

A Diferença entre Significado Físico e Matemático no Ensaio de Carregamento Dinâmico

Daniel Kina Murakami

Benaton Specialist, São Paulo, Brasil, daniel.murakami@gmail.com

RESUMO: O Ensaio de Carregamento Dinâmico (ECD) em estacas tem sido utilizado como alternativa da prova de carga estática (PCE), oferecendo economia e redução de tempo. Sensores na estaca captam sinais durante o impacto do martelo. Esses sinais são analisados pelo Método "Signal-Matching" para ajustar curvas calculadas aos dados medidos, variando parâmetros como atrito e carga de ponta. Diferentes soluções podem ter bons "Match Quality" (MQWU). No CAPWAP, tradicionalmente a qualidade é avaliada através do MQWU, que indica o erro entre curvas medidas e calculadas. Historicamente, ECD e PCE correlacionam-se bem pelo Método de Davisson. Entretanto, Murakami (2015, 2019) notou divergências entre curvas simuladas cargas vs. recalque do CAPWAP e PCE, introduzindo o "Match Quality" de Recalques (MQR) para melhorar o significado físico da análise. O aperfeiçoamento do MQR também otimizava o MQWU. Isso é alcançado através da determinação do quake do fuste da estaca, junto com duas condições de contorno, constituindo um Novo Procedimento para a realização do CAPWAP, resolvendo a variabilidade dos resultados de forma inédita. Este artigo explora os conceitos de significado físico e matemático no ECD e seu impacto na realização e interpretação do CAPWAP.

PALAVRAS-CHAVE: Ensaio de Carregamento Dinâmico (ECD), Significado Físico, Significado Matemático, Match Quality de Recalques (MQR), Pile Driving Analyzer (PDA)

ABSTRACT: Dynamic Load Testing (DLT) on piles has been used as an alternative to Static Load Testing (SLT), offering cost savings and time reduction. Sensors at the pile top capture signals during the hammer impact. These signals are analyzed using the "Signal-Matching" method to adjust calculated curves to measured data, varying parameters such as shaft friction and toe resistance. Different solutions may yield good "Match Quality" (MQWU). In CAPWAP, quality is traditionally assessed through MQWU, indicating the error between measured and calculated curves. Historically, DLT and SLT correlate well through the Davisson Method. However, Murakami (2015, 2019) observed discrepancies between simulated load vs. displacement curves of CAPWAP and SLT, introducing the "Match Quality" of Settlements (MQS) to enhance the physical meaning of the analysis. Improving MQR also enhances MQWU, achieved by the determination of the pile shaft quake along with two boundary conditions, constituting a New CAPWAP Procedure, resolving the variability of results in uniquely. This paper explores the concepts of physical and mathematical meaning in DLT and their impact on the execution and interpretation of CAPWAP.

KEYWORDS: Dynamic Load Test, Physical Meaning, Mathematical Meaning, Match Quality of Settlements (MQS), Pile Driving Analyzer (PDA)

1 INTRODUÇÃO

O Ensaio de Carregamento Dinâmico (ECD) (NBR 13208) em estacas tem sido utilizado de forma intensa como alternativa à tradicional prova de carga estática (PCE), apresentando vantagens em relação ao custo e prazo de execução. Em campo, sensores de força e aceleração são fixados na estaca e estes coletam os sinais através do impacto do martelo. Posteriormente, estes sinais coletados são analisados através do Método "Signal-Matching", onde se faz o melhor ajuste entre as curvas medidas e calculadas por diversas tentativas através da variação dos parâmetros do solo, tais como distribuição de atrito, carga de ponta, quakes e damping. É relativamente fácil demonstrar que soluções diferentes podem apresentar valores de "Match Quality" satisfatórios (Fellenius, 1988; Murakami, 2015; Verbeek, 2019). O CAPWAP é um software normalmente usado para a aplicação do Método "Signal-Matching". Tradicionalmente a qualidade

das análises CAPWAP são avaliadas através de um número denominado “Match Quality” (MQWU), que representa o erro entre a curva medida e a calculada da Curva “Wave Up” (Força Ascendente). Quanto menor for o MQWU melhor é o Significado Matemático da análise, indicando que matematicamente se obteve uma boa aproximação entre as curvas. Historicamente, diversos autores chegaram a conclusão de que o ECD e PCE apresentam boa correlação através do Método de Davisson, sendo fundamental uma boa execução dos testes.

Entretanto, Murakami (2015, 2019) observou que apesar do ECD apresentar bons valores de MQWU e boa correlação com PCE através do Método de Davisson, o Significado Físico da curva simulada do CAPWAP poderia apresentar divergências com a curva da PCE quando se fazia a sobreposição das curvas carga vs. recalque. Neste contexto surge o conceito de “Match “Quality” de Recalques MQR que inicialmente surgiu através de uma equação matemática (Murakami, 2015) e que foi aprimorada através de uma solução gráfica (Murakami, 2019). Quanto melhor for o MQR, mais adequado deverá ser o Significado Físico da análise CAPWAP. O autor observou que a otimização do Significado Físico também aperfeiçoava o Significado Matemático. Isso foi realizado através da determinação do quake do fuste da estaca (Murakami e Massad, 2014, 2016), em conjunto com duas condições de contorno, constituindo um Novo Procedimento para realização do CAPWAP (Murakami, 2015, 2019), solucionando de forma inédita a questão da variabilidade dos resultados do CAPWAP. Este artigo tem como objetivo mostrar os conceitos de Significado Físico e Matemático no ECD e como isso afeta a realização e interpretação da análise CAPWAP.

2 SIGNIFICADO MATEMÁTICO

A qualidade do ensaio de carregamento dinâmico tradicionalmente é avaliada através do conceito de Match Quality que basicamente calcula o erro relativo entre as curvas medidas e calculadas do CAPWAP. O software permite verificar o Match Quality de três grandezas: a) força, b) velocidade, c) força ascendente (Curva Wave Up).

No relatório do CAPWAP normalmente aparece o Match Quality da Curva Wave Up (MQWU) que é dada pela equação 1. Este cálculo é feito em quatro períodos diferentes, conforme indicado na figura 1 (Pile Dynamics, Inc, 2006):

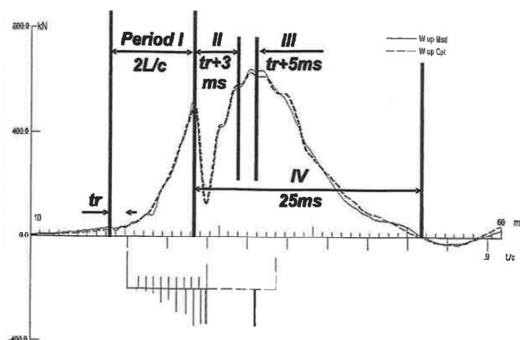


Figura 1. Indicação dos quatro períodos utilizados no cálculo de MQWU (Pile Dynamics, Inc, 2006)

$$MQ = \sum_{\text{Periods I-IV}} (\sum_{\text{Time increments}} |F_M - F_C|) / F_{\max} + MQ_B \quad (1)$$

Onde: MQ = Match Quality da Curva Wave Up (MQWU); F_M = Curva Wave up medida; F_C = Curva Wave Up calculada; F_{\max} = valor máximo da Curva Wave Up; MQ_B = penalidade do MQ quando a diferença entre nega medida e calculada for maior que 1mm.

Segundo a Pile Dynamics, Inc (2024), para bons sinais coletados o MQWU deve ser sempre inferior à 5,0, normalmente inferior à 4,0, com frequência inferior à 3,0, algumas vezes inferior à 2,0 e raramente inferior a 1,0. Com a experiência, estes números serão atingidos mais facilmente e o operador do CAPWAP pode obter, por exemplo, números inferiores a 2,0, exceto para estacas de concreto com danos ou estacas com negas muito abertas que são mais difíceis de analisar.

Klingmuller e Schallert (2019) destacam uma hierarquia de complexidade de execução do ECD com base na experiência alemã. Essa hierarquia de complexidade deve afetar também a dificuldade de se obter

valores de MQWU menores. Os autores destacam que estacas mais fáceis de se analisar são as primeiras da lista abaixo, enquanto que as mais complexas estão por último na lista abaixo:

- 1) Estaca metálica uniforme em areia compacta;
- 2) Estaca metálica tubada de ponta aberta com embuchamento em solos com diferentes camadas;
- 3) Estacas metálicas ou pré moldadas em solos com diferentes camadas;
- 4) Estacas pré moldadas com danos;
- 5) Estacas cravadas em solos argilosos;
- 6) Estacas moldadas in loco em areia compacta;
- 7) Estacas moldadas in loco em solos argilosos;
- 8) Estacas hélice contínua, especialmente se for estaca de deslocamento, ou estaca moldada in loco com pressão de injeção de preenchimento.

Fellenius (1988), Murakami (2015, 2019) e Verbeek (2019) destacam que o mesmo sinal coletado pode apresentar dados de entradas diferentes na análise CAPWAP. Isso significa que cada uma destas análises deverá ter o seu próprio MQWU, ou seja, o MQWU também depende da experiência de quem faz a análise. Murakami (2015) e Likins et. al. (1996) destacam que no CAPWAP há ferramentas totalmente automáticas (AT) para tentar obter o Best Match, entretanto, tais ferramentas não foram capazes de superar a qualidade da análise obtida por operadores de CAPWAP com maior experiência. Convém destacar que as análises AT são conservadoras, apresentando cargas mobilizadas menores (Murakami, 2015; Likins et. al., 1996). Tais ferramentas automáticas no CAPWAP devem ser utilizadas com restrição e não substituem iterações manuais do operador do CAPWAP com experiência (Murakami, 2015, 2019). Além disso, o manual do CAPWAP (Pile Dynamics, 2006) destaca a importância da verificação dos parâmetros utilizados na análise totalmente automática, como por exemplo, distribuição do atrito lateral, carga de ponta, entre outros.

A análise crítica da equação (1) e observações listadas neste item permitem observar:

- O cálculo de MQWU é realizado através do erro relativo entre duas grandezas: a) medida, b) calculada;
- A grandeza calculada é ajustada através de diversas tentativas de forma a minimizar o erro em relação à grandeza medida;
- Se houver erros de coleta de sinais em campo (grandeza medida), o significado matemático da eq. (1) pode não fazer sentido (ver exemplos a seguir);
- Caso confirmada a má qualidade de sinal, mesmo que o MQWU apresente valor satisfatório, não há como garantir a qualidade da análise CAPWAP (ver exemplos a seguir);
- O valor do MQWU depende basicamente de dois fatores: a) característica do sinal coletado, onde sinais considerados “difíceis” naturalmente poderão apresentar maiores valores de MQWU; b) experiência de quem faz a análise;
- Análises CAPWAP totalmente automáticas (AT) são conservadoras, entretanto, devem ser utilizadas com cautela, principalmente por poder apresentar divergências em relação ao esperado pelo tipo de solo, por exemplo, distribuição do atrito lateral, carga de ponta, entre outros.

Diante do apresentado, o MQWU indica um significado matemático em relação à avaliação da qualidade da análise CAPWAP dada através da equação 1, podendo ou não ter um sentido físico, conforme será apresentado no item 3 deste artigo.

2.1 Analogia entre o CAPWAP e um desenhista profissional

Um desenhista profissional de alto nível pode replicar algo na forma de desenho com base em um dado de entrada, por exemplo, uma fotografia de uma pessoa. Caso seja entregue ao desenhista uma fotografia de péssima qualidade, por exemplo, desfocada, tremida e com a lente suja, este desenhista poderá replicar fielmente a fotografia na forma de um desenho, inclusive desenhando desfocado, tremido e indicando a sujeira da lente. Neste caso, o Match Quality do desenho é excelente, uma vez que o mesmo conseguiu replicar fielmente o que estava na fotografia.

Entretanto, a fotografia, por apresentar péssima qualidade, não representa fielmente a realidade, podendo inclusive apresentar nenhuma semelhança com a pessoa real que se tentou replicar. Neste caso, a culpa não é do desenhista, uma vez que o mesmo somente replicou aquilo que foi pedido. Possivelmente, este desenhista poderia ter feito um trabalho melhor caso fosse apresentada uma fotografia de qualidade superior. Neste caso, o desenho teria maiores chances de apresentar semelhanças com a pessoa real que se queira replicar na forma de desenho.

No CAPWAP a idéia é a mesma. Quando há má qualidade de sinal, o resultado da análise pode não representar fielmente a estaca ensaiada. De fato, tentar o ajuste dos dados de entrada do CAPWAP (grandeza calculada) com algo de qualidade duvidosa (grandeza medida) poderá apresentar divergências em relação ao comportamento real da estaca, tais como, carga mobilizada, tensões de compressão e tração. Em seguida serão apresentados dois casos de obra em que a má qualidade do sinal coletado mostrou um comportamento totalmente diferente da estaca, mesmo com análises indicando MQWU satisfatórios.

2.2 CASO DE OBRA 1: São João de Meriti, RJ

Trata-se de um caso de obra em estaca raiz, portanto maior grau de complexidade de execução do ECD segundo Klingmuller e Schallert (2019). Se observou uma deficiência na coleta do sinal de força. Um dos sensores estava com menor aperto dos parafusos, o que resultou em forte oscilação nos valores medidos de força. Maiores informações sobre este caso de obra podem ser encontrados em Murakami et. al. (2022). A figura 2a mostra o sinal coletado com má qualidade, enquanto que a figura 2b mostra o sinal coletado com boa qualidade. Ambas análises CAPWAP demonstraram valores satisfatórios de MQWU, entretanto, a análise com má qualidade de sinal indicou menor carga mobilizada além de expressar um falso dano na estaca.

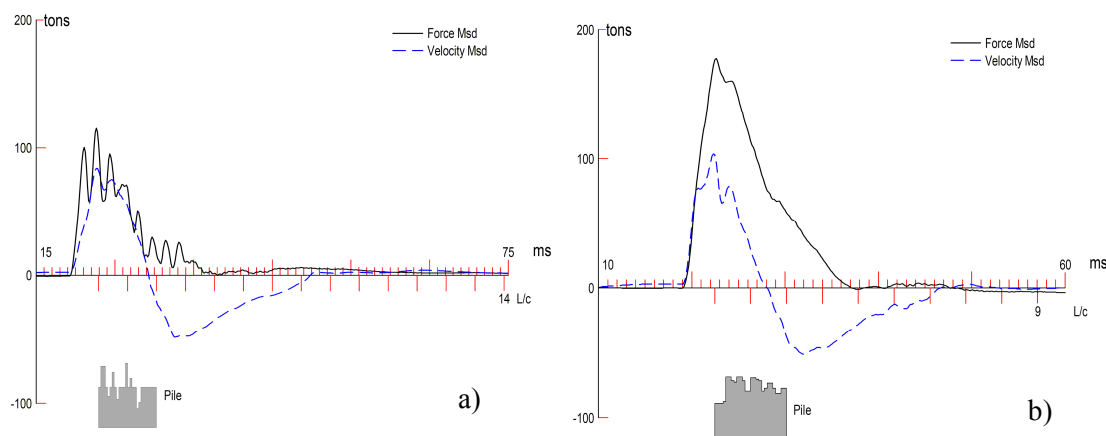


Figura 2. a) sinal de má qualidade, b) sinal de boa qualidade

A análise CAPWAP do sinal coletado da figura 2a obteve redução de impedância de até 55%, o que indicaria um dano severo na estaca ($\beta = 45\%$). A carga mobilizada foi de 930 kN e o MQWU foi de 3,63. Já na análise CAPWAP da figura 2b, a mesma não indicou sinais de danos na estaca. A carga mobilizada foi de 1430 kN e o MQWU foi de 1,36. Nota-se que no sinal de má qualidade (figura 2a) o MQWU foi satisfatório, o que normalmente seria aceito, e com base nesta análise CAPWAP, seria feita a aprovação ou não da estaca. Entretanto, devido à má qualidade do sinal coletado, a mesma não indicou um bom significado físico, demonstrando divergências em relação à uma análise com sinal de boa qualidade (figura 2b). O conceito de significado físico será aprofundado adiante. Este caso de obra mostrou claramente que o MQWU não é o único parâmetro a ser analisado, sendo fundamental a avaliação da qualidade do sinal coletado, conforme proposto por Murakami (2024). Além disso, Murakami e Cabette (2024) mostram um caso de obra em estacas pré moldadas em que a má qualidade do sinal coletado também indicou um falso dano na estaca. Entretanto, a causa da má qualidade do sinal foi um golpe excêntrico na estaca que causou uma flexo tração antes do período $2L/c$.

2.3 CASO DE OBRA 2: Guarujá, SP

Trata-se de um caso de obra inusitado em estacas pré-moldadas de concreto (Murakami e Cabette, 2023), uma vez que normalmente a teoria da equação da onda mostra que o aumento da espessura de coxim deve reduzir as tensões de compressão e tração. Entretanto, neste caso de obra o efeito foi o oposto. A divergência do comportamento em relação ao esperado se deve à má qualidade do sinal coletado. Ao posicionar maior espessura de coxim no topo da estaca, o mesmo causou uma má coleta de sinal, indicando um falso sinal negativo de força, conforme indicado na figura 3a, enquanto que a figura 3b mostra o sinal de boa qualidade na mesma estaca, ambas com a mesma altura de queda de 40cm.

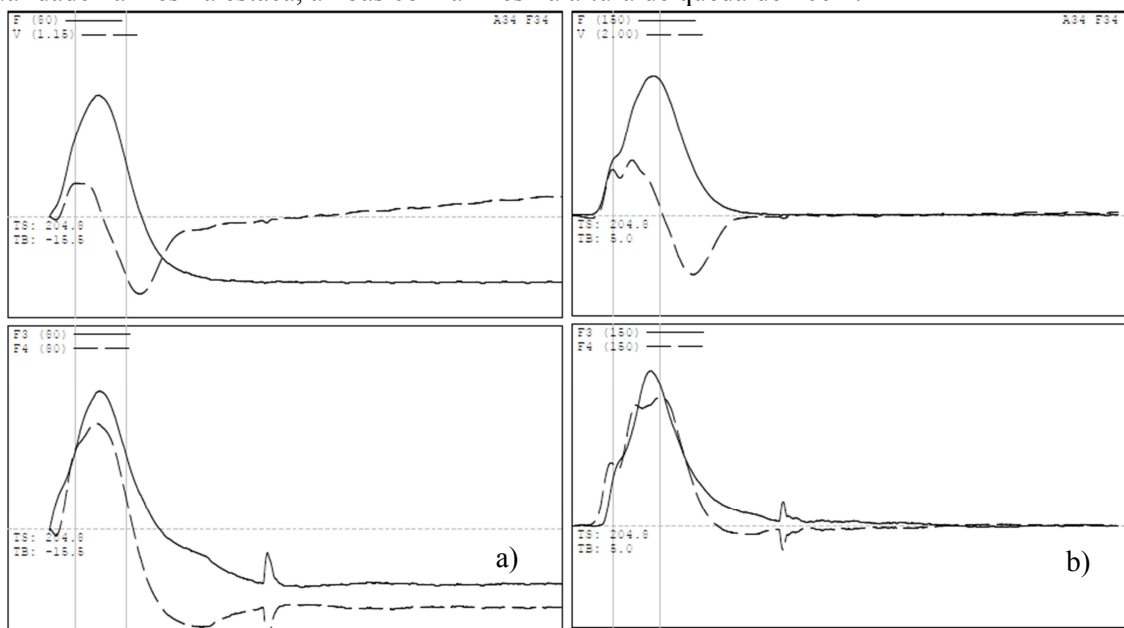


Figura 3. a) sinal de má qualidade, b) sinal de boa qualidade

A tabela 1 mostra a comparação dos resultados entre os sinais de má qualidade e boa qualidade. Neste caso de obra, tais parâmetros do sinal de má qualidade foram obtidos pelo Método Case através do JC obtido pela análise do sinal de boa qualidade. Notam-se que todos os parâmetros indicados nesta tabela foram totalmente divergentes. Apesar de não ter sido feita a análise CAPWAP no sinal de má qualidade, este caso de obra mostrou nitidamente que houve uma divergência dos resultados e uma possível análise CAPWAP no sinal de má qualidade, mesmo com valor aceitável de MQWU, não apresentaria um bom significado físico. Este conceito de significado físico será aprofundado adiante.

Tabela 1. Comparação entre os resultados de sinais de má qualidade de boa qualidade

Sinal	RMX (tons)	CSX (MPa)	CSI (MPa)	Nega (mm/golpe)	EMX (tons.m)	DMX (mm)	TSX (MPa)	FMX (tons)
Má qualidade	44	5.4	6.1	0	0.09	2	3.1	48
Boa qualidade	103	11.6	13.0	0	0.55	8	0.8	103

Onde: RMX = resistência estática mobilizada; CSX = tensão média de compressão; CSI = tensão máxima de compressão; nega = deformação permanente no golpe; EMX = energia aplicada na estaca; DMX = deslocamento dinâmico máximo; TSX = tensão máxima de tração; FMX = força máxima medida nos sensores.

3 SIGNIFICADO FÍSICO

Murakami (2015) propôs o conceito de Match Quality de Recalques (MQR) através de uma equação semelhante ao MQWU. Esta equação permite avaliar a qualidade da curva simulada do CAPWAP quando há disponível uma PCE para comparação.

$$MQR = \sum_0^n (|Y_{ci} - Y_{cwi}| + |Y_{ci+1} - Y_{cwi+1}|) \times (P_{i+1} - P_i) / (2 \times Y_{cmax}) \quad (2)$$

Onde: Y_{ci} = recalque da prova de carga estática; Y_{cwi} = recalque do CAPWAP; P_i = carga associada ao recalque Y ; n = número de pontos da prova de carga; Y_{cmax} = recalque máximo da prova de carga estática; MQR = “match quality de recalques”.

Posteriormente, Murakami (2019) aprofundou este conceito através de uma solução gráfica plotando-se no eixo X o recalque da PCE e no eixo Y o recalque da curva simulada do CAPWAP para cada estágio da PCE, formando uma série de pontos cuja regressão linear é do tipo:

$$Y = \alpha X \quad (3)$$

Murakami e Massad (2023) destacam as vantagens do uso do conceito de MQR: a) permite comparar o CAPWAP com a PCE independentemente da necessidade de um deslocamento mínimo da ponta da estaca; b) permite comparar todos os pontos da PCE e não apenas um par de pontos dado pelo Método de Davisson ou Davisson Modificado por Murakami (2015); c) o procedimento tradicional de comparação da PCE e CAPWAP não fornece informações sobre o recalque na carga de trabalho.

Convém destacar também que, apesar da simplicidade da solução gráfica do MQR (Murakami, 2019) em relação à equação matemática (Murakami, 2015), a primeira fornece uma informação adicional: é possível verificar se os recalques do CAPWAP estão maiores ou menores do que os recalques da PCE através da avaliação do valor de α .

Quando o valor de α e R^2 do MQR apresentam valores próximos da unidade, há uma indicação de que a curva simulada do CAPWAP está muito próximo da curva da PCE, mostrando bom significado físico. Por outro lado, quando o valor de α é inferior a 1, há uma indicação que em média os recalques da PCE foram maiores que o CAPWAP, enquanto que valores de α maiores que 1 indicariam que os recalques do CAPWAP estariam maiores que o da PCE. Em diversos casos de obra se observou que a melhoria do MQWU era obtida quando também havia um aprimoramento do MQR, ou seja, um aperfeiçoamento do significado matemático medido pelo MQWU era acompanhando por um refinamento do significado físico medido pelo MQR, conforme será mostrado adiante.

3.1 DIVERSOS CASO DE OBRA

A tabela 2 indica diversos casos de obra estudados por Murakami em que o conceito de MQR permitiu melhorar também o MQWU, ou seja, um aperfeiçoamento do significado físico (MQR) foi acompanhado pelo refinamento do significado matemático (MQWU).

Tabela 2. Diferentes casos de obras estudados por Murakami

Obra	Tipo de estaca	Diametro (m)	Comprimento (m)	Carga		α	R^2	Autores
				ECD (kN)	PCE (kN)			
Osasco, SP	Pré moldada	0,38	13,80	1990	1905	1,13	0,97	Murakami et al (2014, 2016)
Jacarei, SP	Pré moldada	0,20	15,35	825	835	1,20	0,96	Murakami (2015)
Rio Claro, SP	Pré moldada	0,50	16,15	3025	2650	0,98	0,99	Murakami et al (2016)
Itapoá, SC	Metálica Tubada	1,00	40,00	7880	7290	0,97	0,99	Murakami et al (2018)
Atibaia, SP	Hélice	0,30	16,00	1255	1280	1,46	0,99	Murakami et al (2019)
Barueri, SP	Franki	0,60	18,00	3470	3827	1,00	0,99	Murakami et al (2020)

Observa-se que inicialmente o conceito de MQR foi aplicado com sucesso em estacas pré-moldadas de concreto (Murakami et. al., 2014, 2015, 2016). Entretanto, verificou-se que este conceito também se aplica em outros tipos de estacas, tais como, metálicas, hélice e Franki (Murakami et. al., 2018, 2019, 2020).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Murakami (2015) introduziu os conceitos de significado matemático e significado físico no ensaio de carregamento dinâmico. Inicialmente, o significado matemático da análise CAPWAP era medido através do Match Quality da Curva Wave Up (MQWU), enquanto que o significado físico era medido pelo Match Quality de Recalques (MQR).

Neste artigo tais conceitos foram aprofundados, mostrando com mais detalhes o significado do cálculo do Match Quality tradicional (MQWU). Mostrou-se que o MQWU depende fortemente da qualidade do sinal coletado, uma vez que a equação 1 mostra nitidamente que a grandeza calculada deve se igualar com a grandeza medida para que o valor de MQWU seja o menor possível. Quando há erros de coleta de sinais, o valor do MQWU pode não apresentar significado físico, podendo inclusive apresentar divergências em relação à um sinal bem coletado, conforme exemplos de casos de obras apresentados neste artigo.

Mostrou-se também que o valor do MQWU depende basicamente de dois fatores: a) hierarquia de complexidade de execução do ECD (Klingmuller e Schallert, 2019); b) experiência de quem faz a análise CAPWAP (Fellenius, 1988; Murakami, 2015, 2019; Verbeek, 2019; Pile Dynamics, Inc., 2024).

Há uma semelhança entre o CAPWAP e um desenhista profissional de alto nível. Ambos permitem replicar o dado de entrada, entretanto, caso este dado de entrada seja de má qualidade o resultado final poderá ser divergente do esperado. No caso do CAPWAP, a carga mobilizada e tensões no material da estaca podem ser diferentes quando comparados com um sinal de boa qualidade. No caso do desenhista, o desenho da pessoa que se tentou replicar pode não apresentar semelhanças com a pessoa real.

O conceito de MQR surgiu inicialmente através de uma equação (Murakami, 2015) e a mesma foi aprimorada através de uma solução gráfica (Murakami, 2019). Convém destacar também que, apesar da simplicidade da solução gráfica do MQR (Murakami, 2019) em relação à equação matemática (Murakami, 2015), a solução gráfica fornece uma informação adicional: é possível verificar se os recalques do CAPWAP estão maiores ou menores do que os recalques da PCE através da avaliação do valor de α .

Quando o valor de α e R^2 do MQR apresentam valores próximos da unidade, há uma indicação de que a curva simulada do CAPWAP está muito próxima da curva da PCE, mostrando bom significado físico. Por outro lado, quando o valor de α é inferior a 1, há uma indicação que em média os recalques da PCE foram maiores que o CAPWAP, enquanto que valores de α maiores que 1 indicariam que os recalques do CAPWAP estariam maiores que o da PCE.

Em diversos casos de obra se observou que a melhoria do MQWU era obtida quando também havia um aprimoramento do MQR, ou seja, um aperfeiçoamento do significado matemático medido pelo MQWU era acompanhando por um refinamento do significado físico medido pelo MQR.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT (2007) NBR 13208. Estacas Ensaio de carregamento dinâmico. Rio de Janeiro.
- Fellenius, B. H. (1988) "Variation of CAPWAP results as a function of the operator"; Proceedings of the Third international conference on the application of stress- Theory to Piles, Otawwa, pp.814-825.
- Klingmuller, O., Schallert, M. (2019) Dynamic Pile Load Test of Cast-in-Place Concrete Piles—German Practice and Codes. 10th International Conference on Stress Wave Theory and Testing Methods for Deep Foundations, San Diego, California, USA
- Likins, G., Rausche, F., (2008). What Constitutes a Good PDA Test? Proceedings of the Eighth International Conference on the Application of Stress-Wave Theory to Piles, Lisbon, Portugal, pp 403-407.

- Likins, G. E., Rausche, F., Thendean, G., Svinkin, M. (1996) CAPWAP correlation studies. Proceedings of the fifth International Conference on the application of stress theory to piles, Orlando, Florida, pp. 447-464.
- Murakami, D. K., Massad, F. (2014) “Determinação do quake do fuste de estacas pré-moldadas através de provas de carga estática e ensaios de carregamento dinâmico”, XVII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, Goiânia.
- Murakami, D. K. (2015) Novo procedimento para a realização de análise capwap no ensaio de carregamento dinâmico em estacas pré-moldadas. Dissertação de mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP.
- Murakami, D. K.; Cabette, J. F.; Rodriguez, T. G.; Miranda Junior, G., (2016) Correlação Entre Prova De Carga Estática E Ensaio De Carregamento Dinâmico Em Estaca Pré-Moldada De Diâmetro 50cm. XVIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, Belo Horizonte.
- Murakami, D. K., Massad, F. (2016) “Determinação do quake do fuste de estacas pré-moldadas através de provas de carga estática e ensaios de carregamento dinâmico”, Geotecnia, N° 137, pp 79-98.
- Murakami, D. K., Corgnier, F., Silva, A., (2018) Correlação entre prova de carga estática cíclica e ensaio dinâmico em estaca tubada metálica de 1,0m de diâmetro. XIX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica Geotecnia e Desenvolvimento Urbano, Salvador.
- Murakami, D. K. (2019) “A New Concept of Match Quality of Settlements for Signal Matching Analysis on the Dynamic Pile Test”, 10th International Conference on Stress Wave Theory and Testing Methods for Deep Foundations, San Diego, California, USA
- Murakami, D. K., Corgnier, F., Silva, A., Cury Filho, D., Paschoalin Filho, J. A., (2019) Correlation between static and dynamic load test in continuous flight auger piles through the concept of match quality of settlements. 9° Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia, São Paulo.
- Murakami, D. K., Corgnier, F., Silva, A., Cury Filho, D., (2020) On the Use of the Concept of Match Quality of Settlements to Correlate Static and Dynamic Load Test in Franki piles. XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, Campinas.
- Murakami, D. K., Corgnier, F., Godinho, H., Saito, E. (2022) Pile Damage Evaluation Through Low Strain Integrity Test and High Strain Dynamic Pile Test in Root Piles. XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica.
- Murakami, D. K., Cabette, J. F. (2023) The Effect of the Pile Cushion on the Data Quality in the Dynamic Load Test. 10° Seminário de Fundações e Engenharia Geotécnica. São Paulo, SP.
- Murakami, D. K., Massad, F. (2023) The Advantage of The Use of The Concept of Match Quality of Settlements in The Dynamic Load Test. 10° Seminário de Fundações e Engenharia Geotécnica. São Paulo, SP.
- Murakami, D. K. (2024) Como Avaliar A Qualidade Do Ensaio De Carregamento Dinamico. XX ICongresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica. Balneário Camboriú, SC. (artigo submetido).
- Murakami, D. K., Cabette, J. F. (2024) The Effect Of An Accentric Blow In The High Strain Dynamic Pile Test. XX ICongresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica. Balneário Camboriú, SC. (artigo submetido).
- Pile Dynamics, Inc. (2006) CAPWAP manual, Cleveland, Ohio.
- Pile Dynamics, Inc. (2009). PDA-W Manual. Cleveland, Ohio.
- Pile Dynamics, Inc. (2024). WHAT VALUE “MATCH QUALITY” IS RECOMMENDED IN CAPWAP?. Cleveland, Ohio. Disponível em: <https://www.pile.com/resources/faqs/faq-value-match-quality-recommended-capwap/> (acesso em 17/03/2024)
- Verbeek, G. (2019) “The Subjective Aspect of Dynamic Load Testing”, 10th International Conference on Stress Wave Theory and Testing Methods for Deep Foundations, San Diego.