uso futuro como área urbanizada, nem quanto às implicações ao meio ambiente, é a execução de ilhas artificiais. Hoje é imperioso que se estude, projete e monitore o meio, com vistas a ter um mínimo impacto, e ao final, poder-se utilizar as áreas urbanizadas, seguindo os conceitos de paisagismo.

## **2. BACIAS DE SEDIMENTAÇÃO DE REJEITOS**

### **2.1. Localização das bacias**

As bacias construídas para sedimentação de rejeitos de dragagem estão situadas na área do Superporto do Rio Grande (Figura 1), à margem da estrada (lado sul) de acesso à balsa (antiga estrada do Arroio dos Macacos) e próxima do canteiro de obras do TECON (Figuras 2 e 3). A escolha do local se deveu ao fato da existência de uma bacia maior, construída em 1995, e que tinha por objetivo a contenção do material de dragagem executada na área do retroporto do TECON (ampliação). Desta forma, pôde-se aproveitar dois dos taludes externos já executados, bem como o vertedouro, que foi recuperado.

Na Figura 4 representa-se a planta da bacia, podendo-se observar que a mesma foi dividida em duas menores: uma com lateral e fundo impermeabilizados com lâmina plástica (Figura 5) e a outra com fundo permeável. O objetivo de impermeabilizar as fronteiras era de estudar o comportamento durante o adensamento e comparar pontos de possível contaminação (na bacia com fundo permeável) da água dos piezômetros.

### **2.2. Projeto da bacia**

De modo a atingir o principal objetivo da pesquisa proposta a FAPERGS, qual seja: do uso de material de rejeito de dragagem em Rio Grande, o projeto baseou-se na construção de bacias de disposição para os rejeitos de dragagem. Foram investigados os dados gerais do ambiente, dos solos, da estrutura sedimentar do subsolo. Foi feito um estudo preliminar do subsolo, através de três sondagens tipo SPT e duas sondagens do tipo cone dinâmico leve.

Foram ainda procedidas análises químicas com o objetivo de serem gerados dados para servir de referência para os estudos de monitoramento da qualidade das águas e dos sedimentos. De posse

dos parâmetros do solo abaixo da bacia, foi feito um projeto geotécnico, prevendo o acompanhamento dos serviços de lançamento do material dragado.

A Figura 4, mostrando planta e corte, apresenta também a simbologia dos elementos de monitoração instaladas na fase de construção da bacia. São medidores de nível d'água, piezômetros tipo Casagrande, placas de recalques e medidores de nível. O objetivo destes elementos foi acompanhar variações do nível d'água na bacia, variações de poro pressão e recalques da fundação (devido à presença do carregamento gerado pelo solo e água na bacia).

Pode-se notar na Planta da Figura 4, que foram projetadas plataformas (trapiches) em madeira, em forma de T, nos dois lagos da bacia. Estas plataformas permitem o acesso do pessoal e dos equipamentos usados para realizar sondagens, medições, execução de ensaios de carregamento sobre a lama depositada. As Figuras 6 e 7 apresentam a colocação dos elementos no campo pela equipe do projeto de graduação e da pesquisa.

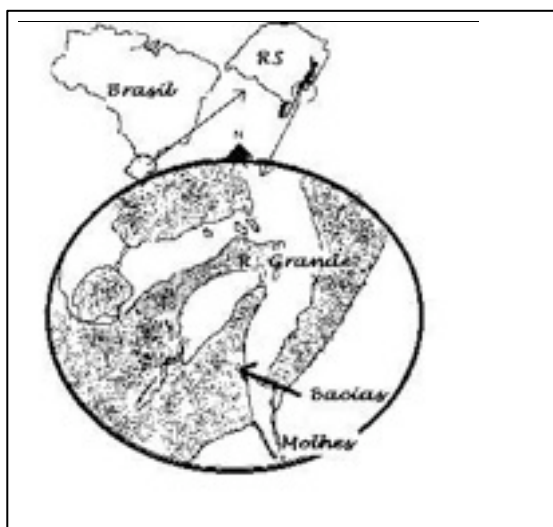


Figura 1. Localização das bacias no superporto



Figura 2. Foto das bacias de disposição



Figura 3. Localização das bacias

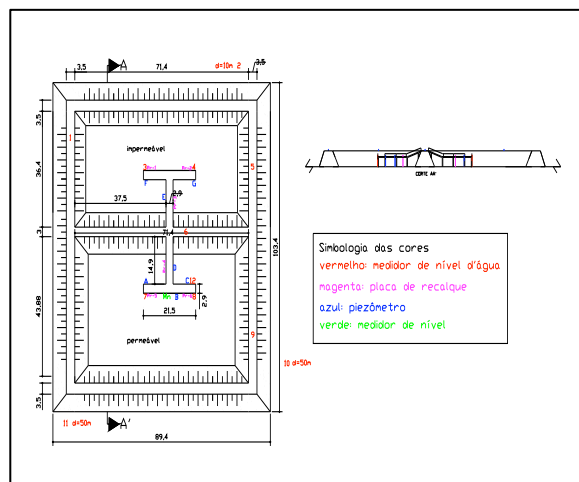


Figura 4. Projeto das Bacias



Figura 5. Impermeabilização da bacia

Figura 6. Colocação dos piezômetros



Figura 7. Colocação das placas de recalque



Figura 8. Bombeamento a partir da draga



9. Tubulação de lançamento

### **2.3. Execução da bacia**

Os serviços de terraplenagem, impermeabilização, construção dos trapiches e reforma do vertedouro ficaram ao encargo da empresa que executou a dragagem e foram executados nos meses de março e abril de 2001. Para o lançamento da lama de dragagem foram instalados tubos de 400mm de diâmetro, desde o ponto de atracação da draga, junto ao TECON, até o dique sul da bacia (Figuras 8 e 9).

## **3. FABRICAÇÃO DOS ELEMENTOS DE MEDIÇÃO**

Os elementos de medição de nível d'água e de recalques foram executados pela equipe de projeto e do Laboratório de Geotecnia, com apoio dos técnicos da Oficina Mecânica do DMC/FURG.

### **3.1. Piezômetros**

Foram confeccionados com tubos internos de PVC de 75 mm tendo tubos de 100 mm como revestimento. O comprimento dos medidores é variável, dependendo do local onde está cravado, mas não sendo superior a 6 m (tamanho dos tubos de internos de 75 mm).

Foram feitos cortes horizontais nos tubos em faces opostas para a penetração da água, utilizando-se uma máquina policorte, cortes estes que atingem 0,5 m de altura a partir da base do tubo, assim como a abertura de furos, com furadeira manual, para a posterior amarração da proteção.

Para impedir a entrada de material nos tubos, visto que os mesmos seriam cravados no solo, utilizou-se tampões de PVC na base (facilitando também a cravação no solo e evitando danos neste processo) e protegeu-se a área dos cortes com tecido geotextil (tipo Bidim). A amarração do Bidim foi feita com fio de nylon comum, trançado em toda a extensão protegida.

Todo este processo se repetiu para medidores e piezômetros, sendo que os piezômetros possuem vedação com bentonita ao redor do tubo, para que a ponta permita a medição de excessos de poro pressões. A bentonita fora previamente preparada em forma de pastilhas para facilitar o seu acondicionamento entre os tubos. Utilizando-se bentonita e água, fez-se lama bentonítica, que após secagem em estufa gerou bentonita em forma de pastilhas de tamanho variado. O fechamento dos piezômetros só deu-se no local durante o processo de instalação, devido ao fato da bentonita não poder absorver umidade precocemente.

### **3.2. Placas de Recalque**

Para análise dos recalques, foram instalados dois tipos de placas de recalque, com dimensões 300 x 300mm e 300 x 500mm, sendo que as primeiras foram instaladas a 10 centímetros de profundidade em relação ao fundo do tanque permeável e as outras sobre a lona do tanque impermeável.

## **4. LANÇAMENTO DO MATERIAL**

A lama de dragagem foi lançada a partir do dia 13 de abril de 2001, durante um total de 22 dias. O material era bombeado da draga até a bacia, sendo lançado primeiramente no tanque oeste. Entre os dois tanques, foram colocados tubos de comunicação entre os tanques, de modo a passar lama quando o nível dos tubos fosse atingido. Após atingir um volume de cerca de 80% no tanque oeste, passou-se a lançar lama diretamente no tanque leste. O volume total lançado foi de 29.050 m<sup>3</sup>.

## **5. ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO E QUÍMICOS DA LAMA**

### **5.1. Ensaio de Granulometria e limites de Atterberg**

Na Tabela 1, são mostrados os resultados dos ensaios de granulometria, por sedimentação do material da bacia, obtidos na pesquisa realizada em 2001 por Castro Dias e Júnior [1], e os valores encontrados por Kerstner [3].

Na Figura 10 pode ser vista a distribuição granulométrica, do material da bacia, encontrada nesta pesquisa.

Na Figura 11 é apresentado o Gráfico de Casagrande, onde são representados os dados solo obtidos nos anos de 2001 e 2002. Uma análise dos resultados indica que o solo pode ser classificado como uma argila siltosa de alta plasticidade. Neste gráfico estão apresentados os resultados para os solos das duas bacias.

Na mesma figura pode-se observar que pela variação do  $w_l$  durante a fase de compressão do solo em adensamento sob peso próprio, os pontos ficam mais junto à reta “linha A”, pois  $w$  e IP diminuem ao longo do tempo.

Tabela 1. Granulometria do Material da Bacia

Granulometria por sedimentação – Bacia de sedimentação			
Data	Argila $\phi < 0,002\text{mm}$	Silte $0,002 < \phi < 0,05\text{mm}$	Areia Fina $\phi > 0,05\text{mm}$
* 2001	36,20	47,00	16,80
**2002	48,00	18,00	34,00
<b>Média</b>	<b>42,10</b>	<b>32,50</b>	<b>25,40</b>

\* Valores obtidos nos ensaios realizados em 2001. (Castro Dias e Júnior [1]).

\*\* Valores obtidos em Kerstner ([3]).

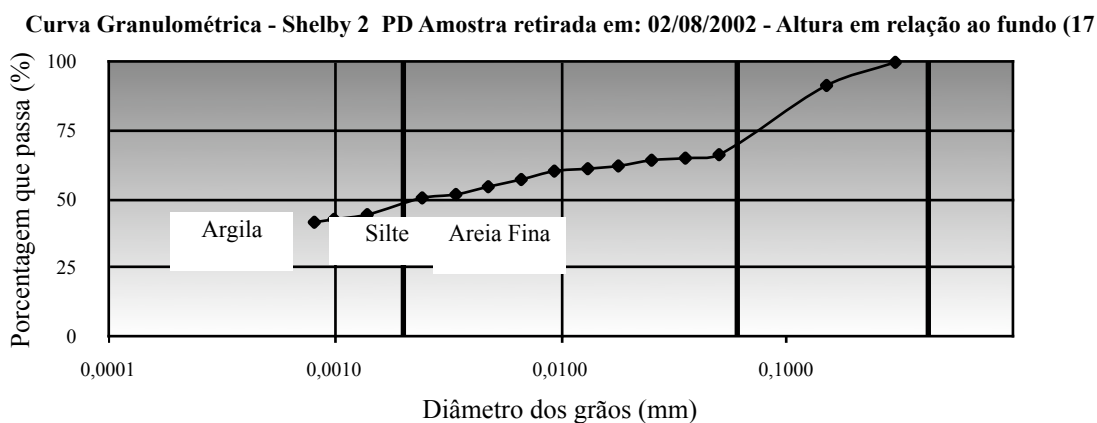


Figura 10. Curva de distribuição granulométrica



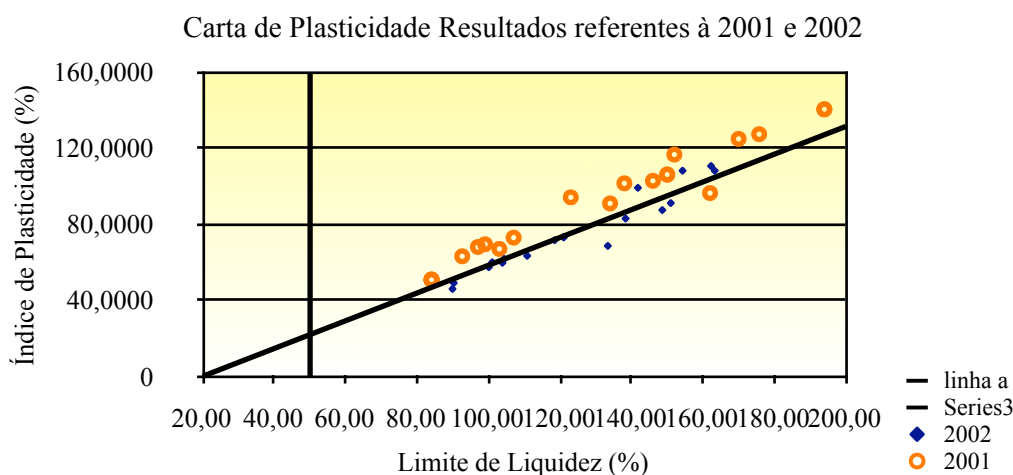


Figura 11. Gráfico de Casagrande

Os valores médios obtidos no ano de 2001 por Castro Dias e Júnior, foram respectivamente: 130% para o Limite de Liquidez, 40% para o Limite de Plasticidade, 90% para o Índice de Plasticidade, e 137% para a umidade natural.

Kerstner [3] obteve, como resultados médios, respectivamente: 120% para o Limite de Liquidez, 48% para o Limite de Plasticidade e 72% para o Índice de Plasticidade. A umidade média encontrada foi de 143%.

Na Figura 12 são apresentados os valores de limites de liquidez e plasticidade, além da umidade natural com a profundidade para os ensaios realizados em 2001, Castro Dias e Júnior [1], e na Figura 13, os valores obtidos por Kerstner [3].

Comparando os dois gráficos, observa-se que, com o passar do tempo a dispersão entre os valores diminuiu, ou seja, pode-se dizer que o solo tornou-se mais homogêneo. Também foi possível determinar valores de índices de plasticidade e umidade para uma camada maior porque a camada de solo formado aumenta de espessura à medida que já ocorreu a sedimentação. Em 2001 foi possível obter dados somente para uma espessura de solo de 30 cm, e em 2002 a camada já estava com espessura em torno de 45 cm.

A partir do conhecimento dos limites de Atterberg e considerando a umidade natural, pode-se classificar a lama quanto ao seu estado de consistência, através do Índice de Liquidez, que é dado pela expressão:

$$IL = \frac{w - wL}{PI}$$

(1)

onde: IL = Índice de Liquidez

w = teor de umidade natural

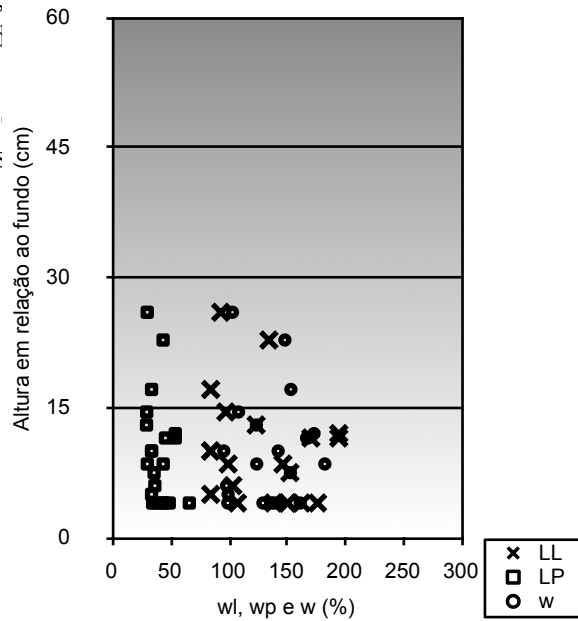
wl = Limite de Liquidez (também escrito LL)

IP = Índice de Plasticidade = (wl - wp)

wp = Limite de Plasticidade (LP)

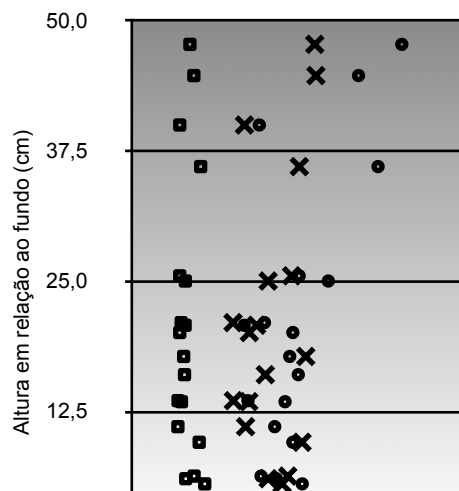
No presente caso, analisados os resultados, pode-se concluir que o material apresentava-se de lama (IL > 1), em s

Valores relativos a amostras retiradas em 2001



. Porém, se forem não na profundidade, o fundo da bacia, o da estava em estado uras 14 e 15.

Valores relativos a amostras retiradas em 2002



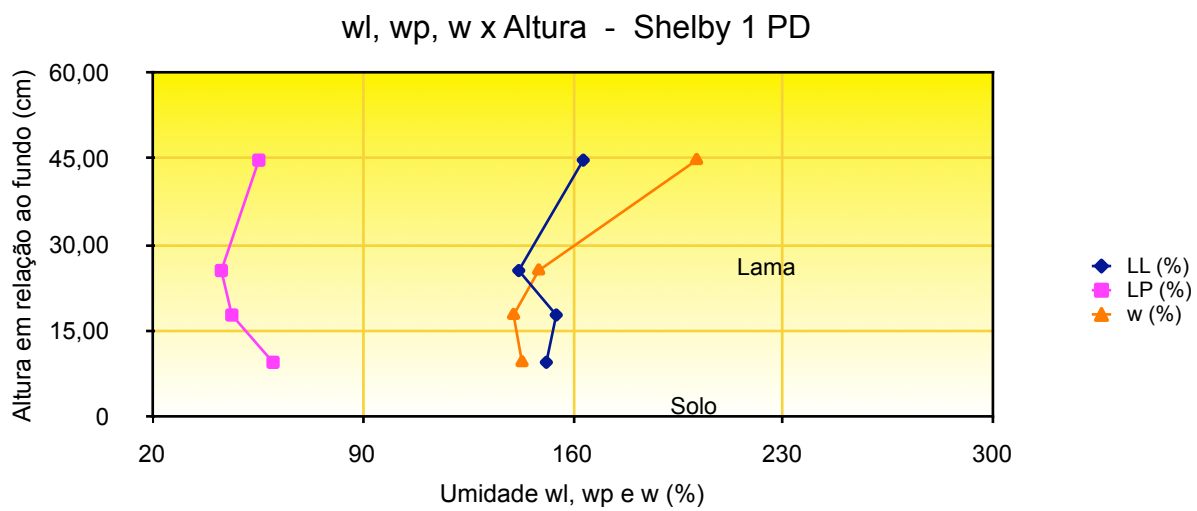


Figura 14. Resultados dos ensaios de consistência para o *shelby* 1 PD

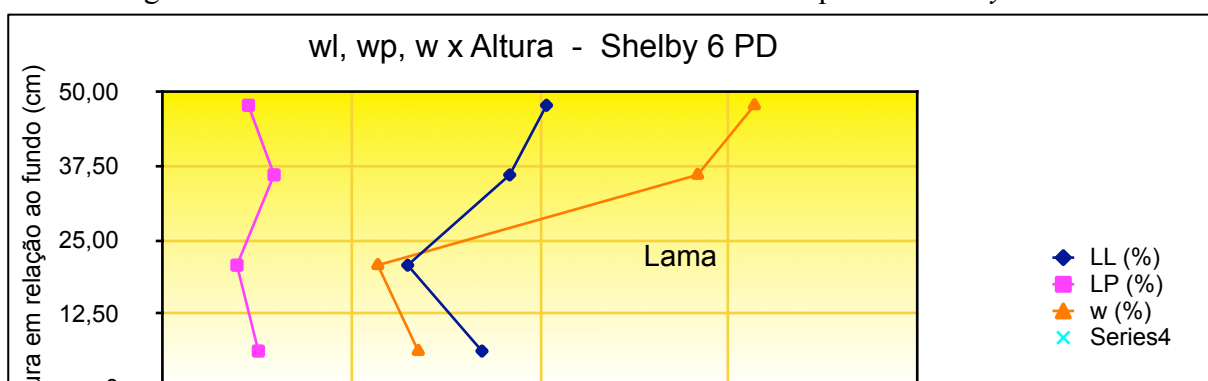


Figura 15. Resultado dos ensaios de consistência do *shelby* 6 PD.

Em relação à atividade, pode-se classificar o solo utilizando a seguinte expressão:

IA entre 0,3 e 0,5: caulinita	) $\frac{w_p}{0,002\text{mm}}$ (2)
IA entre 0,5 e 1,0: ilita	
IA entre 1,0 e 7,0: montmorilonita	

LI = 0	solo rijo
0 < LI < 1	solo mole a médio
LI = 1	solo mole

No presente estudo, considerando em média, que  $IP = 72\%$ , e  $\% \phi < 0,002\text{mm} = 48$ , então o Índice de Atividade  $IA = 1,5$ , indicando predominância de argila ílítica ou montmorilonítica..

## 5.2. Ensaio de Difração de Raios-X

Os resultados dos ensaios de Difração de Raios-X, realizados na UFRGS, foram apresentados através de difratogramas de cada amostra analisada. Observou-se a presença de montmorilonita, muscovita, quartzo e cristobalita, sendo que a presença de montmorilonita vem confirmar o índice de atividade, como referido acima.

Na Figura 16 apresenta os resultados de um dos ensaios de Difração de Raios-X.

### 5.3 Índices Físicos

No gráfico da Figura 17 estão apresentados os valores referentes ao peso específico natural e o peso específico aparente seco. Os valores médios encontrados foram: 13,4 kN/m<sup>3</sup> para o peso específico natural, e 5,4 kN/m<sup>3</sup> para o aparente seco.

O peso específico (absoluto) dos grãos foi determinado, em média, como 25,7 kN/m<sup>3</sup>.

Podem ser feitas comparações, usando a Figura 18, entre resultados de ensaios em tempos diferentes (2001 e 2002), podendo-se observar o crescimento do peso específico devido ao processo de compressão do solo sob peso próprio.

Nas Figuras 19 e 20 pode-se observar o decréscimo do teor de umidade com a profundidade.

Na Figura 20, comparando valores de 2001 e 2002, nota-se que, houve um decréscimo na dispersão dos valores com o tempo.

Nas Figuras 21 e 22, pode-se observar o decréscimo do índice de vazios com a profundidade, nos ensaios realizados em 2001 e 2002, devido ao processo de adensamento sob peso próprio.

Como se pode observar, comparando os gráficos apresentados nas Figuras 17 a 22, durante o primeiro ano de adensamento, o índice de vazios foi maior que o índice de atividade, devido ao processo de adensamento.

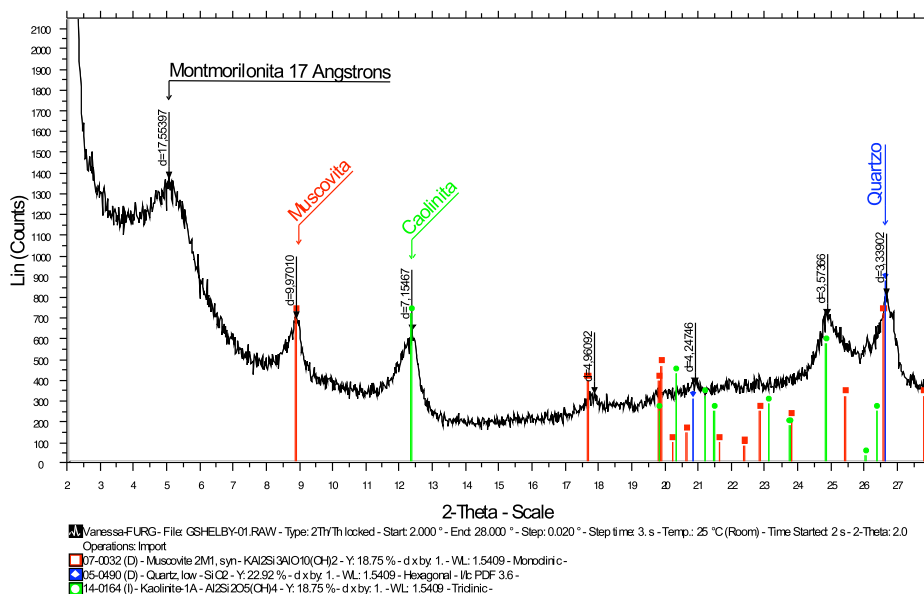
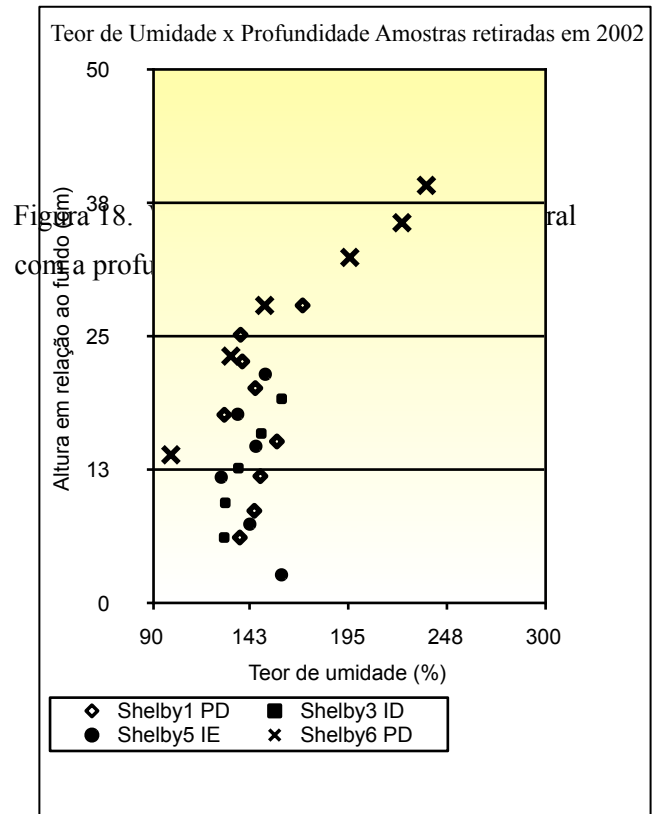
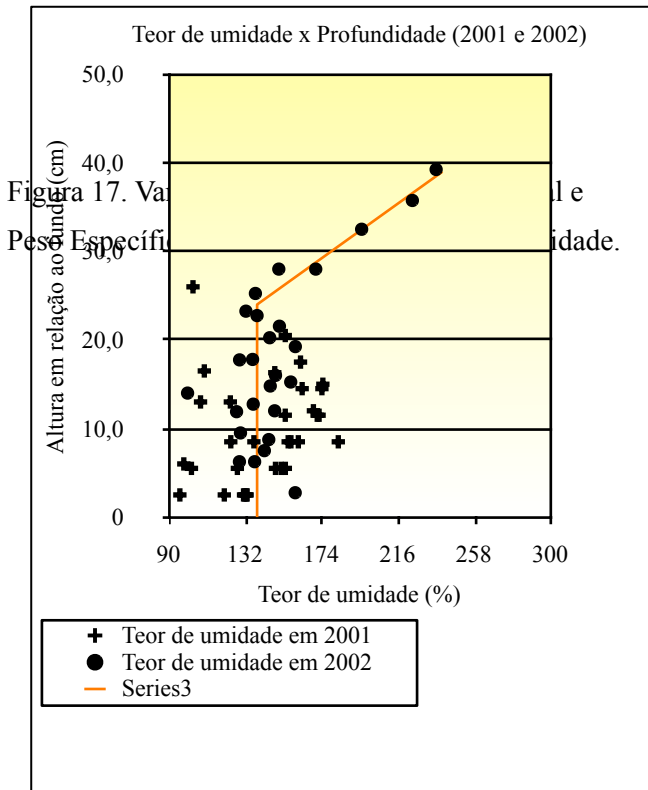
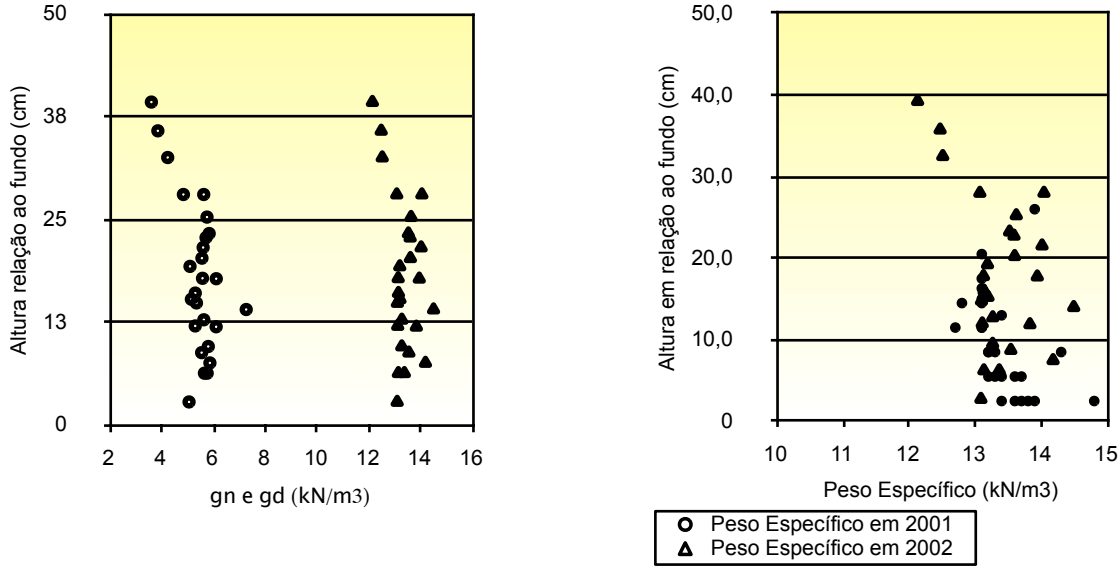


Figura 16. Difratoograma de Raios-X para uma amostra do Shelby 1 PD

Peso Específico x Profundidade Amostras retiradas em de 2002      Peso Específico Natural x Profundidade (2001 e 2002)



Índice de Vazios x Profundidade Amostras retiradas em 2002

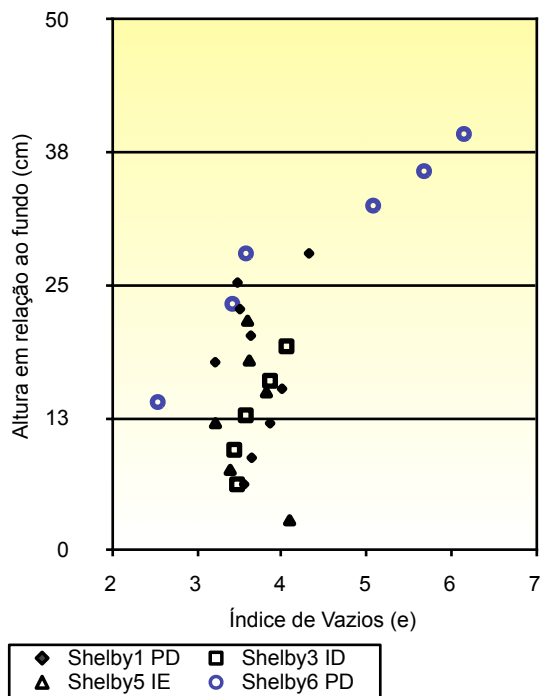


Figura 21. Variação do índice de vazios

Índice de Vazios x Profundidade (2001 e 2002)

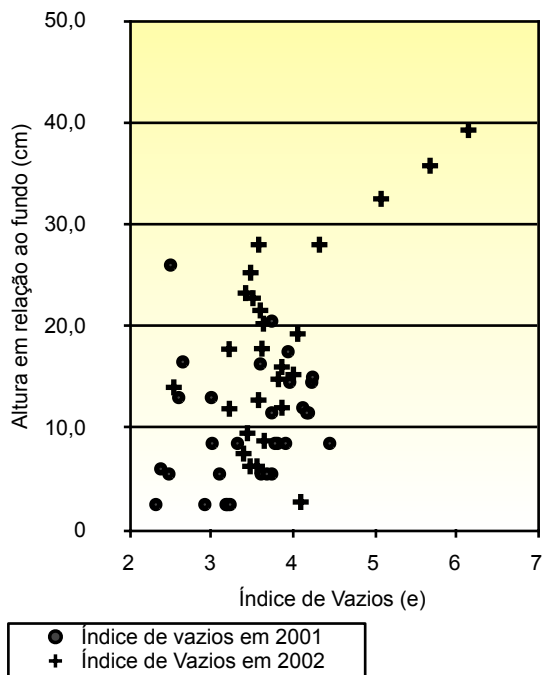


Figura 22. Variação do índice de vazios no tempo

## 5.4 ENSAIOS NO CONSOLIDÔMETRO

### 5.4.1 Consolidômetro da FURG

O consolidômetro foi confeccionado com o objetivo de realizar ensaios de sedimentação e adensamento nos materiais. É um consolidômetro simples, baseado na

coluna de sedimentação, como visto em Lee [4]. A seguir são apresentadas características do consolidômetro, e na sequência um resumo dos resultados conseguidos.

O equipamento, ilustrado na Figura 23, foi construído na Oficina Mecânica do Departamento de Materiais e Construção da FURG. Este equipamento consiste basicamente em:

- Um tubo de acrílico de 19cm de diâmetro interno e 20cm de diâmetro externo e com o comprimento de 31cm;
- Base de technyl;
- Pedra porosa de areia e cola, centralizada na base;
- Hastes de alumínio;
- Suporte em aço, para carregamento;
- Pistão perfurado, com diâmetro ligeiramente inferior do tubo de acrílico;
- Geotêxtil, colado no pistão (Bidim);
- Régua (cm);
- Transdutor acoplado a um sistema de aquisição de dados;
- Mesa em ferro que serve de suporte para o conjunto todo.

As amostras foram retiradas das bacias de contenção no dia 18/10/02.

Foram executados três ensaios. Cada ensaio foi feito em duas etapas, sendo que na primeira etapa observou-se o comportamento da lama em relação à sedimentação, e na segunda, em relação ao adensamento.

#### 5.4.1.1. Primeira Etapa:

Misturou-se uma certa quantidade de material, com teor de umidade conhecido, com água a fim de atingir uma concentração inicial desejada. De acordo com a bibliografia, estudos de campo indicam que, para materiais de dragagem de granulometria fina, a concentração da disposição é na média de 150g/l. A partir daí, procurou-se chegar a um valor aproximado a este.

Na Tabela 2 mostra-se a quantidade de material utilizado e a concentração inicial obtida nos três ensaios. Os ensaios foram iniciados, respectivamente nos dias: 05/11/2002, 04/12/2002 e 30/12/2002.

**Tabela 2. Dados iniciais dos ensaios realizados**

Parâmetros	1º ensaio	2º ensaio	3º ensaio
Amostra Úmida (g)	3083	2691,5	3500
Teor de Umidade (%)	193	101	125
Água adicionada (l)	6,5	6,5	8,0
Concentração Inicial $C_0$ (g/l)	123,3	170,5	156,4

Manualmente, misturou-se a amostra com água, durante 20 minutos, para que se tornasse completamente homogênea, e então foi despejada dentro do consolidômetro, até



que ele enchesse por completo. O material excedente foi deixado de lado. Na Figura 24 pode-se observar o aspecto do material, misturado com água, logo nos primeiros instantes após ser colocado no consolidômetro.

Passou-se de imediato à observação se havia ou não a formação da interface nas primeiras horas. Na Figura 25 observa-se a altura da interface duas horas após o início do ensaio.

Observou-se ainda o comportamento do solo em relação à sedimentação, por um tempo entre uma e duas semanas. Através dos gráficos, altura da interface contra o tempo, pode-se calcular a velocidade de sedimentação, que é função da concentração inicial da lama, onde é representada pela inclinação da curva no trecho da zona de sedimentação (Figura 26).

#### 5.4.1.2. Segunda Etapa:



Figura 25. Interface

Após verificar a constância da altura de solo formado, passou-se a aplicar os estágios de pressão à amostra, através do pistão. Mediu-se a variação de altura da amostra (recalque) no tempo, como no ensaio oedométrico. Simultaneamente, foi registrada a poro pressão através do transdutor acoplado no sistema e ligado ao sistema de aquisição de dados.

Após estes estágios de carga, o consolidômetro foi descarregado, o sistema de carregamento retirado, ficando somente o solo e a água que estava separada pela interface. Esta água foi retirada manualmente e então se retirou o tubo de acrílico, como se pode ver na Figura 27.

Figura 23. Montagem do consolidômetro  
Figura 24. Mistura no início do ensaio

água - lama (2 h após) Figura 26.

Varição da altura da interface no tempo

Figura 27. Solo formado após compressão no consolidômetro

Foram extraídos anéis deste solo para a verificação do peso específico e também para realizar o ensaio oedométrico na prensa de adensamento convencional, seguindo a seqüência de carregamento.

Para o primeiro ensaio, a camada de solo formada no consolidômetro apresentava uma espessura de 10,30 cm, para o segundo ensaio a camada era de 12,50 cm e para o terceiro ensaio era de 12,30cm.

Os resultados referentes aos ensaios de adensamento no consolidômetro e no oedômetro podem ser vistos nas Figuras 28 e 29, respectivamente.

log s'v x Índice de Vazios - Primeiro Ensaio

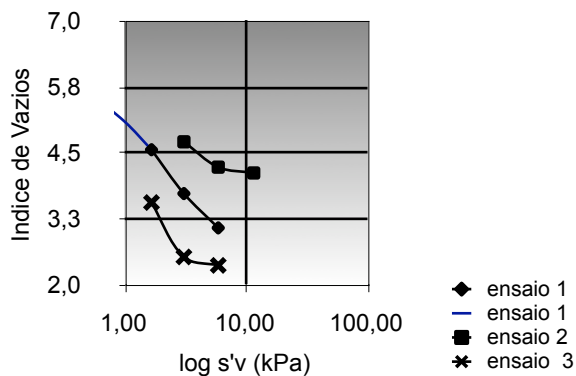


Figura 28. Ensaio de adensamento no consolidômetro

### log s'v x índice de vazios - Ensaios na Prensa

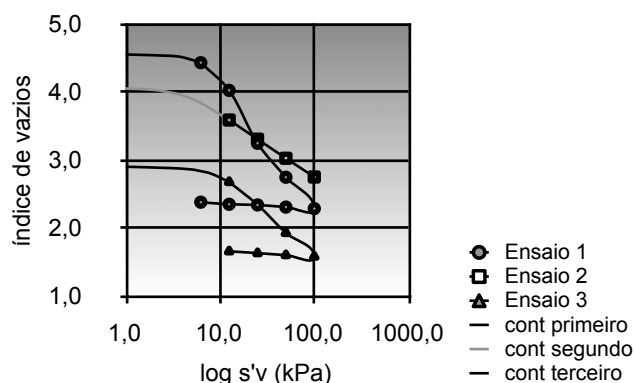


Figura 29. Ensaios oedométricos após compressão no consolidômetro

### 5.5. Ensaios de adensamento com amostras indeformadas da bacia

Dos tubos amostradores tipo “shelby” usados na pesquisa foram retirados anéis para ensaios de adensamento oedométrico do solo formado nas bacias. Os resultados constam na Tabela 3, onde se pode notar que houve pequena variação no índice de compressão  $C_c$  para amostras retiradas das bacias com fundo impermeável ( $C_c=1,38$ ) e de fundo permeável ( $C_c=1,48$ ). A relação  $CR=C_c/1+e_0$  ficou respectivamente em 32,55% e 35,24% (média de 34%).

Os resultados dos ensaios mostraram que as amostras não podem ser consideradas de boa qualidade, já que a deformação específica correspondente à pressão efetiva ficou em média 11,63%. Segundo Lunne et al [5], bons ensaios devem ter  $\epsilon'_{v0}$  menores que 5% e ensaios aceitáveis quando  $\epsilon'_{v0}$  ficam entre 5 e 10%. O valor alto encontrado é devido ao amolgamento da amostra, pois o solo, por ser muito jovem (ainda em formação), dificulta a retirada de boas amostras.

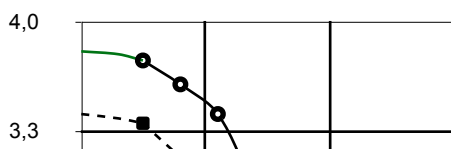
Em relação aos parâmetros que se relacionam com velocidades de recalques, o coeficiente de adensamento mostrou-se menor (da ordem de  $1,18 \times 10^{-10}$  a  $42,18 \times 10^{-10}$   $m^2/s$ ) que ao dos solos antigos da região ( $10^{-8}$   $m^2/s$ ). O coeficiente de permeabilidade ficou em média em  $1,22 \times 10^{-9}m/s$ .

Na Figura 30 são representadas as curvas do logaritmo da tensão efetiva contra índice de vazios, que permitem a determinação de parâmetros como: índice de compressão  $C_c$  e da pressão de pré-adensamento ( $\sigma'_{vm}$ ).

Pelo comportamento das curvas, pode-se dizer que a amostra ensaiada do shelby 6 estava mais amolgada que do shelby 1, portanto, esta possuía melhor qualidade. O valor da deformação específica para a pressão de pré-adensamento confirma isto, ou seja,  $\epsilon_{\sigma'_{vm}} = 8,4\%$  para o shelby 1 e 14,7% (a pior) para o shelby 6.

Outra comparação que pode ser feita é entre o comportamento das amostras dos shelbies 4 e 5, situados na bacia impermeável à esquerda da ponte de acesso. Neste caso as curvas estiveram mais próximas, o índice de vazios inicial de 2,95 para o shelby 5 e 2,7 para o shelby 4. Os valores de  $\epsilon_{\sigma'_{vm}} = 13,0\%$  para o shelby 5 e 10,4 para o shelby 4.

### log s'v x Índice de Vazios



**Tabela 3 – Resumo dos Resultados de Ensaio de Adensamento**

Dados da Amostra					Compressibilidade				
Ensaio	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	w (%)	$e_0$	S (%)	$\sigma'_{vm}$ (kPa)	$C_c$	$\sigma'_{v0}$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\varepsilon_{\sigma'_{vm}}$ (%)	OCR
Anéis retirados dos Shelby's									
01 PD	13,11	147,65	3,86	100	10,0	1,75	1,15	8,44	8,70
03 ID	13,13	128,26	3,47	100	10,0	2,00	0,64	11,63	15,63
04 IE	13,98	109,20	2,85	100	4,4	1,04	1,05	10,39	4,19
05 IE	14,18	142,00	3,39	100	3,4	1,11	0,76	12,98	4,47
06 PD	14,49	99,71	2,54	100	17,5	1,20	1,48	14,69	11,82
Anéis retirados do Consolidômetro									
1° ensaio	12,55	193,75	5,01	100	9,0	2,70	1,04	13,14	8,65
2° ensaio	12,33	178,24	4,80	100	4,0	0,93	1,29	15,17	3,10
3° ensaio	12,70	140,30	3,86	100	10,0	1,34	1,31	23,25	7,63

Figura 30. Resultados dos ensaios de adensamento das amostras dos shelbies

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho apresenta os resultados da pesquisa que pretendeu definir parâmetros do solo formado a partir da lama proveniente de dragagem de material predominantemente argiloso do Porto Novo de Rio Grande.

Os ensaios de granulometria e limites permitiram concluir que o solo formado pode ser classificado como argila siltosa. Os ensaios de adensamento confirmam a alta compressibilidade do solo formado, mas, ainda assim, é possível sua utilização em obras de engenharia costeira, como formação de ilhas artificiais, engordamento de praias, recuperação de marismas.

Um grande mérito da pesquisa foi a determinação de parâmetros durante a fase de sedimentação que precede ao adensamento sob peso próprio, que interessa aos testes em modelos de adensamento com grandes deformações.

## 7. BIBLIOGRAFIA

1. **Castro Dias, C. R. e Júnior, J. L. de O. (2001)**– *Uso de Rejeitos de Dragagem*. Projeto de Graduação em Engenharia Civil, FURG, Rio Grande, RS.
2. **Dias, C. R. R. (2003)**- *Sítios de Despejos de Dragagens em Rio Grande: Uma Alternativa para Uso como Recurso Renovável*. Relatório Final de Projeto FAPERGS
3. **Kerstner, V.W.T. (2003)** *Avaliação do comportamento geotécnico e geoquímico de rejeitos de dragagem do Porto Novo de Rio Grande/RS*. Dissertação de mestrado em Engenharia Oceânica. FURG.
4. **Lee, C. R. (1999)** – *Case Studies: Characterization Tests to Determine Dredged Material Suitability for Beneficial Uses*. DOER Technical Notes Collection (TN DOER-C7), U. S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS
5. **Lunne, T.; Bere, T. & Strandvik, S.. (1997)** – *Sample Disturbance Effects in Soft Low Plastic Norwegian Clay* – Recent Developments in Soil and Pavement Mechanics – COPPE / UFRJ, pp. 81 – 102

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPERGS e à SUPRG pelo apoio financeiro à pesquisa que possibilitou a construção a área de testes e este trabalho.

A segunda autora agradece à CAPES pelo suporte financeiro da bolsa concedida durante seu trabalho de mestrado.