



VII SEMINÁRIO E WORKSHOP EM ENGENHARIA OCEÂNICA

Rio Grande, de 23 à 25 de Novembro de 2016

APLICAÇÃO DE SIG NO ESTUDO DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO N_{SPT} NA CAMADA DE ARGILA SILTOSA DE UMA ÁREA DO SUPERPORTO DE RIO GRANDE/RS.

Bruno Mariano Cerqueira da Silva¹, Antônio Marcos de Lima Alves²

¹ Universidade Federal do Rio Grande
PROINFRA

Avenida Itália, km 8, CP. 474, Rio Grande, RS, Brasil
e-mail: bmcerqueira@gmail.com

² Universidade Federal do Rio Grande
Escola de Engenharia

Avenida Itália, km 8, CP. 474, Rio Grande, RS, Brasil
e-mail: antonioalves@furg.br

RESUMO

Este artigo tem por objetivo mostrar resultados da organização, em um ambiente SIG, de um banco de dados geotécnico baseado em informações obtidas nos boletins e plantas de locação de sondagem à percussão do tipo SPT, executados em uma área na região do Superporto do Rio Grande/RS onde foi construído o Estaleiro Rio Grande, empreendimento que dispõe de um dique seco. O software de geoprocessamento empregado foi o ArcGIS, que possibilita a criação de produtos visuais com base na entrada de informações na forma de tabelas, e possui ferramentas para tratamento e edição dos dados de entrada. A organização espacial dessas informações no ambiente SIG permitiu criar, através de métodos de interpolação, mapas temáticos e gráficos dedicados a tipos específicos de observação como histogramas e mapas de distribuição espacial do N_{SPT} no terreno. Ênfase é dada no presente trabalho aos resultados obtidos na espessa camada de argila siltosa média, presente na região.

1. INTRODUÇÃO

É constante a necessidade de aprimoramento dos procedimentos e do conhecimento direcionados às atividades de planejamento e gestão, principalmente no que diz respeito à execução de obras costeiras. Quando se pensa em geoprocessamento de dados, a função mais básica do Sensoriamento Remoto e do Sistema de Informações Georreferenciadas (SIG) é catalogar e armazenar dados da região a fim de criar a base para o desenvolvimento de estudos de correlação, mudança, preservação e viabilidade dos mais diversos empreendimentos, ou seja, os SIG permitem não só o catálogo e monitoramento de dados, mas também explorar possíveis relações espaciais entre os dados coletados. A atribuição de localização espacial referenciada recebe o nome de georreferenciamento, e tem como objetivo principal relacionar a localização do elemento de estudo a coordenadas conhecidas, a fim de possibilitar a correlação com outros fenômenos e estudos, gerando assim um banco de dados crescente e interativo.

A aplicação das tecnologias de geoprocessamento em estudos de geotecnia vem crescendo na região de Rio Grande/RS ao longo dos últimos anos, muito devido à grande quantidade de dados que os empreendimentos do Polo Naval proporcionam, outro tanto devido ao grande avanço do poder de processamento dos computadores nas últimas décadas e acesso a softwares especializados, como ArcGIS, Idrisi, QGIS, RockWorks e tantos outros.

Este trabalho tem como objetivo mostrar resultados do geoprocessamento aplicado a uma área do Superporto de Rio Grande/RS, onde foi construído o Estaleiro Rio Grande. Os dados analisados foram oriundos de sondagens do tipo Standard Penetration Test (SPT) e foram analisados utilizando-se o programa computacional ArcGIS (ESRI, 2012). Será discutida a distribuição espacial do N_{SPT} no centro e nas extremidades da camada de argila média, entre as cotas -24 m e -42 m.

2. ÁREA DE ESTUDO

O cenário do presente estudo está localizado na área portuária do município de Rio Grande/RS (Fig. 1). Único porto marítimo do estado, o Porto de Rio Grande recebeu a implantação de um Polo Naval para a construção e reparo de cascos, plataformas de petróleo e outras embarcações de grande porte. O Estaleiro Rio Grande, com 500 mil metros quadrados, começou a ser construído na região no ano de 2006 e conta com um dique seco de 350 x 133 metros de área e 14 metros de profundidade. As oficinas têm capacidade de processamento de aproximadamente 12 mil toneladas de aço por ano e o complexo ainda conta com dois cais para acabamento e finalização das plataformas.



Figura 1 – Área do estudo.

3. PERFIL ESTRATIGRÁFICO DA REGIÃO

A planície costeira do Rio Grande do Sul, onde está localizado o Município de Rio Grande, tem como características as baixas cotas altimétricas (a maior a cerca de 5 metros acima do nível do mar), lençol freático pouco profundo e predominância dos ventos no sentido Nordeste-Sudoeste. A geomorfologia da região do município é formada por uma bacia de sedimentação com depósitos marinhos e lacustres, de acordo com Vieira (1970).

A partir de doze furos de sondagem executados ao longo de cerca de 12 km da costa do Superporto de Rio Grande, Dias (1993) apresentou um perfil longitudinal da área, conforme demonstrado na Fig. 2.

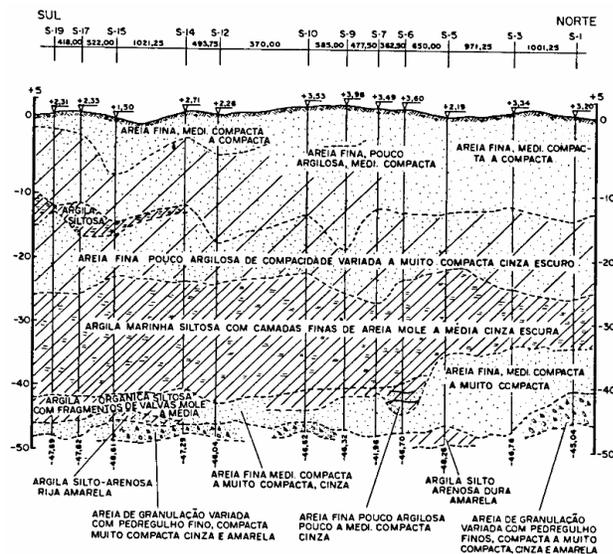


Figura 2 – Perfil estratigráfico para a região do Superporto de Rio Grande (Dias, 1993).

Os dados de sondagens das grandes obras realizadas na região, como por exemplo, a ampliação dos Molhes da Barra, a construção do dique seco e a remodelação do cais do Porto Novo permitiram que o perfil longitudinal apresentado na Fig. 2 fosse atualizado, conforme apresentado na Fig. 3.

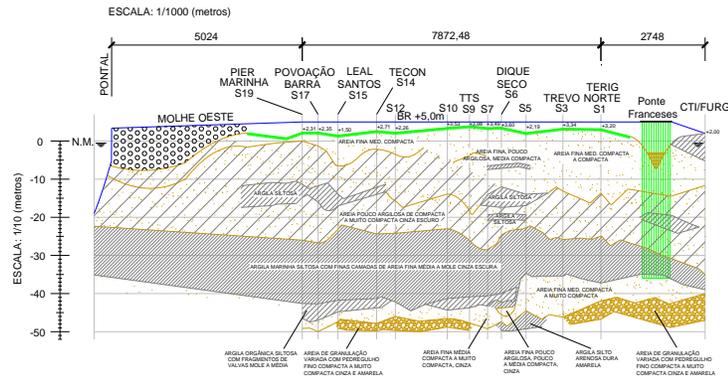


Figura 3 – Perfil estratigráfico atualizado da região do Superporto de Rio Grande (Dias et al., 2010).

Segundo Bastos (2014), os eventos de regressão e transgressão do nível do mar no Período Quaternário tiveram grande influência na constituição das camadas de deposição sedimentar na região. Bastos estudou, através de ensaios do tipo SPT e Piezocone (CPTu), a estratigrafia do terreno onde se localiza o Estaleiro Rio Grande no Superporto do Rio Grande (Fig. 4). Em seu estudo, que se refere aos sedimentos quaternários da área de estudo como materiais inconsolidados predominantes em meio aquoso de ambiente marinho ou transicional, formados por processos sedimentares, foram empregadas técnicas de geocronologia, como medidas de datação por Carbono 14. Os sedimentos finos, argila e silte, concentram-se em baías fechadas, ambientes de pouca energia, enquanto os sedimentos arenosos são mais facilmente encontrados em ambientes de maior energia como praias e rios. O caso específico da região do Superporto é de um ambiente de transição com suas planícies e canais de maré. Nele ocorrem finas intercalações de materiais arenosos e silto-argilosos em função das correntes de marés.

Bastos (2014) afirma ainda que além da sua constituição, as características geotécnicas destes sedimentos estão ligadas também ao nível de pré-adensamento, principalmente dos pacotes argilosos que, em função de sua fina granulometria, teriam expulsado lentamente a água devido ao aumento de peso ocasionado pelas deposições sucessivas de camadas e pelo processo de adensamento secundário relacionado ao tempo de formação dessas camadas. Além dos processos de regressão marinha, o que justifica sedimentos depositados num mesmo ambiente apresentarem propriedades geotécnicas distintas de acordo com a época em que foram depositados.

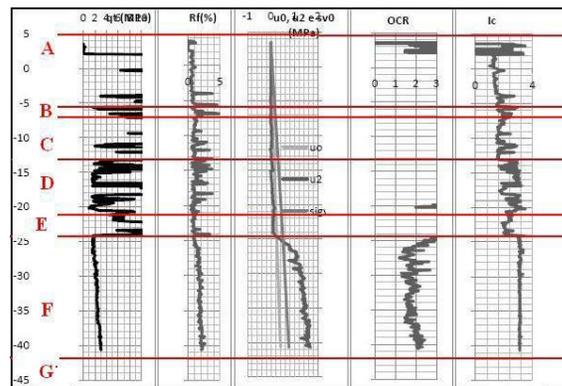


Figura 4 – Resultados de ensaio CPTu com a nova subdivisão das camadas (Bastos, 2014).

Bastos (2014) propôs uma divisão do perfil do subsolo na região do Estaleiro Rio Grande, onde as macro camadas foram nomeadas de A até G:

- (A) areia regressiva medianamente compacta localizada entre as cotas +3,8 m e -5,5 m;
- (B) argila siltosa intercalada por finas camadas de areia, entre as cotas -5,5 m e -7m;
- (C) areia medianamente compacta a compacta com lentes de argila siltosa próximas a base, entre as cotas -7 m e -13 m;
- (D) argilas siltosas entremeadas por camadas de areia com grande variabilidade no perfil, entre as cotas -13 m e -21 m;
- (E) areia muito compacta entre as cotas -21 m e -24 m;

- (F) argila siltosa de comportamento não drenado, muito homogênea entre as cotas -24 m a -42 m;
- (G) areias e argilas siltosas duras, solo turfoso ou presença de seixos e areias grossas de cor amarela, entre -42 m e -60 m.

4. METODOLOGIA EMPREGADA

4.1 Organização dos dados

São conhecidos como sondagens os procedimentos geotécnicos de campo utilizados para a investigação do subsolo, através do recolhimento de amostragem do material ou outras correlações. Neste estudo, as características do subsolo foram prospectadas através da sondagem de simples reconhecimento com realização do ensaio de penetração padrão, ou Standard Penetration Test (SPT), que é um procedimento que relaciona a resistência do solo à energia aplicada necessária para cravação de um cilindro amostrador padrão (também conhecido como barrilete) e observação do material recolhido durante o ensaio e avanço do furo. Segundo a norma técnica NBR 6484 (2001), as finalidades da sondagem de simples reconhecimento com ensaio SPT para as aplicações na Engenharia Civil são a determinação dos tipos de solo em suas respectivas profundidades de ocorrências, da posição do nível da água e dos índices de penetração a cada metro.

Os Sistemas de Informação Georreferenciada (SIG), por definição, precisam de dados que contenham localização espacial para que possam ser locados e relacionados. Para o presente estudo, além dos boletins de sondagem tipo SPT, foi utilizado um mapa georreferenciado (WGS 84) onde se encontram a previsão de localização dos pontos de sondagem no terreno. Cada um desses pontos contém as coordenadas geográficas em que foram realizadas as sondagens. Também foi utilizado um mapa “as built”, contendo a informação de onde foram efetivamente executadas essas sondagens, com coordenadas algumas vezes diferentes das definidas no projeto. O mapa “as built” não estava georreferenciado, portanto foi preciso compatibilizar os dois mapas para extrair as coordenadas geográficas de cada sondagem. Os dois mapas foram sobrepostos, procurando-se um ponto do projeto que coincidissem com algum ponto dentro do mapa “as built”. Feito isso, obteve-se um mapa contendo as sondagens efetivamente realizadas com suas coordenadas geográficas reais.

Com as coordenadas geográficas e os dados dos boletins de sondagem tipo SPT, foi organizada uma planilha eletrônica com o programa Microsoft Excel, contendo todas as informações presentes nos boletins e mais outras informações que puderam ser definidas posteriormente. Ao todo, foram utilizados os boletins de 147 sondagens executadas por cinco empresas diferentes, realizadas no período entre 2006 a 2008, sendo que 56 dessas sondagens foram executadas dentro da área do dique seco.

As sondagens realizadas pelas diversas empresas informam a cota da boca do furo em relação à cota zero, o nível do mar. Este dado precisou ser compatibilizado, já que nem todas partiam de uma cota inteira. Assim, os valores foram arredondados ao dígito mais significativo, para que fosse possível trabalhar apenas com valores inteiros de cota. Com isso foi possível isolar com mais facilidade todas as sondagens de uma mesma cota inteira, para então gerar o mapa de interpolação referente a cada uma das 54 cotas. O erro máximo obtido na compatibilização das cotas foi de 50 cm, o que, para fins de posicionamento da camada e da resistência do solo, é aceitável.

Na planilha de dados principal deste trabalho, que serviu de base para as análises no ArcGIS, além das coordenadas do furo de sondagem, também foram organizados os valores do número de golpes necessários à cravação do trecho final de 30 cm do amostrador padrão (N_{SPT}), dados referentes à descrição, cor e granulometria observadas do material recuperado pela sondagem e, sempre que observado, a presença de conchas, matéria orgânica e gás, todos devidamente localizados espacialmente e na cota em que se medem ou observam. Consistência e compacidade foram definidas com base nas colunas de descrição e N_{SPT} , de acordo com a norma NBR 6484 (2001). Na Tabela 1 mostra-se um excerto da planilha referente à sondagem identificada como 137. A forma de organização dos dados se repete para todas as outras sondagens.

Tabela 1 – Atributos qualitativos e quantitativos da sondagem 137 ao longo da profundidade.

FURO	COTA	N_{SPT}	CONSIST. OU COMPAC.	DESCRIÇÃO	COR	OBSERVAÇÃO	CAMADA
137	-11	50	MUITO COMPACTA	AREIA	CINZA		C
137	-12	15	MEDIANAMENTE COMPACTA	AREIA	VERDE		
137	-13	6	POUCO COMPACTA	AREIA	VERDE		
137	-14	5	POUCO COMPACTA	AREIA	VERDE		
137	-15	11	RIJA	ARGILA	CINZA ESCURO		D
137	-16	51	DURA	ARGILA	CINZA ESCURO		
137	-17	43	MUITO COMPACTA	AREIA	VERDE		
137	-18	7	POUCO COMPACTA	AREIA	VERDE		
137	-19	7	MÉDIA	ARGILA ARENOSA	CINZA ESCURO		
137	-20	7	MÉDIA	ARGILA ARENOSA	CINZA ESCURO		
137	-21	58	DURA	ARGILA ARENOSA	CINZA ESCURO		
137	-22	30	COMPACTA	AREIA	CINZA		E
137	-23	17	MEDIANAMENTE COMPACTA	AREIA	CINZA		

Em situações onde o amostrador do ensaio SPT não penetra toda a sua extensão, o valor de N_{SPT} é representado por uma fração, por exemplo 30/5, que representa 30 golpes para um avanço de 5 centímetros. Nestes casos, o valor de N_{SPT} foi extrapolado, para simular o número de golpes necessário para a penetração dos 30 cm finais do amostrador. No exemplo dado, o valor de N_{SPT} seria estimado em 180 golpes.

4.2 Inserção e análise dos dados no programa ArcGIS

Foi utilizado, como base, um mosaico composto por imagens aéreas da região do empreendimento datadas de 2012, ano em que boa parte da estrutura do estaleiro já estava construída, possibilitando uma fácil identificação dos dados do estudo no espaço. Essas imagens fazem parte de um banco de dados fornecido pelo Laboratório de Topografia da FURG. Todos os resultados obtidos no estudo foram lançados sobre essas imagens, com objetivo de criar mapas temáticos de fácil identificação, com uma referência espacial conhecida e bem definida. A resolução das imagens é de 60 cm. A Fig. 5 mostra a localização dos furos de sondagem sobre o mosaico de imagens aéreas.

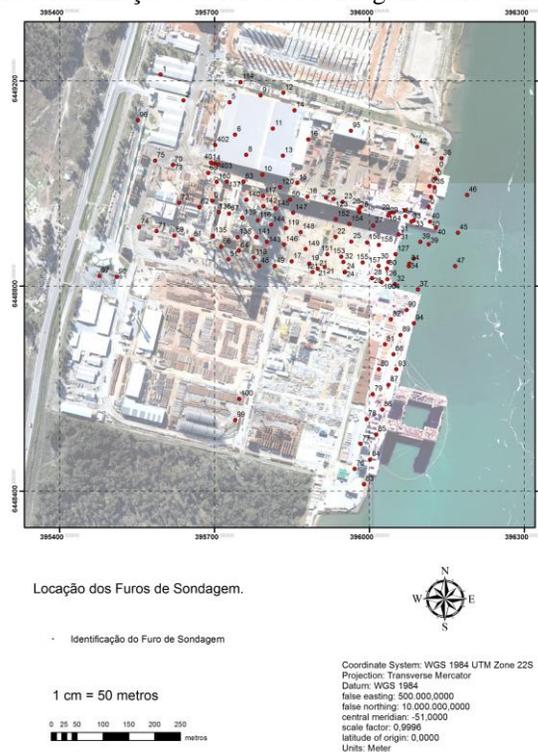


Figura 5 - Localização dos furos de sondagem.

Neste estudo, para fins de comparação e análise dos resultados, foram utilizados dois métodos de interpolação: IDW (Inverse Distance Weighted – Inverso da Distância Ponderada), e Krigagem Ordinária. O procedimento de interpolação foi realizado com cada método para cada uma das cotas. Tendo-se então dois métodos para cada cota e 55 cotas, foram gerados ao todo mapas temáticos mostrando a distribuição do valor de N_{SPT} no espaço entre as sondagens, atribuindo, através de cada método, valores de N_{SPT} aos pontos onde não existe sondagem, baseando-se na correlação entre as sondagens existente de acordo com cada método.

5. RESULTADOS

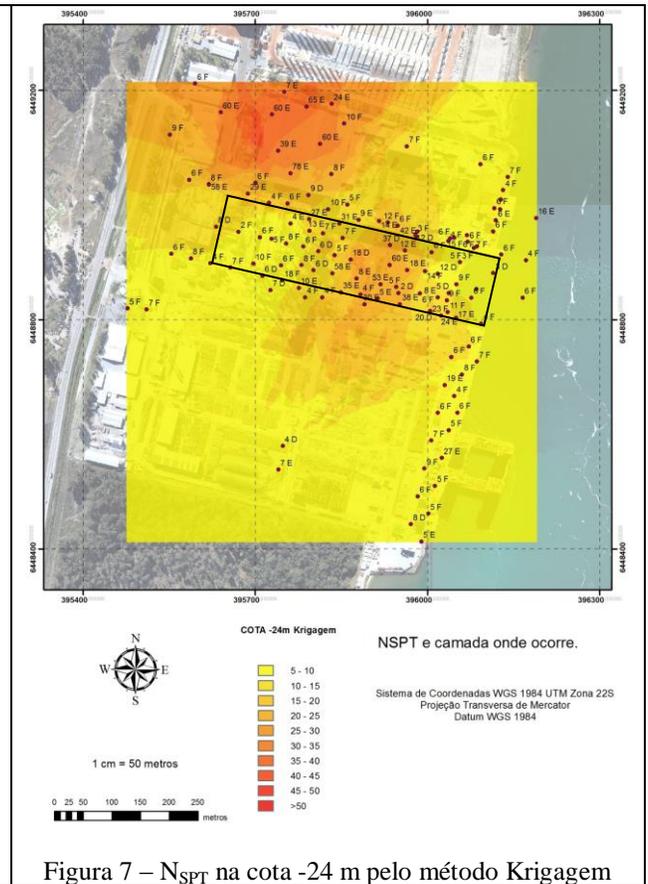
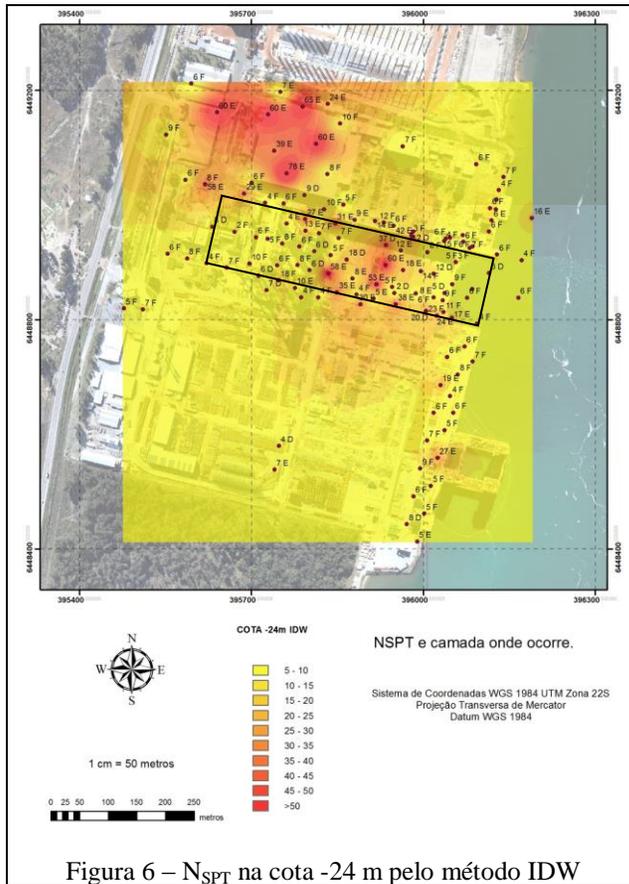
A camada F é de especial interesse para projetos de geotecnia na região, por se tratar de uma espessa camada de argila média, sujeita a grandes recalques, que ocorre em praticamente toda a área do Superporto de Rio Grande. Para exemplificar os resultados alcançados no estudo, escolheram-se as cotas -24 m, -33 m e -42 m, topo, centro e final da camada, respectivamente. (SILVA, 2015).

5.1 Distribuição do N_{SPT} no Topo da Camada de Argila Média

Na cota -24 m começa a ser percebida a presença massiva da camada F, a espessa camada de argila média de cor variando do cinza ao preto. De todas as sondagens realizadas, essa é a camada mais fácil de ser identificada. Especificamente na cota -24 m observa-se a transição da camada E, de areia compacta, pra camada F. Isto fica

destacado pelas manchas vermelhas mais ao norte da imagem, representando valores mais altos de N_{SPT} , relacionados com as amostragens pertencentes à camada E; e por uma área dominada pela cor amarela, indicativa de valores mais baixos de N_{SPT} , provenientes de sondagens que já atingiram a camada F. As Figuras 6 e 7 (IDW e Krigagem, respectivamente) ilustram bem essa transição.

Nas Figuras 6 e 7 também é possível observar a tendência da Camada F, já mostrada por gráficos e imagens anteriores, de surgir em cotas mais altas mais próximo da Lagoa, enquanto entre as sondagens mais ao norte e oeste da imagem ainda ocorre a camada E, reforçada pelo N_{SPT} mais alto. O retângulo preto indica o perímetro do dique seco do estaleiro. As manchas mais claras indicam zonas de menor resistência do solo; as zonas mais escuras, zonas de maior resistência. Abaixo dessa cota, a camada F prossegue por aproximadamente 20 metros.



O gráfico da Fig. 8 representa o histograma de distribuição do N_{SPT} na Cota -24 m. A Tabela 2 mostra os parâmetros estatísticos de N_{SPT} correspondentes à cota -24 m.

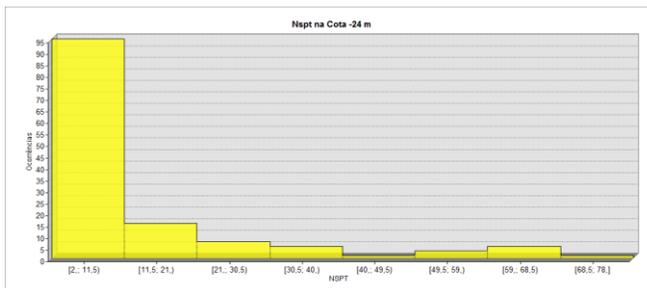


Tabela 2 - Parâmetros estatísticos da distribuição do N_{SPT} na cota -24m.

Total de Amostras	132
N_{SPT} mínimo	2
N_{SPT} máximo	78
N_{SPT} médio	13,48
Desvio Padrão	15,34

5.2 Distribuição do N_{SPT} no Centro da Camada de Argila Média

A dispersão dos valores de N_{SPT} na região central da camada F (cota -33 m) é pequena, o que pode ser observado no histograma de distribuição do N_{SPT} (Fig. 9) e também nos parâmetros estatísticos mostrados na Tab. 3.

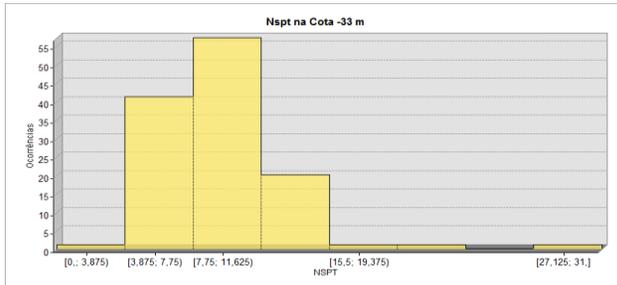


Figura 9 – Histograma de distribuição de N_{SPT} na cota -33 m.

Tabela 3 - Parâmetros estatísticos da distribuição do N_{SPT} na cota -33 m.

Total de Amostras	122
N_{SPT} mínimo	0
N_{SPT} máximo	31
N_{SPT} médio	8,95
Desvio Padrão	3,61

Os resultados da interpolação dos valores de N_{SPT} na cota -33 m são mostrados nas Fig.s 10 (método IDW) e Fig. 11 (método de Krigagem).

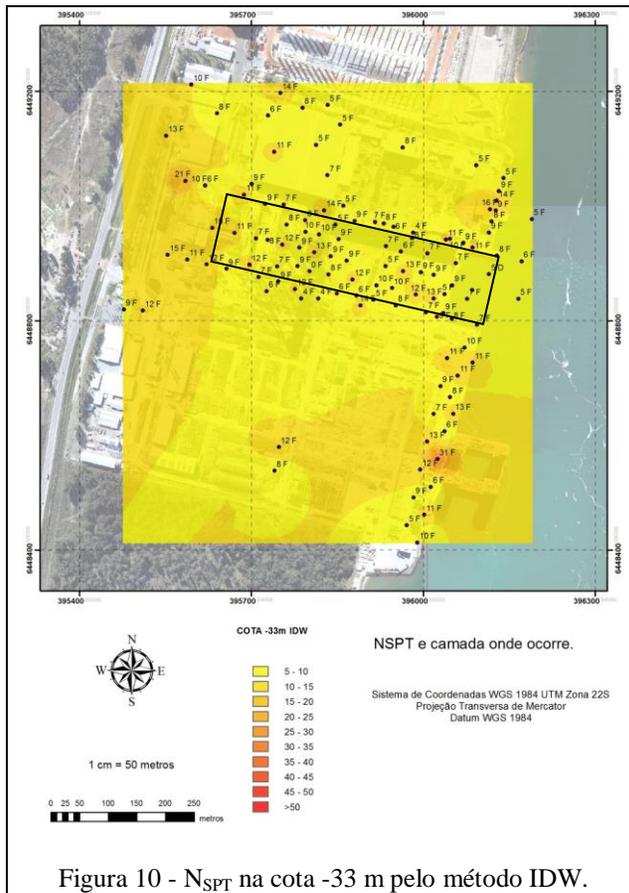


Figura 10 - N_{SPT} na cota -33 m pelo método IDW.

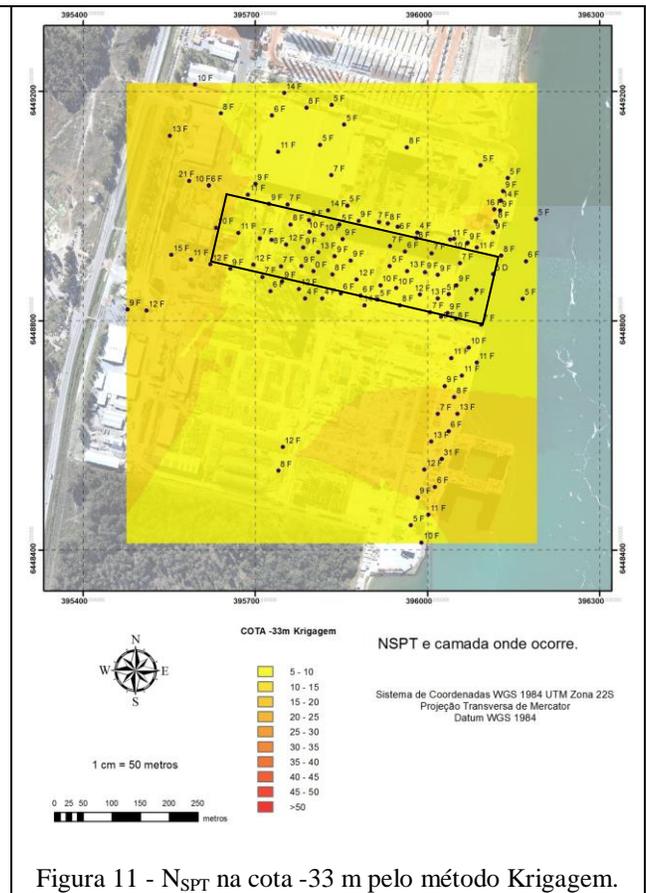
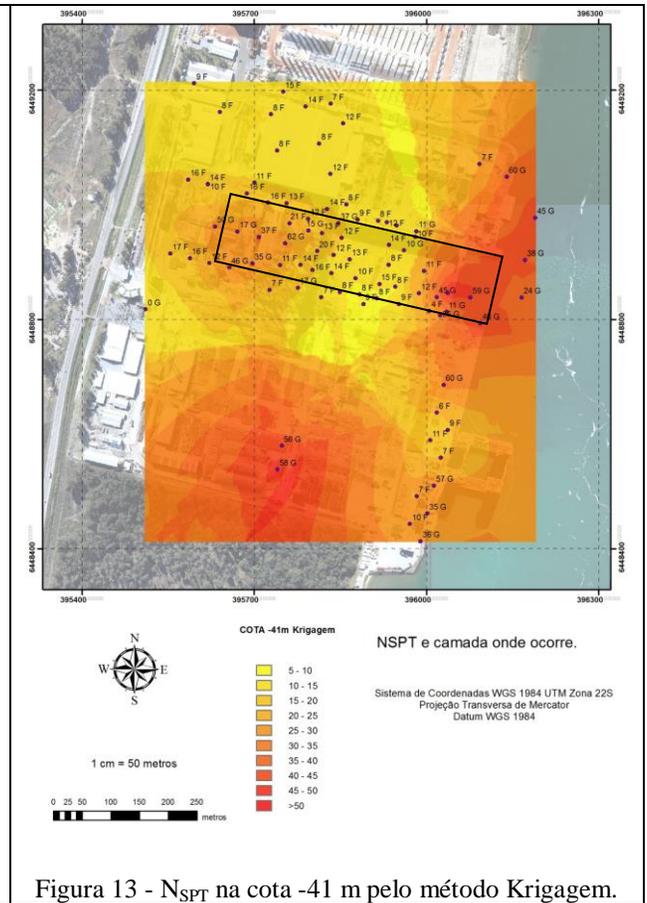
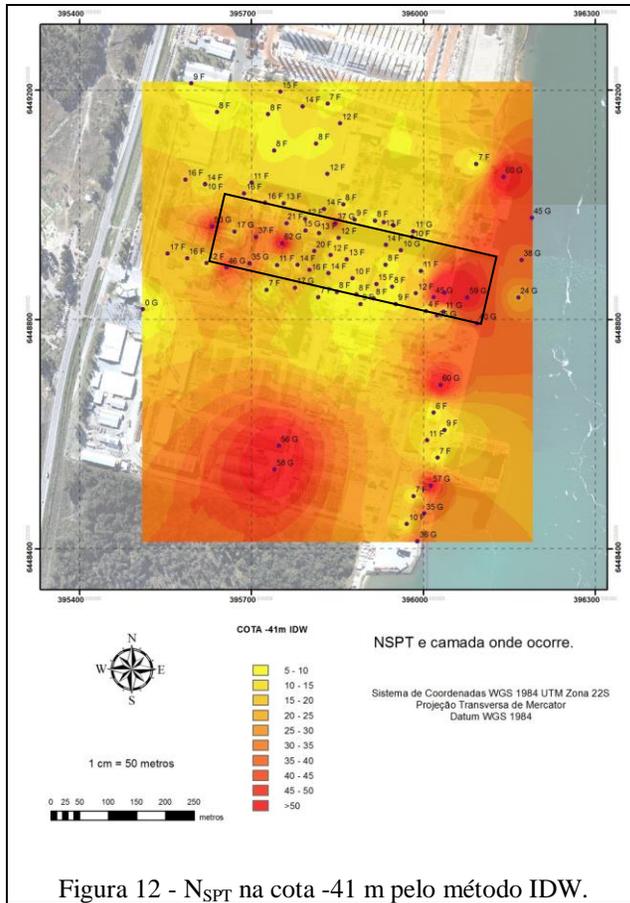


Figura 11 - N_{SPT} na cota -33 m pelo método Krigagem.

5.3 Distribuição do N_{SPT} na Base da Camada de Argila Média

Logo abaixo da camada de argila média (camada F), com espessura média de 20 m, surge a camada designada pela letra G, composta de areia compacta com alta resistência à penetração. A camada G começa a surgir, em média, na cota -41 m. Os altos valores de N_{SPT} encontrados na camada G têm um claro contraste com os valores mais baixos da camada F, como pode ser observado na Fig. 12 e Fig. 13.

A análise dessas imagens expõe a diferença entre os resultados dos dois métodos de interpolação adotados. Enquanto na Fig. 12 (IDW) os valores mais altos de N_{SPT} são expostos de maneira objetiva, traçando-se uma superfície vermelha ao redor do ponto de amostragem, na Fig. 13 (Krigagem) percebe-se uma superfície mais suave, com atenuação dos pontos de maior resistência. As áreas de maior resistência estão estendidas ao longo do cais e ao sul, próximas a duas sondagens que já atingiram a camada G e apresentam valores mais altos de N_{SPT} .



Também fica reforçada a tendência observada nos gráficos anteriores, onde a camada G começa a surgir em cotas mais altas perto da Lagoa e agora também, no espaço mais ao sul da imagem interpolada. Cabe destacar que nem todas as sondagens atingiram a camada G, diferentemente da camada F, que foi atingida por quase todas as sondagens.

O gráfico representado na Fig. 14 representa o histograma de distribuição do N_{SPT} na Cota -41 m. A Tabela 4 mostra os parâmetros estatísticos de N_{SPT} correspondentes à cota -41 m.

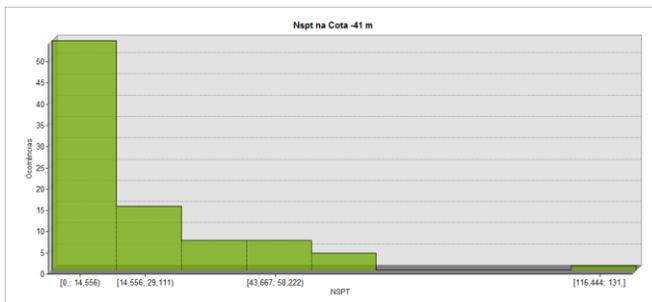


Figura 14 - Histograma de distribuição do N_{SPT} na cota -41 m

Tabela 4 - Parâmetros estatísticos da distribuição do N_{SPT} na cota -41m.

Total de Amostras	88
N_{SPT} mínimo	0
N_{SPT} máximo	131
N_{SPT} médio	20,26
Desvio Padrão	19,65

5.4 Conclusões

O presente trabalho visa contribuir para a disseminação do uso das ferramentas baseadas em SIG na análise geoestatística de dados do subsolo. Esta técnica apresenta grande potencialidade no tratamento e análise espaço-temporal de dados geológico-geotécnicos, adicionando confiabilidade às aplicações posteriores dos resultados em projetos e análises de obras.

O artigo focou na espessa camada de argila siltosa presente na região. Uma comparação entre dois métodos tradicionais de interpolação de dados (IDW e Krigagem) enfatizou uma diferença entre eles, qual seja, o método de Krigagem tende a uniformizar a distribuição dos dados interpolados, mesmo quando há valores muito discrepantes entre si; já o método IDW preserva as grandes variações nos dados que ocorrem em pequena escala. Porém, no caso da camada argilosa estudada, a diferença entre os resultados dos dois métodos não foi grande, uma vez que a camada se mostra bastante homogênea.

A pequena dispersão dos valores de N_{SPT} na camada F releva uma característica desta camada: a homogeneidade. Esta observação leva ao fato de que a diferença entre as superfícies geradas pelos dois métodos de interpolação é pequena. Porém, ainda assim é possível destacar as diferenças das distribuições espaciais geradas por cada método: o método de Krigagem tende a uniformizar a distribuição de N_{SPT} em regiões mais amplas, mesmo quando há valores de N_{SPT} muito discrepantes entre si; já o método IDW preserva grandes variações de N_{SPT} em distâncias curtas, gerando “vales” (pontos de menor resistência) ou “picos” (pontos de maior resistência) no modelo interpolado.

As zonas de menor resistência na camada argilosa também tendem a apresentar maior compressibilidade. Assim, mapas temáticos como os gerados no presente estudo podem contribuir para a avaliação e identificação de zonas menos resistentes quanto à capacidade de carga geotécnica, e com maior potencial de deformabilidade.

Os modelos de distribuição espacial gerados podem contribuir para o ante-projeto de futuras obras portuárias na região, e também para avaliação do desempenho de obras já executadas, contribuindo para o aumento da confiabilidade e economia.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT NBR 6484. Execução de Sondagem de Simples Reconhecimento do Solo. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2002.
- BASTOS, E.; Evolução e Estratigrafia do Terreno na Região do Superporto de Rio Grande/RS: Análise com Base em Propriedades Geotécnicas e Variações do Nível Médio do Mar. Rio Grande, RS, 2014. 141p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Oceânica), FURG - Universidade Federal do Rio Grande.
- DIAS, C. R. R. Parâmetros Geotécnicos da Argila Siltosa Mole da Cidade de Rio Grande – Região do Superporto. Vetor, Rio Grande, Vol. 3, p19-34. 1993.
- DIAS, C. R. R.; BASTOS, C. A. B.; PEDREIRA, C. L. S. Variações no comportamento geotécnico da camada argilosa profunda ao longo do Porto de Rio Grande: influência da energia durante o processo sedimentar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, 15, 2010, Gramado. Anais do XV COBRAMSEG. São Paulo: ABMS, 2010. In CD-ROM.
- ESRI. Manual ArcGIS. Redlands, CA, USA. 2012.
- SCHNAID, F. Ensaios de Campo e suas Aplicações à Engenharia de Fundações. 1. ed. São Paulo/SP, Oficina de Textos, 2000. 189p.
- SILVA, B. M. C. Banco de dados geotécnico com base em sondagens à percussão e uso do SIG: Análise espacial da distribuição das camadas de solo e do N_{SPT} em uma área do Superporto de Rio Grande – RS. Rio Grande, RS, 2015. 257p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Oceânica), FURG – Universidade Federal do Rio Grande.
- VIEIRA, E.F. Geografia do Município de Rio Grande. Rio Grande/RS. Prefeitura Municipal de Rio Grande – Secretaria Municipal de Educação e Cultura. 1970. 30p.

7. AVISO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo material apresentado neste artigo.