

SONDAGENS SPT: ANÁLISE DE ADEQUAÇÃO À NBR 6484 VIGENTE – ESTUDO DE CASO EM UM MUNICÍPIO DA PLANÍCIE COSTEIRA SUL DO RIO GRANDE DO SUL

Karina Retzlaff Camargo (Universidade Federal do Rio Grande – FURG) karinacamargo@furg.br
Valéria Vaz Alonso (Universidade de São Paulo – USP) valeriazalsonso99@gmail.com
Alana Stern Retzlaff (Universidade Federal do Rio Grande – FURG) alanasternr@gmail.com
Cezar Augusto Burkert Bastos (Universidade Federal do Rio Grande – FURG) cezarbastos@furg.br

Resumo: O trabalho reúne em um *WebSIG* resultados de sondagens SPT realizadas no município de Rio Grande, localizado no sul do estado do Rio Grande do Sul, na Planície Costeira, e verifica a adequação destes ensaios às três versões da norma NBR 6484. Observa-se que dentre os 66 conjuntos de relatórios avaliados, os quais agrupam 303 boletins de sondagens, em termos majoritários: (i) os ensaios tinham como finalidade fornecer informações geotécnicas a projetos e/ou execuções de obras públicas; (ii) foram realizados entre 2005 e 2015; (iii) apenas 7 empresas realizaram mais de um ensaio; (iv) nenhuma empresa tem sede em Rio Grande; (v) apresentaram croqui de locação dos furos; (vi) houve coleta de amostras; (vii) foi indicada a cota da boca do furo; (viii) há a indicação do nível d'água imediatamente após o ensaio, mas não após 12/24 horas; (ix) houve necessidade de estabilização do furo de sondagem; (x) o sistema de avanço não foi realizado de acordo com as normas técnicas ou não foi especificado; (xi) o critério de paralização de sondagem não foi especificado; (xii) o tubo de revestimento e o amostrador seguiram as indicações de norma; e (xiii) a classificação de compacidade/consistência foi adequada. Por fim, entende-se que, apesar de este estudo ter sido realizado com ensaios apenas de Rio Grande, é muito provável que as inadequações observadas não representem apenas uma realidade local.

Palavras-chave: Sondagem à percussão, sondagem de simples reconhecimento, SIG

SPT TESTS: ADEQUACY ANALYSIS TO CURRENT NBR 6484 – STUDY CASE IN A MUNICIPALITY OF THE SOUTH COASTAL PLAIN OF RIO GRANDE DO SUL STATE

Abstract: This paper organizes in a *WebGIS* data from SPT tests carried out in Rio Grande, city located in the South of Rio Grande do Sul state, in the Coastal Plain, and verifies the adequacy of these tests to the three versions of NBR 6484. It is observed that among the 66 sets of reports evaluated, which group 303 surveys bulletins evaluated, in majority terms: (i) the tests were carried out to provide geotechnical information for projects and/or execution of public works; (ii) were carried out between 2005 and 2015; (iii) only 7 companies carried out more than one test; (iv) no company is headquartered in Rio Grande; (v) presented a sketch of drilling holes location; (vi) samples were collected; (vii) the ground level was indicated; (viii) there is indication of the water level immediately after the test, but not after 12/24 hours; (ix) there was need to stabilize the drilling hole; (x) the advancement system was not made in accordance with technical standard or was not specified; (xi) the survey stoppage criteria was not specified; (xii) the coating tube and sampler followed the standard indications; and (xiii) the compacity/consistency classification was adequate. Finally, it is understood that although this study was carried out with tests only realized at Rio Grande city, it is very likely that the observed inadequacies do not just represent a local reality.

Keywords: Percussion test, Simple recognition test, GIS

1. Introdução

As campanhas de investigação para estudos geotécnicos e geoambientais utilizam diversos tipos de sondagens e ensaios com o objetivo de mapear a distribuição espacial dos geomateriais e definir parâmetros de projeto específicos para cada tipo de

intervenção. Assim, a etapa de identificação da distribuição e da constituição dos materiais é comum na maioria dos projetos de Engenharia e, normalmente, é conduzida através de sondagens em campo que produzem uma perfilagem vertical do terreno (MIO E GIACHETI, 2007). Outros autores são ainda mais enfáticos, afirmando que não há como desenvolver projeto de fundações e de geotecnia sem a realização de investigações geotécnicas e geoambientais de campo (BELICANTA E FERRAZ, 2000; SCHMERTMANN E PALACIOS, 1979; ODEBRECHT *et al.*, 2005; BELICANTA *et al.*, 2010, entre outros). A sondagem de simples reconhecimento com ensaio SPT (*Standard Penetration Test*) é, segundo Odebrecht *et al.* (2005), o sistema de investigação mais utilizado no Brasil pela engenharia geotécnica. Destaca-se que a simplicidade e robustez do ensaio, aliados ao baixo custo do equipamento e experiência empírica acumulada na execução e na sua interpretação fazem desta técnica uma ferramenta indispensável à prática de engenharia civil.

Embora os primeiros relatos internacionais do uso do SPT sejam dos primeiros anos da década de 1900, no Brasil o início da sondagem data da década de 1930. Mas somente em 1974 foi apresentada no V Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações a proposta de normatização do Método de Execução de Sondagens de Simples Reconhecimento dos Solos, a qual foi discutida e enviada à ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), em 1977, e tornou-se oficialmente a primeira norma brasileira de sondagem SPT, em 1979, sob o título “Execução de Sondagens de Simples Reconhecimento”, MB 1211/79 *apud* Odebrecht *et al.* (2005), com mudança posterior para a NBR 6484/80. Em 2001, a NBR 6484 foi revisada e publicada, embora apresente poucas modificações em relação à versão anterior. Entre as principais modificações destaca-se que foi designado que empresas que possuem equipamentos fora das especificações de norma devem apresentar valor médio da energia transferida à haste quando da aplicação do golpe do martelo. Em 2020, a NBR 6484 foi novamente revisada e publicada. Com isso passou a apresentar especificações para os processos do ensaio mecanizado e alterou os critérios de paralisação da sondagem e a classificação da compacidade/consistência dos solos.

Ao longo da evolução e disseminação do ensaio SPT, diversos trabalhos foram publicados sobre a falta da padronização e realização de procedimentos inadequados, tanto nacional quanto internacionalmente (SCHMERTMANN E PALACIOS, 1979; IRELAND *et al.*, 1970; BELICANTA E CINTRA, 1998; ABOU-MATAR E GOBLE, 1997; TEIXEIRA, 1977, TEIXEIRA, 1993). Passadas mais de quatro décadas da primeira normatização brasileira, embora se perceba melhoria na padronização dos equipamentos, ainda é evidente, na prática executiva do ensaio, diversos procedimentos inadequados. Neste contexto, o Laboratório de Geotecnia e Concreto Prof. Dr. Cláudio Renato Rodrigues Dias da Universidade Federal do Rio Grande (LGC-FURG) possui em seu acervo, que vem cuidadosamente sendo construído ao longo dos últimos 25 anos, relatórios de sondagens de simples reconhecimento com ensaio SPT ou, simplificada, SPT. Assim, este trabalho tem por objetivo a verificação da adequação à NBR 6484, em suas diferentes versões, das sondagens pertencentes ao acervo do LGC-FURG. Para isso, foram consideradas apenas sondagens realizadas no município de Rio Grande, município este localizado na porção sul do estado do Rio Grande Sul e pertencente à Planície Costeira daquele estado (DILLENBURG *et al.*, 2017). Como etapa intermediária e facilitadora, foi criado um *WebSIG*, um SIG (Sistema de Informações Geográficas) disponibilizado em ambiente virtual e que pode ser acessado remotamente, com os resultados das sondagens inventariadas.

2. Materiais e métodos

Após cuidadosa leitura de cada um dos relatórios de sondagem SPT, os dados de interesse foram digitalizados e organizados na forma de planilha eletrônica. Assim, nesta planilha foram inseridos dados gerais do relatório, como data, empresa executora, local da obra e responsável técnico, além dos resultados da sondagem. Como, em um relatório de sondagens SPT, o boletim apresenta junto aos valores de N_{SPT} (número de golpes para cravar os 30 cm finais do amostrador padrão do ensaio) a descrição textual das camadas ao longo da profundidade, foram criadas duas abas para armazenar esses dados separadamente. Uma vez completada a planilha com as informações do ensaio, foram inseridas duas colunas referentes às coordenadas geográficas de cada furo de sondagem. As coordenadas foram coletadas através do software *Google Earth*[®] e foi utilizado o datum SIRGAS 2000 e o sistema de coordenadas UTM (Universal Transversa de Mercator), no qual o município de Rio Grande se localiza na Zona 22 Sul. Em seguida, foi feita a confecção dos arquivos vetoriais utilizando o software *QGis*[®]. Dentre os complementos disponíveis foi utilizado neste trabalho o *Spreadsheet Layers*, o qual permite criar um arquivo vetorial a partir de uma planilha eletrônica. Os arquivos vetoriais utilizados são do tipo ponto e possuem os mesmos atributos que foram utilizados nas planilhas anteriormente descritas. Assim, foram desenvolvidos dois conjuntos de arquivos referentes ao mesmo ensaio, um para os resultados de N_{SPT} e outro para a descrição textual das camadas. Com os arquivos vetoriais finalizados, o SIG pode ser acessado dentro do próprio *QGis*[®]. Entretanto, para facilitar o acesso aos dados, optou-se pela utilização da plataforma *ArcGis Online*[®], através de um perfil online mas privado, o qual foi disponibilizado para uso interno do Grupo de Geotecnia da FURG. O *WebSIG* construído é composto pelos shapes confeccionados com os resultados dos ensaios sobrepostos a uma imagem de satélite disponibilizada pela empresa desenvolvedora do *ArcGis Online*[®], a *Esri*[®]. O *WebSIG* foi criado com duas janelas de visualização, as quais permitem a visualização simultânea dos resultados numéricos e textuais dos ensaios. Além disso, o aplicativo foi configurado de forma a disponibilizar algumas ferramentas ao usuário, como legenda, barra de pesquisa e posição em tempo real.

O acervo do LGC-FURG é bastante heterogêneo quanto à idade dos documentos, com relatórios entre as décadas de 1970 e 2020. Por isso, inicialmente foi realizado um levantamento das diferenças entre as versões da norma NBR 6484 (1980, 2001 e 2020), as quais foram levadas em consideração para análise da adequação dos boletins e relatórios à norma vigente em seu período de execução. Para facilitar a análise, foram criadas planilhas eletrônicas com as informações de interesse. Quanto aos relatórios (Figura 1), foram registrados: (i) código do conjunto de ensaio; (ii) empresa responsável; (iii) completude do relatório (relatório completo ou apenas boletins de sondagem); (iv) finalidade da obra (residencial, comercial, industrial ou pública); (v) precisão da informação sobre o local (presença de croqui e/ou coordenadas geográficas); (vi) quantidade de furos de sondagem; (vii) indicação sobre a retirada de amostras do solo; (viii) presença de descrição das camadas; e (ix) ano de realização. Para cada um dos boletins foram registrados (Figura 2): (i) código do boletim; (ii) cota da boca do furo; (iii) posição do nível d'água (NA) imediatamente após o ensaio; (iv) posição do NA 12/24 horas após o ensaio; (v) indicação da forma de avanço de perfuração; (vi) método de estabilização do furo de sondagem (não realizada ou realizada com tubo de revestimento e/ou com lama bentonítica); (vii) critério de paralisação da sondagem; (viii) realização do deslocamento radial; e (viii) equipamentos

utilizados. Ao longo da profundidade dos boletins de sondagem foram registrados (Figura 3): (i) número da camada no perfil; (ii) N_{SPT} ; (iii) cota inicial; (iv) cota final; (v) classificação de compacidade/consistência descrita no relatório; e (vi) classificação de compacidade/consistência de acordo com os critérios da norma técnica vigente no ano de execução do ensaio.

SÍMB.	OBRA	EMP. RESPO.	RELAT. COM.	FINALIDADE	CROQUI	Qte FUR.	AMOSTRA DE SO.	PERFIL GEOL./GEOTÉC.
AG			Sim	Residencial	Sim, sem coordenadas geog	4	SIM.	Possui ambas.
AQ			Não, apenas	Comercial	Não	-	NÃO INFORMADC	Possui descrição textual da
AS			Sim	Governamental	Sim, sem coordenadas geog	6	SIM.	Possui descrição gráfica da
BG			Não, apenas	Industrial	Sim, sem coordenadas geog	5	NÃO INFORMADC	Possui descrição textual da
BM			Sim	Comercial	Sim, sem coordenadas geog	3	SIM.	Possui descrição textual da
BR			Sim	Industrial	Sim, sem coordenadas geog	4	NÃO INFORMADC	Possui ambas.

Figura 1 – Exemplo de planilha eletrônica utilizada para a análise dos relatórios (alguns dados foram ocultados em função do sigilo da informação)

FURO	Cota boca furo	Prof. (m)	N.A.						AVANÇO		ESTABILIZAÇÃO DO FURO	
			Imed.	Prof. (m)	24 hs	Prof.	Interrupções	Prof.Inicial (m)	Prof.Final (m)	Trado	Se fez necessário	Método
AS 01	Cota informad	-9,5	SIM.	-1	NÃO.	-	Não	-	-	Não informado.	SIM	LAMA BENTC
AS 06	Cota informad	-9,5	SIM.	-0,9	NÃO.	-	Não	-	-	Não informado.	SIM	LAMA BENTC
AS 08	Cota não infor	-	SIM.	-0,5	NÃO.	-	Não	-	-	Não informado.	SIM	LAMA BENTC
AS 09	Cota informad	-8	SIM.	-0,8	NÃO.	-	Não	-	-	Não informado.	NÃO INFORMADC	
AS 11	Cota não infor	-	SIM.	-0,5	NÃO.	-	Não	-	-	Não informado.	NÃO INFORMADC	
AS 12	Cota não infor	-	SIM.	-0,6	NÃO.	-	Não	-	-	Não informado.	NÃO INFORMADC	

LAVAGEM			PARALISAÇÃO				EQUIPAMENTOS				
1981	2001	2020	Por outro motivo	Motivo	1981	2001	2020	Deslocamento rad	Torre com roldana	Tubos de revestimento	Amostrador padrão
			Motivo não inf.	A pedido.		Não especificado e impr		NÃO	Não informado.	Não informado	2001 -diâmetros exte
			Motivo não inf.	A pedido.		Não especificado e impr		NÃO	Não informado.	Não informado	2001 -diâmetros exte
			Motivo não inf.	A pedido.		Não especificado e impr		NÃO	Não informado.	Não informado	2001 -diâmetros exte
			Motivo não inf.	A pedido.		Não especificado e impr		NÃO	Não informado.	Não informado	2001 -diâmetros exte
			Motivo não inf.	A pedido.		Não especificado e impr		NÃO	Não informado.	Não informado	2001 -diâmetros exte
			Motivo não inf.	A pedido.		Não especificado e impr		NÃO	Não informado.	Não informado	2001 -diâmetros exte

Figura 2 – Exemplo de planilha eletrônica utilizada para a análise dos boletins de sondagem

FURO 3					
NSPT	Camada (m)	Cota Inicial (m)	Cota Final (m)	Relatório	Norma
9	1	0	1	AREIA FINA MEDIA	NSPT 9 a 18 Cor
16	2	1	2	AREIA FINA MEDIA	NSPT 9 a 18 Cor
22	3	2	3	AREIA FINA COMP	NSPT 18 a 40 Ct
39	4	3	4	AREIA FINA COMP	NSPT 18 a 40 Ct
41	5	4	5	AREIA FINA MUITO	NSPT > 40 Muito
42	6	5	6	AREIA FINA MUITO	NSPT > 40 Muito

Figura 3 – Exemplo de planilha eletrônica utilizada para a análise ao longo da profundidade de um dado boletim de sondagem

3. Resultados e discussão

Pertencem ao acervo do LGC-FURG 70 relatórios de sondagens, os quais agrupam 388 boletins realizados em Rio Grande. Entretanto, alguns desses relatórios e boletins são bastante antigos e, por impossibilidade de identificar com precisão a localização dos ensaios, foram inseridos no SIG apenas 66 relatórios. Destes, 67% são compostos por documentos completos e os demais são compostos apenas por boletins de sondagens. Com isso, foram inseridos no SIG 303 boletins de sondagens. O menor relatório é composto por um único boletim e o maior por 56 sondagens. Toda a análise apresentada neste trabalho leva em consideração somente os ensaios incluídos no SIG, cujas localizações são ilustradas na Figura 4.

A Figura 5 ilustra o *WebSIG* criado. A ferramenta permite dar zoom para verificar a densidade das sondagens em uma dada região e selecionar um furo de sondagem de interesse. Uma vez selecionado o furo de sondagem, são apresentados dois mapas: (i) um onde são apresentados os valores de N_{SPT} ao longo da profundidade; e (ii) outro no qual é apresentada a descrição e classificação de compacidade/consistência das camadas, também, ao longo da profundidade. Destaca-se que a navegação nos dois mapas ocorre simultaneamente, o que evita com que possam ser lidos, equivocadamente, dados referentes a pontos distintos.

A Figura 6a apresenta a distribuição dos relatórios conforme o ano da execução dos serviços de sondagens, bem como da versão da NBR 6484 utilizada para interpretá-los.

Observa-se que menos de 3% dos relatórios foram realizados antes de haver norma técnica específica e 19,1% e 77,9% dos conjuntos foram analisados em função das versões de 1980 e 2001 da NBR 6484, respectivamente. Apenas um relatório datava do ano de 2021, o qual não foi considerado nesta análise uma vez que este único dado não seria representativo estatisticamente para verificação da adequação em relação à versão de 2020 da NBR 6484. É importante destacar que a sondagem realizada no ano de 1980, data de publicação da primeira versão da NBR 6484, foi considerada na análise de adequação a esta versão da norma uma vez que a MB 1211, de 1979, já normatizava a realização dos mesmos procedimentos. Observa-se que um grande número de sondagens foi realizado entre 2005 e 2016, o qual, provavelmente, está relacionado à instalação do polo naval na região. Esta instalação, além das obras relacionadas ao polo propriamente dito, incentivou muitas obras de infraestrutura na cidade (CUNHA E RUCKERT, 2019) e impulsionou a construção de residências devido ao impacto migratório dos trabalhadores e consequente o aumento significativo nos valores de locação e revenda de imóveis na região (RAMOS E MARTINS, 2017).

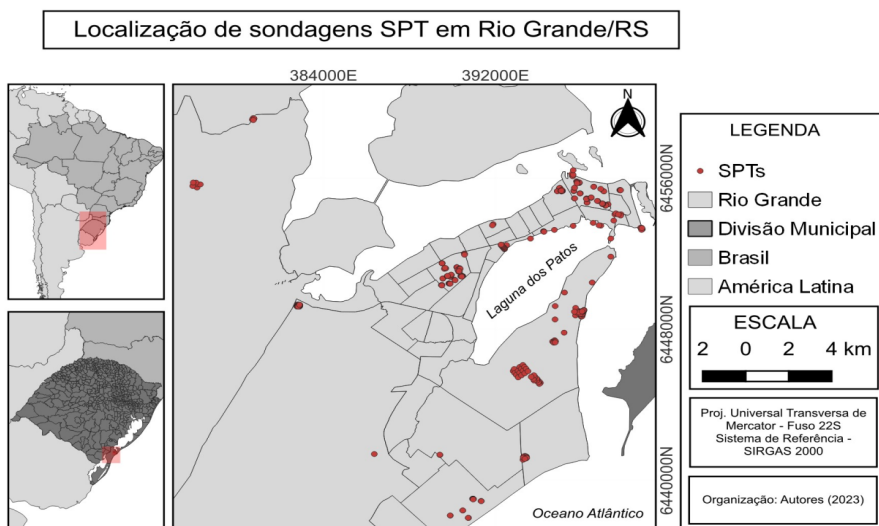


Figura 4 – Mapa de localização das sondagens SPT em Rio Grande/RS

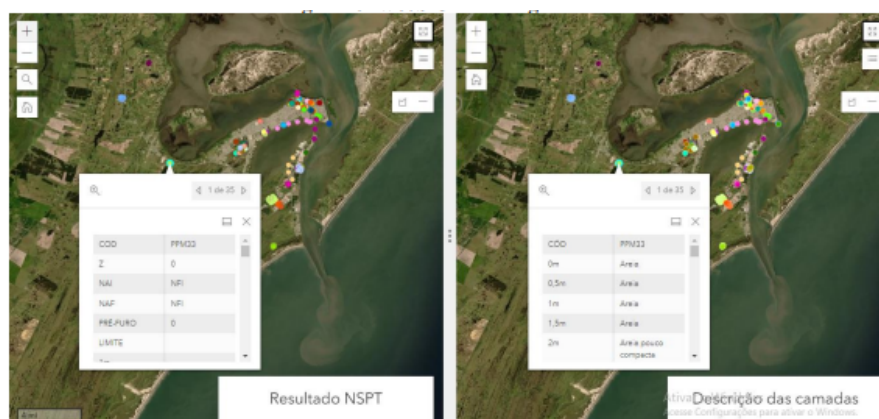


Figura 5 – WebSIG de sondagens SPT em Rio Grande/RS

A Figura 6b mostra a distribuição da finalidade das sondagens realizadas em função do número de relatórios. Observa-se que a maior parte (40,9%) dos relatórios analisados tinha como objetivo servir de fonte de informação geotécnica para algum tipo de obra pública. Apesar disso, pela forma de obtenção dos dados para o acervo, isto não é um

indicativo que mais obras públicas tenham sido realizadas na região. Entende-se que isto, provavelmente, é consequência da Lei de Acesso à Informação (2011), a qual assegura o direito fundamental de informações produzidas ou armazenadas por órgão da União, Estados, Distrito Federal e Municípios. É conveniente destacar que nesta análise também foram consideradas como sondagens com finalidade residencial aquelas solicitadas por agentes governamentais, mas com finalidade residencial, como, por exemplo, sondagens para a construção de condomínios habitacionais com subsídio público.

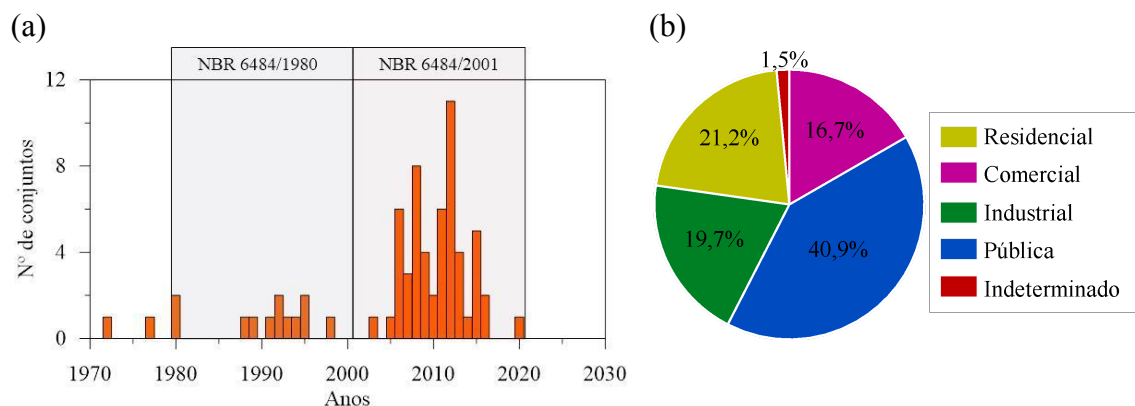


Figura 6 – (a) Distribuição do ano de realização; e (b) Distribuição da finalidade

A Figura 7a mostra a distribuição dos relatórios de sondagem em função das empresas responsáveis. Em função do sigilo da informação, o nome de cada empresa foi oculto no gráfico e, assim, foi associada a cada empresa uma letra maiúscula para representá-la. Observa-se o predomínio de uma empresa, a qual foi responsável por 28,9% dos relatórios analisados e que apenas dez empresas foram as responsáveis pela execução de mais de um relatório de sondagem.

A Figura 7b mostra a distribuição das cidades sede das empresas responsáveis pela execução das sondagens e elaboração dos relatórios analisados. Observa-se que mais da metade dos relatórios foi realizada por empresa com sede em Pelotas, cidade vizinha à Rio Grande (cerca de 50 km de distância). Quase 40% dos relatórios de sondagens foram realizados por empresas com sede em Porto Alegre, capital do RS, ou região metropolitana (cerca de 350 km de distância) e 3% dos relatórios foram realizados por empresas com sede fora do estado do RS. É importante ressaltar que, entre os relatórios analisados neste trabalho, nenhuma das empresas tem sede em Rio Grande. Apesar disso, tem-se conhecimento de duas empresas que mais recentemente passaram a realizar este tipo de sondagem na região e que tem sede em Rio Grande. Uma que possui equipamento convencional e outra que possui equipamento mecanizado.

Dos relatórios analisados, 72,5% apresentaram indicação da coleta de amostras, conforme é preconizado em todas as versões da NBR 6484, e em 27,5% não foram encontradas quaisquer indicações a respeito. Em apenas um relatório foi indicada a impossibilidade da retirada de amostras, em consonância com a indicação das diferentes versões da NBR 6484. Em todos os relatórios analisados foi observada a presença de descrição textual e/ou gráfica das camadas, conforme também é recomendado em todas as versões da norma avaliada.

Como o número de sondagens é muito variável entre os relatórios, para não afetar a análise estatística, optou-se por considerar na análise a resposta média dos boletins de um mesmo relatório de sondagens. Observa-se, na Figura 8a, que em mais da metade

dos relatórios analisados não foi realizada a indicação da cota da boca do furo, o que vai de encontro a todas as versões da norma técnica considerada.

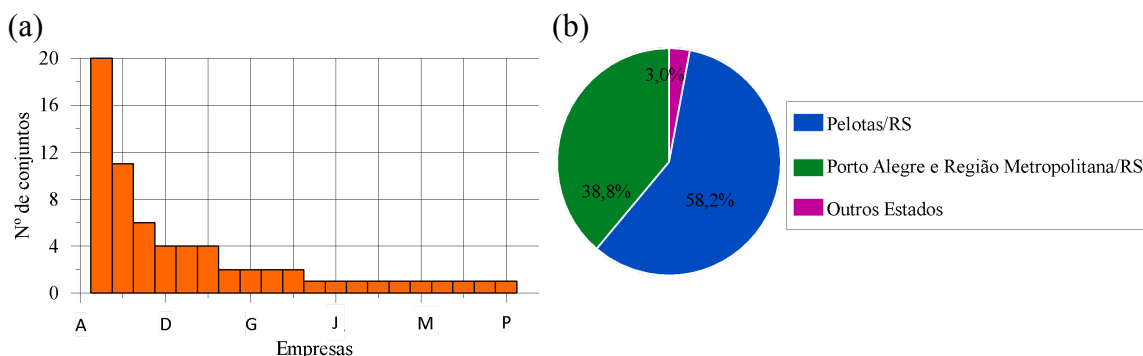


Figura 7 – (a) Distribuição dos números de relatórios por empresa responsável; e (b) Distribuição das cidades sede das empresas responsáveis pelos relatórios analisados

As Figuras 8b e 8c mostram a análise da leitura do NA imediatamente e após 12/24 horas do ensaio, respectivamente. Estas leituras são indicadas em todas as versões da norma técnica. Entretanto, entre as versões de 1980 e 2001 foi realizada uma alteração em relação ao tempo mínimo para medida do NA após a finalização do ensaio. Enquanto a versão de 1980 exigia um tempo mínimo de 24 horas, a versão de 2001 passou a exigir um tempo mínimo de 12 horas. Observa-se que, embora a leitura do NA imediatamente após o ensaio tenha sido realizada na maioria das vezes (79,7%), a leitura 12/24 horas após o ensaio foi realizada em apenas um terço das vezes. Destaca-se que a posição da NA após 12/24 horas após o ensaio, ou seja, após a estabilização do NA quando da realização de avanço do furo de sondagem por circulação de água, é parâmetro de suma importância em projetos geotécnicos e que, em grande parte das vezes, não vem sendo disponibilizado, mesmo com a realização da sondagem.

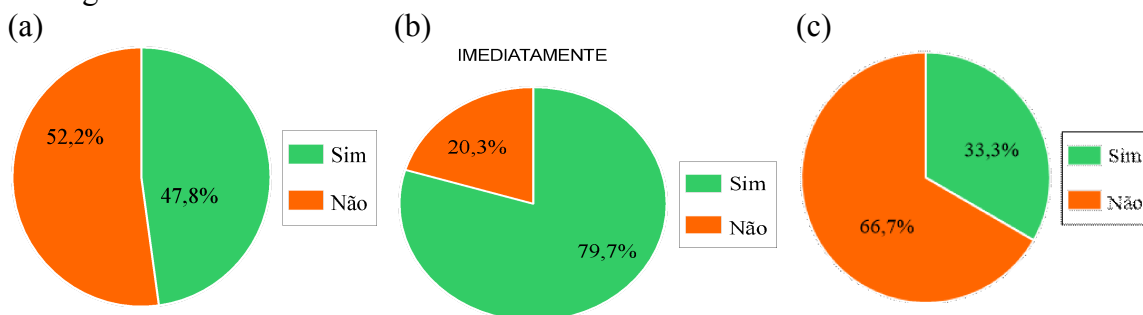


Figura 8 – (a) Indicação da cota da boca do furo; e Indicação do NA: (b) imediatamente após a sondagem; e (c) 12/24 hs após a sondagem

Foi observado que, em todos os casos em que as sondagens sofreram paralisações nos trabalhos (10 relatórios), foi discriminada apenas uma cota de nível d'água. Convém salientar que a versão de 1980 da norma analisada especificava que antes do reinício da sondagem é obrigatória a indicação da posição do NA, bem como da profundidade do tubo de revestimento. Já a versão de 2001 especificava que sempre que ocorrer interrupção na execução da sondagem é obrigatória, tanto no início quanto no final desta interrupção, a medição e registro da posição do NA, bem como da profundidade aberta do furo e posição do tubo de revestimento.

A Figura 9a mostra a análise da necessidade de estabilização do furo de sondagem e da forma de estabilização adotada. Observa-se que, na maioria dos relatórios, foi

necessário realizar a estabilização do furo de sondagem, a qual, na maior parte das vezes, foi realizada com o uso de tubo de revestimento. Em 10,4% dos relatórios foi utilizada como forma de estabilização apenas a lama bentonítica e em 38,8% as duas soluções foram utilizadas simultaneamente. Convém destacar que nas versões da norma de 1980 e 2001 é especificado que quando a parede do furo se mostra instável, é obrigatória para amostragens subsequentes a descida do tubo de revestimento. Porém, em casos de sondagens profundas em solos instáveis, onde a descida ou posterior remoção de tubos de revestimento for problemática podem ser empregadas lamas de estabilização em lugar de tubos de revestimento, desde que não estejam previstos ensaios de infiltração na sondagem. Esta pode ser a justificativa para o uso de apenas lama bentonítica nas situações analisadas. Entretanto, a norma ainda orienta que esta dificuldade deve ser especificada no relatório, o que não foi observado em nenhum caso. Por sua vez, na versão de 2020 é especificado que quando for necessário realizar a estabilização do solo, esta deve ser realizada por meio de tubo de revestimento ou fluido de estabilização, como lama bentonítica, polímeros ou similares. Entende-se que a predominante necessidade de estabilização dos furos de sondagem na região se dá pela natureza sedimentar recente dos depósitos, os quais são formados por terrenos arenosos e/ou argilosos não consolidados (TOMAZELLI E VILLWOCK, 2005; LOPES *et al.*, 2016; TOMAZELLI *et al.*, 2000).

A Figura 9b mostra a análise da forma de avanço adotada nas sondagens, a qual não foi indicada em apenas 1,4% das vezes. Verifica-se que as formas de avanço mais adotadas foram: (i) apenas trado; (ii) por trado até o NA e circulação de água após o NA; e (iii) apenas circulação de água. Convém destacar que esta análise foi realizada com base nas informações obtidas nos relatórios de sondagem. Entende-se como pouco provável a execução de ensaios apenas com trado, uma vez que a posição do lençol freático na região é normalmente muito próxima à superfície e para avanços abaixo do NA a retirada de amostras com trado é inviável ou, pelo menos, muito difícil.

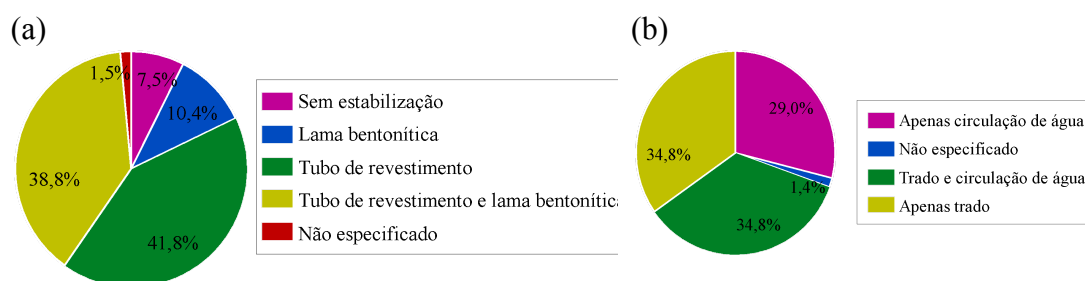


Figura 9 – (a) Indicação da necessidade de estabilização do furo de sondagem e forma de estabilização; e (b) Indicação da forma de avanço da sondagem

As versões da NBR 6484 de 1980 e 2001 preconizam que a sondagem deve ser iniciada com o emprego de trado concha ou cavadeira manual até a profundidade de 1 m, seguindo-se da instalação do primeiro segmento do tubo de revestimento. Nas operações subsequentes de perfuração intercaladas às de ensaio e amostragem, deve ser utilizado o trado helicoidal até se atingir o nível freático ou quando o avanço da perfuração com emprego do trado helicoidal for inferior a 50 mm após 10 minutos de operação ou, no caso de solo não aderente ao trado. A partir daí, passa-se ao método de perfuração por circulação de água. Também é especificação de norma que esses casos de impossibilidade de avanço com o trado, considerados especiais, devem ser devidamente justificados no relatório. Na versão de 2020 é suprimido o critério de solos não aderentes ao trado. Desta forma, percebe-se que apenas pouco mais de um terço dos relatórios estavam em consonância com as versões da norma. Entre os problemas

recorrentes observados na análise da forma de avanço dos relatórios destaca-se: (i) a não especificação de profundidade até a qual um dado método de avanço foi adotado; (ii) a não especificação dos métodos de avanço utilizados; e (iii) a adoção de uma profundidade padronizada para avanço por trado para todos os furos de sondagem de um relatório, independentemente da profundidade do NA em cada um dos furos.

A Figura 10a mostra a distribuição do motivo de paralisação das sondagens. Em pouco mais de 10% dos relatórios, o motivo foi por solicitação do cliente e em quase um quarto dos relatórios o motivo foi explicitado ou foi possível determinar em função da comparação entre as recomendações de norma e os valores de N_{SPT} registrados. Convém destacar que a indicação do motivo de paralisação do ensaio é uma recomendação de todas as versões da NBR 6484. Assim, entende-se que na maior parte dos relatórios analisados (63,8%) não foram respeitadas as condições de paralisação da sondagem SPT prescritas em norma.

Na versão de 1980 são indicados como critério de paralisação da sondagem: (i) quando em três metros sucessivos se obtiver índice de penetração maior que 45/15; (ii) quando em quatro metros sucessivos forem obtidos índices de penetração entre 45/15 e 45/30; e (iii) quando em 5 metros sucessivos forem obtidos índices de penetração entre 45/30 e 45/45. A versão de 2001 altera estes critérios para: (i) quando em 3 metros sucessivos se obtiver 30 golpes para a penetração dos 0,15 m finais do amostrador-padrão (AP); (ii) quando em 4 metros sucessivos se obtiver 50 golpes para a penetração dos 0,30 m finais do AP; e (iii) quando em 5 m sucessivos se obtiver 50 golpes para a penetração dos 0,45 m do AP. Há, ainda, um item anterior que especifica que durante o ensaio penetrométrico, caso a penetração seja nula na sequência de cinco impactos do martelo, o ensaio deve ser interrompido, não havendo necessidade de obedecer aos demais critérios de paralisação estabelecidos. Cabe ressaltar que foram categorizadas como “Impossível Determinar” somente aquelas sondagens em que, independentemente do ano de realização, não se adequaram a nenhum dos critérios acima descritos.

Os boletins de sondagem mostraram que em nenhum dos casos avaliados foi necessário o deslocamento radial do furo de sondagem por impenetrabilidade em profundidade acima do esperado. Além disso, em nenhum relatório se encontrou explicitada a caracterização do sistema de controle utilizado, o que contraria todas as versões da NBR 6484. A Figura 10b mostra uma síntese das caracterizações dos tubos de revestimento apresentados nos relatórios. Observa-se que em 18,8% dos casos não houve especificação sobre o tipo de tubo e em 5,8% foi utilizado tubo de revestimento com dimensões diferentes daquelas previstas em norma. Na maioria das sondagens (75,4%) foi utilizado tubo de revestimento em consonância com as recomendações das diferentes versões da NBR 6484. Enquanto a versão de 1980 padronizava tubos de aço com diâmetro nominal interno de 63,5 mm, diâmetro externo de $76,1 \pm 5$ mm e diâmetro interno de $68,8 \pm 5$ mm. A versão de 2020, por sua vez, padroniza tubos de aço com diâmetro interno mínimo de 63,5 mm e máximo de 165 mm.

A Figura 10c mostra a adequação dos relatórios em relação às classificações de compacidade e consistência das camadas. A versão de 1980 não incluía estas classificações, as quais eram descritas na NBR 7250, e que foi incorporada pela segunda versão da NBR 6484/2001. Observa-se que em menos de um quinto das vezes as classificações foram consideradas como totalmente adequadas às normas vigentes em seu período de execução. Na maioria dos relatórios (55,9%), as classificações apresentadas são predominantemente adequadas. Destaca-se que classificações inadequadas eram mais frequentes em profundidades em que era registrada mudança granulométrica na camada (solo granular/fino ou solo fino/granular). Nestes casos, uma das camadas era adequadamente classificada, enquanto a outra não.

A Figura 10d mostra a distribuição da especificação do amostrador utilizado. Percebe-se que em apenas 5% dos relatórios analisados não foi encontrada a caracterização do amostrador ou foi descrito um amostrador diferente do padrão especificado em norma. Assim, na grande maioria das vezes (95%) foi utilizado amostrador em conformidade com as especificações das versões de 1980 e 2021 da NBR 6484. Destaca-se que não houve mudança significativa no padrão dos amostradores especificados nas duas versões.

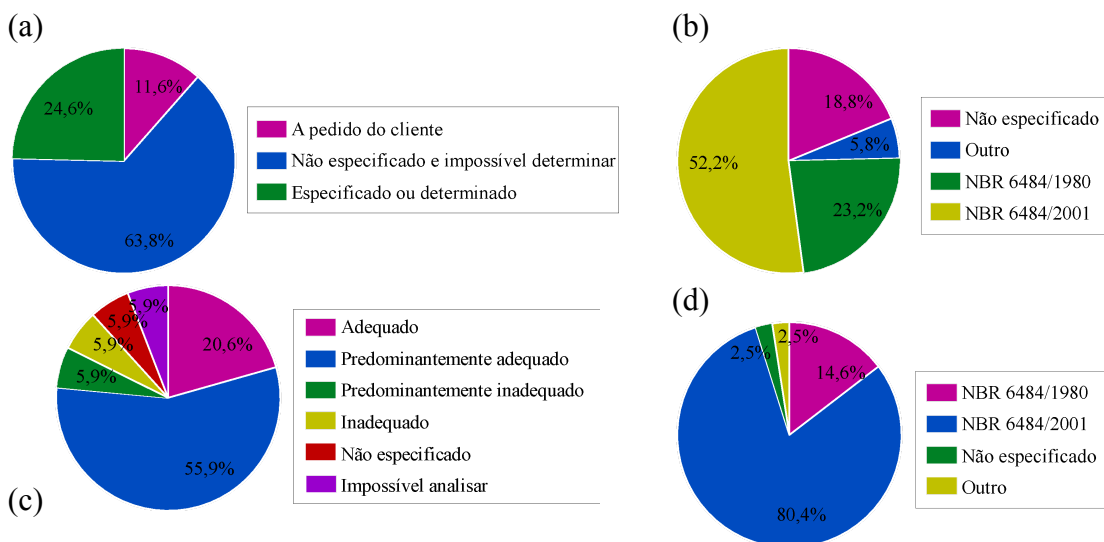


Figura 10 – (a) Motivo de paralisação das sondagens; (b) Especificação do tubo de revestimento; (c) Classificação de compactidade/consistência; e (d) Especificação do amostrador

Entre outros problemas encontrados, destaca-se:

- Em dois relatórios foram detectados valores de NSPT a cada 0,5 m de profundidade, o que não é previsto em nenhuma das versões da norma;
- Em relatórios de uma dada empresa foi observada a falta de delimitação adequada das profundidades das camadas;
- Em relatórios de outra empresa também foram observadas duas padronizações das profundidades máximas de perfuração em todos os furos de sondagem e nos diferentes relatórios: uma a dez metros de profundidade e outra a 20 m de profundidade, contrariando os critérios de paralisação;
- Ainda em relatórios de outra empresa detectou-se diversa descrição textual das camadas de metro em metro ao longo da profundidade, pecando pela falta de generalização.

4. Conclusão

Quanto à construção dos SIG e *WebSIG*, entende-se que as ferramentas permitem a visualização dos valores de NSPT e a descrição textual das camadas e que, aliado à possibilidade de constante atualização com novos dados de sondagens SPT que venham a ser realizados na região, tem o potencial de contribuir para o processo de tomada de decisão do Grupo de Geotecnia da FURG em atividades de Ensino, Pesquisa e Extensão embasadas na geotecnia local.

Os relatórios interpretados foram realizados por 20 empresas diferentes, sendo que uma dessas empresas realizou 29,6% dos mesmos e 10 destas empresas foram responsáveis

por mais de um relatório de sondagem. Nenhuma destas empresas tem sede no município de Rio Grande/RS. Dentre as principais inadequações dos ensaios realizados às normas técnicas vigentes ao seu tempo, destaca-se:

- A não especificação e impossível determinação (indicativo de que as normas técnicas não foram seguidas) do critério de paralisação do ensaio penetrométrico SPT;
- Não identificação da posição do nível freático 12/24 horas após o ensaio;
- Realização de ensaios apenas com circulação d'água para realizar o avanço do furo de sondagem, mesmo acima do lençol freático;
- Não retirada de amostras ou, pelo menos, não descrição da retirada nos relatórios.

As informações especificadas em norma e que mais frequentemente não foram encontradas nos relatórios foi a caracterização do tubo de revestimento utilizado. Outros problemas comuns foram:

- Classificações inadequadas de compacidade/consistência eram mais frequentes quando ocorria mudança de granulometria entre camadas;
- Falta de delimitação da profundidade das camadas;
- Padronização das profundidades alcançadas pelas sondagens, independentemente da solicitação do cliente e dos critérios de paralisação previstos em norma;
- Padronização de diferentes camadas a cada metro ao longo da profundidade, pecando pela falta de generalização.

Entende-se que, apesar de este estudo ter sido realizado com sondagens de Rio Grande/RS, é muito provável que estas inadequações às normas não representem apenas uma realidade local. Além disso, rememora-se que todas as análises realizadas neste trabalho dizem respeito às informações descritas em relatórios técnicos. Assim, entende-se que em campo a realidade pode ser pior do que aquela aqui descrita. Por fim, compreende-se que atualmente, pelo menos para a realidade de Rio Grande/RS, tendo sido transcorridas mais de quatro décadas da primeira normatização brasileira sobre a sondagem SPT, aparentemente a condição sobre a padronização dos equipamentos utilizados em campo melhorou. Apesar disso, é consenso que o meio geotécnico ainda precisa manter-se atento aos procedimentos de campo nas investigações geotécnicas e que seja guardada vigilância à observância às normas técnicas.

Agradecimentos

Os autores agradecem pelas bolsas de estudo concedidas: (i) pelo Programa Institucional de Desenvolvimento do Estudante (PDE) da FURG; (ii) pela CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior; e (iii) pelo CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico).

Referências

ABOU-MATAR, H.; GOBLE, G.G. *SPT dynamics analysis and measurement*. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, n. 123, v. 10, p. 921-928. 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6484: Solo – Execução de sondagens de simples reconhecimento*. Rio de Janeiro, ABNT. 1980.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6484: Solo – Sondagens de simples reconhecimento com SPT*. Rio de Janeiro, ABNT. 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6484: Solo – Sondagens de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio*. Rio de Janeiro, ABNT. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 7280: Identificação e descrição de amostras de solo obtidas em sondagens de simples reconhecimento dos solos* Rio de Janeiro, ABNT. 1982.

BELICANTA, A. & CINTRA, J.C. *Fatores intervenientes em variantes do método ABNT para execução do SPT.* Revista Solos e Rochas, v. 21, n. 3, p. 119-133, 1998.

BELICANTA, A. & FERRAZ, R.L. *Contribuição da Universidade Estadual de Maringá no entendimento da sondagem de simples reconhecimento com SPT.* Acta Scientiarum, vol. 22, n. 5, 2000.

BELICANTA, A.; PEIXOTO, A.S.P. & MIGUEL, M.G. *Sondagem de simples reconhecimento com SPT e torque.* Editora da Universidade Estadual de Maringá. Coleção Fundamentum. 2010.

BRASIL. *Lei Nº 12.517 de 18 de novembro de 2011.* Brasília/DF. 2011.

CUNHA, R.B. & RUCKERT, A.A. *Polo Naval e Offshore de Rio Grande: da formação ao princípio da decadência.* Revista Geosul, v. 34, n. 70, 2019. Doi: 10.5007/2177-5230.2019v34n70p239.

DILLENBURG, S.R.; BARBOZA, E.G.; ROSA, M.L.C.; CARON, F.; SAWAKUCHI, A.O. *The complex prograded Cassino barrier in southern Brazil: geological and geomorphological evolution and records of climatic, oceanographic and sea-level changes in the last 6-7 ka.* Marine Geology, v. 390, p. 106-119, 2017. Doi: 10.1144/sp388.16.

IRELAND, H.O.; MORETTO, O. & VARGAS, M. *The dynamic penetration test: a standard that is not standardized.* Geotéchnique, v. 20, n. 2, p. 185 – 192, 1970.

LOPES, R.P.; DILLENBURG, S.R. & SCHULTZ, C.L. *Cordão Formation: loess deposits in southern coastal plain of the state of Rio Grande do Sul, Brazil.* Anais da Academia Brasileira de Ciências, v. 88, p. 214-226, 2016. Doi: 10.1590/0001-3765201620150738.

MIO, G. & GIACHETI, H.L. *The use of piezocone tests for high-resolution stratigraphy of Quaternary Sediment Sequences in the Brazilian Coast.* Anais da Academia Brasileira de Ciências, p. 153-170, 2000. doi: 10.1590/S0001-37652007000100017.

ODEBRECHT, E.; SCHNAID, F.; ROCHA, M.M. & BERNARDES, G.P. *Energy efficiency for standard penetration tests.* Journal of Geomechanical and Geoenvironmental Engineering, vol. 131, n. 10, p. 1252-1263. 2005.

RAMOS, B.R. & MARTINS, S.F. *Polo Naval e produção habitacional em Rio Grande, RS – Brasil.* Boletim de Geografia, v. 35, n. 3, p. 56-73, 2017. Doi: 10.4025/bolgeog.v35i332752.

SCHEMERTMANN, J.H. & PALACIOS, A. *Energy dynamics of SPT.* Journal of Soil Mechanics and Foundation Division, v. 105, p. 909-9026. 1979.

TEIXEIRA, A.H. *Sondagens: metodologia, erros mais comuns, normas de execução.* ABMS – Núcleo Nordeste, p. 41-61, 1977.

TEIXEIRA, A.H. *Um aperfeiçoamento das sondagens de simples reconhecimento à percussão.* Solos do interior de São Paulo. ABMS. Capítulo 4. 1993.

TOMAZELLI, L.J.; DILLENBURG, S.R. & VILLWOCK, J.A. *Quaternary geological history of Rio Grande do Sul coastal plain, southern Brazil.* Brazilian Journal of Geology, n. 30, v. 3, p. 474-476, 2000.

TOMAZELLI, L.J. & VILLWOCK, J.A. *Mapeamento geológico de planícies costeiras: o exemplo da costa do Rio Grande do Sul.* Gravel, v. 3, n. 1, p. 110-115, 2005.