

CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA DOS SOLOS FINOS DO LEITO MARINHO DA PRAIA DO CASSINO, RIO GRANDE-RS GEOTECHNICAL CHARACTERIZATION OF FINE SOILS FROM SEABED AT CASSINO BEACH, RIO GRANDE-RS

Míriam Zanol Remde¹
Diego de Freitas Fagundes²
Waldir Terra Pinto³

Resumo: O objetivo deste trabalho foi a caracterização geotécnica de 12 amostras indeformadas coletadas na porção submersa da Praia do Cassino, sul do Rio Grande do Sul. A campanha de amostragem é oriunda do projeto “Programa de Monitoramento do Sítio de Despejo e Área Adjacente do Material Dragado do Canal de Acesso ao Porto de Rio Grande” coordenado pelo Laboratório de Oceanografia Geológica - LOG do Instituto de Oceanografia e conta com participação do Laboratório de Engenharia Costeira - LEC da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande – FURG. As amostras foram coletadas com o auxílio de amostrador do tipo Box Corer com cota batimétrica entre 8 e 10,5m. Os resultados obtidos em cada ponto foram descritos através de ensaios de caracterização básica objetivando a determinação da curva granulométrica, pelo método de sedimentação e peneiramento, determinação dos limites de Atterberg e determinação dos índices físicos. A análise granulométrica indicou solos finos classificados pelo diagrama de Shepard (1954) como argila siltosa, com exceção de um ponto, classificado como argila arenosa. Os valores de limites de consistência juntamente com a distribuição granulométrica, foram utilizados para determinar a classificação geotécnica dos solos pela metodologia SUCS. Este método classificou os solos estudados como argilas muito plásticas e argilas siltes orgânicos ou siltes altamente plásticos. Os resultados encontrados corroboram os dados encontrados na literatura.

Palavras-chave: Caracterização geotécnica. Índice de plasticidade. Sedimentos marinhos.

Abstract: The objective of this work was the geotechnical characterization of 12 undisturbed samples collected in the submerged portion of Cassino Beach, Southern Rio Grande do Sul. The sampling campaign comes from the project “Programa de Monitoramento do Sítio de Despejo e Área Adjacente do Material Dragado do Canal de Acesso ao Porto de Rio Grande” coordinated by Geological Oceanography Laboratory – LOG of the Institute of Oceanography and counts on the participation of the Coastal Engineering Laboratory - LEC of the School of Engineering of the Federal University of Rio Grande – FURG. The samples were collected on the seabed surface with the aid of a Box Corer sampler with a bathymetric depths between 8 and 10,5m. The results obtained at each point were described through basic characterization tests aiming the determination of the granulometric curve by the sedimentation and sieving method, determination of the Atterberg limits and determination of physical indices. The granulometric analysis indicated fine soils classified by the Shepard diagram (1954) as silty clay, with the exception of one point classified as sandy clay. The values of consistency limits along with the granulometric distribution were used to determine the geotechnical classification

¹ Engenheira Geóloga, Universidade Federal do Rio Grande-FURG, mzremde@gmail.com

² Dr. Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande-FURG, dffagundes@furg.br

³ Dr. Engenharia Oceânica, Universidade Federal do Rio Grande-FURG, waldir.pinto@gmail.com

of soils by SUCS methodology. This method classified the studied soils as very plastic clays and as organic or highly plastic clay silts. The results found corroborate the data found in the literature.

Keywords: Geotechnical characterization. Plasticity index. Marine sediments

1 INTRODUÇÃO

Praias oceânicas abertas, como as encontradas no litoral do Rio Grande do Sul (Bacia de Pelotas), apresentam o domínio de ondas e correntes. Nestes casos, os sedimentos têm predominância arenosa em cotas batimétricas menores (mais próximo à linha de costa) e sedimentos predominantemente argilosos em cotas batimétricas maiores (SUGUIO, 2003). Apesar dessa dinâmica de praia, os estudos desenvolvidos na região, indicam que nas proximidades da desembocadura da Lagoa dos Patos os sedimentos apresentam maior proporção da fração fina (BORZONE & GRIEP, 1991; PAIXÃO, 2012; VALÉRIO, 2017).

Além da influência do aporte de sedimentos provenientes da Lagoa dos Patos, eventos de tempestade de grande duração podem ressuspender os sedimentos finos e transporta-los para a praia. Na praia do Cassino, litoral sul do Rio Grande do Sul, diversas vezes ao longo dos anos foi registrada a presença de bancos de lama próximos à linha de costa (CALLIARI et al., 2000; CALLIARI & FARIA, 2003). Desde então, a origem desta lama é discutida por questões ambientais e também socioeconômicas, uma vez que a localidade é um importante ponto turístico da região.

Afim de acompanhar os eventos de surgimento de lama na praia e determinar sua origem, a área referente a plataforma continental interna da praia do Cassino está sendo estudada pelo projeto “Programa de Monitoramento do Sítio de Despejo e Área Adjacente do Material Dragado do Canal de Acesso ao Porto de Rio Grande”. Este projeto é coordenado pelo Laboratório de Oceanografia Geológica - LOG do Instituto de Oceanografia e conta com participação do Laboratório de Engenharia Costeira - LEC da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande - FURG.

Durante os trabalhos de campo sistemáticos de monitoramento na praia do Cassino, são coletadas, entre outros dados, amostras deformadas e/ou indeformadas de solo do fundo marinho.

Este trabalho utiliza as amostras indeformadas, coletadas em um cruzeiro oceanográfico de monitoramento, para a execução de ensaios de

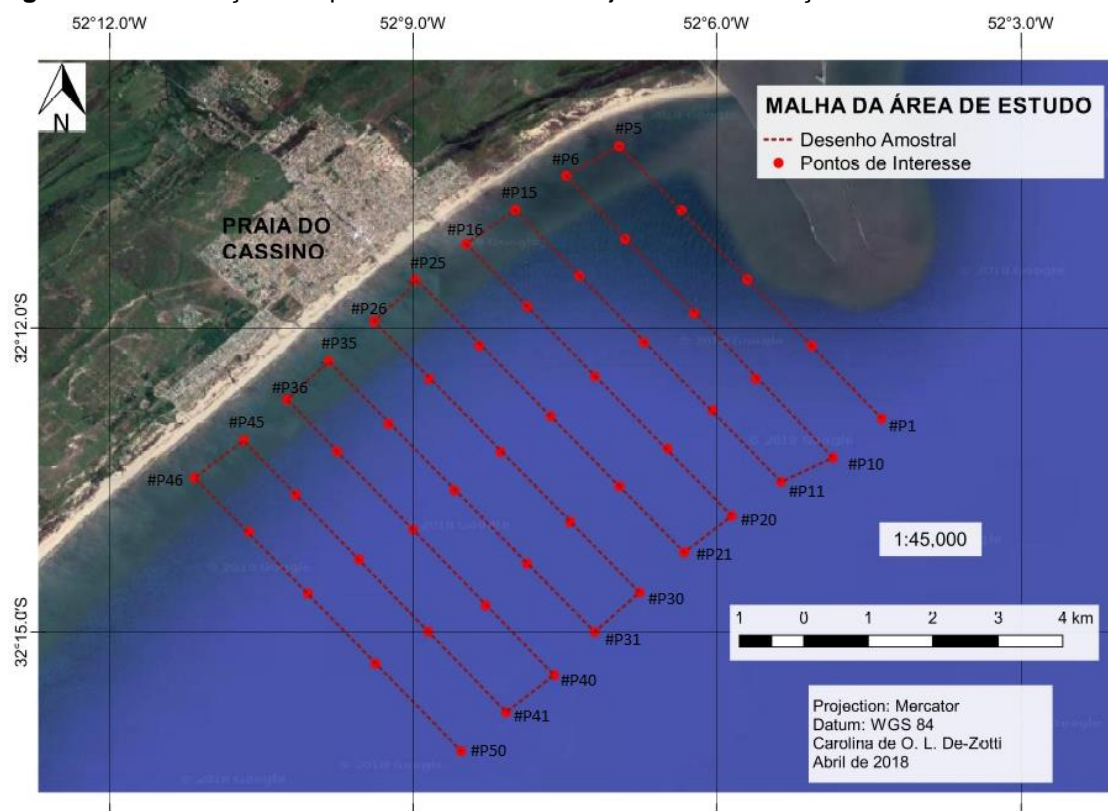
caracterização geotécnica com o objetivo de complementar os estudos propostos no programa de monitoramento do Balneário Cassino.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

A área de estudo (Figura 1) está localizada no litoral sul do Rio Grande do Sul e compreende a porção submersa da praia do Cassino no município de Rio Grande. A área contempla parte da plataforma continental da praia do Cassino e a malha de pontos estudados foi definida no projeto desenvolvido pelo LOG/LEC, intitulado “Programa de Monitoramento do Sítio de Despejo e Área Adjacente do Material Dragado do Canal de Acesso ao Porto de Rio Grande”.

Figura 1 – Localização dos pontos de controle e trajeto da embarcação.



Fonte: Equipe LOG/LEC-FURG.

2.1 Amostragem

A amostragem foi executada no dia 04/04/2018 por uma equipe de pesquisadores LOG/LEC-FURG durante cruzeiro oceanográfico para a coleta sistemática de dados para o monitoramento dos sedimentos do fundo marinho na praia do Cassino. Neste trabalho de campo, foram coletadas amostras indeformadas em lâminas d'água entre 8m a 10 m de profundidade. A localização dos pontos com coleta de amostras indeformadas, são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Pontos com coleta de amostras indeformadas.

	LATITUDE	LONGITUDE	PROFUNDIDADE (m)
#P11	32° 13,509'	52° 5,372'	10
#P18	32° 12,504'	52° 7,173'	9
#P20	32° 13,897'	52° 5,828'	10
#P21	32° 14,214'	52° 6,285'	10
#P23	32° 12,84'	52° 7,66'	8
#P30	32° 14,637'	52° 6,71'	10,5
#P31	32° 14,968'	52° 7,194'	10
#P33	32° 13,566'	52° 8,614'	8
#P41	32° 15,765'	52° 8,022'	10
#P43	32° 14,264'	52° 9,601'	8
#P48	32° 14,63'	52° 10,027'	8
#P50	32° 16,166'	52° 8,535'	10

As amostras indeformadas foram coletadas com o uso de amostrador do tipo Box Corer. O Box Corer foi posicionado com a ajuda de um guindaste presente na embarcação (Figura 2a) e foi liberado de forma que o amostrador penetrasse no sedimento apenas com peso próprio. O amostrador possui um sistema de gatilho que aprisiona o sedimento indeformado no interior do Box Corer o que permitiu que o mesmo pudesse ser içado pelo guindaste de volta a superfície sem perda de material (Figura 2b). Desta amostra total coletada, foi preparada uma subamostra, que foi mantida indeformada, através da cravação e retirada de um tubo de PVC (Figura 2c e Figura 2d). Estes tubos foram devidamente vedados para manutenção das características físicas do material coletado.

Figura 1 – Procedimento de amostragem utilizando amostrador Box Corer. a) Box Corer sendo içado pelo guindaste na posição da amostragem. b) Amostrador após a coleta do solo. c) Compartimento superior aberto para a retirada da subamostra através da cravação de um tubo de PVC . d) Abertura do compartimento inferior para a retirada da subamostra.



Fonte: Cortesia LOG/LEC-FURG.

2.3 Procedimentos de laboratório

A caracterização geotécnica foi realizada utilizando 12 amostras indeformadas descritas na Tabela 1. A manutenção da umidade natural das amostras foi fundamental para a adequada caracterização geotécnica. Assim, os tubos foram vedados no momento da coleta e posteriormente armazenados em uma câmara úmida no laboratório até a abertura dos tubos no momento dos ensaios.

A caracterização geotécnica iniciou com a retirada de um anel para determinação de índices físicos. Este anel, de dimensões e peso conhecidos,

foi moldado com solo indeformado e o conjunto solo mais anel foi pesado. Estas informações, acrescidas da determinação da umidade (método da estufa) foram suficientes para o cálculo dos índices físicos do solo natural.

Após, o solo foi removido totalmente do tubo e colocado para secar ao ar. Quando seco, o solo foi destorroado para a execução dos demais ensaios:

- a) Determinação da curva granulométrica pelo método de sedimentação e peneiramento, descrito pela NBR 7181 (ABNT,2016)
- b) Determinação do peso específico real dos grãos pelo método do picnômetro, descrito pela NBR 6458 (ABNT, 2016)
- c) Determinação do Limite de Liquidez, utilizando o método do aparelho de Casagrande, procedimento apresentado na NBR 6459 (ABNT, 2016)
- d) Determinação do Limite de Plasticidade utilizando procedimentos descritos na NBR 7180 (ABNT, 2016).

Todos os ensaios de caracterização geotécnica foram realizados no Laboratório de Geotecnia e Concreto Prof. Cláudio R. R. Dias na Universidade Federal do Rio Grande.

3 RESULTADOS

3.1 Granulometria

A distribuição granulométrica encontrada nas amostras estudadas é apresentada na Figura 3 através das curvas granulométricas obtidas pelos ensaios de sedimentação e peneiramento. Na Tabela 2 estão os percentuais de cada fração granulométrica de acordo com a classificação da NBR 6502 (ABNT,1995).

Figura 2 – Curvas granulométricas de todas as amostras.

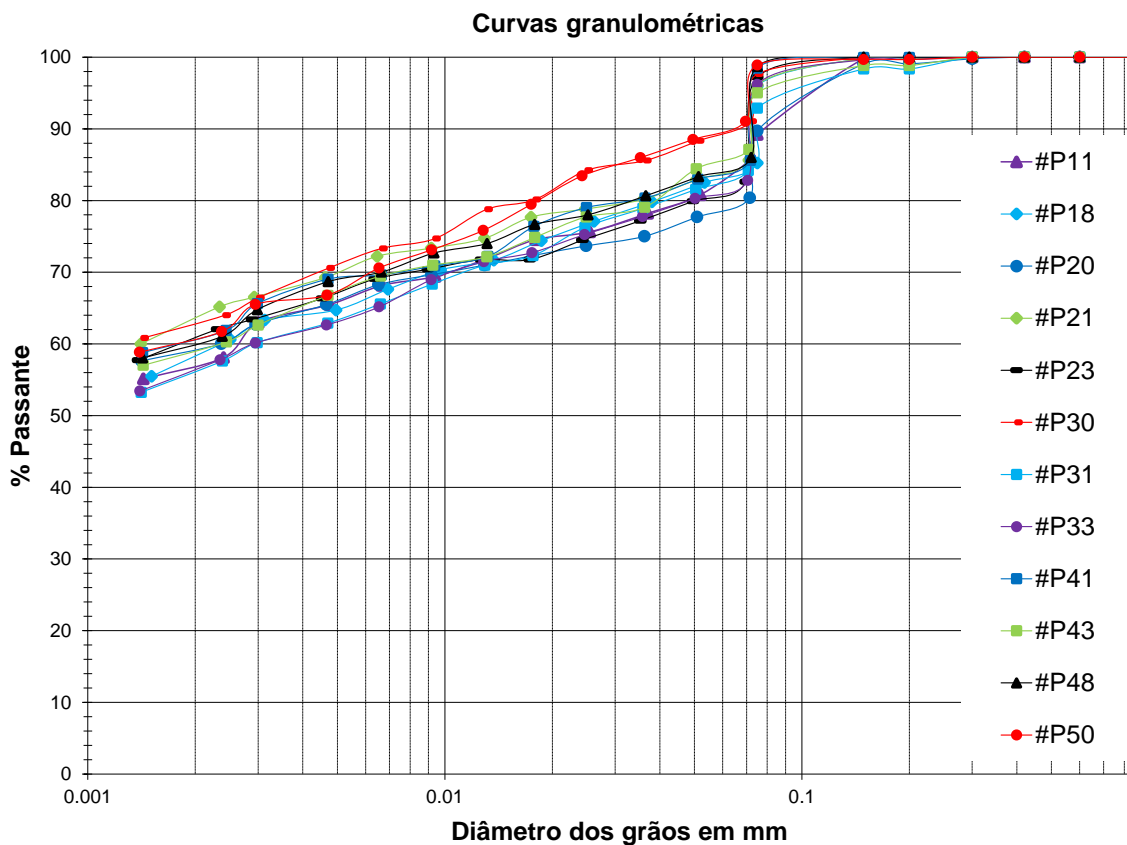


Tabela 2 – Percentuais das frações argila, silte e areia de acordo com classificação NBR 6502 (ABNT, 1995).

Amostra	Argila (%)	Silte (%)	Areia fina (%)	Areia média (%)
	< 0,002	0,002 - 0,06	0,06-0,2	0,2 - 0,6
#P11	57	26	17	0
#P18	58	25	17	0
#P20	59	19	21	1
#P21	64	20	16	0
#P23	61	20	19	0
#P30	63	27	10	0
#P31	56	26	16	2
#P33	56	25	19	0
#P41	61	23	16	0
#P43	59	27	13	1
#P48	60	24	16	0
#P50	61	29	10	0

Conforme descrito acima, neste trabalho os métodos utilizados para a determinação da granulometria do solo foram os ensaios de sedimentação,

com uso de densímetro, e peneiramento. Vale ressaltar, que outras técnicas como o método da pipetagem e o métodos com uso de granulômetro a laser também são amplamente utilizadas para determinação de características físicas do solo e por vezes pequenas divergências podem ser observadas entre os resultados destes diferentes métodos.

3.2 Limites de Atterberg, índice de plasticidade e índice de atividade coloidal

A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos através dos ensaios de limite de plasticidade (*LP*) e de liquidez (*LL*). O valor máximo encontrado para *LL* foi 85%, nas amostras #P43 e #P50 e o valor mínimo de 61% no ponto #P41. Para o *LP*, os valores variaram entre 45 e 21%. O índice de plasticidade ($Ip=LL-LP$), apesar de ter valores variando entre 24 e 51%, classifica todos os solos estudados como altamente plástico. O índice de atividade coloidal do solo (*Ia*) indica 9 amostras classificadas como solo inativo, indicativo de argila 1:1, e 3 amostras classificadas como de atividade normal. Importante ressaltar que muitas amostras se encontram próximas ao valor limítrofe entre as duas classificações.

Tabela 3 – Resultados de Limite de Liquidez (*LL*), Limite de Plasticidade (*LP*), Índice de Plasticidade (*Ip*) e Índice de Atividade Coloidal (*Ia*).

Amostra	LL	LP	Ip	% Argila	Ia
#P11	79	38	41	57	0,72
#P18	68	25	43	58	0,74
#P20	70	26	44	59	0,75
#P21	76	28	48	64	0,75
#P23	62	38	24	61	0,39
#P30	77	29	48	63	0,76
#P31	72	21	51	56	0,91
#P33	70	37	33	56	0,59
#P41	61	22	39	61	0,64
#P43	85	41	44	59	0,75
#P48	72	23	49	60	0,82
#P50	85	45	40	61	0,66

3.3 Índices físicos

Os índices físicos são apresentados na Tabela 4. Os valores do peso específico real dos grãos (γ_s), peso específico natural (γ_{nat}) e umidade (w) foram obtidos de forma experimental. O índice de vazios (e) e o grau de saturação (S) foram calculados a partir dos anteriores.

Os solos estudados possuem γ_s médio de 25,73 kN/m³, atingindo valor máximo de 26,93 kN/m³ no ponto #P33 e mínimo de 23,90 kN/m³ no ponto #P18. O peso específico natural do solo (γ_{nat}) médio encontrado foi 13,27 kN/m³, apresentando valores máximo e mínimo de 15,30 kN/m³ e 12,39 kN/m³, respectivamente. A umidade natural do solo apresentou valores entre 129,96% e 213,88%. Apenas o ponto #P50 obteve umidade discrepante com as demais, onde foi encontrado valor de 85,64%. O índice de vazios médio calculado foi de 4,06, com valor máximo de 5,64 no ponto #P23 e mínimo de 2,76 no ponto #P41. Estes valores se mostram coerentes com os encontrados por Dias & Alves (2009).

Tabela 4 – Índices físicos.

Amostra	γ_s (kN/m ³)	γ_{nat} (kN/m ³)	w %	e	S (%)
#P11	25,06	13,19	134,30	3,45	97
#P18	23,90	12,88	166,70	3,96	100
#P20	25,67	13,62	131,90	3,37	100
#P21	25,71	12,98	186,66	4,68	100*
#P23	26,39	12,47	213,88	5,64	100
#P30	24,91	13,46	164,79	3,90	100*
#P31	26,86	14,67	127,67	3,17	100*
#P33	26,93	12,70	203,20	5,43	100
#P41	25,01	15,30	129,96	2,76	100*
#P43	26,60	13,03	169,17	4,49	100
#P48	25,23	12,39	190,25	4,91	98
#P50	26,46	12,57	85,64	2,91	78

O grau de saturação (S) é um índice físico calculado a partir de outros índices obtidos experimentalmente. O grau de saturação representa a relação percentual entre o volume de água e o volume de vazios do solo e tem como valor máximo 100%. Foram calculadas 4 amostras com valores de saturação

maiores do que 100%. A heterogeneidade natural do solo na subamostra pode ajudar a explicar esta ocorrência. A presença de descontinuidades durante a moldagem do anel utilizado para determinar o γ_{nat} , por exemplo, pode prejudicar a sua obtenção. As amostras se encontravam saturadas, com exceção do ponto #P50. O tubo amostral deste ponto não apresentava boa vedação, o que pode ter causado perda de umidade.

4 DISCUSSÃO

As curvas granulométricas apresentadas na Figura 3 mostram similaridade na distribuição granulométrica das amostras analisadas. Todas as amostras possuem predominância da fração argilosa com valores entre 56 e 64 %. Apenas 3 amostras apresentaram grãos classificados como areia média, ainda que de forma pouco significativa (1 e 2%).

Todos os solos estudados aparecem à direita da Linha B no gráfico de plasticidade de Casagrande (Figura 4), indicando solos compressíveis e bastante plásticos. Em relação à Linha A, ocorreram pontos acima e abaixo, mas todos próximos a esta linha. Pontos acima da linha A indicam importante presença de argilas, pontos abaixo indicam solos siltosos ou argilas orgânicas.

A Figura 5 apresenta a relação entre o índice de plasticidade e o percentual da fração argila das amostras. Como visto na análise granulométrica, os solos estudados não possuem variação relevante quanto ao percentual de argila mas apresentam variação entre 24% e 51% no índice de plasticidade, tendo como valor médio 44%.

O diagrama de Shepard (1954) é um método de classificação bastante utilizado na área de sedimentologia e tem como base para a classificação os percentuais das frações argila, silte e areia. De acordo com esta metodologia, os solos estudados são definidos como argila siltosa, exceto a amostra #P20, classificada como argila arenosa.

Figura 3 – Gráfico de plasticidade de Casagrande.

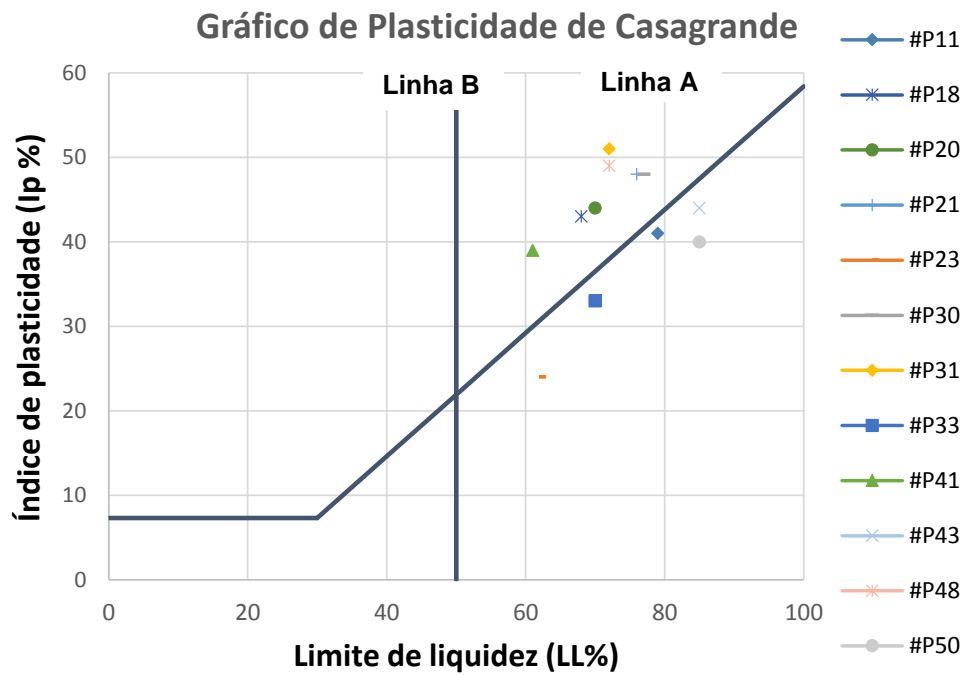
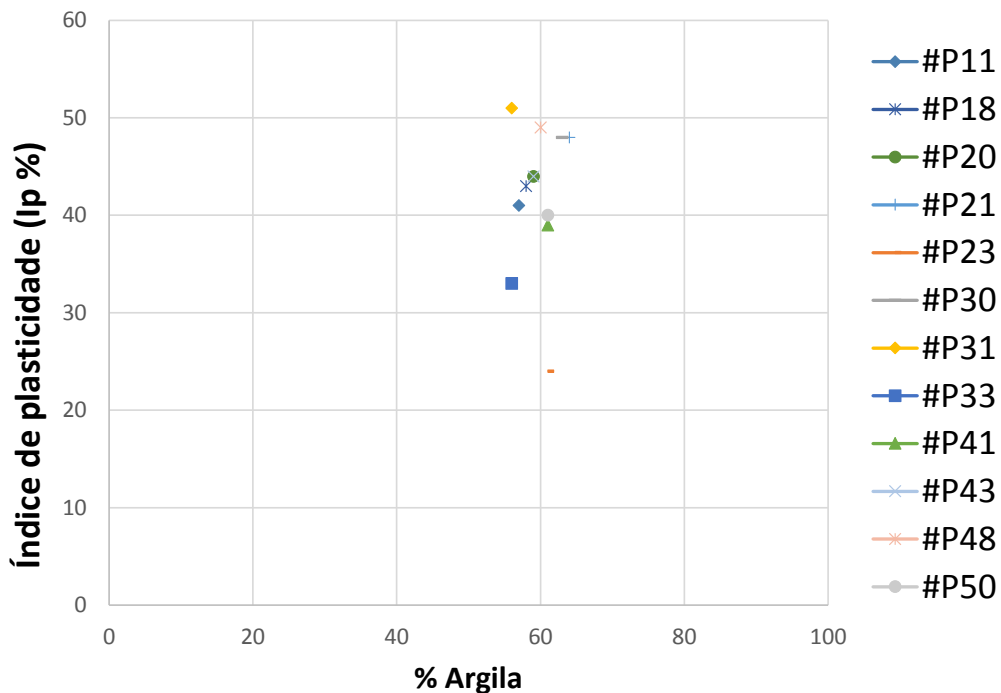


Figura 4 – Relação entre Índice de Plasticidade e o percentual da fração argila.



A classificação geotécnica dos solos utiliza os percentuais das frações granulométricas e índices de plasticidade. Nooray (1989) sugere que o Sistema Unificado de Classificação de Solos – SUCS, tradicional método de

classificação geotécnica, pode ser utilizado para solos marinhos de origem não biogênica. De acordo com o sistema SUCS os solos estudados são definidos como argila muito plástica para os pontos #P18, #P20, #P21, #P30, #P31, #P4 e #P48. Os demais pontos são classificados como argilas e siltes orgânicos ou siltes altamente plásticos.

5 CONCLUSÕES

Neste trabalho foram estudadas amostras de sedimentos coletados na plataforma continental no litoral sul do Rio Grande do Sul, em área referente a porção submersa da praia do Cassino. Os estudos focaram nas análises das amostras indeformadas contendo solos finos desta região.

As análises granulométricas indicaram solos finos classificados pelo diagrama de Shepard (1954) como argilas siltosas, com exceção do ponto #P20, classificado como argila arenosa. A metodologia SUCS classificou estes solos como argilas muito plásticas e argilas siltes orgânicos ou siltes altamente plásticos.

O limite de liquidez apresentou valores entre 61% e 85%, sendo a média dos valores igual a 73%. Para os limites de plasticidade variaram entre 45% e 21%, com valor médio das amostras igual a 31%.

Os valores médios de γ_s , γ_{nat} e índice de vazios foram 25,73 kN/m³, 13,27 kN/m³ e 4,06 respectivamente. As amostras de encontravam saturadas e com umidade natural entre 129,96% e 213,88%, com apenas o ponto #P50 obteve valores discrepante de grau de saturação e umidade.

Os resultados aqui apresentados, se mostraram coerentes com estudos anteriores, desenvolvidos com os solos finos marinhos presentes na praia do Cassino (BORZONE & GRIEP, 1991; PAIXÃO, 2012; DIAS & ALVES, 2009). Pesquisas futuras detalhando a mineralogia destes solos e outros parâmetros geotécnicos contribuirão para um maior entendimento do comportamento dos solos finos da região de estudo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a todos os envolvidos no projeto “Programa de Monitoramento do Sítio de Despejo e Área Adjacente do Material Dragado do Canal de Acesso ao Porto de Rio Grande”, em especial aos Prof. José Antônio S. Fontoura e a Profa. Débora Machado pela permissão para utilização das amostras que tornaram este trabalho possível. Agradecemos também ao Prof. Cezar Augusto Burkert Bastos, do Laboratório de Geotecnia e Concreto Prof. Cláudio R. R. Dias, pela valiosa ajuda na execução dos ensaios.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 6502 Rochas e solos**. Rio de Janeiro, 18p. 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 6458 Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8mm – Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água**. Rio de Janeiro, 10p. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 6459 Solo – Determinação do Limite de Liquidez**. Rio de Janeiro, 6p. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 7180 Solo – Determinação do Limite de Plasticidade**. Rio de Janeiro, 3p. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 7181 Solo – Análise Granulométrica**. Rio de Janeiro, 13p. 2016.

BORZONE, C. A., GRIEP, G. H. Características do sedimento superficial infralitoral da região costeira adjacente à desembocadura da Lagoa dos Patos, RS, Brasil. **Pesquisas em Geociências**, v. 18, n. 1, p. 71-78, 1991.

CALLIARI, L. J., FARIA, A. F. G. Bancos de lama na praia do Cassino: Formação, Implicações Geomorfológicas, Ambientais e Riscos Costeiros. Estudo de caso: maio de 2003. **Anais do II Congresso sobre Planejamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa. IX Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário. II**

Revista Mundi Engenharia, Tecnologia e Gestão. Paranaguá, PR, v.4, n.2, abril de 2019.

Congresso do Quaternário dos Países de Língua Ibéricas, 2003.

CALLIARI, L. J., SPERANSKI, N. S., TORRONTÉGUY, M., OLIVEIRA, M. B. The mud bank of Cassino Beach, Southern Brazil: Characteristics, Processes and Effects. **Journal of Coastal Research**, SI (24), p. 318-325, 2000.

DIAS, C. R. R., ALVES, A. M. L. Geotechnical properties of the Cassino Beach mud. **Continental Shelf Research**, v. 29, p. 589-596, 2009.

NOORAY, I. Classification of marine sediments. **Journal of Geotechnical Engineering**, v. 115, n. 1, p. 23-37, 1989.

PAIXÃO, B. E. G. **Distribuição Faciológica da Bacia de Pelotas**. 2012. Monografia (Graduação em Oceanologia), Instituto de Oceanografia, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2012.

SHEPARD, F. P. Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 24, n. 3, p. 151-158, 1954.

SUGUIO, K. **Geologia Sedimentar**. São Paulo: Editora Blucher, 2003.

VALÉRIO, B. S. B. **Caracterização Geotécnica de Fundo Marinho entre Rio Grande e Torres e de Fundo Lagunar entre Rio Grande e São Lourenço do Sul**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Oceânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2017.

Edição especial - 8º MCSul - Conferência Sul em Modelagem Computacional e VIII SEMENGO - Seminário e Workshop em Engenharia Oceânica.

Enviado em: 05 fev. 2019

Aceito em: 06 fev. 2019

Editores responsáveis: João Paulo Silva Lima / Liércio André Isoldi / Mateus das Neves Gomes