

# Aplicação e Medição de Torque para obtenção de parâmetros de resistência por meio de dados de monitoramento de estacas hélice contínua

Bruno Regalin

Engenheiro Civil, Fundação Universidade Regional de Blumenau, Blumenau-SC, Brasil,  
brunoregalin@hotmail.com

Narayana Saniele Massocco

Doutoranda, Universidade de Brasília, Brasília-DF, Brasil, nsaniele@gmail.com

**RESUMO:** O equipamento que executa as estacas hélice contínua fornecem dados de tensão de torção, rotação e velocidade, que porventura garantem a perfeita execução e continuidade da estaca. A proposta deste trabalho é comparar os valores de  $N_{SPT}$  com os valores de torque retirados de laudos de estacas hélice contínua monitorada e encontrar um valor de  $N_{SPT}$  equivalente ( $N_{eq}$ ) aos fornecidos pelo SPT. Compararam-se 4 (quatro) estacas que foram executadas em uma obra na área de Blumenau-SC, com 5 laudos de SPT realizados próximos à estaca. Através da tensão de torção obtida pelo equipamento de monitoração da estaca foi correlacionado com o  $N_{60}$ , que corresponde com a energia equivalente de 60% em relação à cravação do amostrador, com os valores de  $N_{eq}$  definidos pelas propostas de Decourt (1991). Os resultados apresentados mostram que existe correlação entre os valores de  $N_{60}$  e dos valores de Torque, também mostraram que para cada tipo de solo é possível estimar coeficientes na relação dos valores de  $N_{SPT}$  com os valores de torque, na análise, os solos que apresentaram melhores correlações foram os solos argilosos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Hélice contínua monitorada, SPT, Resistência do solo, Torque,  $N_{60}$ .

**ABSTRACT:** The machine that executes the continuous propeller piles provides data on torsion tension, rotation and speed, which by chance guarantee the perfect execution and continuity of the pile. The purpose of this work is to compare the  $N_{SPT}$  values with the torque values taken from reports of monitored continuous propeller piles and find an equivalent  $N_{SPT}$  value ( $N_{eq}$ ) to those provided by the SPT. We compared 4 (four) piles that were executed in a construction site in an area of Blumenau-SC, with 5 SPT reports carried out close to the pile. Through the torsional tension obtained by the pile monitoring equipment, it was correlated with the  $N_{60}$ , which corresponds to the equivalent energy of 60% in relation to the setting of the sampler, with the  $N_{eq}$  values defined by the proposals of Decourt (1991). The results presented show that there is a correlation between the values of  $N_{60}$  and the values of Torque, also showed that for each type of soil there are different coefficients in the relationship of the values of  $N_{SPT}$  with the values of torque, in the analysis, the soils that showed better correlations were the clay soils.

**KEYWORDS:** Continuous monitored propeller, SPT, Ground resistance, Torque,  $N_{60}$ .

## 1 Introdução

Os ensaios de investigação dos solos realizados em campo mais conhecidos pela obtenção de perfis do subsolo e de resistência são o “*Standard Penetration Test*” (SPT), “*Standard Penetration Test - Tork*” (SPT-T), *Cone Penetration Test* (CPT) e *Piezocone Penetration Test* (CPT<sub>U</sub>). Para medir a resistência dos solos e outros parâmetros geotécnicos, citam-se: ensaio de palheta, denominado de “*Vane Test*”, ensaios pressiométricos e dilatômetro de Marchetti (DMT). No Brasil o ensaio de campo mais difundido é o SPT, a sondagem a percussão é um procedimento capaz de determinar a altura do nível de água, amostrar o subsolo, e estimar a resistência a partir da cravação de um amostrador feita pela queda do martelo de 65 kg caindo a uma altura de 75cm. O  $N_{SPT}$  é a energia necessária para cravação do amostrador em 30cm, nas condições normatizada fornece a resistência do solo.

Como o SPT é um ensaio muito utilizado e de simples execução, muitos autores buscaram relacionar os dados obtidos a partir dele, especialmente o  $N_{SPT}$ , com outros parâmetros importantes dos solos, como por exemplo, os parâmetros de resistência ao cisalhamento. Para tanto, são realizadas coletas deformadas e indeformadas, as quais são levadas para o laboratório para a realização de ensaios específicos para obter parâmetros dos solos, os quais por meio da comparação com os dados obtidos no SPT, empregando métodos estatísticos, fornecem correlações entre os dados, possibilitando a estimativa de parâmetros geotécnicos tais como coesão, ângulo de atrito interno e granulometria.

Os parâmetros geotécnicos são essenciais pois são utilizados em cálculos e análises de engenharia que envolvem infraestrutura, como por exemplo, no dimensionamento de uma fundação. Dentre os tipos de fundação profunda, cita-se a estaca hélice contínua monitorada, muito executada em regiões urbanas, devido a sua velocidade de execução, e, por ser silenciosa. Essas estacas, ao serem executadas, fornecem parâmetros medidos em campo que podem ser correlacionados com a resistência do solo.

Os parâmetros medidos através da estaca hélice contínua são coletados por sensores instalados na perfuratriz, que faz parte do equipamento de execução desta estaca, sendo esses: a pressão hidráulica ou tensão de torção, velocidade de cravação da perfuratriz, rotação da perfuratriz, velocidade de subida ou retirada da perfuratriz, pressão do concreto injetado, inclinação da haste e perfil estimado da estaca.

Existe a necessidade constante de uma melhor apuração da resistência dos solos a partir de diferentes métodos, dentre os quais cita-se a correlação de dados medidos em ensaios distintos de campo. Associado a isso, destaca-se a pouca utilização de ensaios dinâmicos que realizam a medição do torque e da cravação constante. Logo, surge a seguinte questão: A possibilidade de obter correlação entre o torque da hélice contínua monitorada e o  $N_{SPT}$  obtidos pelo ensaio SPT. Estudos de Silva (2011) relatam o uso do torque medido no procedimento da estaca hélice como obtenção de parâmetros geotécnicos. Assim, a proposta deste trabalho é comparar os valores de  $N_{60}$  com os valores de torque retirados de laudos de monitoramento de estacas hélice contínua e encontrar um valor de  $N_{60}$  equivalente ( $N_{eq}$  ou  $N_{SPT,eq}$ ) aos valores das sondagens executadas nas proximidades dessas estacas.

## 2 Área de Estudo

O terreno da obra em estudo está localizado próxima região litorânea Catarinense. Possui relevos bastante acidentados com inúmeras diferenças de altitudes, o terreno em questão está situado em um declive, com desnível de 5 metros. De acordo com Massocco (2019) em sua geologia são encontradas as seguintes rochas: complexo granulítico, complexo metamórfico, sedimentos quaternários recentes.

Os perfis de ensaios SPT e pressão hidráulica das estacas executadas estão respectivamente apresentadas na Figura 1 e 3, e, a planta de localização dos furos de sondagem são representadas na Figura 2.

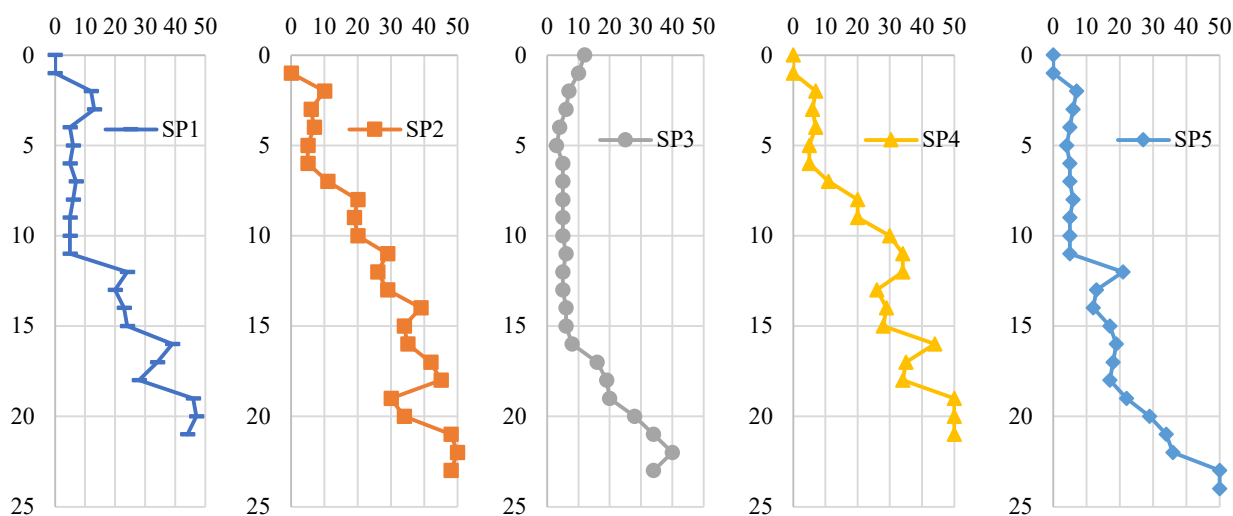


Figura 1. Perfil de resistência  $N_{SPT}$  com a profundidade.

A sondagem do terreno mostra que em média até os 6,5 metros de sondagem o solo é predominantemente argiloso, com classificações de: argila areno-siltosa de coloração marrom aos primeiros 0,80 metros com

consistência rija, argila siltosa pouco arenosa de coloração amarela e cinza com consistência rija dos 0,80 metros aos 2,6 metros, argila siltosa pouco arenosa coloração amarela consistência média dos 2,6 metros aos 6,5 metros. Após os 6,5 metros existe a presença de uma fina camada de areia grossa siltosa de coloração amarela e cinza pouco compacta que vai até a profundidade de 7,05 m.

Em seguida, antes de chegar na rocha alterada, há uma camada de silte argilo-arenoso de coloração amarela com consistência média e apresentando resistência inferior a camada anterior, essa camada vai de 7,05 metros a 10,80 metros de profundidade. A partir dos 10,80 metros encontra-se a rocha alterada de coloração cinza escura, que varia de medianamente compacta a compacta até chegar a 20,90 metros, profundidade ao qual o ensaio finalizou-se ao atingir critérios de norma no impenetrável.

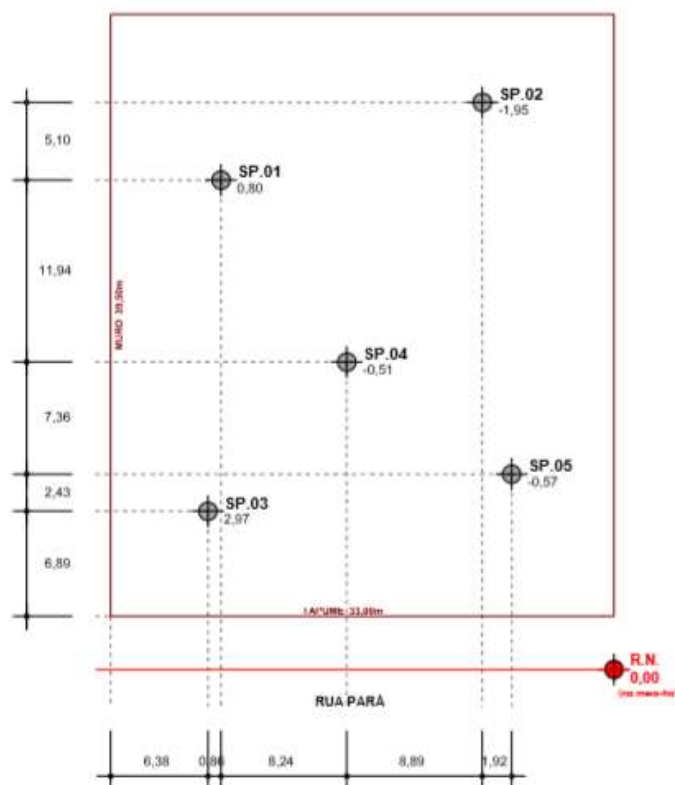


Figura 2. Localização das sondagens e estacas.

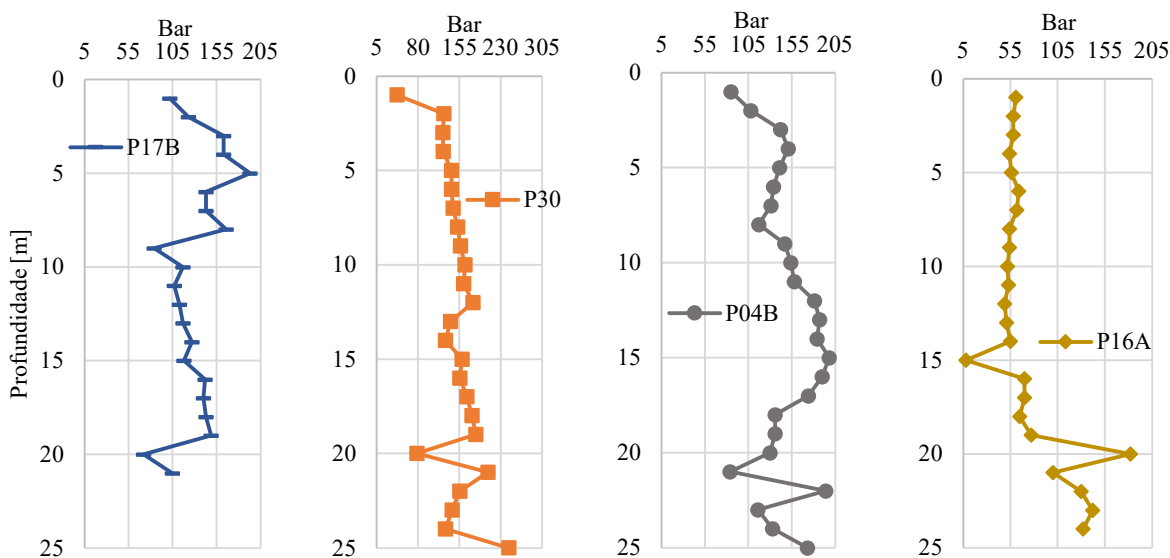


Figura 3. Perfil Pressão hidráulica com a profundidade.

### 3 Metodologia

Neste trabalho utilizam-se dois métodos para a análise, o método de comparação direta dos dados, seguidas de observações e o método da razão entre os dados a partir de inferências estatísticas.

#### 3.1 Parâmetros de resistência obtidos pelo SPT

Os resultados do ensaio SPT foram retirados dos cinco relatórios de sondagem. A partir desses perfis (Figura 1) estimou-se os valores de  $N_{60}$  por meio da equação (1) fornecida por Schnaid e Odebrecht (2012). O  $N_{60}$  é a energia corrigida, essa energia pode variar pelo estado do equipamento, pela montagem, e pela técnica de execução. O  $N_{60}$  é o valor adotado de referência nesta pesquisa, pois é a forma utilizada internacionalmente para a correção, e representa 60% da energia de cravação do  $N_{SPT}$ .

$$N_{60} = \frac{N_{SPT} \times \text{Energia}}{0,60} \quad (1)$$

Onde: Energia aplicada (pgh-correspondente a 66% de energia teórica de queda livre);  $N_{SPT}$  é o valor de penetração obtido em loco.

#### 3.2 Parâmetro $N_{SPT,eq}$ obtido pelo monitoramento da estaca hélice contínua monitorada

A partir dos valores de pressão hidráulica resultante da rotação do equipamento perfurante foram retirados os valores de pressão correspondentes a cada metro, conforme sugerido por Silva (2011), esses parâmetros foram convertidos em torque para poder ser analisado com o perfil de  $N_{60}$ . Para este estudo foram escolhidos os dados de monitoramento realizados o mais próximo ao ensaio SPT, definidos como: P17B, P30, P04B e P16A.

O torque aplicado no solo foi calculado pela relação entre o torque máximo da máquina, pressão aplicada na profundidade determinada e a pressão hidráulica máxima, a ficha técnica do equipamento apresenta pressão hidráulica de 30MPa a um torque máximo de 240kN.m, e especificada pela equação (2).

$$T = \frac{P \times T_{\text{máx}}}{P_{\text{máx}}} \quad (2)$$

Onde: T é o torque em kN.m; P é a pressão hidráulica em Mpa;  $T_{\text{máx}}$  é o torque máximo do equipamento;  $P_{\text{máx}}$  é a pressão hidráulica máxima para o torque máximo.

A Correção do torque e a pressão sugerida não expressa exatamente a energia aplicada, mas para os efeitos comparativos adotou-se a linearização da relação pressão e torque.

A partir do valor de torque definido por metro e segundo estudos de Décourt (1991), o valor de  $N_{SPT,eq}$  ou  $N_{eq}$  pode ser utilizado de forma análoga ao valor de N correspondente ao SPT tradicional na estimativa da capacidade de carga. Dessa forma, inicialmente utilizou a equação 3 para representar os valores de  $N_{eq}$  obtidos pelos resultados de monitoramento.

$$N_{eq} = \frac{T}{12} \quad (3)$$

Nos estudos de Décourt (1991), é adotado a taxa da energia corrida como 72%, mas decidiu-se adoção fornecidos por Schnaid e Odebrecht (2012), por isso ocorre variação entre os resultados, mas não prejudicando a proposta desse trabalho.

#### 3.3 Acurácia do parâmetro $N_{SPT,eq}$

Inicialmente foi realizada a comparação dos valores de  $N_{60}$  e  $N_{eq}$  consentida por meio de gráficos  $N_{eq}$  versus profundidade, os dados da sondagem SPT forneceram um apoio mostrando as características dos solos analisados. A apresentação dos resultados junto com o conhecimento do solo no determinado nível mostra qual é o comportamento daquela profundidade.

A segunda comparação foi realizada pela simples divisão do valor  $N_{60}$  pelo valor de torque da hélice contínua monitorada (equação 4), encontrando assim a razão entre eles, a razão é determinada de metro a metro. Entre as camadas com solos de mesmas características foi utilizado coeficiente de determinação ( $R^2$ ).

O objetivo dessa segunda análise é verificar a linearidade dos dados e chegar a um coeficiente de conversão para cada solo e/ou para cada camada.

$$k = \frac{T}{N_{60}} \quad (4)$$

Onde: k é o coeficiente de conversão para cada camada.

Também se analisa, o comportamento do  $N_{60}$  em relação  $N_{eq}$ , o objetivo é verificar confiabilidade dos resultados, esses resultados estão divididos em 4 (quatro) áreas, na primeira parte os valores apresentados são severamente superestimados, na segunda parte os valores são superestimados, pouco acima dos valores de campo, na terceira parte apresentam-se os valores sub estimados, valores que podem ser utilizados com segurança, e na quarta parte são apresentados os valores conservadores, esses valores conservadores podem ser utilizados com maior segurança.

A análise para verificar a relação dos resultados medidos *versus* estimados ( $N_{60} \times N_{eq}$ ) são apresentados em 3 gráficos diferentes, um com a relação ao comportamento do furo de sondagem e da estaca ao longo da profundidade, outro analisando diretamente a relação entre os valores da sondagem ( $N_{60}$ ) da estaca ( $N_{eq}$ ), e por fim, também relacionando diretamente os valores da sondagem e da estaca, mas separados por tipo de solo.

## 4 Resultados e Análises

### 4.1 Parâmetro de resistência determinados por profundidade

Os valores de  $N_{60}$  e  $N_{eq}$  (considerando  $k = 12$ ) por profundidade são apresentados na Figura 4. A Figura 4(a) corresponde ao ensaio SP4 x o monitoramento P17B, a Figura 4(b) SP5 x P30, Figura 4(c) SP4 x P04B, Figura 4(d) SP5 x P16A.

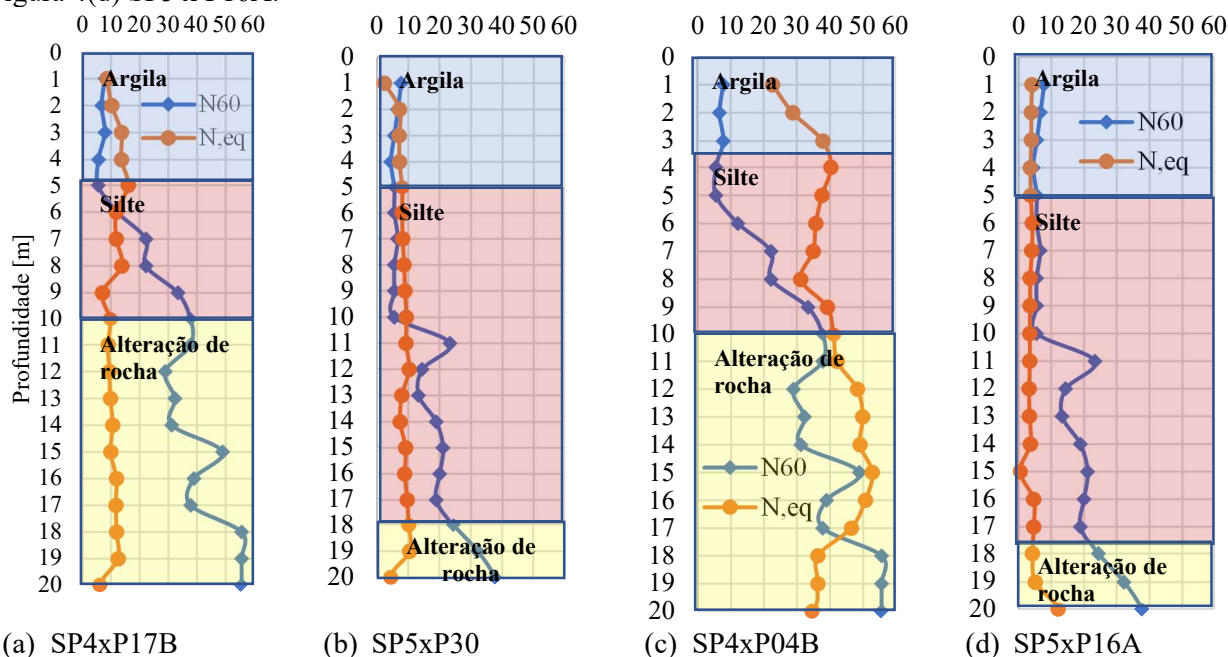


Figura 4. Relação do parâmetro resistência  $N_{60}$  *versus*  $N_{eq}$  conforme a profundidade

Os valores de  $N_{60}$  crescem ao longo da profundidade devido a consolidação do solo, a curva  $N_{eq}$  apresenta valores conservadores, devido o gasto de energia gerado pelo atrito do mecanismo da máquina. Ao analisar os perfis  $N_{60}$  *versus*  $N_{eq}$  verifica-se que existem valores aproximados entre  $N_{60}$  e de  $N_{eq}$ . Sendo que mesmo sofrendo variações no solo entre as estacas, os pontos que ficam abaixo de 11 metros estão acompanhando a curva de  $N_{SPT}$ , apesar de estarem distantes.

Entre os 19 e os 20 metros há uma queda brusca no valor de torque, essa queda brusca encontra-se perto da zona de transição do horizonte de silte argilo-arenoso, para alteração de rocha, que ocorre a 18,4m. Essa característica é observada na Figura 4b.

Nos quatro perfis apresentados houve aumento da resistência, tanto no  $N_{60}$  quanto no  $N_{eq}$ , após atravessar a camada siltosa apresentam ganhos de torque após a queda, que pode ser relacionado com o aumento do atrito lateral da broca.

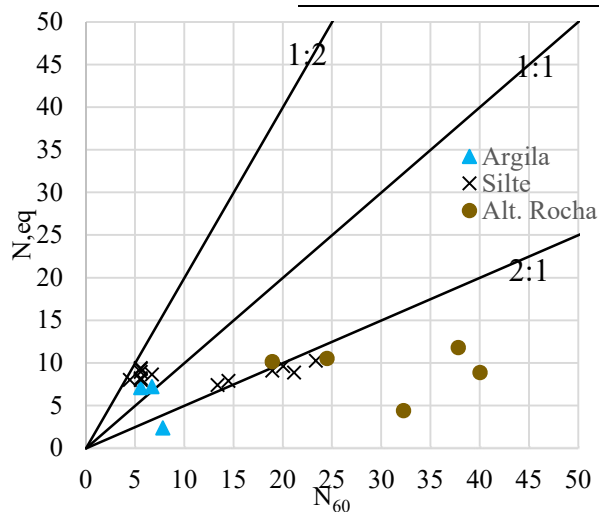
Na Figura 4d, mostra-se com grandes discrepâncias no comportamento quando comparados a Figura 4(a) e 4(c) que tem referência no ponto SP5. O comportamento  $N_{60}$  segue ganhando resistência ao longo da profundidade, enquanto os valores de  $N_{eq}$  segue quase linear e com pequeno declive. Aos 15 metros há a uma pequena diminuição do  $N_{eq}$ , seguidos de ganhos na resistência, este fato pode ser explicado pela possível mudança da posição do horizonte de alteração de rocha localizado em uma profundidade maior.

## 4.2 Análise da relação $T/N_{60}$

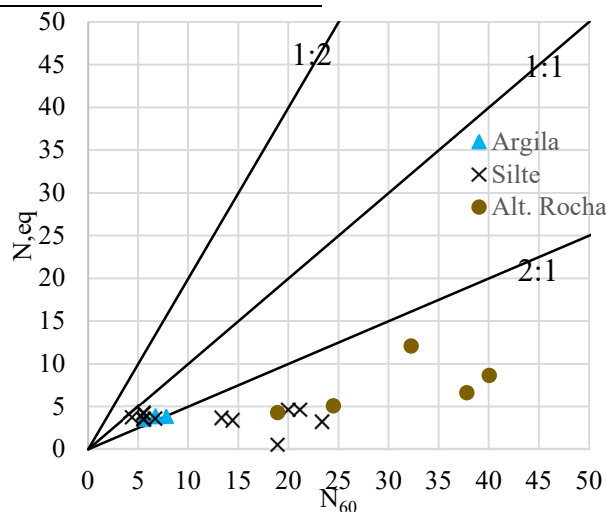
A Figura 5 corresponde aos gráficos que contêm a relação direta entre os valores obtidos ( $N_{60}$ ) pelos valores estimados dos relatórios de sondagem, a Tabela 1 corresponde a valores das relações  $T/N_{60}$  (constante k) adotado para cada estaca hélice contínua.

Tabela 1. Coeficientes relacionado para cada estaca.

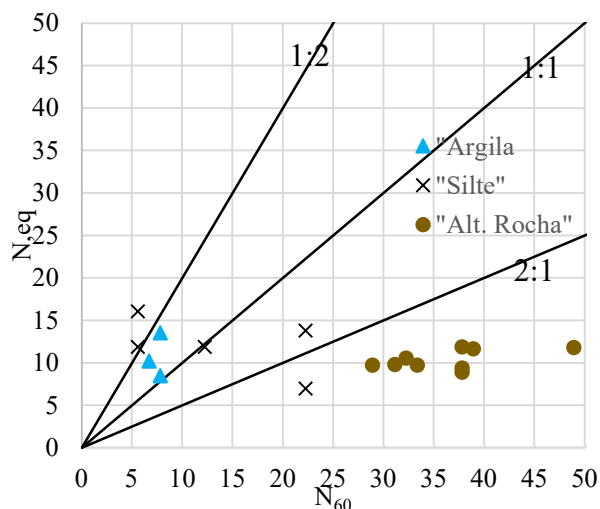
Estaca	$T/N_{60}$ (constante k)
P04B	3
P16A	12
P17B	12
P30	14



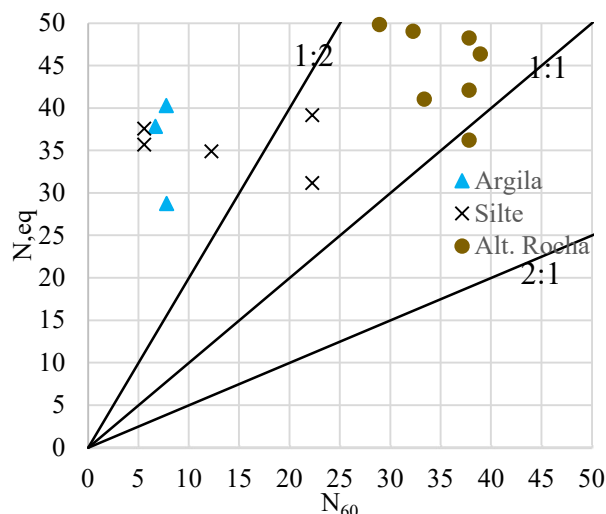
(a) SP5xP30 (k=14)



(b) SP5xP16A (k=12)



(c) SP4xP17B (k=12)



(d) SP4xP04B (k=3)

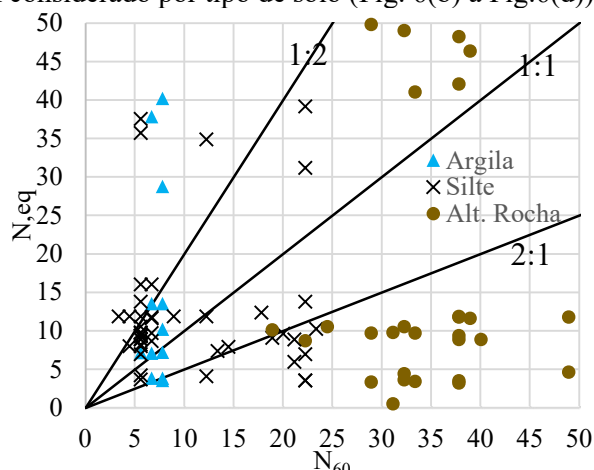
Figura 5. Relação entre os valores medidos e previstos

Nesta primeira comparação (Fig. 5(a) e 5(b)) os dados estão distribuídos de forma concentrada na região formada pela linha de 2:1, esses valores mostram que a maior parte dos dados estão estimados de forma conservadora. Na Fig. 5(a) mostra 2 valores em que as amostras consideradas como argila estão representadas próximo da relação 1:1.

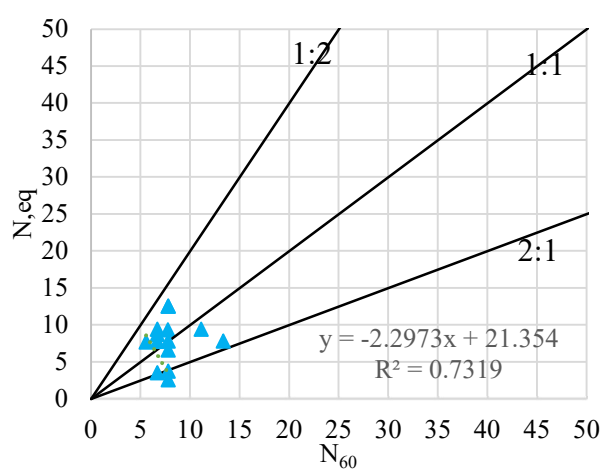
Os gráficos representados pela Fig. 5 (c) e 5(d) apresentam alguns pontos superestimados, essa situação mostra uma menor segurança e incerteza do fator k adotado. Novamente a argila tem um comportamento mais linear, observa-se que existe uma correlação das argilas, mas ainda ficam superestimadas afirmando que o coeficiente não está representando de forma adequada.

Em solos caracterizados como silte, está se comportando de forma mais imprevisível. Para a alteração de rocha os valores se apresentam de forma mais linear e ficam na zona de conservador, o que demonstra uma boa representação para se fazer estimativas.

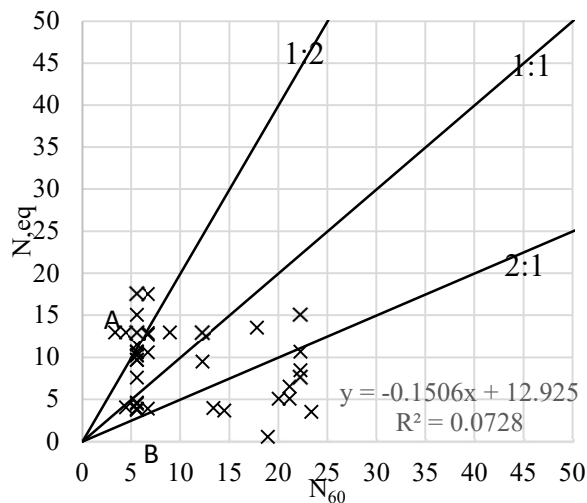
Percebe-se a necessidade de verificar se existe correlações do fator k conforme o tipo de solo. Portanto, a Figura 6 mostra a distribuição geral de todas as amostras distintas por tipo de amostra Fig. 6(a) e valores de k considerado por tipo de solo (Fig. 6(b) a Fig.6(d)).



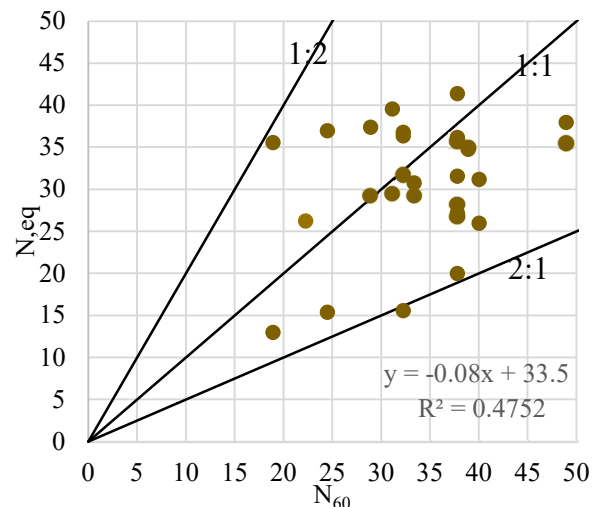
(a) Comparação geral



(b) Solo argiloso (k=13)



(c) Solo siltoso (k=11)



(d) Alteração de rocha (k=4)

Figura 6. Valores do fator k determinado por tipo de amostra

Os resultados mostram que para as amostras argilosas a correlação  $R^2$  igual a 0,7319, com k igual a 13 apresenta correspondência entre os valores superestimados e subestimados, sendo assim possível utilizar para este tipo de amostra. Os solos siltosos por apresentarem bastante heterogeneidade, com  $k=11$ , mostrou uma correlação com baixo índice de correspondência ( $R^2=0,078$ ), mesmo assim se mostra adequado, pois apresentam poucos valores acima da relação 1:2. Solos com alteração de rocha, apresentaram resultados aceitáveis com correlação ( $R^2=0,48$ ), pois os dados amostrais estão entre as faixas 1:2 e 2:1.

## CONCLUSÕES

Existe uma correlação entre o torque e o  $N_{spt}$  essa correlação é similar a encontrada por Décourt nos ensaios de SPT-T, que apresenta o valor de N equivalente expressa pela razão de produto do torque pelo constante 12. Nas comparações fica evidenciado a existência da relação, mas essa relação varia de acordo com o solo.

Dessa forma notou-se que existe relação entre  $N_{60}$  com  $N_{eq}$ , mas essa relação varia de acordo com o tipo de solo, sendo portanto mais efetivas quando o torque do ensaio da estaca hélice é correlacionado diretamente com o tipo de solo. Nos solos argilosos têm relação de  $N_{SPT}/T$  entre 10 e 14, nas amostras de silte-arenosos o fator k está próximo ao argiloso (10 e 14), e, a alteração de rocha com 3.

Os resultados entre as correlações são aceitáveis, porém requer cuidado na utilização pois não tem um bom nível de confiabilidade, alguns dos pontos estão superestimados, é importante serem realizados mais estudos para a confirmação dos resultados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cintra, J. C. A.; Aoki N.; Albiero, J. H. (2011). *Fundações diretas: projeto geotécnico*. 1ª Edição, Editora Oficina de texto, São Paulo, 140 p.
- Decourt, L. (1991). Previsão de deslocamentos horizontais de estacas carregadas transversalmente com base em ensaios pressiométricos. *Proceedings of the SEFE II*, São Paulo, v. 2, p. 340-362.
- Massocco, N. S. (2019). Interpretação preliminar da geologia e pedologia do Município de Gaspar [SC] para a formação de um mapeamento geotécnico. *Labor E Engenho*, 13, e019006. <https://doi.org/10.20396/labore.v13i0.8651558>
- Schnaid, F.; Odebrecht E. (2012) *Ensaio de Campo e suas aplicações à engenharia de fundações*. 2ª Edição, Editora Oficina de texto, São Paulo, 248 p.
- Silva, C.M. (2011). *Energia e Confiabilidade Aplicadas aos Estaqueamentos Tipo Hélice Contínua*. Tese de Doutorado, Publicação G.TD - 070/11, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 311p.