CORRELAÇÃO ENTRE ENSAIOS SPT E PANDA 2 (PENETRÔMETRO LEVE DE ENERGIA VARIÁVEL) EM ATERRO COMPACTADO DE BARRAGEM COM SOLO TROPICAL

CORRELATION BETWEEN SPT AND PANDA 2 TESTS IN COMPACTED EMBANKMENT DAM WITH TROPICAL SOIL

Resende Angelim, Renato; *EECA / UFG, Goiânia, Brasil, tecnoeng@gmail.com*
Sales Campos, Caio; *Universidade Federal de Goiás (UFG), Goiânia, Brasil, sales.campos@gmail.com*
Batista Llobet, Yanko; *Universidade Federal de Goiás (UFG), Goiânia, Brasil, yankobll@hotmail.com*
Martines Sales, Maurício; *EECA / UFG, Goiânia, Brasil, sales.mauricio@gmail.com*
Pinto da Cunha, Renato; *Universidade de Brasília/UnB, rpcunha@unb.br*

RESUMO

Tradicionalmente os projetos geotécnicos no Brasil utilizam os dados obtidos pelo ensaio SPT. A fim de agregar valor as sondagens de reconhecimento do subsolo, surge como alternativa o penetrômetro leve de energia variável PANDA 2 que traz como principais vantagens a praticidade e rapidez do ensaio, bem como a aquisição automática dos resultados. Ensaios realizados com o equipamento em maciços compactados de barragem de terra mostraram um bom desempenho, alcançando profundidades entre 8 a 9 m. A comparação do valor de "q_d" do ensaio PANDA 2 com o valor de "*N*" do ensaio SPT determinou correlações muito satisfatórias pois os resultados tiveram comportamentos semelhantes e a sua comparação tem como objetivo transferir a experiência técnica do ensaio SPT para o ensaio PANDA 2.

ABSTRACT

Traditionally, geotechnical projects in Brazil use the data from Standard Penetration Test (SPT). In order to enhance the accuracy and liability of the data of the soil, the PANDA 2 test was created. The light penetrometer test with variable energy is an alternative to study soil resistance and has as its main advantages the convenience, speed of the test and the automatic acquisition of the results. The tests were carried out with the equipment on a tropical compacted soil and showed good performance, reaching depths between 8 and 9 m. The comparison of the value of "q_d" from the PANDA 2 with the value of "N" from SPT, showed very good correlations as the results had similar behaviors and their comparison aims to transfer the technical experience of the SPT test to the PANDA 2 test.

1 - INTRODUÇÃO

A engenharia civil tem como um dos seus principais ramos de estudo a geotecnia. Dentro da geotecnia, as investigações de campo, se caracterizam como a base de qualquer estudo que antecede a realização de uma obra de engenharia, uma vez que, tradicionalmente, é por meio dos ensaios de campo que são determinados os parâmetros geotécnicos do solo. As características físicas e químicas, as tensões *in situ*, a previsão da capacidade de carga e o recalque estimado da fundação, só podem ser estimados de um solo com os ensaios adequados. Essas características do terreno influenciam tanto no projeto quanto no processo construtivo, sendo assim, um estudo criterioso do solo pode diminuir os custos de uma obra e evitar posteriores patologias.

A partir desse princípio inúmeras técnicas foram desenvolvidas a fim de melhorar a obtenção e a confiabilidade dos dados. Cada método tem suas características e objetivos, sendo que existe um constante aprimoramento dos mesmos no intuito de se obter uma quantidade cada vez maior e mais precisa de informações do perfil do solo com o uso de ensaios *in situ*. Contudo, mesmo com esses incrementos de tecnologia, grande parte do mercado brasileiro se mostra reticente ao uso de métodos menos convencionais como CPT, CPTU, S-CPT, DMT, S-DMT, PMT, SPT mecanizado e/ou com medição de energia, dentre outros, quase sempre pelo custo que esses representam quando comparados ao método mais consagrado como é o caso do ensaio SPT (*Standard Penetration Test*), também conhecido como sondagem de simples reconhecimento.

Mundialmente utilizado, o ensaio SPT consiste na cravação de um amostrador padrão no fundo da escavação de um furo, pelo impacto de um martelo de 65 kg em queda de uma altura de 75 cm. O ensaio fornece um valor de resistência dinâmica, denominado "*N*", o qual pode ser utilizado na determinação da compacidade de solos granulares e da consistência de solos coesivos, e também no projeto de fundações (Schnaid, 2000).

Um outro ensaio, relativamente recente, que poderia substituir em alguns casos o ensaio SPT ou trabalhar conjugado a ele, complementando os seus resultados, é o ensaio PANDA 2. O referido ensaio determina a resistência do solo à penetração de uma ponteira cônica. A penetração da ponteira no solo ocorre devido ao impacto de um martelo numa cabeça de bater que transmite a ponteira por meio de um conjunto de hastes. Contudo esse martelo não parte de uma altura específica, tornando a energia desse choque variável (Cruz Jr. *et al.*, 2014). A cada golpe, o aparelho registra a deformação de um sensor instrumentado com uma ponte de *strain gages* (célula de carga) localizado na cabeça de bater e a profundidade de cravação com o impacto.

A aquisição automática dos dados durante o ensaio PANDA 2, com sua visualização em tempo real no terminal de comunicação, a portabilidade do equipamento, a relativa rapidez na realização do ensaio e a necessidade de único operador são fatores que o torna interessante e promissor quando comparado ao ensaio SPT.

1.1 - Objetivo

Este estudo tem como objetivo comparar os resultados dos ensaios SPT e PANDA 2, em um solo tropical laterítico compactado, na hipótese de verificar a existência de uma correlação adequada entre os dois ensaios penetrométricos, para que possa ser utilizada para agregar toda a tradição do uso dos resultados do SPT ao ensaio PANDA 2, cujo uso ainda se encontra restrito no âmbito das instituições de pesquisa, para o uso por projetistas de fundação e meio técnico em geral.

2 - MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho apresenta os dados de Angelim (2011) de Ferreira *et al.* (2013). Os dados foram obtidos por Angelim (2011) em ensaios *in situ* realizados em um aterro compactado com solo tropical laterítico. Esta pesquisa foi realizada com suporte técnico de Eletrobras - Furnas, dentro do âmbito de um projeto de pesquisa e desenvolvimento (P&D) intitulado "Desempenho de Ensaios *In Situ* em Aterros Compactados em Barragens de Terra na Estimativa de Parâmetros Geotécnicos e Previsão de Comportamento", com financiamento da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), proposto por Eletrobras – Furnas, com participação da Universidade Federal de Goiás (UFG).

2.1 - Características do local

A barragem (Figura 1) implantada no Ribeirão João Leite situa-se a montante da cidade de Goiânia, estado de Goiás, Brasil e tem como principal finalidade o abastecimento público de água para a região metropolitana de Goiânia. A barragem tem 451 m de comprimento, sendo 389 m de extensão em concreto compactado com rolo e 62 m de aterro referente às duas ombreiras e altura máxima de 52 m. A área inundada é de aproximadamente 10,4 km², operando na cota de 749 m, referente ao N.A. máximo normal.

Figura 1 – a) Vista aérea da Barragem antes de seu enchimento e b) Vista Ampliada do campo experimental no platô da ombreira esquerda onde foram realizados os ensaios *in situ* (Angelim, 2011)

2.2- Características do solo

Durante a execução do aterro, foram retiradas amostras deformadas. Análise de resultados de difratometria de Raios-X, permitiram concluir que o solo utilizado na construção do aterro trata-se de um solo de cor avermelhada, profundamente intemperizado, com presença de argilominerais, óxidos e

hidróxidos de ferro e alumínio (Angelim, 2011). Segundo Pinto (2006) a presença desses óxidos e hidróxidos recobrindo aglomerações de partículas argilosas, é comum em regiões de clima quente e com regime de chuvas moderado ou intenso, e que quando compactados apresentam grande resistência, e por essa razão são muito utilizadas para construção de aterros e pavimentos.

Ensaios de análise granulométrica realizados indicaram que pelo Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS) trata-se de uma argila de baixa plasticidade (CL) e pelo Sistema Rodoviário de Classificação da AASHTO enquadra-se como solo argiloso A 7-6 (IG=11). Do ponto de vista eminentemente granulométrico, pelas duas frações próximas preponderantes, enquadra-se como uma argila arenosa. No Quadro 1 estão apresentados os limites de consistência e outros parâmetros geotécnicos, inclusive de ensaio de compactação para energia Proctor Normal.

Quadro 1 – Parâmetros geotécnicos do solo. Adaptado de Angelim (2011)

Prof. (m)	Teor argila (%)	$©_{dmax}$ (kN/m³)	w_{ot} (%)	Parâmetros			
				w_L (%)	w_P (%)	IP (%)	I_a
746	40,1	16,65	20,4	45	26	19	0,47
746	36,6	16,53	20,6	47	29	18	0,49
746	35,7	16,30	21,1	46	28	18	0,50
746	37,8	16,42	20,5	46	28	18	0,48
746	27,5	16,26	20,8	46	27	19	0,69
746	39,0	16,58	19,9	46	28	18	0,46
746	37,5	17,02	18,6	43	25	18	0,48
746	38,7	16,78	18,8	44	25	19	0,49

Nota: $©_{dmax}$ = peso específico seco máximo, w_{ot} = umidade ótima, w_L = limite de liquidez, w_P = limite de plasticidade, IP = índice de plasticidade e I_a = índice de atividade.

Por meio de amostras indeformadas, coletadas em trincheiras abertas concomitante a elevação do aterro, foram realizados ensaios de laboratório para determinação de características do solo compactado. O Quadro 2 apresenta os resultados dos parâmetros geotécnicos determinados para cada profundidade analisada.

Quadro 2 – Índices físicos das amostras indeformadas do solo compactado. Adaptado de Angelim (2011)

Prof. (m)	Parâmetros						
	© (kN/m³)	w (%)	$©_d$ (kN/m³)	$©_s$ (kN/m³)	e	n (%)	S (%)
0,25	19,67	19,7	16,43	27,55	0,68	40	82
1,15	19,69	20,7	16,31	27,38	0,68	40	85
2,45	19,78	20,9	16,36	27,34	0,67	40	87
3,15	20,05	19,9	16,72	27,11	0,62	38	89
4,15	18,56	19,6	15,52	27,40	0,77	43	72
5,15	20,06	20,7	16,62	27,13	0,63	39	91
6,15	-	-	-	27,73	-	-	-
7,15	20,59	19,1	17,29	26,96	0,56	36	94
Média	19,77	20,1	16,46	27,33	0,66	40	85

Nota: © = peso específico úmido, w = umidade *in situ*, $©_d$ = peso específico seco, $©_s$ = peso específico dos sólidos, e = índice de vazios, n = porosidade e S = grau de saturação.

Analisando os índices físicos apresentados no Quadro 2, de uma forma geral, percebeu-se que os índices indicam uma relativa homogeneidade do perfil do aterro. Destaca-se que o teor de umidade *in situ* ficou em torno de 20%, teor esse dentro da faixa do teor de umidade ótima da compactação utilizada na construção, bem como intervalo do desvio de umidade de $-1\% \leq w_{ot} \leq +2\%$. Cabe salientar que o teor de umidade determinado aproximadamente um ano após a construção do aterro permanecia inalterado. Isto certamente justifica-se pela avidez da argila pela água, promovendo sua retenção no maciço, bem como pela baixa permeabilidade com valores de $k_{v\ 20\ ºC}$ entre 10^{-8} a 10^{-9} m/s que dificultam a mobilidade.

2.3 - Ensaios SPT

Foram realizados três ensaios SPT (SPT1, SPT2 e SPT3), executados respectivamente nos furos SP1, SP2 e SP3, até a profundidade de aproximadamente oito metros.

O ensaio SPT3 foi realizado de forma "convencional", seguindo as recomendações da norma brasileira, NBR 6484 (ABNT, 2001), com exceção do uso do disparador manual (gatilho) do martelo e ausência de coxim de madeira.

Já os outros dois ensaios SPT foram realizados de forma "contínua" no furo de sondagem, ou seja, logo após a determinação de *N* (cravação de 45 cm do amostrador), era feito o avanço do furo de 10 cm (2 vezes o diâmetro do amostrador) com o trado. Na sequência, iniciava-se outro ensaio para

determinação de *N*, com o intuito de obter o maior número de parâmetros de resistência do solo ao longo do perfil sondado para uma melhor comparação com os resultados do ensaio PANDA 2.

2.4 - Ensaios PANDA 2

Ao redor de cada furo SP de sondagem SPT, foram realizados ensaios PANDA 2, (Figura 2a) a uma distância de 50 cm, utilizando uma ponteira cônica de ápice de 90º e secção de 4 cm^2 (Figura 2b). Os ensaios PANDA 2 realizados junto à sondagem SPT1 receberam a nomenclatura P1A, P1B e P1C, aqueles realizados junto à sondagem SPT2 receberam a nomenclatura P2A, P2B e P2C e, por último, aqueles realizados junto à sondagem SPT3 receberam a nomenclatura P3A e P3C.

Esses ensaios foram executados conforme orientação do fabricante e com o uso de uma ponteira de secção de 4 cm^2, com o intuito de evitar o atrito das hastes com a parede do furo e possibilitar o alcance da profundidade almejada de aproximadamente 8 metros.

a) b)

Figura 2 – a) Execução do ensaio PANDA 2 (ANGELIM, 2011) e b) Ponteira cônica de 4 cm2 de seção

3 - APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

3.1 Localização dos Furos de Sondagens SPT e PANDA 2

O Quadro 3 apresenta os ensaios *in situ* realizados na pesquisa, com as coordenadas topográficas. A Figura 3 apresenta a planta de locação dos furos de sondagem dos ensaios *in situ* realizados no campo experimental, localizado no platô do aterro da ombreira esquerda de jusante da barragem do Ribeirão João Leite.

Quadro 3 - Coordenadas topográficas dos ensaios *in situ* (adaptado de Angelim, 2011).

Ensaio	Furo	Posição no eixo barragem		Afastamento do eixo	Data
		Estaca*	(m)	(m)	
SPT1 (contínuo)***	SP1	23+15,35 m	475,35	29,75	12-nov-08
SPT2 (contínuo)***	SP2	23+ 8,65 m	468,65	25,50	4-nov-08
SPT3 (convencional)**	SP3	23+15,35 m	475,35	25,50	26-nov-08
PANDA 2 (estação chuvosa)	P1A	23+15,35 m	475,35	30,25	14-nov-08
	P2A	23+ 8,65 m	468,65	26,00	13-nov-08
	P3A	23+15,35 m	475,35	26,00	14-nov-08
	P1B	23+15,85 m	475,85	29,75	17-nov-08
	P2B	23+ 8,15 m	468,15	25,50	17-nov-08
PANDA 2 (estação seca)	P1C	23+14,85 m	474,85	29,75	26-mai-09
	P2C	23+ 8,65 m	468,65	25,00	5-jun-09
	P3C	23+15,35 m	475,35	25,00	5-jun-09

Notas: * Estacas a cada 20 m entre si, sendo as mesmas estabelecidas no projeto da barragem;
** SPT (convencional) é o ensaio com determinação de *N* a cada metro de profundidade;
*** SPT (contínuo) é o ensaio com determinação de *N* sucessivo, com distância de 10 cm entre o final de um ensaio e início de outro no mesmo furo.

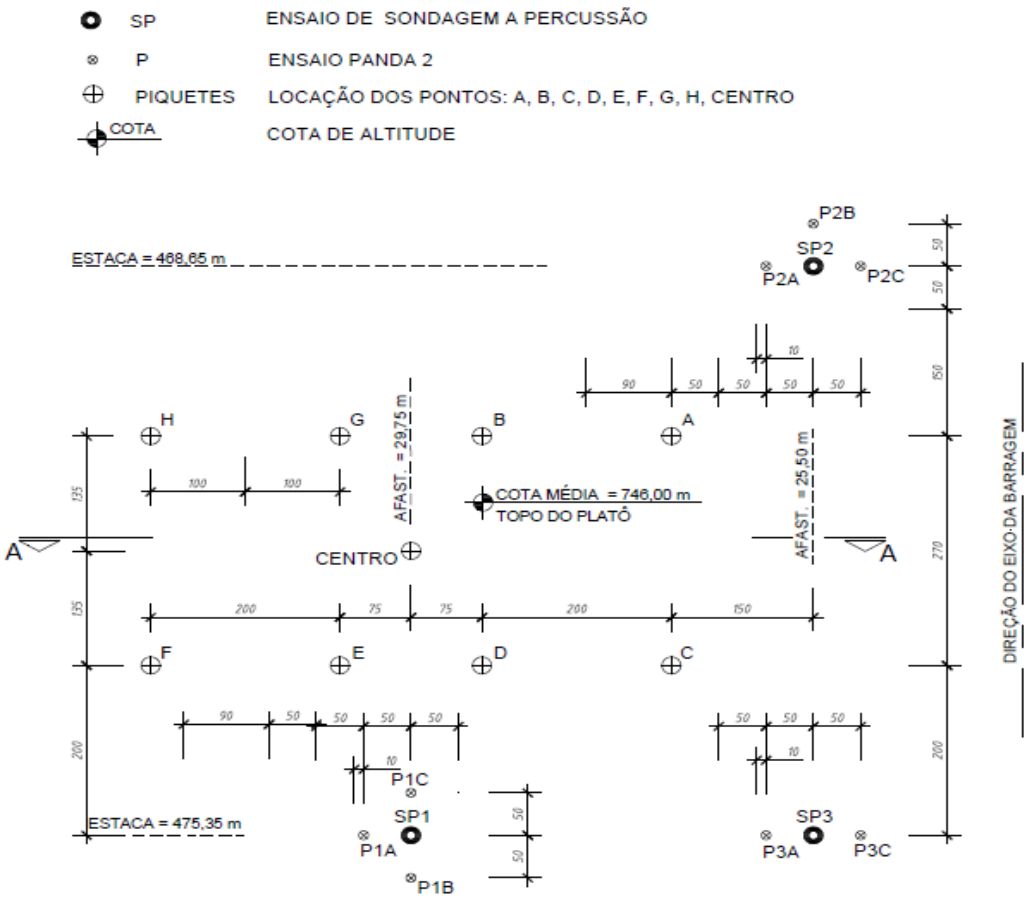


Figura 3 – Locação dos pontos de sondagem

3.2 - Resultados dos Ensaios SPT

A Figura 4 mostra um gráfico do valor do N em função da profundidade para os três ensaios (SPT1, SPT2 e SPT3).

Os valores de N variaram entre 8 a 13 golpes com comportamento crescente com a profundidade justificado pelo aumento das tensões geostáticas. Observa-se um comportamento semelhante entre os resultados dos três ensaios SPT, demonstrando que ensaios SPT1 e SPT2 realizados de forma contínua, diferente da metodologia convencional de norma, podem ser considerados sem nenhum comprometimento. Portanto, a similaridade dos resultados é um fator que assegura a confiabilidade dos ensaios contínuos e o seu uso para os objetivos desta pesquisa.

3.3 - Resultados dos Ensaios PANDA 2

Os resultados dos ensaios PANDA 2 expressam a resistência à penetração do solo (q_d), em MPa, pela ponteira cônica em função da profundidade em metros. Na Figura 5 estão exemplificados alguns resultados desses ensaios (penetrogramas).

Como o PANDA 2 registra continuamente e milimetricamente os dados (valores de q_d) ao longo da profundidade durante a cravação preferiu-se expressá-los reduzindo o universo de resultados. Para tanto, foi utilizado um único valor de q_d para cada 10 cm de profundidade como resultado da média de todos os resultados de q_d obtidos neste trecho de 10 centímetros.

Devido a grande semelhança dos penetrogramas dos ensaios PANDA 2 realizados em torno do mesmo furo SP, são apresentados na Figura 5 os penetrogramas das médias dos ensaios realizados em torno do mesmo furo SP, ou seja, P1m é a média de P1A, P1B e P1C em torno de SP1, P2m é a média de P2A, P2B e P2C em torno de SP2 e P3m é a média de P3A e P3C em torno de SP3.

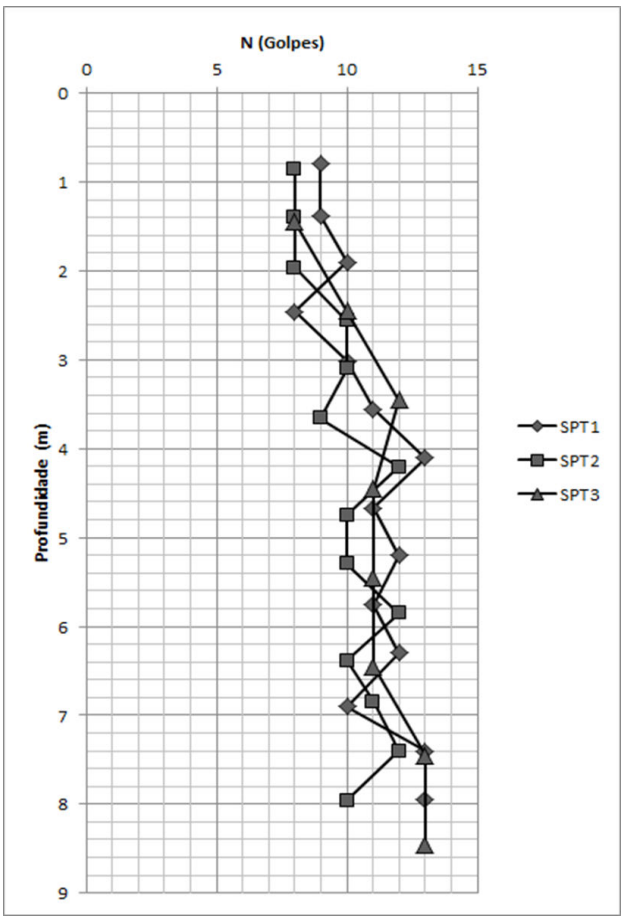


Figura 4 - *N* (golpes) dos ensaios SPT1, SPT2 e SPT3

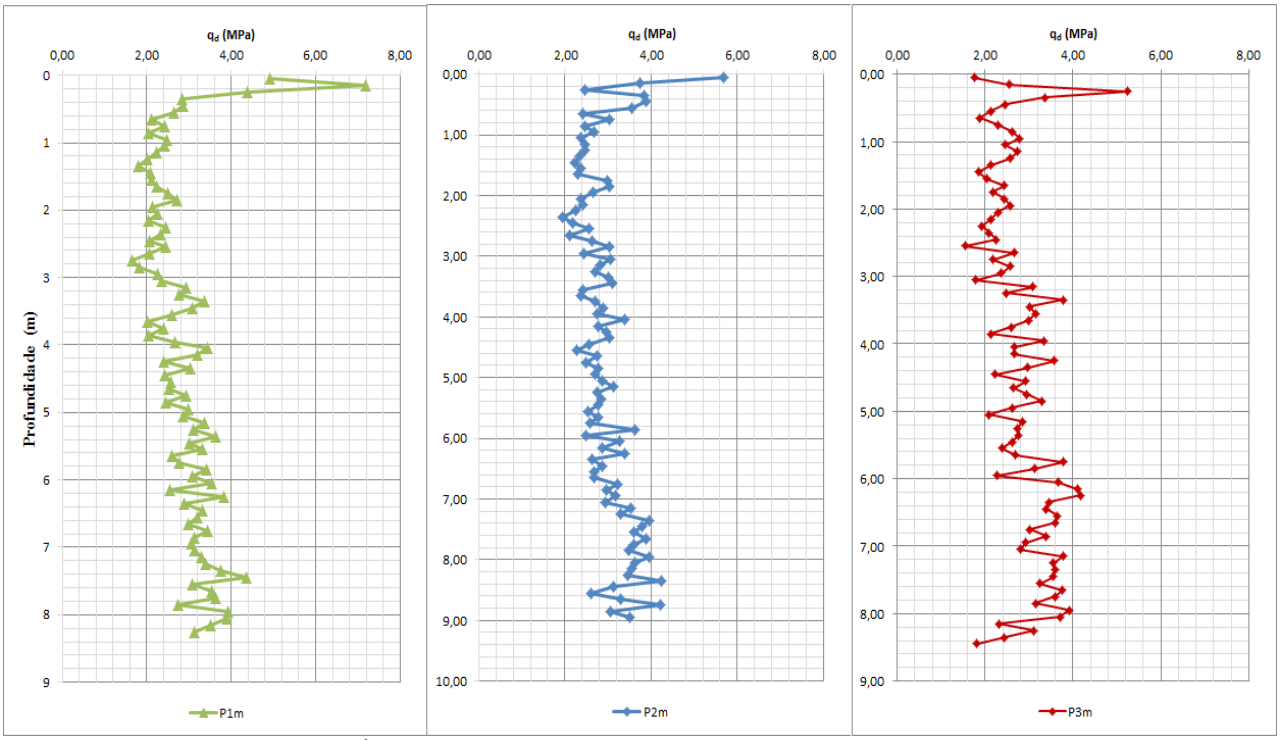


Figura 5 - Penetrograma médio de cada grupo de ensaios PANDA 2 realizados em torno do mesmo furo SP

Os gráficos (Figura 5) apresentaram um pico de resistência à penetração elevado próximo a superfície do terreno, dentro do primeiro meio metro de profundidade, acredita-se que este fato pode ser explicado pela sucção do solo próximo a superfície. Um estudo feito por Alves *et al.* (2015) comprovaram esta hipótese nos resultados de ensaios de campo realizados com PANDA 2 em solo tropical. Assim, foram considerados apenas os valores de resistência q_d abaixo dessa profundidade para análises neste estudo.

Na Figura 6 são mostrados os penetrogramas P1m, P2m e P3m juntos, onde é possível perceber a semelhança nos resultados obtidos pelo ensaio PANDA 2, verificando sua acurácia, repetibilidade, confiabilidade e principalmente a relativa homogeneidade do maciço de terra compactado.

O aterro trata-se de um maciço construído artificialmente com controle de qualidade rigoroso. O fato de se ter um perfil com material relativamente homogêneo, em se tratando de solos, é muito útil para evitar interferências e/ou variabilidades nos resultados dos ensaios de campo devido por exemplo a mudança do tipo de solo, mudança da estrutura do solo no caso dos residuais, etc.

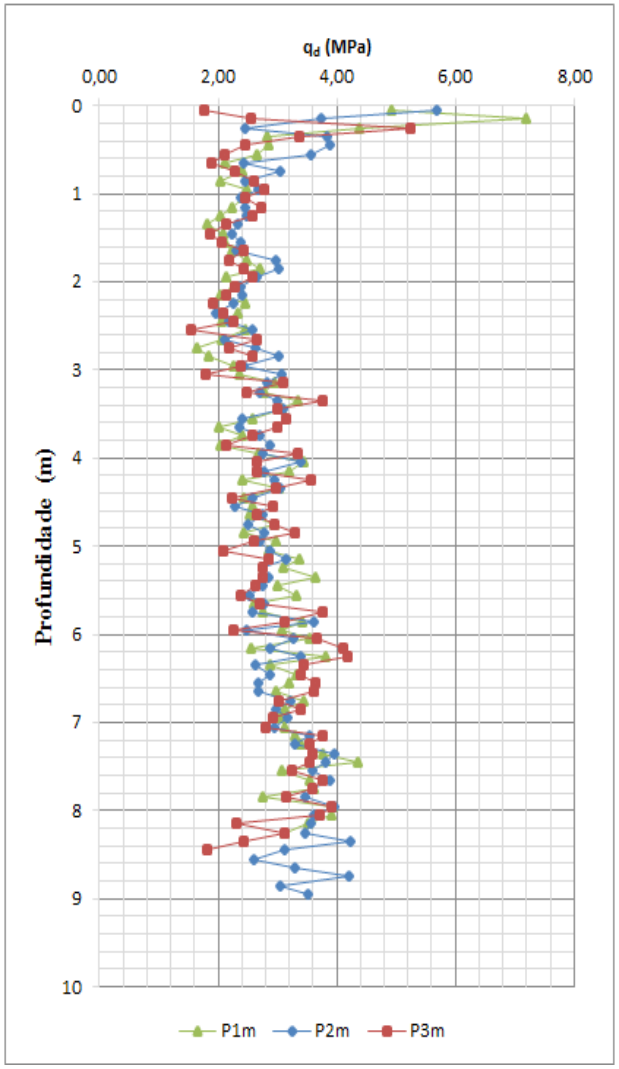


Figura 6 – Penetrograma dos resultados P1m, P2m e P3m

3.4 - Comparando dos Resultados dos Ensaios SPT e PANDA 2

Para uma comparação mais adequada entre os dois tipos de ensaios SPT e PANDA 2, propôs-se uma nova maneira para expressar o valor da resistência a penetração do PANDA 2 por meio de "q_{d30}", que trata-se a média dos valores de q_d do trecho de 30 cm correspondente aos 2 últimos 15 cm de cravação do amostrador do SPT, nos quais a soma dos golpes determina o valor de "*N*". Medições da energia nominal transferida ao amostrador para o referido estudo ficaram na ordem de 70% da energia teórica do ensaio SPT. Na Figura 7 está mostrada a explicação gráfica de q_{d30}.

Em virtude da relativa homogeneidade do maciço como um todo e da semelhança no comportamento dos resultados dos ensaios PANDA 2 a média q_{d30} utilizada para comparação com "*N*" foi feita considerando todos os 8 ensaios PANDA 2, inclusive os realizados mais distantes do furo SP a ser comparado.

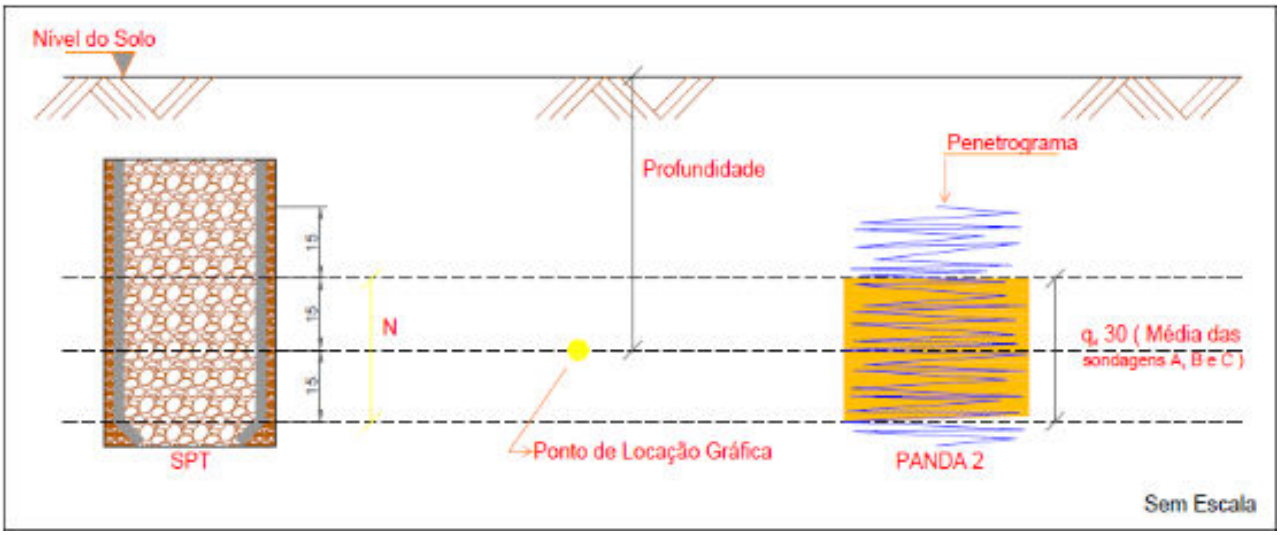


Figura 7 – Proposta para expressão q_{d30}, como média dos resultados q_d do ensaio PANDA 2 correspondente aos 2 últimos 15 cm de cravação do amostrador do SPT

Para o perfil de solo ensaiado, no Quadro 4 estão apresentados a profundidade média, a soma do número de golpes do ensaio SPT3 (convencional) dos dois últimos 15 cm representada por *N*, a média da resistência à penetração do solo q_{d30} para o trecho de 30 cm finais do amostrador SPT, por grupo de ensaios *PANDA 2* (P1, P2 e P3), e a relação entre a resistência a penetração do solo e o número de golpes (q_{d30}/N).

Na Figura 8 é representado o penetrograma com valores de *N* do SPT e q_{d30} do PANDA 2 para uma comparação do comportamento. A fim de facilitar a comparação visual com *N*, as curvas de q_{d30} foram multiplicadas por 3,66 para aproximá-las no eixo das abcissas (valor esse da ordem do inverso da média da relação q_{d30}/N apresentada no Quadro 4).

Quadro 4 – Comparação entre resultados do ensaio SPT3 (convencional) e ensaios do grupo PANDA 2 (P1, P2 e P3)

	SPT3	P1		P2		P3	
Profundidade (m)	N	q_{d30} (MPa)	q_{d30}/N	q_{d30} (MPa)	q_{d30}/N	q_{d30} (MPa)	q_{d30}/N
		(d* = 4,25 m)		(d* = 6,70 m)		(d* = 0,50 m)	
1,30	8	2,19	0,27	2,44	0,30	2,40	0,30
2,30	10	2,47	0,25	2,20	0,22	2,15	0,21
3,30	12	3,09	0,26	2,86	0,24	3,14	0,26
4,30	11	2,85	0,26	2,92	0,27	3,10	0,28
5,30	11	3,54	0,32	2,95	0,27	2,82	0,26
6,30	11	3,38	0,31	2,96	0,27	3,92	0,36
7,30	13	3,69	0,28	3,70	0,28	3,66	0,28
8,30	13	2,74	0,21	3,70	0,28	-	-
Média	11	-	0,27	-	0,27	-	0,28
CV(%)**	14,76	-	12,96	-	10,05	-	15,63

* Distancia média entre o grupo de ensaios PANDA 2 e o ensaio SPT
** Coeficiente de variação dado pela relação entre o desvio padrão e a media, em %

Nos Quadros 5 e 6 estão apresentados a profundidade média, a soma do número de golpes dos ensaios SPT1 e SPT2 (contínuos) dos dois últimos 15 cm representada por *N*, a média da resistência à penetração do solo q_{d30} para o trecho de 30 cm finais do amostrador SPT, por grupo de ensaios *PANDA 2* (P1, P2 e P3), e a relação entre a resistência a penetração do solo e o número de golpes (q_{d30}/N).

Na Figuras 9 são representados os penetrogramas com valores de *N* do SPT e q_{d30} do PANDA 2. A fim de facilitar a comparação com *N*, as curvas de q_{d30} foram multiplicadas por 3,76 e 3,53, respectivamente, para aproximá-las no eixo das abcissas.

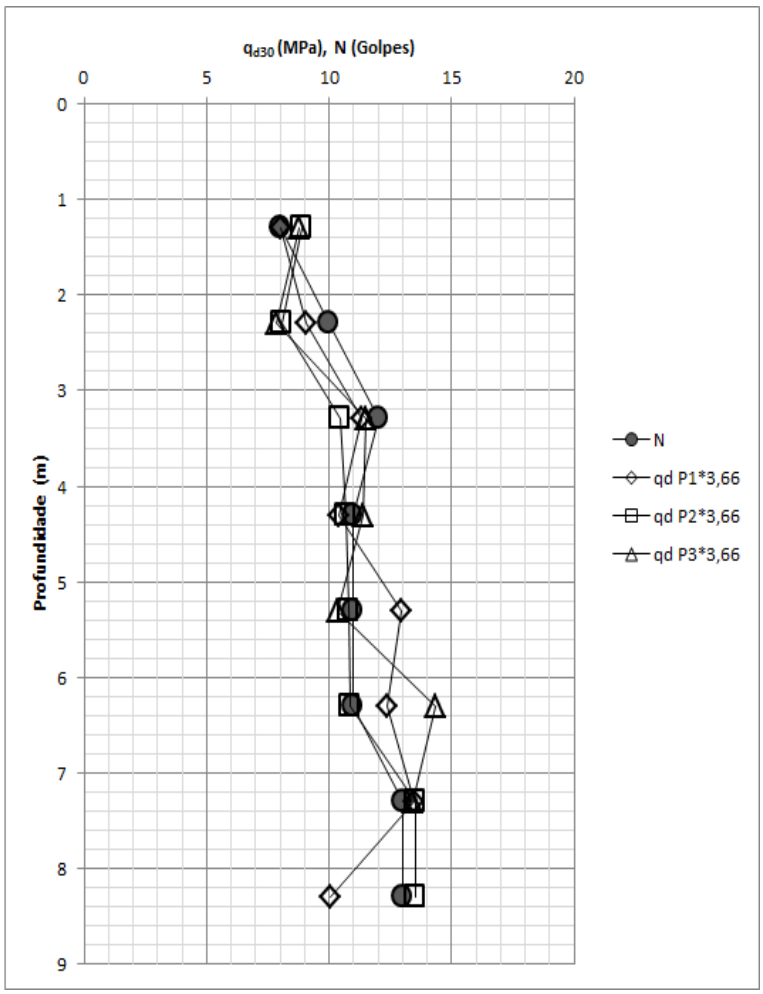


Figura 8 - Comparação entre os resultados de *N* do SPT3 (convencional) e resultados q_{d30} dos grupos de ensaios PANDA 2 (P1, P2 e P3)

Quadro 5 – Comparação entre resultados do ensaio SPT1 (contínuo) e ensaios do grupo PANDA 2 (P1, P2 e P3)

	SPT1	P1		P2		P3	
Profundidade (m)	N	q_{d30} (MPa)	q_{d30}/N	q_{d30} (MPa)	q_{d30}/N	q_{d30} (MPa)	q_{d30}/N
		(d* = 0,50 m)		(d* = 7,90 m)		(d* = 4,25 m)	
0,80	9	2,35	0,26	2,69	0,30	2,42	0,27
1,37	9	2,11	0,23	2,35	0,26	2,28	0,25
1,90	10	2,45	0,24	2,90	0,29	2,46	0,25
2,46	8	2,17	0,27	2,30	0,29	2,05	0,26
3,01	10	2,22	0,22	2,88	0,29	2,42	0,24
3,56	11	2,87	0,26	2,72	0,25	3,06	0,28
4,10	13	2,98	0,23	3,06	0,24	3,03	0,23
4,66	11	2,71	0,25	2,57	0,23	2,87	0,26
5,20	12	3,29	0,27	2,90	0,24	2,75	0,23
5,75	11	3,33	0,30	3,07	0,28	3,21	0,29
6,30	12	3,40	0,28	2,96	0,25	3,93	0,33
6,90	10	3,43	0,34	3,11	0,31	3,20	0,32
7,40	13	3,46	0,27	3,73	0,29	3,46	0,27
7,95	13	3,49	0,27	3,72	0,29	3,57	0,27
Média	11	-	0,26	-	0,27	-	0,27
CV(%)**	14,83	-	11,81	-	9,46	-	11,01

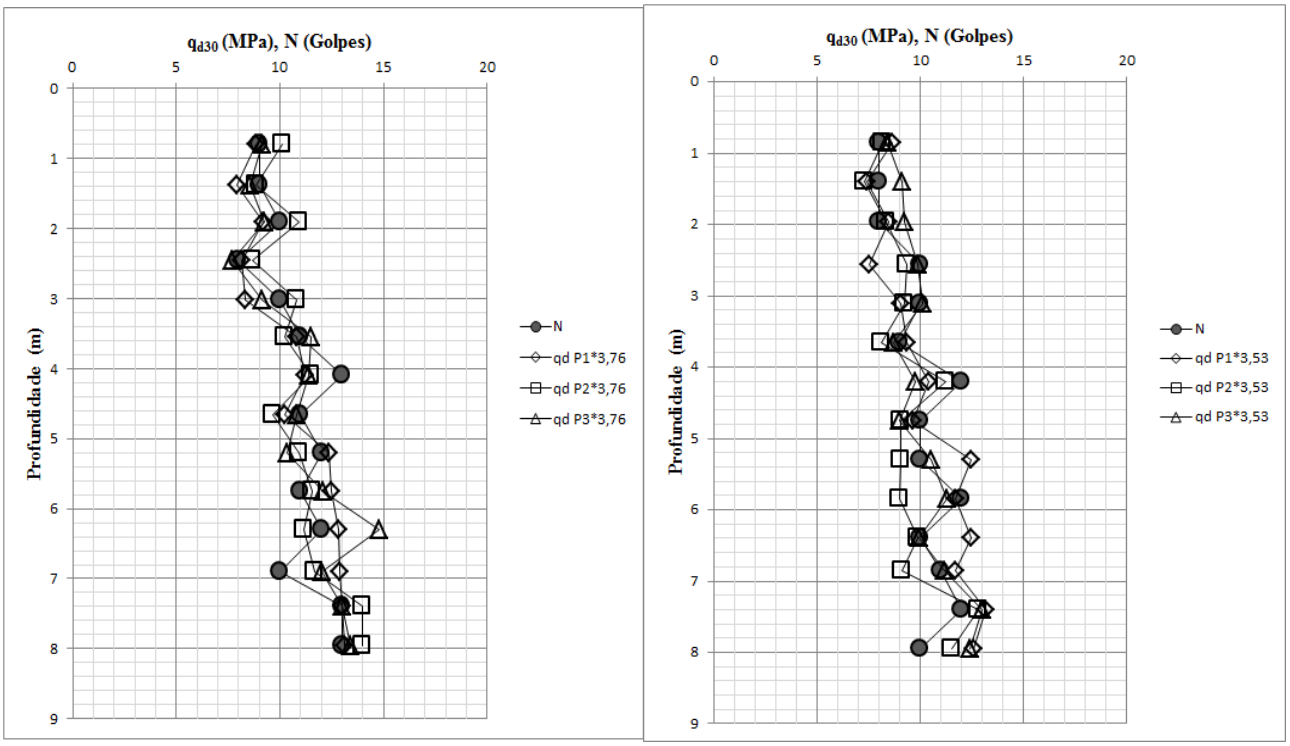
* Distancia média entre o grupo de ensaios PANDA 2 e o ensaio SPT
** Coeficiente de variação dado pela relação entre o desvio padrão e a media, em %

Quadro 6 – Comparação entre resultados do ensaio SPT2 (contínuo) e ensaios do grupo PANDA 2 (P1, P2 e P3)

	SPT2	P1		P2		P3	
Profundidade (m)	N	q_{d30} (MPa)	q_{d30}/N	q_{d30} (MPa)	q_{d30}/N	q_{d30} (MPa)	q_{d30}/N
		(d* = 7,90 m)		(d* = 0,50 m)		(d* = 6,70 m)	
0,86	8	2,45	0,31	2,36	0,29	2,61	0,33
1,40	8	2,11	0,26	2,33	0,29	2,26	0,28
1,96	8	2,40	0,30	2,50	0,31	2,41	0,30
2,56	10	2,14	0,21	2,72	0,27	2,28	0,23
3,10	10	2,56	0,26	2,74	0,27	2,45	0,24
3,66	9	2,65	0,29	2,38	0,26	2,85	0,32
4,21	12	2,96	0,25	2,98	0,25	3,11	0,26
4,75	10	2,73	0,27	2,56	0,26	2,93	0,29
5,30	10	3,54	0,35	2,77	0,28	2,82	0,28
5,85	12	3,32	0,28	2,88	0,24	3,19	0,27
6,39	10	3,53	0,35	2,81	0,28	3,72	0,37
6,85	11	3,32	0,30	2,88	0,26	3,18	0,29
7,40	12	3,72	0,31	3,65	0,30	3,48	0,29
7,96	10	3,57	0,36	3,40	0,34	3,63	0,36
Média	10	-	0,29	-	0,28	-	0,29
CV(%)**	14,14	-	14,46	-	9,62	-	13,84

* Distancia média entre o grupo de ensaios PANDA 2 e o ensaio SPT

** Coeficiente de variação dado pela relação entre o desvio padrão e a media, em %



a) b)

Figura 9 – a) Comparação entre os resultados de *N* do SPT1 (contínuo) e resultados q_{d30} dos grupos de ensaios PANDA 2 (P1, P2 e P3); b) Comparação entre os resultados de *N* do SPT2 (contínuo)

Fazendo uma análise para os valores da relação q_{d30}/N para o solo estudado e para a profundidade de até 8 metros (Quadros 4, 5 e 6), percebe-se que a relação variou entre 0,27 a 0,28 com coeficiente de variação "CV" entre 10% a 16% para SPT3 (convencional), variou entre 0,26 a 0,27 com CV entre 9% a 12% para SPT1 (contínuo) e variou entre 0,28 a 0,29 com CV entre 9% a 15% para SPT2 (contínuo).

Alves e Silva (2009) encontraram uma relação q_{d30}/N de 0,22 com CV de 32% e profundidade de 3,8 m, para terrenos com solo natural do município da cidade de Goiânia. Embora a relação encontrada seja relativamente dentro da mesma ordem de grandeza da encontrada para o solo compactado deste estudo, percebe-se fundamentalmente que o coeficiente de variação foi muito maior para o solo natural, o que corrobora as afirmações sobre a relativa homogeneidade do maciço compactado. Cabe destacar que a relação q_{d30}/N vale para o tipo de solo estudado e varia para outros solos e por isso essas comparações devem continuar a serem estudadas.

De uma forma geral, relação q_{d30}/N variou pouco ao longo da profundidade. Entretanto ao avaliar a Figura 10 percebeu-se que a relação q_{d30}/N não varia linearmente com a profundidade, ou seja ela entre 0,80 m a 3,30 m ela decresce levemente e depois volta a crescer mais acentuadamente até 8,00 m.

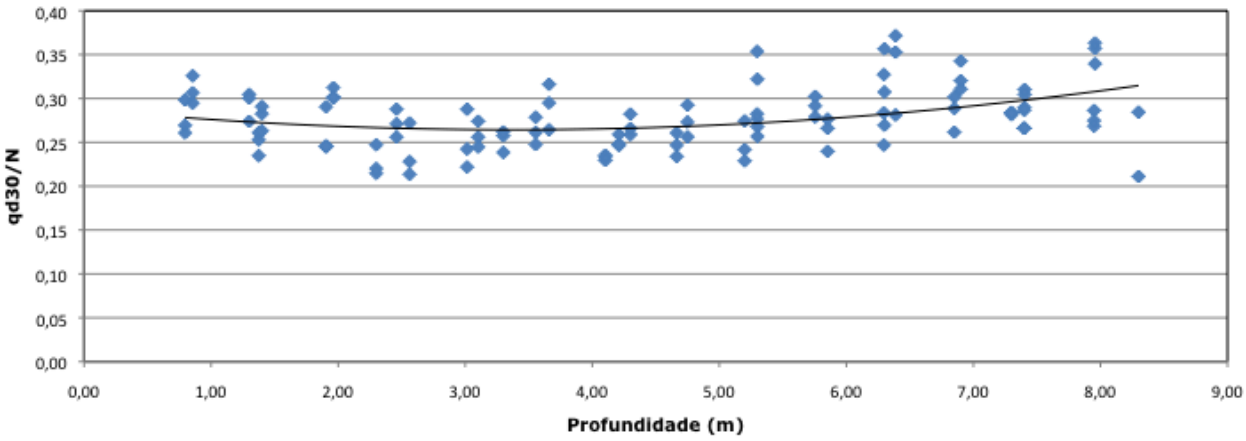


Figura 10 - Ilustra o comportamento não linear da relação q_{d30}/N ao longo da profundidade, em metros

Desta forma, analisando os dados para a profundidade de 0,80 m a 3,30 m, considerando todos os ensaios SPT (convencional e contínuos) com universo de 39 valores de q_{d30}/N, chegou-se a um valor de q_{d30}/N médio de 0,267 com CV de 10,8%, valor esse razoável para o coeficiente de variação em se tratando de solo;

CONCLUSÃO

São conclusões encontradas no trabalho:

- Trabalhar com q_{d30} foi satisfatório para se estabelecer uma comparação com o *N* do ensaio SPT;
- Percebeu-se que o valor da relação q_{d30}/N variou pouco e não linearmente com a profundidade para o perfil do aterro compactado de solo tropical argiloso;
- O valor da relação q_{d30}/N de 0,267 foi determinado para o trecho do perfil entre 0,8 a 3,3 m, com coeficiente de variação de 10,8%, valor esse razoável em se tratando de solos;
- O valor da relação q_{d30}/N se elevou mais acentuadamente a partir 3,3 m de profundidade devido a elevação de q_{d30}, possivelmente devido ao aumento da parcela do atrito lateral das hastes às paredes do furo durante a cravação da ponteira cônica na execução do ensaio PANDA 2;
- A execução da pesquisa no aterro construído artificialmente com solo compactado e com rigoroso controle de qualidade, tornou-se interessante para uso como campo experimental por eliminar a interferência de variáveis nos ensaios *in situ* como estratificação, mudança de solo, variação de umidade, densidade, dentre outras;
- A praticidade do ensaio PANDA 2, sua rapidez e aquisição automática dos resultados indicaram sua viabilidade como ferramenta na investigação geotécnica de campo, principalmente no caso de pequenas construções;
- A comparação do valor de "q_{d30}/N" do ensaio PANDA 2 com o valor de "*N*" do ensaio SPT determinou correlações satisfatórias, pois os resultados, embora diferentes, tiveram comportamentos semelhantes, entre os distintos ensaios.

AGRADECIMENTOS

À EletrobrasFurnas, à Agencia Nacional de Energia Elétrica*ANEEL* e à UFG.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2001). NBR 6484: Execução de sondagens de simples reconhecimento dos solos. Rio de Janeiro: ABNT.

Alves, T.C.; Lara, J.A.M.; Parrode, F.R.; Angelim, R.R.; Sales, M.M. (2015). Estudo da Influência da Sucção nos Resultados dos Ensaios In Situ Realizados com Penetrômetro Leve de Energia Variável PANDA 2 em Solos Tropicais. In: VIII Simpósio Brasileiro de Solos Não Saturados. Fortaleza-CE, 25 a 27 de novembro, 8 p.

Alves, D.H.C., Silva, A.P. da (2009). Penetrômetro PANDA – Uma nova alternativa de investigação para fundações rasas de Goiânia. 90 p. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal de Goiás. Goiânia.

Angelim, R.R. (2011). Desempenho de Ensaios Pressiométricos em Aterros Compactados de Barragens de Terra na Estimativa de Parâmetros Geotécnicos. Tese (Doutorado em Geotecnia). Universidade de Brasília, Distrito Federal.291 p.

Cruz Jr., A.J.; Gitirana Jr., G.F.N.; Sales, M.M.; Viana, P.M.F. (2014). Determinação do Perfil de Sucções a Partir de Amostras de SPT, e Verificação de Correlações entre Sucção, NSPT, e PANDA para Solos Argilosos Superficiais da Cidade de Goiânia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA. Goiânia-GO, 9 a 13 de setembro.

Ferreira, I.P.; Quirino, R.; Soares, T.M. (2013). Estudo Comparativo entre os Ensaios SPT e PANDA II em Aterros Compactados de Barragens de Terra. 2013. 79p. Monografia – Universidade Federal de Goiás, Goiânia.

Pinto, C.S. (2006). Curso básico de mecânica dos solos. 3º edição. São Paulo: Oficina de textos.

Schnaid, F. (2000). Ensaios de Campo e suas aplicações à Engenharia de Fundações. São Paulo: Oficina de Textos, 208 p.