

Contribuição da Universidade Estadual de Maringá no entendimento da sondagem de simples reconhecimento com SPT

Antonio Belincanta* e Roberto Lopes Ferraz

Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Maringá, Av. Colombo, 5790, 87020, Maringá-Paraná, Brazil.
*Author for correspondence. e-mail: abelincanta@uem.br

RESUMO. Neste trabalho são apresentadas discussões sobre dados obtidos pela Universidade Estadual de Maringá, relativos aos métodos de execução de sondagem de simples reconhecimento com SPT (Standard Penetration Test). Consideram-se algumas variantes da Norma Brasileira vigente, NBR6484 da ABNT. Alguns parâmetros tidos como mais relevantes no SPT são analisados e sua influência é verificada.

Palavras-chave: investigação de solos, sondagem SPT, N(SPT), energia.

ABSTRACT. Contribution of the State University of Maringá towards a better understanding of SPT procedures and results. Discussions on data obtained on the campus of the State University of Maringá through Standard Penetration Test (SPT) borings are provided. The procedure used in *in situ* tests was different from those specified by the Brazilian Technical Norms and Standards. Some of the main variables involved are analyzed and discussed.

Key words: soil investigation, SPT boring, N value, energy.

Não há como desenvolver projetos de fundações e de geotecnia em geral sem investigações de campo. Nesse contexto, a sondagem de simples reconhecimento associada ao ensaio do tipo SPT (Standard Penetration Test), com sua simplicidade e robustez, tem se mostrado suficientemente eficiente, tornando-se não só no seu país de origem, mas também no Brasil, uma sondagem/ensaio de uso corrente nas obtenções de parâmetros necessários a tais projetos.

A sondagem de simples reconhecimento dos solos com SPT, segundo a norma brasileira NBR6484 da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), é executada com perfuração à trado helicoidal até o nível d'água subterrâneo e, abaixo do mesmo, com perfuração através de circulação d'água, sendo também empregados tubos de aço para revestimento, de diâmetro interno de 67mm ou de 75mm, até a profundidade necessária à preservação do furo. O SPT, isto é, o ensaio em si, se constitui na cravação, a partir da extremidade do furo de sondagem e a cada metro de perfuração, de um amostrador tubular padrão, de 51mm de diâmetro externo e 35mm de diâmetro interno, através de impacto de um martelo de 650N, com queda de 750mm. O índice de resistência à

penetração N, proveniente do ensaio do tipo SPT, corresponde ao número de golpes necessários à cravação do amostrador em 300mm, após a cravação inicial de 150mm.

A norma brasileira vigente contempla o uso de dois tipos de martelo: o martelo cilíndrico com pino guia e o martelo cilíndrico vazado, sendo os mesmos esquematicamente representados na Figura 1. Estes martelos contêm, em sua extremidade inferior, coxim de madeira a fim de evitar o contato de aço com aço, quando do impacto na cabeça de bater de massa de 3,6kg. Esta cabeça de bater, de massa de 3,6kg, é acoplada na extremidade superior do conjunto de composição de hastes e amostrador. O levantamento e soltura do martelo, ainda segundo a norma acima citada, se faz com corda de sisal, encaixada com folga em roldana fixa em torre de sondagem, sendo esta corda operada manualmente por dois sondadores. Para a melhoria na compreensão do ensaio recomenda-se o registro do número de golpes necessário à cravação de cada parcela de 150mm dos 450mm que constitui cada um dos ensaios do tipo SPT.

Como ocorre em todos os ensaios de uso corrente, as empresas vão incorporando mudanças de procedimento que, com o passar do tempo,

constituem-se em variantes do respectivo método proposto pela norma então vigente.

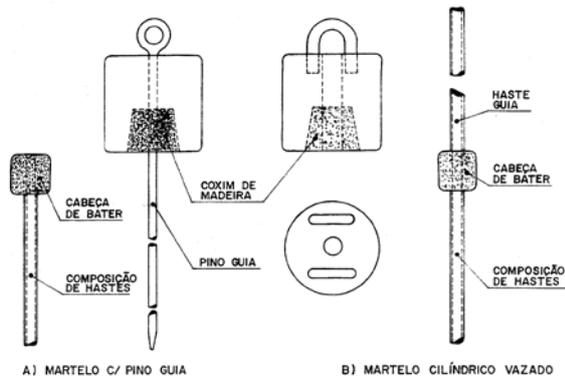


Figura 1. Sistemas de martelos propostos pela Norma Brasileira NBR 6484. Belincanta *et al.* (1998)

Como notificado por Belincanta (1998), muitos fatores intervêm nos trabalhos de uniformização ou padronização de resultados de qualquer tipo de ensaio de uso corrente e, quando se trata do assunto padronização, há basicamente dois caminhos que podem ser seguidos, a saber:

- estabelecimento de norma rígida no procedimento do ensaio, não permitindo nem alternativas de equipamento; ou
- norma flexível ou parcialmente flexível e tentativa de padronização de resultados, pelo estabelecimento de um procedimento de referência.

Naturalmente para que o segundo caminho seja eficiente, há necessidade de que todos os fatores flexibilizados sejam plenamente entendidos e sua influência avaliada na forma quantitativa e não apenas na qualitativa.

Apesar de, no Brasil, a norma existente (NBR6484 da Associação Brasileira de Normas Técnicas) ser do primeiro tipo, contendo procedimentos únicos de perfuração e de ensaio, além da adoção de um único tipo de amostrador (Raymond de diâmetro externo e interno de 51mm e 35mm, respectivamente), há no meio técnico quatro tipos básicos de sondagem/ensaio SPT, a seguir enumerados:

1. uso de martelo cilíndrico com coxim de madeira, operado manualmente com corda de sisal e com auxílio de uma roldana fixa (Foto 1). Perfuração com trado helicoidal até o nível d'água e abaixo com circulação d'água (Fotos 2 e 3). Método da NBR6484;
2. idem ao anterior, exceto quanto ao acionamento do martelo, que se faz com cabo de aço manual, auxiliado por uma roldana fixa (Foto 4);

3. sondagem executada com avanço da perfuração feita pela cravação sucessiva do próprio amostrador; e
4. equipamento importado, utilizando martelo automático e procedimento da Norma Americana da ASTM, D1586-92.

Os dois primeiros tipos, como o quarto tipo, se caracterizam pela existência de pré furo, isto é, o amostrador desce livremente em perfuração previamente executada até a cota de cada ensaio, que geralmente é de metro em metro, a partir da qual crava-se o amostrador com o martelo, em 450mm de penetração, constituinte do ensaio do tipo SPT.

No terceiro tipo, o avanço da perfuração é feito pela cravação do próprio amostrador através de golpes do martelo, não se utilizando desta maneira qualquer tipo de trado ou circulação d'água. Toda vez que é alcançada uma cota de ensaio o amostrador é retirado e limpo. O ensaio em si começa a ser executado após a reinserção do amostrador até a cota anteriormente alcançada, quando então se cravam os 450mm do SPT, registrando-se o número de golpes necessários à penetração de cada 150mm. Este terceiro tipo se distancia em muito dos procedimentos propostos pelas normas brasileira e internacionais, e é de uso mais restrito a determinadas regiões, principalmente àquelas onde existe espessa camada superficial de solo não saturado, poroso e de baixa resistência, enquanto os dois primeiros, isto é, com corda de sisal ou com cabo de aço, são generalizados pelo Brasil inteiro.



Foto 1. Acionamento com corda manual do martelo cilíndrico com pino guia, com cabeça de bater normal de 3,6kg



Foto 2. Trado helicoidal, utilizado no avanço da perfuração até o nível d'água subterrâneo



Foto 4. Acionamento com cabo de aço manual do martelo cilíndrico com pino guia, com cabeça de bater normal de 3,6kg



Foto 3. Avanço da perfuração com circulação d'água, utilizado abaixo do lençol d'água subterrâneo

Os primeiros dois tipos anteriormente apresentados, considerados básicos no Brasil, podem ser alterados se levado em consideração o uso ou não de coxim de madeira ou de roldana móvel, o não-uso de cabeça de bater ou uso de cabeça de bater de diferentes tamanhos e, por fim, nos dois primeiros tipos, o uso de avanço da perfuração com circulação d'água ou com lama bentonítica desde a superfície, isto é, sem a utilização de trado até o nível d'água subterrâneo.

O quarto tipo de sondagem/ensaio SPT se refere a equipamentos importados e, também, é de utilização restrita, mas a sua participação no mercado vem dia a dia aumentando. Estes equipamentos se caracterizam pela mecanização e automatização, e são desenvolvidos para a realização de ensaios em conformidade com a norma D 1586 da ASTM. Em relação ao sistema da NBR 6484, diferencia-se principalmente pelo processo de avanço da perfuração, que é feito com trado helicoidal contínuo e vazado, tipo de hastes e cabeça de bater, acionamento e tipo de martelo e, também, pela frequência de golpes.

Os martelos de queda livre ("trip monkey") surgiram no exterior em meados dos anos sessenta em forma pioneira, tornando-se de uso generalizado somente a partir de 1990. Estes martelos se caracterizam pela queda ser propriamente livre e independente do sistema de levantamento. Eles podem ser separados basicamente em dois grupos em conformidade ao sistema de acionamento do gatilho disparador que pode ser manual ou automático. O sistema de levantamento e soltura automática destes martelos tem constantemente se aprimorado desde quando surgiram os primeiros de concepção muito simples. No Brasil da atualidade, apesar do uso na forma não generalizada, há disponibilidade de dispositivo disparador de martelo (gatilho) de concepção muito simples, desenvolvido por Furnas Centrais Elétricas (Foto 5), assim como há também o início da utilização de equipamentos importados, mecanizados e automatizados, cujo

levantamento e soltura do martelo se dá na forma automatizada.

Apesar dos esforços existentes em termos de normatização do SPT, bem como a opção pelo estabelecimento de um procedimento internacional de referência (International Reference Test Procedure-IRTP da ISSMFE), este tipo de sondagem/ensaio SPT não se encontra padronizado, nem em termos de resultados. O mesmo pode-se dizer quanto ao Brasil, onde métodos variantes àquele normatizado coexistem, dificultando a utilização dos parâmetros geotécnicos obtidos. Em função disto, a Universidade Estadual de Maringá/Pr vem despendendo esforços no sentido de contribuir no entendimento e avaliação, mesmo que numa forma preliminar, dos métodos variantes de execução do SPT existentes no Brasil e de algumas variáveis tidas como de relevância, caminhando no sentido de se obter subsídios não só a futuras normatizações mas também à padronização de resultados.



Foto 5. Dispositivo disparador manual de martelo do tipo Furnas Centrais Elétricas

Os fatores que influem no valor do índice de resistência à penetração N podem ser basicamente agrupados em:

1. Aqueles que interferem na energia dinâmica que é transferida às hastes, em cada golpe do martelo, e que alcança o amostrador;
2. Aqueles que interferem nas condições naturais do solo, no ponto e no momento da cravação do amostrador; e
3. Aqueles referentes ao intervalo de penetração do amostrador, considerado na determinação do índice de resistência à penetração no SPT.

Aqui neste trabalho serão discutidos fatores pertencentes ao primeiro grupo tais como uso de cabo de aço, acionamentos manual e com disparador de gatilho, martelos cilíndricos do tipo vazado e do tipo com pino guia, acionamento com roldana móvel, uso de cabeças de bater de massa variada, martelo com coxim de madeira e sem coxim e martelo importado com acionamento automático. Estes fatores serão analisados preferencialmente através de cálculo da energia transferida às hastes em cada golpe do martelo.

Os fatores intervenientes no método de sondagem feita pela cravação sucessiva do próprio amostrador fazem parte dos grupos 2 e 3, e serão avaliados no conjunto pelo confronto direto de resultados de índices de resistência à penetração, obtidos em sondagens específicas.

São muitos os fatores intervenientes no sistema importado, distribuindo-se nos três grupos, isto é, grupos 1, 2 e 3, sendo neste trabalho discutido somente aquele referente à energia transferida às hastes da composição.

Metodologia empregada nas avaliações

Para a avaliação dos dois primeiros métodos existentes no Brasil, anteriormente enumerados e, também, para avaliação de alguns fatores considerados de relevância, pertencentes ao grupo 1, serão utilizadas preferencialmente as energias dinâmicas transferidas às hastes, medidas com o sistema de aquisição de dados do tipo IPT, auxiliadas em alguns casos pelo confronto direto dos valores de N e de torque máximo, medidos em sondagens realizadas especificamente para este fim. Apesar de não se encontrar normatizado, ao final de cada ensaio SPT, quando o amostrador ainda se encontra cravado, sempre quando possível se fez a medida de torque máximo necessário à rotação do amostrador (Foto 6). O torque vem se constituindo em um eficiente parâmetro de análise, pois se acredita que ele é pouco sensível à magnitude da energia de cravação, liberada em cada golpe do martelo do SPT.

Como a energia dinâmica transferida às hastes na primeira onda de compressão incidente é uma função do comprimento da composição das hastes, os valores de energia e de eficiência decorrente foram determinados para o mesmo comprimento de composição de interesse (neste caso $\ell=14\text{m}$), em conformidade com as expressões que se seguem:

$$E_{i\ell} = \frac{c}{EA} \int_0^t F^2 dt = 2\ell F^2 dt \quad (1)$$

$$\eta_{iel} = 100 \frac{E_{id}}{E_*} \quad (2)$$

onde (E_{id}) é a energia dinâmica da primeira onda de compressão, incidente nas hastes até o tempo (t) correspondente ao comprimento da composição (ℓ) de interesse; (η_{iel}) é a eficiência de energia em porcentagem e em relação à energia nominal de $E_* = 474J$, correspondente a (E_{id}); (F) é a força seccional em função do tempo, medida pela célula de carga; (c), (E) e (A) são respectivamente velocidade de propagação dos impulsos de tensão, módulo de elasticidade e área da seção transversal das hastes. (E) e (c) para o aço valem respectivamente 206.000MPa e 5.120m/s.



Foto 6. Medida de torque máximo, após a realização do SPT

O terceiro método de sondagem com SPT, também existente no Brasil, isto é, aquele com a utilização da cravação sucessiva do próprio amostrador, será analisado através do confronto direto de resultados de índices de resistência à penetração N , obtidos em sondagens específicas.

O quarto método, que se relaciona com o equipamento importado, será avaliado numa forma preliminar pela energia transferida à composição de hastes de comprimentos de 14m e também de elevado comprimento.

Deve-se sempre ter em consideração que o índice de resistência à penetração N é, em primeira aproximação, inversamente proporcional à energia contida e transferida às hastes em cada golpe do martelo, sendo esta energia utilizada na forma de eficiência (η_{iel}). Isto significa que, aumentando a energia dinâmica transferida às hastes ou eficiência desta energia, há uma redução no valor do índice de resistência à penetração N .

Uso do cabo de aço no acionamento manual do martelo

O levantamento e soltura do martelo através de cabo de aço tem se constituído numa preocupação constante do meio técnico, já que esta operação está em desacordo com a norma brasileira vigente.

Pelo interesse de se avaliar a influência do uso do cabo de aço no valor do índice de resistência à penetração N , foram feitas medidas de energia dinâmica e observações em ensaios executados por duas das empresas constantes na Tabela 1, sendo que em uma destas empresas, isto é, na empresa 4, o cabo de aço faz parte da rotina dos seus ensaios, enquanto que a corda com acionamento manual faz parte da rotina da empresa 1.

Tabela 1. Resumo de eficiências de energias dinâmicas referentes à primeira onda de compressão incidente e extrapoladas para 14m de comprimento da composição, martelo cilíndrico, com coxim de madeira e cabeça de bater normal de 3,6kg

Empresa n°	estado das hastes	médias de eficiências de energias 100(energia/474J)					
		Acionamento manual			acionamento c/gatilho		
		média	n°	desvio padrão	média	n°	desvio padrão
Martelo cilíndrico com pino guia, acionamento com corda							
1	nova	72,7	153	3,59	81,3	90	3,98
2	nova	77,5	52	3,84	82,5	25	4,45
3	nova	76,3	216	4,70	83,3	77	3,57
Martelo cilíndrico com pino guia, acionamento com cabo de aço							
1	nova	73,9	54	3,43	83,2	26	2,52
4	nova	71,9	34	3,89	78,1	37	2,25
Martelo cilíndrico vazado, acionamento com corda							
2	nova	66,5	50	3,74	74,2	39	5,30

Os valores de energia dinâmica transferida às hastes na primeira onda de compressão incidente, extrapolados para o comprimento de 14m de composição, medidos e calculados em termos de eficiência, constantes da Tabela 1, em forma de média e desvio padrão, indicam a tendência de que, no caso de levantamento e soltura manual (acionamento manual), o uso do cabo de aço em comparação com o uso de corda é 1,7% mais eficiente, em conformidade com os 207 dados obtidos em sete sondagens realizadas pela empresa 1, em duas das quais também foram feitos registros em ensaios executados com cabo de aço.

A análise conjunta dos valores de N e de torque máximo necessário à rotação do amostrador cravado, obtidos em duas sondagens onde foram intercalados ensaios com cabo de aço àqueles com corda, tem indicado que o uso de cabo de aço tem sido em média 1,2% mais eficiente do que aquele com corda, sendo este resultado proveniente do confronto de 36 pares de valores medidos e interpolados nestas duas sondagens.

Tomando como base os dados acima analisados e aqueles outros contidos na Tabela 1, pode-se observar que, em termos práticos de engenharia e no caso de acionamento manual adequado, o uso do cabo de aço fino (8mm) auxiliado com roldana fixa em bom estado de conservação, apresenta a tendência de paridade com os valores de N obtidos quando do uso de corda.

Martelo de queda livre, com sistema de gatilho manual

O martelo cilíndrico com pino guia, operado com corda e sistema de gatilho manual, em termos de média, apresentou-se 11,8% mais eficiente do que aquele acionado manualmente com corda auxiliada por roldana fixa, quando da realização de sete sondagens pela empresa 1 no Câmpus da UEM e com hastes novas, sendo este resultado estimado através de 243 dados de energia dinâmica transferida às hastes.

Os resultados das medições de energias dinâmicas para outras empresas, constantes na Tabela 1 também indicaram esta tendência quanto ao uso de sistema de gatilho para queda livre do martelo, ainda que este sistema seja simples e manual, como o representado anteriormente na Foto 5.

Deve-se ainda ressaltar um outro benefício do uso de martelo de queda livre, que é o de propiciar um melhor controle da altura de queda, apesar de os desvios-padrão nestas amostragens não apontarem neste sentido.

A análise conjunta de 47 valores de N e de torque máximo, medidos e interpolados em três sondagens realizadas pela empresa 1, onde foram intercalados ensaios realizados com martelo com gatilho àqueles com martelo com corda manual, mostrou que nestas três sondagens o martelo com gatilho foi em média 11% mais eficiente do que aquele com corda manual auxiliada por roldana fixa.

Martelo cilíndrico vazado e martelo com pino guia

A norma brasileira contempla o uso de dois tipos de martelo: o cilíndrico vazado e o com pino guia.

Há evidências, desde as primeiras medidas de energias dinâmicas feitas no Brasil, de que o martelo cilíndrico vazado é menos eficiente que o seu consorte de pino guia (Belincanta, 1985, e Decourt *et al.*, 1989). Valores constantes na Tabela 1, obtidos recentemente em uma sondagem executada pela empresa 2, que tradicionalmente utiliza este tipo de martelo, confirmam esta tendência e, em termos de energia dinâmica transferida às hastes na primeira

onda de compressão incidente, o martelo cilíndrico vazado mostrou-se nesta sondagem 14,2 e 10,1% menos eficiente do que aquele com pino guia, respectivamente quando acionado com corda manual (resultado de 102 dados) e quando acionado com corda e gatilho (resultado de 64 dados).

Martelo sem coxim de madeira dura

Tem sido de uso corrente o martelo sem coxim de madeira dura, apesar de estar em desacordo com a norma vigente da ABNT.

Nas medições de energias dinâmicas efetuadas em cinco sondagens, executadas pela empresa 1 no Câmpus da UEM, com cabeça de bater normal de 3,6kg, cujos resultados são apresentados na forma de eficiência média na Tabela 2, o martelo cilíndrico com pino guia e sem coxim mostrou-se 2,5% e 0,8% mais eficiente do que o martelo com coxim de madeira, respectivamente quando do acionamento com corda manual (215 dados) e quando com corda e gatilho (204 dados).

Tabela 2. Resumo de eficiências de energias dinâmicas, referentes à primeira onda de compressão incidente e extrapoladas para 14m de comprimento da composição, martelo cilíndrico com pino guia, com e sem coxim de madeira, cabeça de bater normal de 3,6kg, composição de hastes novas. Sondagens realizadas pela empresa 1 no Câmpus da UEM

uso de coxim	médias de eficiências de energias 100(energia/474)					
	acionamento manual			acionamento c/gatilho		
	média %	nº dados	desvio padrão	média %	nº dados	desvio padrão
não	72,8	111	3,62			
sim	71,0	104	3,56			
não				76,1	9	4,54
sim	66,7	51	2,73	75,5	195	2,95

Os valores de N e torque máximo, obtidos nas respectivas sondagens, apontam, em termos de eficiência, para o sentido contrário daquele determinado pelas medidas de energia dinâmica, isto é, o martelo cilíndrico com pino guia, sem coxim de madeira e acionamento com corda manual, apresentou-se 3,4% menos eficiente do que aquele com coxim (11 pares de valores medidos e interpolados).

Dando-se prioridade à energia dinâmica medida e em termos prático de engenharia, os resultados acima apontam no sentido da pequena influência do uso ou não do coxim de madeira nos valores dos índices de resistência à penetração N do SPT.

Massa da cabeça de bater

A análise dos dados contidos na Tabela 3, oriundos de energias dinâmicas medidas em três sondagens realizadas pela empresa 1 no Câmpus da

UEM, aponta no sentido de que a eficiência de energia é uma função decrescente com a massa da cabeça de bater.

Tabela 3. Resumo geral de eficiências de energias dinâmicas, referentes à primeira onda de compressão incidente e extrapoladas para 14m de comprimento da composição, martelo cilíndrico com pino guia, com coxim de madeira, cabeça de bater de tamanho variável. Sondagens realizadas pela empresa 1, no Campus da UEM

cabeça bater kg	médias de eficiências de energias 100(energia/474J)					
	acionamento manual			acionamento c/gatilho		
	média %	nº dados	desvio padrão	média %	nº dados	desvio padrão
1,2				78,5	13	2,04
3,6	66,7	51	2,73	75,5	195	2,95
14,0				66,4	23	1,70
3,6	60,7*	18	4,14			
3,6	53,6**	23	2,69			

* com roldana móvel e corda fina; ** com roldana móvel e corda grossa

Nota-se que nestas três sondagens o uso de cabeça de bater considerada grande (14kg) foi 12,1% menos eficiente do que o uso de cabeça de bater normal de 3,6kg (218 dados), enquanto que o uso de cabeça pequena de 1,2kg se apresentou 4% mais eficiente do que o de cabeça normal de 3,6kg (208 dados).

Estas tendências, embora variando na intensidade, confirmaram-se quando se fez a comparação direta de pares de valores de N e torque máximo, registrados e interpolados em três sondagens realizadas pela mesma empresa 1, no Câmpus da UEM, isto é, a cabeça de bater grande de 14kg foi 7,9% menos eficiente do que a cabeça de bater normal de 3,6kg (resultado da média de 36 pares de valores), enquanto que a cabeça de bater pequena de 1,2kg se apresentou 18,6% mais eficiente do que a cabeça normal de 3,6kg (resultado da média de 25 pares de valores).

Apesar das discrepâncias dos resultados, pode-se notar nestas sondagens a influência marcante da massa da cabeça de bater nos valores do índice de resistência à penetração N do SPT.

Levantamento do martelo com uso de uma roldana móvel

A instalação de uma roldana móvel (Foto 7), além daquela fixa, no sistema de levantamento do martelo, permite que a operação do mesmo seja efetuada por somente um operador. Para se ter uma ordem de grandeza da influência da utilização deste dispositivo na transferência de energia dinâmica, foram feitas medidas de energia dinâmica transferida às hastes na primeira onda de compressão incidente, em duas sondagens realizadas pela empresa 1 no Câmpus da UEM, utilizando-se corda grossa de

18mm de diâmetro e corda fina de 12mm, sendo estes valores apresentados na Tabela 3.

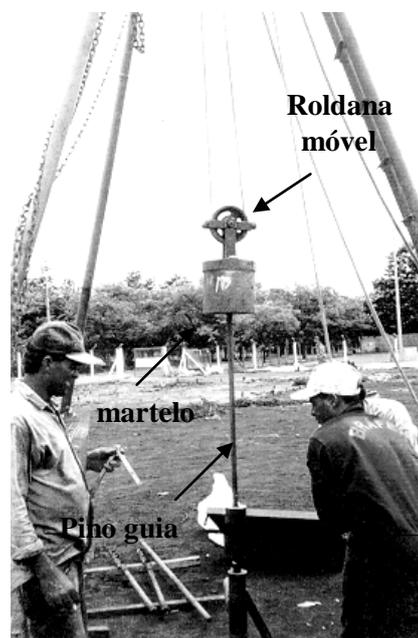


Foto 7. Martelo cilíndrico com pino-guia acionado com roldana móvel

A utilização de roldana móvel, em relação ao sistema de acionamento tradicional de corda manual com uma roldana fixa, apresentou-se 9,0% e 19,6% menos eficiente respectivamente, quando do uso de corda fina (69 dados) e de corda grossa (74 dados).

Portanto, pelos dados acima, o uso de sistema constituído de roldana móvel influi significativamente nos valores de energias dinâmicas transferidas às hastes na primeira onda de compressão incidente.

Avanço da perfuração feita pela cravação do próprio amostrador

Apesar do procedimento de execução de sondagem com uso de avanço de perfuração feita com a cravação do próprio amostrador ser restrita a determinadas regiões e estar em desacordo, não só com a norma vigente da ABNT, mas também com normas internacionais, não devendo portanto ser considerado como fator interveniente no SPT, é de interesse ter-se uma avaliação, mesmo que seja de forma preliminar, da influência deste procedimento nos resultados dos índices de resistência à penetração N.

Na cidade de Maringá, em um local cujo subsolo é constituído por argila siltosa, onde até os nove metros de profundidade tem-se solo poroso e pedologicamente evoluído, e abaixo, até a

profundidade de 25m, solo residual de basalto, foram realizadas 30 sondagens por uma empresa que usa em sua rotina o avanço da perfuração através da cravação do próprio amostrador. Posteriormente, neste mesmo local, foram realizadas 5 sondagens pela empresa 1, utilizando-se a metodologia proposta pela norma NBR 6484. No confronto direto dos valores obtidos nestas 35 sondagens, foi possível constatar que os valores do índice de resistência à penetração N medidos, quando do uso do avanço da perfuração com o próprio amostrador, se mostravam sistematicamente muito maiores, sendo em média 131,5% superiores àqueles obtidos quando da perfuração com trado até o lençol freático e circulação d'água abaixo do mesmo, sendo este resultado proveniente do confronto de 20 pares de valores médios.

Esta mesma tendência apresenta-se, porém, em menor intensidade, quando se comparam os valores de N registrados em sete sondagens executadas cuidadosamente pela empresa 1, no Câmpus da UEM, sendo o avanço da perfuração numa destas sondagens, realizado pela cravação do próprio amostrador. Procurou-se desta maneira minimizar a influência de outras variáveis a não ser aquela do processo de perfuração. A análise destes novos dados mostrou que os valores de N e de torque máximo, obtidos pelo avanço da perfuração com a cravação do próprio amostrador, foram respectivamente 54,0% e 101,7% superiores àqueles obtidos com a utilização da metodologia proposta pela NBR6484.

Teixeira (1977 e 1994) já tinha chegado a resultados semelhantes, quando notificou que N obtido com a cravação contínua do amostrador se apresentava em média 70% maior. Outro fato importante é que o número de golpes necessário à cravação de cada uma das parcelas de 150mm constituintes da cravação de 450mm do amostrador é aproximadamente constante, isto é, N_1 , N_2 e N_3 são iguais. Isto plenamente se justifica, ao se considerar que a resistência oferecida pelo solo à cravação do amostrador se constitui de parcela de atrito/adeseção nas faces interna e externa do amostrador e de resistência de ponta. Considerando-se a não-existência de folga entre o amostrador e as paredes do furo, assim como também o surgimento da plena resistência de ponta nos primeiros centímetros de cravação, fica plenamente justificado este fato.

Equipamento de SPT, importado do tipo CME (Central Mining Equipment)

No Brasil começa a se generalizar a utilização de equipamentos importados, mecanizados e

automatizados, desenvolvidos para a realização de ensaios em conformidade com a norma americana D1586 da ASTM. Em relação ao sistema proposto pela norma brasileira NBR6484, diferencia-se principalmente pelo processo de perfuração, tipos de hastes, cabeça de bater, martelo e seu acionamento e, também, pela freqüência de golpes.

Em função disto, a Universidade Estadual de Maringá/Pr teve oportunidade de fazer registros de eventos dinâmicos numa sondagem realizada na cidade de São Paulo, empresa 3, objetivando a obtenção de dados que se fazem necessários, na forma de subsídios, à avaliação do desempenho do equipamento norte-americano, importado da CME (Central Mining Equipment), em relação àquele proposto pela norma brasileira NBR6484. Estes dados na forma de energias dinâmicas transferidas às hastes, ou mesmo na forma de eficiências, foram confrontados com aqueles anteriormente obtidos na própria empresa, quando da utilização do equipamento e da metodologia proposta pela norma brasileira NBR6484.

As características básicas, com referência ao equipamento importado e o brasileiro, para confronto e comparações, são:

- a) equipamento importado do tipo CME.
 - Hastes de 6,5kg/m (AW), sendo nesta massa também considerada a da conexão (niple), existente em cada haste de 1,5m de comprimento.
 - Martelo, com peso de 635N, sem coxim de madeira, com acionamento automático e com altura de queda de 760mm. Porém o conjunto total do martelo com o sistema de acionamento, quando apoiado sobre a cabeça de bater, ultrapassa em muito o peso de 635N. Este peso total, segundo a IRTP (International Reference Test Procedure – ISSMFE, 1989), não deve ultrapassar 1150N.
 - Cabeça de bater de 8,7kg.
 - Perfuração com trado helicoidal contínuo vazado (“hollow stem auger”).
 - Amostrador tubular com diâmetro externo de 51mm, diâmetro interno da sapata de 35mm e do corpo de 38mm. Nos experimentos este amostrador tem sido substituído pelo brasileiro, que é o internacionalmente recomendado.
- b) equipamento tradicional brasileiro (NBR6484)
 - Hastes de 3,22kg/m (hastes de 25mm de diâmetro nominal interno), sendo nesta massa também considerada a existência de

uma luva em cada haste de dois metros de comprimento.

- Martelo cilíndrico com pino-guia, com peso de 650N, com coxim de madeira, acionamento com corda manual, com altura de queda de 750mm.
- Cabeça de bater de 3,6kg.
- Perfuração com trado helicoidal, até o nível d'água subterrâneo e, abaixo, perfuração com circulação d'água.
- Amostrador tubular com diâmetro externo de 51mm e interno de 35mm, que é o internacionalmente recomendado.

A transferência de energia para as hastes no sistema importado da CME, em termos de primeira onda de compressão incidente, é bem distinta daquela do sistema tradicional brasileiro. Em termos de energia da primeira onda de compressão incidente e para composição de até aproximadamente 9,5m de comprimento, o sistema importado da CME, com hastes AW e martelo automático, é mais eficiente do que o sistema tradicional brasileiro, constituído de hastes de 3,22kg/m, martelo cilíndrico com pino-guia e acionamento manual. A partir de composição de 9,5m comprimento, o sistema brasileiro é mais eficiente do que o importado, tendendo a ser mais eficiente em até 19,3%, quando da condição de composição de elevado comprimento (comprimento infinito). Os dados contidos na Tabela 4, associados aos detalhes da própria transferência de energia às hastes, conduzem à condição de se esperar, somente pela influência do fator energia dinâmica, que o índice de resistência à penetração N obtido com o equipamento importado, para composição de até 28m de comprimento (furos de até 27m de profundidade), seja, em termos de média, da ordem de no máximo 10,7% superiores àqueles obtidos com equipamento e sistema brasileiro, mas se espera a paridade de valores quando as hastes forem de comprimento de até 10m (furo de sondagem de até 9m de profundidade).

Tabela 4. Energia dinâmica transferida às hastes na primeira onda de compressão incidente, na forma de eficiência

Sistema e Tipo de acionamento	Tipos de haste e martelo	Nº de registros	Eficiência de energia, para comprimento médio de composição ℓ . $100 \text{energia}/474J$		
			$\ell = 10\text{m}$	$\ell = 14\text{m}$	$\ell = 20$
Importado (CME) automático	6,5kg/m (AW) Martelo CME (automático)	86	66,6	68,9	69,7
Brasileiro (NBR6484) manual	3,22kg/m (1") Martelo cilíndrico com pino guia	216	68,1	76,3	81,1

Por fim, cumpre lembrar que a magnitude da energia transferida às hastes, apesar de sua importância, é somente um dos inúmeros fatores que interferem na cravação do amostrador, portanto no valor de N. No caso do equipamento importado, outros fatores se tornam muito importantes, como é o caso do processo de perfuração, sendo contra-indicado o uso de trado helicoidal contínuo vazado abaixo do nível d'água, segundo a IRTP da ISSMFE (1989).

Considerações gerais

Apesar das dificuldades normalmente tidas quando das medidas e dos cálculos da energia dinâmica transferida às hastes na primeira onda de compressão incidente e, também, da heterogeneidade sempre existente num subsolo, a qual dificulta o confronto direto dos valores de N, pôde-se observar a influência marcante nos resultados de resistência à penetração dinâmica N do SPT de fatores tais como: uso de dispositivo para queda livre do martelo (11,8% mais eficiente, o que significa N inferiores em 10,6%) ou uso de roldana móvel (9,0% e 19,6% menos eficiente respectivamente para corda fina e para corda grossa, o que significa N superiores em 9,9% e 24,4%, respectivamente), tipo de martelo (martelo cilíndrico vazado, de 10,1% a 14,2% menos eficiente, significando N superiores de 11,2% a 16,5%), massa da cabeça de bater (pequena de 1,2kg, 4% mais eficiente e grande de 14kg, 12,1% menos eficiente do que a cabeça normal, portanto N inferiores em 3,8% e superiores em 13,7%, respectivamente); e, por fim, método de avanço da perfuração feita com a cravação do próprio amostrador (valor de N, 58% superior).

Por outro lado e de certa maneira surpreendente, o uso de cabo de aço apresentou-se com eficiência semelhante ao uso de corda (cabo de aço, de 1,7% a 3,5% mais eficiente); o mesmo aconteceu quanto ao uso e não de coxim de madeira (sem coxim, de 0,8% a 2,5% mais eficiente), indicando propriamente paridade em termos de valores de N.

Espera-se uma diferença significativa entre os valores de N obtidos com equipamento importado com aqueles obtidos pelo sistema brasileiro, sendo esta diferença uma função inclusive do comprimento da composição. Para composição de até 10m de comprimento, esta diferença de N, em termos da energia dinâmica transferida às hastes, deve ser desprezível enquanto que para composição de até 28m esta diferença pode ser de até 10,7%. É importante salientar que outros dados se fazem necessários, no caso de equipamento importado,

para uma conclusão definitiva, inclusive aqueles que permitam o confronto direto de resultado.

Pelo fato de a sondagem/ensaio SPT ser de uso corrente, faz-se necessária a continuidade dos esforços em estudos que visem um melhor entendimento e quantificação das variáveis intervenientes, buscando com isto a padronização de resultado neste tipo de ensaio.

Referências bibliográficas

- American Society for Testing and Materials - ASTM. *Penetration test and split barrel sampling of soils*. Philadelphia, 1992. D1586.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. *Execução de Sondagens de Simples Reconhecimento dos Solos*. NBR6484. Rio de Janeiro: ABNT, 1980.
- Belincanta, A. *Avaliação de fatores intervenientes no índice de resistência à penetração do SPT*. São Carlos, 1998. (Doctoral Thesis in) - Escola de Engenharia de São Carlos.
- Belincanta, A.; Cintra, J.C.A. Fatores intervenientes em variantes do método ABNT para execução do SPT. *Solos e Rochas*, 21(3):119-133, 1998.
- Décourt, L.; Belincanta, A.; Quaresma Filho, A. R. Brazilian experience on SPT. Supplementary contributions by the brazilian society for soil mechanics. In: ICSMFE, 12., 1989, Rio de Janeiro. *Proceedings...* Rio de Janeiro: Swedish Geotechnical Institute, 1989, p.49-54.
- Décourt, L. The standard penetration test, state of the art. In: ICSMFE, 12., 1989, Rio de Janeiro. *Proceedings...* Rio de Janeiro, 1989. v.4, p.2405-2416.
- Fletcher, G.F.A. Standard penetration test: its uses and abuses. *J. Soil Mechan. Found. Div.*, 91:67-75, 1965.
- Isopt - Technical committee on penetration testing of soils. Report on reference test procedure. In: ISOPT, 1., Orlando, 1988. *Proceedings...* Orlando: De Rulter, 1988. v.1, p.3-25.
- Issmfe - Technical committee on penetration testing of soils, TC 16. Report on reference test procedure CPT-SPT-DP-WST. In: ICSMFE, 12., Rio de Janeiro, 1989. *Annals...* Rio de Janeiro, 1989.
- Palacios, A. *The theory and measurement of energy transfer during standard penetration test sampling*. Florida, 1977. (Doctoral Thesis in Philosophy) - University of Florida.
- Schertmann, J.H.; Palacios, A. Energy dynamics of SPT. *J. Soil Mechan. Found. Div.*, 105:909-926, 1979.
- Teixeira, A.H. A Padronização da sondagem de simples reconhecimento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS, 5., 1974, São Paulo. *Anais...* São Paulo: ABMS, 1974. v.3, p.1-22.
- Teixeira, A.H. Sondagens. In: PROSPECÇÃO DO SUBSOLO, 1977, Recife. *Anais...* Recife: ABMS-NE, 1977. p.39-61.
- Teixeira, A.H. Um aperfeiçoamento das sondagens de simples reconhecimento à percussão. In: _____. *Solos do Interior de São Paulo*. São Carlos: ABMS, 1993. cap. 4, p.77-93.

Received on August 07, 2000.

Accepted on November 23, 2000.