RAFAEL MARIN VALVERDE

**Envoltória máxima de resistência lateral em estacas através do ensaio de
carregamento dinâmico com energia crescente**

São Paulo

2018

RAFAEL MARIN VALVERDE

Envoltória máxima de resistência lateral em estacas através do ensaio de carregamento dinâmico com energia crescente

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do título de
Mestre em Ciências

São Paulo

2018

RAFAEL MARIN VALVERDE

Envoltória máxima de resistência lateral em estacas através do ensaio de carregamento dinâmico com energia crescente

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do título de
Mestre em Ciências

Área de concentração: Engenharia
Geotécnica

Orientador: Prof. Dr. Faïçal Massad

São Paulo

2018

Este exemplar foi revisado e corrigido em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, _____ de _____ de _____

Assinatura do autor: _____

Assinatura do orientador: _____

Catálogo-na-publicação

Valverde, Rafael

Envoltória máxima de resistência lateral em estacas através do ensaio de carregamento dinâmico com energia crescente / R. Valverde -- versão corr.
- São Paulo, 2018.
314 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Estruturas e Geotécnica.

1.Estacas [Ensaio] 2.Energia 3.Atrito lateral I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Estruturas e Geotécnica II.t.

VALVERDE, R. M. São Paulo. Envoltória máxima de resistência lateral em estacas através do ensaio de carregamento dinâmico com energia crescente. 2018. (Mestrado) Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por todas as oportunidades da vida e os meus mais sinceros agradecimentos a todas as pessoas que de algum modo contribuíram para a realização da presente dissertação, em especial:

- Ao Prof. Dr. Faiçal Massad, pela incansável dedicação e ensinamento durante todo o processo do mestrado;
- À empresa PDI Engenharia, pioneira e referência nacional em ensaio de carregamento dinâmico, pelo apoio, pelos dados fornecidos e ensinamentos transmitidos;
- À PDI-USA, em especial aos engenheiros Garland Likins e Frank Rausche, pelo constante apoio e orientação;
- Aos professores do programa de pós-graduação da Escola Politécnica da USP e aos professores Nelson Aoki e Mauricio Abramento;
- Ao meu pai e engenheiro Sergio Valverde, pela constante condução e orientação exemplar ao longo destes anos;
- Aos meus familiares, em especial aos meus pais, por todo apoio e carinho que me dão incondicionalmente;
- À minha esposa Patrícia, que sempre está ao meu lado me fortalecendo e incentivando com amor e dedicação ao longo destes anos;
- Ao meu futuro e amado filho Lucas, que já me inspira a ser uma pessoa melhor, mais amável e mais sábia a cada dia;
- Aos meus amigos, pela amizade, apoio contínuo e carinho que carrego de todos.

“ Seja a mudança que você deseja ver no mundo.”

Mahatma Gandhi

RESUMO

A capacidade de carga de estacas pode ser determinada experimentalmente através de provas de cargas estáticas ou de ensaios de carregamentos dinâmicos, conforme as prescrições da NBR 6122:2010.

Na sua forma tradicional, o ensaio de carregamento dinâmico, fundamentado na teoria da equação da onda unidimensional, consiste em aplicar uma sequência de golpes de energia aproximadamente constante no conjunto de amortecedores colocado sobre a estaca e medir, no seu topo, valores de deformação específica e aceleração em função do tempo. Esse ensaio evoluiu ao longo dos anos com o avanço da tecnologia e com o desenvolvimento de modelos numéricos, que permitem simular a prova de carga estática na estaca ensaiada dinamicamente. Outra evolução, uma verdadeira "revolução", foi a introdução do método de energia crescente proposto por Aoki (1989).

O presente estudo é uma iniciativa de aprofundamento do método de energia crescente com foco na definição da envoltória máxima de resistência lateral, permitindo recuperar as mobilizações dos atritos no fuste da estaca, perdidas em golpes anteriores ao de máxima energia aplicada, principalmente em camadas próximas ao topo da estaca. Este procedimento foi denominado Método da Envoltória Máxima de Resistência Lateral.

É apresentada uma revisão bibliográfica envolvendo provas de cargas estáticas e ensaios de carregamentos dinâmicos para determinar a capacidade de carga em estacas, junto com os métodos analíticos, empíricos e semiempíricos, disponíveis na literatura técnica.

São apresentados três estudos de casos de obras no Estado de São Paulo, nos quais foram realizados ensaios estáticos e dinâmicos nas mesmas estacas, sendo 2 pré-moldadas e uma escavada. A aplicação do Método da Envoltória Máxima de Resistência Lateral conduziu a uma definição de maiores capacidades de carga através do CAPWAP, com curvas carga-recalque simuladas aderentes às das provas de cargas estáticas. Além disso, permitiu estimativas mais precisas do efeito de "setup" a longo prazo e forneceu maiores detalhes a respeito do comportamento do sistema estaca-solo.

Palavras-chave: *Estacas; Ensaio dinâmico; Energia crescente; Atrito lateral. Envoltória máxima de resistência lateral; Capacidade de carga.*

ABSTRACT

The load capacity of piles can be experimentally determined through static load tests or high strain dynamic load tests, as stated with the requirements of NBR 6122:2010.

In its traditional form, the dynamic load test, based on the theory of the one-dimensional wave equation, consists of applying a sequence of constant energy blows upon the pile, and by these blows are measured values of deformation and acceleration as a function of time. The traditional method has evolved through technological advances along the years, with the development of numerical models that simulate the static load test of a pile dynamically tested. Another evolution, a true called “revolution”, was the introduction of a method of increasing energy test created and proposed by Aoki (1989). The traditional method has evolved through technological advances along the years. The present study is an initiative to deepen the increasing energy method focusing on the definition of the maximum lateral resistance envelope, allowing recovering the mobilized resistance along the shaft, lost in blows prior to the maximum applied energy, especially in layers close to the top of the pile. This procedure was called the Maximum Envelope of Shear Strength.

A review is presented involving static load tests and dynamic load tests to determine the load capacity on piles, together with the analytical, empirical and semi empirical methods available in the literature.

Three case studies from the State of São Paulo are presented, where static and dynamic tests were performed on the same piles, two driven and one cast-in-place piles. The application of the Maximum Envelope of Shear Strength led to a definition of higher load capacities through the CAPWAP, with simulated load-displacement curves with good correlations in comparison with the static load tests. In addition, it allowed for more accurate estimates of the long-term “set-up” effect and provided more detail about the behavior of the pile-soil system.

Keywords: *Piles. High Strain Dynamic Test. Increasing Energy. Shear Strength. Maximum Envelope of Shear Strength. Load Capacity.*

SUMÁRIO

1	CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	1
1.1	RELEVÂNCIA E JUSTIFICATIVA DO ASSUNTO ABORDADO	1
1.2	OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO.....	3
1.3	METODOLOGIA DA PESQUISA.....	5
1.4	ORGANIZAÇÃO DO TEXTO.....	5
2	CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
2.1	PROVA DE CARGA ESTÁTICA.....	7
2.1.1	Prova de carga lenta.....	9
2.1.2	Prova de carga rápida	10
2.2	MODOS DE RUPTURA	11
2.3	ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DA CURVA CARGA-RECALQUE ..	13
2.4	MÉTODOS SEMIEMPÍRICOS PARA A DETERMINAÇÃO DA CARGA DE RUPTURA	15
2.4.1	Método Aoki-Velloso (1975)	15
2.4.2	Método Décourt-Quaresma (1978)	17
2.5	ENSAIO DE CARREGAMENTO DINÂMICO COM ENERGIA CONSTANTE.....	19
2.5.1	Fundamentos teóricos	20
2.5.1.1	Nega de cravação, quake e repique elástico	20
2.5.1.2	Teoria da equação da onda	22
2.5.1.3	Modelo de Smith (1960)	26
2.5.2	Aparelhagem	28
2.5.3	O Método Simplificado CASE	30
2.5.3.1	Fator de amortecimento (“Damping”) do CASE	31
2.5.4	A análise CAPWAP (“Case Pile Wave Analysis Program”)	32
2.5.4.1	O modelo da estaca pela análise CAPWAP.....	33
2.5.4.2	Modelo do solo pela análise CAPWAP	34

2.5.4.3	Procedimento do CAPWAP para cálculo da resistência estática	40
2.5.4.4	Análise estática da curva carga-recalque do topo simulada do CAPWAP	40
2.6	ENSAIO DE CARREGAMENTO DINÂMICO COM ENERGIA CRESCENTE – EFEITOS DA CICATRIZAÇÃO DO SOLO	42
2.6.1	Análise de tensão residual (RSA) utilizando CAPWAP	43
2.7	“SET-UP” EM ESTACAS	44
2.7.1	Métodos empíricos para estimativa do “set-up”	46
2.7.2	Estimativa de “set-up” através de análises CAPWAP combinadas	49
2.8	MODELO NUMÉRICO BASEADO NAS FUNÇÕES DE TRANSFERÊNCIA DE CARGA	52
2.8.1	Método de Coyle-Reese (1966).....	52
2.8.2	Uso da Envoltória Máxima no Método de Coyle-Reese (1966)	54
2.9	ENERGIA COMPLEMENTAR COMO CRITÉRIO DE RUPTURA EM ESTACAS.....	56
2.9.1	Princípio de Hamilton da conservação de energia.....	59
3	CAPÍTULO 3 – CASOS DE OBRA	64
3.1	OBRA 1: TERMINAL DA BTP NA BAIXADA SANTISTA	64
3.1.1	Características da obra.....	64
3.1.2	Perfil geológico local.....	66
3.1.3	Métodos semiempíricos por Aoki-Velloso (1975) e Décourt-Quaresma (1978) – Estaca EC1304	70
3.1.4	Prova de carga estática – Estaca EC1304	72
3.1.5	Ensaio de carregamento dinâmico com energia crescente – Estaca EC1304	74
3.1.5.1	Método CASE – Estaca EC1304.....	74
3.1.5.2	Análise CAPWAP do último golpe – Estaca EC1304.....	76

3.1.6	Energia complementar como critério de ruptura – Estaca EC1304	79
3.1.7	Envoltória Máxima de Resistência Lateral – Estaca EC1304	82
3.1.8	Análise de tensão residual (“RSA”) – Estaca EC1304	87
3.1.9	Diagrama de forças normais mobilizadas – Estaca EC1304	88
3.1.10	Coyle-Reese (1966) aplicado na estaca EC1304	90
3.1.10.1	Método de Coyle-Reese para o último golpe aplicado	90
3.1.10.2	Método de Coyle-Reese para a Envoltória Máxima de Resistência Lateral	92
3.2	OBRA 2: TERMINAL INTEGRADOR PORTUÁRIO - SANTOS, SP..	95
3.2.1	Descrição da obra	95
3.2.2	Características da estaca e localização da sondagem	95
3.2.3	Perfil geológico local	97
3.2.4	Métodos semiempíricos por Aoki-Velloso (1975) e Décourt-Quaresma (1978) – Estaca PC01	98
3.2.5	Prova de carga estática – Estaca PC01	98
3.2.6	Ensaio de carregamento dinâmico com energia crescente – Estaca PC01	100
3.2.6.1	Método CASE	100
3.2.6.2	Análise CAPWAP do último golpe – PC01	101
3.2.7	Energia complementar como critério de ruptura – Estaca PC01	103
3.2.8	Envoltória Máxima de Resistência Lateral – Estaca PC01	105
3.2.9	Diagramas de forças normais mobilizadas – Estaca PC01	126
3.2.10	Avaliação de “set-up” lateral através do Método da Envoltória Máxima de Resistência Lateral – Estaca PC01	130
3.2.11	Coyle-Reese (1966) aplicado na estaca PC01	137
3.2.11.1	Método de Coyle-Reese para o último golpe aplicado – 216 horas	137

3.2.11.2	Método de Coyle-Reese para a Envoltória Máxima de Resistência Lateral	140
3.2.11.3	Método de Coyle-Reese para diversos períodos de repouso	142
3.3	OBRA 3: EMPREENDIMENTO IMOBILIÁRIO - OSASCO, SP	144
3.3.1	Características da obra e da estaca	144
3.3.2	Perfil geológico local	145
3.3.3	Métodos semiempíricos por Aoki-Velloso (1975) e Décourt-Quaresma (1978) – Estaca P29B	146
3.3.4	Prova de carga estática – Estaca P29B	146
3.3.5	Ensaio de carregamento dinâmico com energia crescente – Estaca P29B	149
3.3.5.1	Método CASE	149
3.3.5.2	Análise CAPWAP do último golpe – Estaca P29B	150
3.3.6	Energia complementar como critério de ruptura – Estaca P29B	151
3.3.7	Envoltória Máxima de Resistência Lateral – Estaca P29B	153
3.3.8	Diagrama de forças normais mobilizadas – Estaca P29B	156
3.3.9	Coyle-Reese (1966) aplicado na estaca P29B	157
3.3.9.1	Método de Coyle-Reese para o último golpe aplicado – Estaca P29B	157
3.3.9.2	Método de Coyle-Reese para a Envoltória Máxima de Resistência Lateral – Estaca P29B	158
3.3.10	Síntese dos resultados obtidos para a estaca P29B	160
4	CAPÍTULO 4 – CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS	161
4.1	CONCLUSÕES	161
4.1.1	SOBRE OS ENSAIOS DE CARREGAMENTO DINÂMICO	161
4.1.2	SOBRE A ENVOLTÓRIA MÁXIMA DE RESISTÊNCIA LATERAL	162

4.1.3	SOBRE O "SET-UP"	162
4.1.4	SOBRE A SIMULAÇÃO DA CURVA CARGA-RECALQUE ATRAVÉS DO MÉTODO COYLE-REESE.....	163
4.2	SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS	164
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	165

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1. Esquema de montagem de prova de carga estática com estacas de reação (Fonte: Anson).....</i>	<i>8</i>
<i>Figura 2. Prova de carga estática com uso de tirantes (Fonte: Esteio Engenharia).....</i>	<i>9</i>
<i>Figura 3. Curva carga-recalque com ruptura nítida (AOKI, 1997).</i>	<i>11</i>
<i>Figura 4. Curva carga-recalque sem ruptura nítida ou física (AOKI, 1997).</i>	<i>12</i>
<i>Figura 5. Adaptação da solução gráfica de Van der Veen (1953).....</i>	<i>13</i>
<i>Figura 6. Carga de ruptura convencional - NBR 6122 (ABNT, 2010).....</i>	<i>15</i>
<i>Figura 7. Esquema do aparato para monitoração dinâmica em estacas (Fonte: CINTRA et al., 2013).....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 8. Nega, repique e quake no topo e ponta da estaca (AOKI, 1991).....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 9. Equilíbrio de forças na seção x</i>	<i>25</i>
<i>Figura 10. Modelo representativo de Smith (1960).</i>	<i>27</i>
<i>Figura 11. Sistema de impacto para PDA em estacas escavadas (Fonte: PDI Engenharia).....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 12. Sensores do PDA instalados em bloco de coroamento (Fonte: PDI Engenharia).....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 13. Relação entre tamanho dos grãos e amortecimento do solo J_c.....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 14. Apresentação dos dados gerados pela análise CAPWAP</i>	<i>33</i>
<i>Figura 15. Divisão de elementos da estaca no modelo CAPWAP</i>	<i>33</i>
<i>Figura 16. Representação esquemática do solo pelo CAPWAP.....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 17. Curva resistência estática versus deslocamento do fuste da estaca (Fonte: Pile Dynamics, 2006).....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 18. Curva resistência estática versus deslocamento da ponta da estaca (PILE DYNAMICS, 2006)</i>	<i>39</i>
<i>Figura 19. Nega (S) e repique (K) na curva RMX – DMX.....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 20. Dados de medição de “set-up” da bibliografia (BILFINGER, 2010). 45</i>	
<i>Figura 21. Gráfico esquemático do desenvolvimento do efeito “Set-up” com o logaritmo do tempo (Komurka et al. apud SILVA, 2016)</i>	<i>48</i>
<i>Figura 22. Distribuição do atrito lateral unitário de 3 análises CAPWAP de sinais coletados com recravação de 20 horas de repouso (LIANG et al., 2014).</i>	<i>50</i>

<i>Figura 23. Atrito lateral unitário (kPa) para final de cravação, 4 horas de repouso e envoltória de 20 horas de repouso (LIANG et al., 2014).</i>	51
<i>Figura 24. Fatores de "set-up" lateral (LIANG et al., 2014).</i>	51
<i>Figura 25. Elementos de estaca e funções de transferência de carga de atrito e ponta</i>	52
<i>Figura 26. Ilustração da determinação das transferências de carga a partir da Envoltória Máxima</i>	55
<i>Figura 27. Curva carga-recalque da prova de carga estática (AOKI, 2000).</i>	57
<i>Figura 28. Curva de resistência total por deslocamento dinâmico (AOKI, 2000)</i>	61
<i>Figura 29. Curva de resistência estática por deslocamento dinâmico (PDA) (AOKI, 2000).</i>	62
<i>Figura 30. Terminal de contêineres (Fonte: Andrade Gutierrez)</i>	64
<i>Figura 31. Planta de Layout da BTP e localização aproximada da estaca EC1304 (Fonte: Andrade Gutierrez)</i>	65
<i>Figura 32. Sondagens mais próximas da estaca EC1304</i>	67
<i>Figura 33. Perfis geológicos esquemáticos das sondagens mais próximas à estaca EC 1304</i>	67
<i>Figura 34. Perfil geotécnico da região – SP-02 – Obra 1</i>	68
<i>Figura 35. Perfil geotécnico da região – SP-317 – Obra 1</i>	69
<i>Figura 36. Curvas de resistência lateral e ponta em função da profundidade – SP-02</i>	71
<i>Figura 37. Curvas de resistência lateral e ponta em função da profundidade – SP-317</i>	71
<i>Figura 38. Curva carregamento-deslocamento - Estaca EC1304</i>	74
<i>Figura 39. Curvas de carregamento estático e dinâmico - Estaca EC1304 - Método CASE</i>	75
<i>Figura 40. Curvas CAPWAP e prova de carga estática - golpe de 120 cm - Estaca EC1304</i>	76
<i>Figura 41. Resistência lateral versus comprimento cravado de um golpe (120 cm) - Estaca EC1304</i>	78
<i>Figura 42. Resistência total por deslocamento dinâmico – Estaca EC1304</i>	79
<i>Figura 43. Curvas da variação de T, T_c, V_c e RMX com H - Estaca EC1304</i>	80
<i>Figura 44. Curvas de T, T_c e V_c com a resistência RMX - Estaca EC1304</i>	80

<i>Figura 45. Transformações de energia ao longo do ensaio de carregamento dinâmico - Estaca EC1304.....</i>	<i>81</i>
<i>Figura 46. Mobilização de resistência lateral dos golpes - Estaca EC1304</i>	<i>83</i>
<i>Figura 47. Resistência lateral do último golpe vs envoltória máxima – Estaca EC1304</i>	<i>84</i>
<i>Figura 48. Comparação entre curva estática e envoltória – Estaca EC1304 ...</i>	<i>85</i>
<i>Figura 49. Atrito unitário – Décourt-Quaresma vs 120⁽³⁾ vs Envoltória Máxima – Estaca EC1304</i>	<i>87</i>
<i>Figura 50. Distribuição de resistência lateral - Análise Residual - Estaca EC1304</i>	<i>88</i>
<i>Figura 51. Diagrama de forças normais - Estaca EC1304</i>	<i>89</i>
<i>Figura 52. Coyle-Reese - golpe de 120⁽³⁾ cm - Estaca EC1304.....</i>	<i>91</i>
<i>Figura 53. Coyle-Reese – Envoltória Máxima - Estaca EC1304.....</i>	<i>93</i>
<i>Figura 54. Atrito lateral unitário vs "quake" - Argila SFL.....</i>	<i>94</i>
<i>Figura 55. Mapa indicando a localização do TIPLAM (Fonte: googlemaps)</i>	<i>95</i>
<i>Figura 56. Localização da Estaca PC01 e da sondagem mais próxima (Fonte: Constremac).....</i>	<i>96</i>
<i>Figura 57. Perfil geotécnico da região – Obra 2</i>	<i>97</i>
<i>Figura 58. Curvas Q Lateral e Q Ponta em função da profundidade – SM101</i>	<i>98</i>
<i>Figura 59. Curva carregamento-deslocamento - prova de carga estática - Estaca PC01</i>	<i>100</i>
<i>Figura 60. Curvas de carregamento estático e dinâmico – Método Case - Estaca PC01 - após repouso de 216 h.....</i>	<i>101</i>
<i>Figura 61. Curvas CAPWAP e prova de carga estática - último golpe após 216 h de repouso - Estaca PC01</i>	<i>102</i>
<i>Figura 62. Resistência lateral vs comprimento cravado para o último golpe após 216h de repouso - Estaca PC01</i>	<i>103</i>
<i>Figura 63. Curvas da variação de T, Tc, Vc e RMX com H - Estaca PC01....</i>	<i>104</i>
<i>Figura 64. Transformações de energia no ensaio de carregamento dinâmico – Estaca PC01</i>	<i>105</i>
<i>Figura 65. Distribuição de atrito lateral - final de cravação vs repouso de 216 h (9 dias) – Estaca PC01</i>	<i>106</i>
<i>Figura 66. Mobilização de resistência lateral - 3 horas – Estaca PC01.....</i>	<i>108</i>

<i>Figura 67. Curvas CAPWAP e prova de carga estática – 3 horas – Estaca PC01</i>	<i>109</i>
<i>Figura 68. Mobilização de resistência lateral - 6 horas – Estaca PC01.....</i>	<i>112</i>
<i>Figura 69. Curvas CAPWAP e prova de carga estática – 6 horas – Estaca PC01</i>	<i>113</i>
<i>Figura 70. Mobilização de resistência lateral - 24 horas – Estaca PC01.....</i>	<i>115</i>
<i>Figura 71. Curvas CAPWAP e prova de carga estática – 24 horas – Estaca PC01</i>	<i>116</i>
<i>Figura 72. Mobilização de resistência lateral - 48 horas – Estaca PC01.....</i>	<i>118</i>
<i>Figura 73. Curvas CAPWAP e prova de carga estática – 48 horas – Estaca PC01</i>	<i>119</i>
<i>Figura 74. Mobilização de resistência lateral - 216 horas – Estaca PC01.....</i>	<i>121</i>
<i>Figura 75. Comparação entre curva estática e envoltória – 216 horas – Estaca PC01</i>	<i>122</i>
<i>Figura 76. Atrito lateral unitário - Décourt-Quaresma vs CAPWAP vs Envoltória Máxima – Estaca PC01</i>	<i>123</i>
<i>Figura 77. Q Lateral - Semiempíricos vs CAPWAP vs Envoltória Máxima – Estaca PC01</i>	<i>124</i>
<i>Figura 78. Diagrama de força normal - Décourt-Quaresma vs CAPWAP vs - Envoltória Máxima – Estaca PC01</i>	<i>124</i>
<i>Figura 79. Envoltórias Máximas de Resistência Lateral - todos os períodos de repouso – Estaca PC01</i>	<i>125</i>
<i>Figura 80. Diagrama de força normal - Final de cravação – Estaca PC01.....</i>	<i>127</i>
<i>Figura 81. Diagrama de força normal - 3 horas de repouso – Estaca PC01..</i>	<i>127</i>
<i>Figura 82. Diagrama de força normal - 6 horas de repouso – Estaca PC01..</i>	<i>128</i>
<i>Figura 83. Diagrama de força normal - 24 horas de repouso – Estaca PC01</i>	<i>128</i>
<i>Figura 84. Diagrama de força normal - 48 horas de repouso – Estaca PC01</i>	<i>129</i>
<i>Figura 85. Diagrama de força normal - 216 horas de repouso – Estaca PC01</i>	<i>129</i>
<i>Figura 86. Resultados do "set-up" lateral - 120 cm e Envoltória Máxima – Estaca PC01</i>	<i>131</i>
<i>Figura 87. Resultados do "set-up" total - 120 cm e Envoltória Máxima – Estaca PC01</i>	<i>131</i>
<i>Figura 88. “Quake” lateral ao longo do fuste – 120 cm – Estaca PC01.....</i>	<i>133</i>

<i>Figura 89. Fatores de "Set-up" lateral – Envoltória Máxima – Estaca PC01 ..</i>	<i>135</i>
<i>Figura 90. Fatores de "Set-up" lateral – 120 cm – Estaca PC01.....</i>	<i>136</i>
<i>Figura 91. Coyle-Reese - 120 cm - 216 horas - Comprimento do PDA – Estaca PC01</i>	<i>139</i>
<i>Figura 92. Coyle-Reese - 120 cm - 216 horas - Comprimento da PCE – Estaca PC01</i>	<i>139</i>
<i>Figura 93. Coyle-Reese - Envoltória Máxima - 216 horas - PC01.....</i>	<i>140</i>
<i>Figura 94. Coyle-Reese - Envoltória Máxima - 216 horas - Ponta do final de cravação - Estaca PC01.....</i>	<i>141</i>
<i>Figura 95. Coyle-Reese da Envoltória Máxima para cada período de repouso – Estaca PC01</i>	<i>143</i>
<i>Figura 96. Perfil geotécnico da região – Obra 3.....</i>	<i>145</i>
<i>Figura 97. Curvas Q Lateral e Q Ponta em função da profundidade – Estaca P29B</i>	<i>146</i>
<i>Figura 98. Montagem da prova de carga estática - Estaca P29B (Fonte: Anson)</i>	<i>147</i>
<i>Figura 99. Curva carregamento-deslocamento - Estaca P29B</i>	<i>148</i>
<i>Figura 100. Curvas de carregamento estático e dinâmico - Estaca P29B</i>	<i>149</i>
<i>Figura 101. Curvas CAPWAP e prova de carga estática - Estaca P29B</i>	<i>150</i>
<i>Figura 102. Resistência lateral versus comprimento cravado de um golpe - Estaca P29B.....</i>	<i>151</i>
<i>Figura 103. Curvas da variação de T, Tc, Vc com RMX - Estaca P29B.....</i>	<i>152</i>
<i>Figura 104. Transformações de energia ao longo do ensaio de carregamento dinâmico – Estaca P29B</i>	<i>153</i>
<i>Figura 105. Mobilização de resistência lateral – Estaca P29B.....</i>	<i>154</i>
<i>Figura 106. Curvas CAPWAP e prova de carga estática – Estaca P29B.....</i>	<i>155</i>
<i>Figura 107. Diagrama de força normal – P29B</i>	<i>156</i>
<i>Figura 108. Coyle-Reese - golpe de 104 cm – P29B</i>	<i>158</i>
<i>Figura 109. Coyle-Reese – Envoltória Máxima – Estaca P29B.....</i>	<i>159</i>

LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 1. Valores de K e α (AOKI & VELLOSO, 1975).....</i>	<i>16</i>
<i>Tabela 2. Valores de F1 e F2 (AOKI & VELLOSO, 1975).....</i>	<i>16</i>
<i>Tabela 3. Valores de K (DÉCOURT; QUARESMA, 1978)</i>	<i>17</i>
<i>Tabela 4. Valores de α em função do tipo de solo e do tipo de estaca</i>	<i>18</i>
<i>Tabela 5. Valores de β em função do tipo de solo e do tipo de estaca</i>	<i>18</i>
<i>Tabela 6. Valores de "Set-up" propostos por Rausche et al. (1996)</i>	<i>46</i>
<i>Tabela 7. Característica e outros dados da estaca EC1304</i>	<i>65</i>
<i>Tabela 8. Resultados obtidos a partir dos métodos semiempíricos - Obra 1 ...</i>	<i>70</i>
<i>Tabela 9. Prova de carga estática - Estaca EC1304.....</i>	<i>72</i>
<i>Tabela 10. Resultados obtidos pelo método CASE - Estaca EC1304.....</i>	<i>75</i>
<i>Tabela 11. Resultados obtidos pela análise CAPWAP - golpe de 120 cm - Estaca EC1304</i>	<i>76</i>
<i>Tabela 12. Distribuição de resistência lateral - Estaca EC1304.....</i>	<i>77</i>
<i>Tabela 13. Parâmetros obtidos na prova de carga dinâmica - Estaca EC1304</i>	<i>79</i>
<i>Tabela 14. Energia e trabalho dos golpes com energias crescentes - Estaca EC1304</i>	<i>81</i>
<i>Tabela 15. Distribuição do atrito lateral em todos os golpes aplicados – Estaca EC1304</i>	<i>82</i>
<i>Tabela 16. Resultados finais obtidos - Estaca EC1304.....</i>	<i>86</i>
<i>Tabela 17. Dados de entrada para o método de Coyle-Reese do último golpe - Estaca EC1304</i>	<i>90</i>
<i>Tabela 18. Dados de entrada para o método de Coyle-Reese da Envoltória Máxima – Estaca EC1304.....</i>	<i>92</i>
<i>Tabela 19. Características da estaca PC01 – repouso de 216 horas</i>	<i>96</i>
<i>Tabela 20. Prova de carga estática - Estaca PC01.....</i>	<i>99</i>
<i>Tabela 21. Resultados obtidos pelo método CASE - Estaca PC01 - após repouso de 216 h</i>	<i>101</i>
<i>Tabela 22. Resultados obtidos na análise CAPWAP do último golpe após 216h de repouso - Estaca PC01</i>	<i>102</i>
<i>Tabela 23. Parâmetros obtidos na prova de carga dinâmica – Estaca PC01</i>	<i>104</i>
<i>Tabela 24. Energia e trabalho dos golpes com energias crescentes – Estaca PC01</i>	<i>105</i>

<i>Tabela 25. Segmentos de resistência lateral e máximos - 3 horas – Estaca PC01</i>	<i>107</i>
<i>Tabela 26. Segmentos de resistência lateral e máximos - 6 horas – Estaca PC01</i>	<i>111</i>
<i>Tabela 27. Segmentos de resistência lateral e máximos - 24 horas – Estaca PC01</i>	<i>114</i>
<i>Tabela 28. Segmentos de resistência lateral e máximos - 48 horas – Estaca PC01</i>	<i>117</i>
<i>Tabela 29. Segmentos de resistência lateral e máximos - 216 horas – Estaca PC01</i>	<i>120</i>
<i>Tabela 30. Resultados obtidos - Estaca PC01 - Obra 2.....</i>	<i>126</i>
<i>Tabela 31. Resumo das análises CAPWAP – Estaca PC01.....</i>	<i>130</i>
<i>Tabela 32. Valores máximos de "set-up" – Estaca PC01.....</i>	<i>132</i>
<i>Tabela 33. Mobilização de resistência de ponta ao longo do tempo – Estaca PC01</i>	<i>134</i>
<i>Tabela 34. Quociente de atrito (f/f_0) do atrito lateral pelo Método da Envoltória Máxima – Estaca PC01.....</i>	<i>134</i>
<i>Tabela 35. Quociente de atrito (f/f_0) do atrito lateral - golpes de 120 cm – Estaca PC01</i>	<i>136</i>
<i>Tabela 36. Relação entre tempo e quociente (f/f_0) para todo o fuste – Estaca PC01</i>	<i>137</i>
<i>Tabela 37. Dados de entrada para o método de Coyle-Reese do último golpe – Estaca PC01</i>	<i>137</i>
<i>Tabela 38. Dados do método de Coyle-Reese - Envoltória Máxima - 216 horas – Estaca PC01</i>	<i>140</i>
<i>Tabela 39. Resultados obtidos – Estaca PC01</i>	<i>142</i>
<i>Tabela 40. Característica da estaca - Estaca P29B.....</i>	<i>144</i>
<i>Tabela 41. Prova de carga estática - estaca P29B</i>	<i>147</i>
<i>Tabela 42. Resultados obtidos pelo método CASE - Estaca P29B.....</i>	<i>149</i>
<i>Tabela 43. Resultados obtidos pela análise CAPWAP - Estaca P29B.....</i>	<i>150</i>
<i>Tabela 44. Distribuição de resistência lateral - Estaca P29B.....</i>	<i>151</i>
<i>Tabela 45. Parâmetros obtidos na prova de carga dinâmica – Estaca P29B.</i>	<i>152</i>
<i>Tabela 46. Energia e trabalho dos golpes com energias crescentes – Estaca P29B</i>	<i>153</i>

<i>Tabela 47. Segmentos de resistência lateral e máximos - Estaca P29B</i>	<i>154</i>
<i>Tabela 48. Dados de entrada para o método de Coyle-Reese do último golpe – P29B</i>	<i>157</i>
<i>Tabela 49. Dados de entrada para o método de Coyle-Reese da Envoltória Máxima – Estaca P29B.....</i>	<i>159</i>
<i>Tabela 50. Resultados obtidos - Estaca P29B</i>	<i>160</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

Δe_n = Encurtamento elástico do elemento da estaca

A = Área da seção transversal

a = Coeficiente de Van der Veen

A' e B' = Parâmetros de "Set-up" que dependem do solo

B = Coeficiente angular do trecho elástico da curva elasto-plástica

Beta = Verificação de anomalia estrutural da estaca

c = Velocidade de propagação da onda

C2 = Parcela do repique decorrente do encurtamento elástico da estaca

C3 = Parcela do repique decorrente da deformação elástica do solo da ponta

CAPWAP = "Case Pile Wave Analysis Program"

CASE = "Case Institute Technology"

CPT = Cone Penetration Test

CSX = Compressão máxima na seção dos sensores

D = Diâmetro

D' = Deslocamento dinâmico

DMX = Deslocamento máximo da estaca no PDA

E = Módulo de elasticidade da estaca

E_d = Módulo dinâmico

EMX = Energia cinética máxima aplicada ao sistema estaca-solo

f_s = Atrito lateral unitário para cada camada de solo ao longo do fuste

$f_{m\acute{a}x}$ - máximo valor de atrito lateral unitário

F = Força

F_1 e F_2 = Parâmetros de Aoki-Velloso

$F_{m\acute{a}x}$ = Força máxima medida na região dos sensores

H = Altura de queda do martelo

h_n = Altura do n-ésimo elemento da estaca

J_c = Coeficiente de amortecimento dinâmico no método CASE

J_s = Coeficiente de amortecimento no modelo de Smith

J_{sk} e J_{bt} = Coeficientes de “Radiation Damping” no fuste e na ponta da estaca

J_v = Coeficiente de amortecimento viscoso

K = Repique elástico da estaca

K' = Parâmetro em função do tipo de solo

L = Comprimento

m = massa

m_{pl} = “embuchamento” de solo na ponta da estaca

m_s = Massa de solo aderida no fuste da estaca

m_t = Massa de solo ao redor da ponta da estaca

P_n = Força normal no topo do n-ésimo elemento da estaca

Q = Carga ou carregamento

Q_u = Carga última ou de ruptura

Q_l = Carga limite correspondente ao deslocamento limite s_l

Q_p = Carga de ruptura de ponta

Q_s = Atrito lateral unitário de Aoki-Velloso

q_i = “Quake” do elemento de solo

q_s = “Quake” lateral do elemento de solo ao longo do fuste

q_t = “Quake” da ponta

q_{tu} = “Quake” de descarregamento na ponta da estaca

q_u = “Quake” de descarregamento

R = Resistência mobilizada total da estaca (estática mais dinâmica)

R_d = Resistência dinâmica total mobilizada

R_{ns} = Elementos de solo

R_s = Resistência estática total mobilizada

R_{NU} = Resistência negativa no descarregamento

RMX = Resistência estática mobilizada no CASE

RMX_{t1} = Resistência estática mobilizada no CASE com o tempo t_1 no primeiro pico de velocidade

R_t = Parcela de resistência na ponta da estaca

R_u = Resistência estática mobilizada em cada elemento ao longo do fuste

S = Deslocamento permanente total da estaca ou penetração no solo (nega)

T = Energia cinética

T_c = Energia cinética complementar

t_g = Vazio entre a ponta da estaca e o solo

TSX = Tração máxima na região dos sensores

u = deslocamento total do elemento da estaca

U_n = Multiplicador do descarregamento lateral

V = Energia potencial do sistema, incluindo a energia de deformação e a energia potencial de qualquer força conservativa externa

v = Velocidade da partícula

V_c = Energia potencial complementar no carregamento estática idealizado

V_e = Energia de deformação elástica

V_s = Energia potencial de deformação

W_a = Diferença de energia de deformação

W_d = "Wave Down"

W_{nc} = Trabalho efetuado pelas forças não conservativas que agem sobre o sistema no intervalo de tempo indicado, incluindo forças de amortecimento e qualquer carga externa arbitrária

W_u = "Wave Up"

y = Recalque do elemento da estaca

Z = impedância

Δ_t = Intervalo de tempo

Δ_u = Deslocamento infinitesimal

Δ_x = Distância infinitesimal

ε = Deformação

θ = perímetro

ρ = Massa específica

1 CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

1.1 RELEVÂNCIA E JUSTIFICATIVA DO ASSUNTO ABORDADO

A determinação da capacidade de carga e a avaliação do comportamento de um sistema estaca-solo sob carregamento axial são pontos essenciais para avaliar as previsões do projeto de fundações e eventuais tomadas de decisão durante a execução das fundações em uma obra. Para esse fim, foram criados inúmeros métodos e análises que são utilizados regularmente na engenharia de fundações, tais como: métodos analíticos baseados em propriedades geotécnicas a partir de ensaios de laboratório, métodos semiempíricos que correlacionam a capacidade de carga com dados de investigações geotécnicas locais (SPT, CPT), simulações computacionais e provas de carga de verdadeira grandeza.

A capacidade de carga de um sistema estaca-solo, definida como sendo a somatória das resistências laterais com a resistência de ponta, relacionada às dimensões e ao tipo de estaca escolhida, é preliminarmente estimada durante a fase do projeto de fundações a partir de parâmetros geotécnicos obtidos em laboratório e em ensaios “*in situ*”, como por exemplo a tradicional sondagem à percussão, largamente utilizada no cenário brasileiro. Dentre outros aspectos em consideração à capacidade de carga, a execução e instalação das estacas no solo causam alterações nas condições geotécnicas originais. O tipo de alteração, extensão, efeitos e modificações subsequentes dependentes do tempo estão principalmente relacionados ao tipo de solo e ao método de execução das estacas. As fundações podem ser classificadas segundo o efeito causado no solo durante sua execução como: (a) “de deslocamento”, classificação dada geralmente a estacas cravadas, uma vez que o solo é deslocado horizontalmente e; (b) “de substituição”, classificação dada a estacas escavadas em geral, uma vez que o solo é removido e substituído pelo material que compõe a estaca. Em ambos os casos, é observado algum nível de alteração nas tensões horizontais geoestáticas. Em estacas escavadas pode ocorrer ainda alívio de tensões na ponta devido ao amolgamento do solo ou resíduos resultantes da sedimentação de materiais suspensos.

O desenvolvimento da resistência lateral ao longo do fuste é influenciado pelo tipo de solo e é dependente do tempo (denominado “setup” ou “cicatrização”), em estacas cravadas em solos moles, ou relaxação, em estacas instaladas em areias compactas.

Estes métodos e considerações não são utilizados isoladamente para a determinação da carga de trabalho de um projeto de fundações. Provas de carga são desenvolvidas para medir a resposta direta de um carregamento axial a fim de determinar sua capacidade portante e podem ser realizadas tanto nos estágios iniciais do projeto, quanto na fase de execução para avaliar o desempenho e as considerações geotécnicas assumidas no projeto. Para fins de desempenho, a carga aplicada deve ser levada até pelo menos 2 vezes a carga de trabalho. Ademais, o projetista pode determinar o período que se deve aguardar após a instalação das estacas para que sejam realizadas as provas de carga. Dependendo das condições locais, este período pode variar de um dia até mais de uma semana.

A determinação da capacidade estática através de ensaio de carregamento dinâmico tornou-se uma prática recorrente e muito utilizada mundo afora, com vantagens relacionadas a custo, tempo de execução e aquisição de inúmeras informações complementares. Também conhecida como prova de carga dinâmica de alta deformação, este é um ensaio que permite determinar a capacidade de carga do sistema estaca-solo para carregamentos axiais. No Brasil, o ensaio de carregamento dinâmico é regido pela NBR-13208/94. Inicialmente desenvolvida com o objetivo de acompanhar o processo de cravação de estacas pré-moldadas (LIKINS e RAUSCHE, 2008), hoje permite também analisar a capacidade de carga de estacas moldadas “in loco” e fornecer informações que garantam a segurança e a integridade de estacas cravadas, bem como a eficiência do sistema de impacto utilizado.

Em geral, o golpe com a máxima carga mobilizada na estaca durante o ensaio de carregamento dinâmico é aquele escolhido para ser analisado pelo CAPWAP (“*Case Pile Wave Analysis Program*”), que fornece uma simulação do ensaio de carregamento estático e determina a resistência estática mobilizada como se a estaca tivesse recebido apenas aquele único golpe desde o final de sua cravação ou

instalação, desconsiderando alterações das propriedades do solo causadas por golpes anteriores de menor energia. Entretanto, durante o ensaio de carregamento dinâmico e aplicação dos golpes, três fenômenos ocorrem: (i) em cada golpe aplicado, as resistências de atrito lateral e de ponta mudam devido aos efeitos causados no solo; (ii) cada golpe ativa diferentes níveis de resistência devido à variação da energia aplicada; (iii) há um aumento das tensões residuais a cada novo golpe e um aumento na penetração da estaca (RAUSCHE, RICHARDSON e LIKINS, 1996). Considerar somente o último golpe como sendo aquele em que ocorre a máxima carga mobilizada é uma prática que gera interpretações simplificadas a respeito da capacidade de carga do sistema e do atrito lateral ao longo do fuste. O Método da Envoltória Máxima tem o objetivo de analisar individualmente os golpes aplicados durante o ensaio de carregamento dinâmico, possibilitando determinar a máxima mobilização do atrito lateral ao longo do fuste e simular um conjunto de curvas estáticas de carregamento e deslocamento da estaca.

O sistema de impacto deve transmitir energia suficiente para que seja mobilizada toda a resistência de ponta e de atrito lateral. Porém, os golpes iniciais do ensaio com altura de queda crescente não mobilizam tais resistências devido à baixa energia aplicada e alteram as condições iniciais do solo em camadas próximas ao topo da estaca e dos sensores instalados no fuste (RAUSCHE, RICHARDSON e LIKINS, 1996). Estas alterações não são levadas em conta na análise CAPWAP individual. Portanto, o Método da Envoltória Máxima de Resistência Lateral, que será mostrado neste estudo, utiliza a análise CAPWAP em todos os golpes aplicados e tem como objetivo recuperar a informação de atrito e/ou resistência de ponta perdida ou não mobilizada nos sucessivos golpes durante o ensaio de carregamento dinâmico.

1.2 OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO

Este estudo tem como objetivo realizar análises CAPWAP de sinais de diversos golpes com energia crescente em ensaios de carregamento dinâmico em três estudos de caso, de modo a avaliar o desenvolvimento da mobilização da

resistência de atrito lateral do nível do terreno em direção à ponta da estaca. São avaliados golpes sequenciais considerando todos os efeitos gerados durante o ensaio. Assim, o desenvolvimento da mobilização do atrito lateral em cada golpe aplicado permite a obtenção da envoltória máxima de resistência lateral do sistema estaca-solo ao longo de toda sua profundidade, em cada camada de solo até a ponta da estaca. Isso permite que se extraia o máximo de informações no que se refere à capacidade de carga em um ensaio dinâmico com energia crescente, bem como correlacionar as mobilizações de atrito lateral com a estratigrafia do solo obtida através de sondagens de simples reconhecimento. São obtidas também as curvas estáticas simuladas pelo CAPWAP de todos os golpes aplicados para estabelecer uma correlação com resultados de provas de carga estáticas realizadas nas mesmas estacas. Comparações são feitas com capacidades de carga estimadas por métodos semiempíricos baseados no SPT.

Outro objetivo do estudo é obter uma simulação da curva carga-recalque do topo da estaca através do modelo matemático de Coyle-Reese (1966). Este modelo se baseia nas funções de transferência de carga para cada camada de solo ao longo de todo o fuste. As informações de “*quake*” e da máxima mobilização do atrito lateral e ponta obtidas através do método da Envoltória Máxima são utilizadas para determinação da função de transferência de carga para cada camada de solo, possibilitando a aplicação do método de Coyle-Reese (1966). A curva resultante deste método é comparada com a curva carga-recalque obtida na prova de carga estática e com a análise estática simulada pelo CAPWAP.

Em um estudo de caso de estaca instalada na região de Cubatão, SP, cujo ensaio de carregamento dinâmico foi realizado em diversos períodos de repouso, os resultados gerados pelo CAPWAP são avaliados com o objetivo de estudar o incremento de resistência lateral através do efeito de cicatrização do solo (“*setup*”) e estimar a capacidade portante do sistema estaca-solo a longo prazo.

1.3 METODOLOGIA DA PESQUISA

O estudo tem como base uma revisão bibliográfica que destaca assuntos referentes às provas de carga estáticas e dinâmicas, interpretações e extrapolações da curva carga-recalque, métodos semiempíricos, a teoria da equação da onda unidimensional e métodos numéricos para determinação de resistência mobilizada em ensaios de carregamento dinâmico. Posteriormente, através de um banco de dados coletados em casos reais de obras na Baixada Santista e em Osasco, com ensaios de carregamento estático, dinâmico e sondagens de simples reconhecimento, é feita uma avaliação comparativa dos resultados obtidos através da metodologia convencional de analisar apenas um golpe com a metodologia proposta neste estudo (Envoltória Máxima de Resistência Lateral). Estes resultados são comparados com a prova de carga estática realizada na mesma estaca em todos os estudos de caso com o modelo numérico de Coyle-Reese, utilizando dados obtidos de atrito lateral e deslocamento para cada camada de solo.

1.4 ORGANIZAÇÃO DO TEXTO

O trabalho é apresentado em quatro capítulos, distribuídos da seguinte forma:

- **Capítulo 1: Introdução**

O capítulo introdutório trata de ressaltar a relevância do presente estudo, seus objetivos e metodologia adotada visando aprofundar na potencialidade do ensaio de carregamento dinâmico com energia crescente.

- **Capítulo 2: Revisão bibliográfica**

Com o propósito de fundamentar o estudo em questão, este capítulo trata de temas relacionados a provas de cargas estáticas, aos ensaios de carregamentos dinâmicos

com energias constante e crescente, seguindo uma linha de raciocínio de forma a aprofundar o assunto paulatinamente, com embasamento teórico que permita o entendimento e a relevância da metodologia proposta. São apresentados os principais conceitos que fundamentam a determinação e distribuição do atrito lateral ao longo do fuste através do CAPWAP.

- **Capítulo 3: Casos de obra e resultados obtidos**

Neste capítulo são apresentados os casos de obra, suas principais características, dados obtidos em campo, como sondagens, ensaios estáticos e dinâmicos. Estes dados fornecem subsídios para aplicação do Método da Envoltória Máxima de Resistência Lateral e do método de Coyle-Reese (1966). Os resultados obtidos são avaliados comparativamente com os dados de ensaios estáticos e com as estimativas de métodos semiempíricos.

- **Capítulo 4: Conclusões e sugestões**

O capítulo final engloba as principais conclusões obtidas durante a elaboração do trabalho e enumera sugestões para trabalhos futuros.

2 CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta os principais ensaios de campo para determinar a capacidade de carga em estacas, junto com os métodos analíticos, empíricos e semiempíricos disponíveis na literatura, para a interpretação dos seus resultados. Estes métodos serão utilizados nas análises dos casos estudados neste trabalho.

2.1 PROVA DE CARGA ESTÁTICA

Prova de carga estática é um ensaio tradicionalmente realizado regido pela NBR 12131 (ABNT, 2006), no qual se aplicam cargas transversais e de compressão no topo da estaca através de um aparato composto de macaco hidráulico e de um sistema de reação ancorado, com incrementos de carga sucessivos e constantes. Esta aplicação de carga mobiliza a resistência do sistema estaca-solo. Durante o incremento de carga, há a monitoração dos deslocamentos verticais da estaca causados por encurtamento elástico da mesma e penetração da ponta no solo até atingir a ruptura do sistema ou a mobilização da carga desejada, seguido do procedimento de descarregamento. Portanto, neste ensaio existe a possibilidade de conhecer o comportamento da fundação com o incremento de cargas gradativo pelos denominados estágios de carga.

Existem três tipos de sistemas de reação: cargueiras, estacas de reação e tirantes. A cargueira é o primeiro sistema de reação utilizado e trata-se de um caixão preenchido com um material cuja massa é conhecida, constituindo um peso morto sobre a cabeça da estaca. O segundo sistema é constituído de vigas metálicas e estacas de reação, instaladas e armadas ao longo de todo fuste para garantir resistência a esforços de tração, como ilustra a Figura 1. Há uma distância mínima de instalação das estacas de reação estabelecida pela NBR 12131 (ABNT, 2006) de três vezes o diâmetro da estaca ensaiada e nunca inferior a 1,5 m de distância entre eixos, a fim de evitar resultados não condizentes com a realidade durante o ensaio.

Figura 1. Esquema de montagem de prova de carga estática com estacas de reação (Fonte: Anson)

Os sistemas de reação com estacas recebem as vigas de reação que geralmente são dispostas em forma de cruz para aplicação da carga. Todo o aparato deve ser protegido a fim de evitar interferências por conta de chuvas, ventos e grandes variações de temperatura. A seguir, o macaco hidráulico é acionado manual ou mecanicamente e a leitura e aferição dos incrementos de carga são realizadas por meio de um manômetro instalado no sistema ou por uma célula de carga instrumentada por “*strain gages*” devidamente calibrados, sendo este último com maior precisão na aferição dos resultados. A NBR 12131 (ABNT, 2006) aceita os dois tipos de leitura de carga e defletômetros para medidas de recalque com precisão de centésimos de milímetros. Com o macaco hidráulico acionado e a aferição da carga desejada, as vigas de reação respondem com uma carga de mesma intensidade e sentido contrário provocando a tensão de compressão no sistema estaca-solo. Esta solicitação de tensão pode gerar um recalque na estaca, que ocasiona em um alívio de tensões, fazendo com que seja necessária nova aplicação de carga pelo acionamento do macaco hidráulico.

Já o terceiro sistema tem o mesmo princípio das estacas de reação, porém com o uso de vigas ou carapaças metálicas ancoradas no terreno por tirantes (Figura 2). Esta opção é recomendada para ensaios em que se deseja atingir cargas elevadas e onde houver a possibilidade de ancoragem em solos de elevadas resistências ou rocha.

Figura 2. Prova de carga estática com uso de tirantes (Fonte: Esteio Engenharia)

Além dos tipos diferentes do sistema de reação, existem três tipos de carregamentos regulamentados pela NBR 12131 (ABNT, 2006).

2.1.1 Prova de carga lenta

Este é o método mais tradicional, representado pela sigla CML (carga mantida lenta). Neste ensaio os incrementos de carga são aplicados sucessivamente com valores iguais que não devem ultrapassar 20 % da carga admissível ou de trabalho do projeto de fundações. Após novo incremento, a carga aplicada é mantida até ocorrer estabilização de possíveis deslocamentos, com um tempo mínimo de 30 minutos. Durante este período de estabilização, haverá consequentemente um alívio das cargas aplicadas, o que torna necessária uma nova aplicação subsequente. Em cada novo estágio de carregamento são realizadas leituras dos possíveis deslocamentos até a aplicação do novo incremento de carga. A estabilização dos deslocamentos é atendida quando não houver, entre duas leituras consecutivas, deslocamentos maiores que 5% dos obtidos no mesmo estágio.

Caso tenha sido aplicada a carga máxima no último estágio de carregamento e a carga de ruptura não tenha sido atingida, deve-se manter a carga por mais doze horas, contadas a partir da última estabilização de deslocamentos. Somente após esse período começa o estágio de descarregamento, que deve ser realizado em, no mínimo, quatro estágios, mantidos até a estabilização dos deslocamentos com

período mínimo de 15 minutos para cada estágio. Após o descarregamento total, as leituras deverão continuar até atingir a estabilização, que indica o deslocamento permanente total sofrido pela estaca ensaiada durante todas as fases de carregamento e descarregamento.

2.1.2 Prova de carga rápida

Neste ensaio, os incrementos de carga são aplicados sucessivamente com valores iguais que não devem ultrapassar 10 % da carga de trabalho e é mantido por 10 minutos independentemente da estabilização dos deslocamentos. Neste caso, deve-se realizar obrigatoriamente a leitura de deslocamento tanto no início quanto no final de cada estágio, conforme prescrito na NBR 12131 (ABNT, 2006).

Fellenius (1980) afirma que a prova de carga rápida possui vantagens do ponto de vista econômico ao reduzir o tempo de ensaio, trazendo menor interferência no cronograma e na logística da obra, e do ponto de vista técnico apresenta como produto final uma melhor definição da curva carga-recalque em relação à prova de carga lenta. Entretanto, é importante ressaltar o potencial risco do intervalo de tempo entre as aplicações dos incrementos, que pode influenciar no comportamento do sistema principalmente em solos argilosos, resultando em capacidades de carga diferentes da real. Em geral, a curva resultante da prova de carga rápida fica graficamente acima da curva do ensaio lento, e isso ocorre devido à não estabilização dos recalques até o início de um novo estágio de carregamento. Vale ressaltar que, o número de estágios deve ser maior na prova de carga rápida, com acréscimos de 10 % da carga admissível em projeto. Isso gera uma vantagem pelo número maior de pontos na curva carga-recalque como resultado final. Independentemente do método, o resultado final tem como foco obter a curva carga-recalque do sistema estaca-solo ensaiado (Figura 3).

Figura 3. Curva carga-recalque com ruptura nítida (AOKI, 1997).

A Figura 3 ilustra a representação da curva carga-recalque (AOKI, 1997), onde S e Q são o recalque e a carga no topo da estaca ensaiada, respectivamente. A curva é traçada através da ligação dos pontos obtidos no final de cada estágio, com os deslocamentos estabilizados no caso da prova de carga estática lenta (CML). A curva carga-recalque pode apresentar diferentes modos de ruptura do sistema ensaiado.

2.2 MODOS DE RUPTURA

Em uma prova de carga bem-sucedida existem diferentes modos de ruptura do sistema estaca-solo (CINTRA et al., 2013). Segundo a NBR 6122 (ABNT, 2010), uma curva carga-recalque é classificada com ruptura nítida quando ocorre a verticalização da curva proveniente de recalques incessantes, mesmo sem novos acréscimos de carga. Dessa forma foi atingida sua resistência máxima e não há como mobilizar maior capacidade de carga deste sistema. A ruptura nítida não depende de interpretações e não apresenta qualquer tipo de ambiguidade. Entretanto, podem existir casos nos quais não há indícios de ruptura e a curva se torna um segmento linear não-vertical nos últimos estágios de carregamento. Com esta indefinição de ruptura se faz necessária uma interpretação. Além da ruptura nítida, os resultados da prova de carga podem fornecer curvas do tipo aberta, que são denominadas de ruptura física e convencional.

Na ruptura física, o valor da capacidade de carga última pode ser determinado através de uma extrapolação da curva do ensaio a fim de obter sua assíntota vertical. Pelo fato do valor da capacidade de carga não ser atingido durante o ensaio, o descarregamento deve ser feito por conta de recalques elevados ou pelo limite de aplicação do sistema de reação. Outra curva do tipo aberta que também é possível obter durante o ensaio é a de ruptura chamada convencional. Esta curva (Figura 4) é caracterizada pela inexistência de uma assíntota vertical nos últimos estágios de carregamento, o que indica que o incremento de carga não ocasionaria a ruptura do sistema estaca-solo, tornando esta curva sem nenhuma definição de ruptura. Esta indefinição motivou diversos estudos e critérios de interpretação com o intuito de definir a capacidade de carga por meio de uma extrapolação da curva.

Figura 4. Curva carga-recalque sem ruptura nítida ou física (AOKI, 1997).

Fellenius (1980) afirma que é um erro considerar que a carga última do sistema é aparentemente atingida quando se observam grandes recalques a pequenos incrementos de carga no topo da estaca. A justificativa reside no fato de que a penetração da estaca exige grande movimentação e isso é mais limitado pelo aparato criado na prova de carga do que na capacidade do sistema estaca-solo em si. Assim, por uma questão de praticidade, a definição de ruptura deve ser baseada em alguma regra ou método matemático e gerar um valor que não dependa de escalas do gráfico da curva gerada, que podem induzir a valores que não condizem com a realidade. Por isso são descritos a seguir alguns métodos a respeito da interpretação da curva carga-recalque relevantes para o presente estudo.

2.3 ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DA CURVA CARGA-RECALQUE

Segundo Aoki (1997), a carga aplicada é equilibrada pela reação do solo cujo valor é representado pela capacidade de carga total. Para curvas caracterizadas com o conceito de ruptura física, Van der Veen (1953) associa a curva obtida durante o ensaio à função exponencial:

$$Q = Q_u(1 - e^{-a \cdot s}) \quad (1)$$

em que a é o coeficiente que define a forma da curva, e é a base dos logaritmos naturais e Q_u indica a carga de ruptura, correspondente à assíntota vertical à curva carga-recalque. A adaptação da solução gráfica encontra-se na Figura 5.

Figura 5. Adaptação da solução gráfica de Van der Veen (1953)

Este é um procedimento em que a e Q_u são duas constantes determinadas por tentativa e erro a fim de obter um ajuste mais próximo de uma reta, cujo coeficiente angular será o próprio a e os valores que mais se ajustarem a esta reta indica o valor estimado da capacidade de carga Q . Aoki (1976) propõe uma modificação onde a curva ajustada não precisa necessariamente passar pela origem, conforme demonstrada na Equação 2.

$$Q = Q_u(1 - e^{-(a \cdot s + b)}) \quad (2)$$

A alteração acrescenta um valor b que representa o intercepto no eixo do recalque na reta obtida em escala logarítmica. Isso propicia um melhor ajuste em relação à proposição original de Veen (1953) nos estágios finais do carregamento. Mazurkiewicz (apud Fellenius, 1980) criou outro método na ruptura física cuja hipótese era de que a curva carga-recalque seria parabólica na ruptura da interação estaca-solo. Massad (1986) mostrou que este método é matematicamente semelhante ao de Van der Veen, baseado numa exponencial e não numa parábola, e propôs um método alternativo para determinar o valor de Q_u com mais precisão. Partindo do pressuposto de que a Equação 1 é verdadeira, um gráfico de Q_{n+1} em função de Q_n resulta em uma linha reta com a seguinte inclinação:

$$\tau = \frac{Q_{n+1} - Q_n}{Q_n - Q_{n-1}} = e^{\alpha \Delta s} \quad (3)$$

$$a = \frac{\ln \tau}{\Delta s} \quad (4)$$

A partir da Equação 3, a carga de ruptura Q_u pode ser determinada através da interseção entre a linha reta de inclinação τ e uma linha a 45 graus. Um cálculo mais preciso pode ser feito a partir da regressão linear utilizando o método dos mínimos quadrados, cujo valor de Q_u é dado por:

$$Q_{n+1} = a' + b' \cdot Q_n$$

$$Q_u = \frac{a'}{1 - b'} \quad (5)$$

O critério de Davisson (1972), chamado de “*offset limit Method*”, define a carga de ruptura como sendo o carregamento correspondente ao deslocamento que excede a linha da parcela de compressão elástica para um recalque (s) igual a:

$$s = \frac{Q_u \cdot L}{E \cdot A} + \frac{D}{120} + 3,8 \text{ mm} \quad (6)$$

Onde:

Q_u – Carga de ruptura convencional;
 L – Comprimento da estaca;
 E – Módulo de elasticidade da estaca;
 A – Área da seção transversal da estaca;
 D – Diâmetro do círculo circunscrito à estaca.

Para situações em que não há ruptura nítida no ensaio, a NBR 6122 (ABNT, 2010) estabelece um critério que pode ser aplicado para qualquer prova de carga (Figura 6). Trata-se de determinar a carga de ruptura como sendo o valor da carga obtido através do ponto de interseção entre a curva carga-recalque e a seguinte equação:

$$s = \frac{D}{30} + \frac{Q_u \cdot L}{A \cdot E} \quad (7)$$

Figura 6. Carga de ruptura convencional - NBR 6122 (ABNT, 2010)

2.4 MÉTODOS SEMIEMPÍRICOS PARA A DETERMINAÇÃO DA CARGA DE RUPTURA

2.4.1 Método Aoki-Velloso (1975)

Este método, originalmente desenvolvido a partir de um estudo comparativo entre resultados de provas de carga em estacas e valores de CPT, posteriormente valores de SPT, é considerado semiempírico. Utiliza parâmetros K' , α , F_1 e F_2 para

transformar o índice N_{spt} em resistência de ponta e atrito lateral através das seguintes equações:

$$Q_{Ponta} = \frac{K' \cdot N_{spt}}{F1} \quad (8)$$

$$Q_{Lateral} = \frac{\alpha \cdot R_p}{F2} \quad (9)$$

Os parâmetros K' e α dependem do tipo de solo, como mostra a Tabela 1.

Tabela 1. Valores de K e α (AOKI & VELLOSO, 1975)

Tipo de Solo	K (kPa)	α (%)
Areia	1000	1,4
Areia Siltosa	800	2,0
Areia silto argilosa	700	2,4
Areia argilosa	600	3,0
Areia argilo siltosa	500	2,8
Silte arenoso	550	2,2
Silte areno argiloso	450	2,8
Silte	400	3,0
Silte argilo arenoso	250	3,0
Silte argiloso	230	3,4
Argila arenosa	350	2,4
Argila silto arenosa	330	3,0
Argila areno siltosa	300	2,8
Argila siltosa	220	4,0
Argila	200	6,0

Além destes parâmetros, devem ser corretamente adotados coeficientes $F1$ e $F2$ que levam em consideração o tipo de estaca (Tabela 2), que induz a diferentes formas de perturbação no solo e efeitos de escala, cujos valores foram determinados por comparação com resultados de provas de carga.

Tabela 2. Valores de $F1$ e $F2$ (AOKI & VELLOSO, 1975)

Tipo de Estaca	F1	F2
Franki	2,5	5,0
Metálica	1,75	3,50
Pré-Moldada	1,75	3,50
Escavada	3,0	6,0

Recentemente, para levar em conta a eficiência do ensaio SPT, o Método de Aoki-Veloso foi aprimorado, entre outras recomendações, de alteração na fórmula para obter o parâmetro K' , com a introdução da eficiência do SPT, determinada a partir da execução de uma prova de carga estática de todo o sistema de bater (mais hastes e cilindro vazado) e medida do comprimento da amostra que permite determinar a resistência do solo pela ponta e atrito (CINTRA *et al.*, 2013).

2.4.2 Método Décourt-Quaresma (1978)

Este é um método que avalia a capacidade de carga de estacas com base em valores N do ensaio SPT. Inicialmente, o método foi desenvolvido para estacas pré-moldadas e depois estendido para outros tipos de estacas (FALCONI *et al.*, 2016). Para estaca padrão, tem-se:

$$Q_u = Q_p \cdot A_p + Q_s \cdot A_s \quad (10)$$

Nessa equação:

Q_p - tensão de ruptura de ponta;

A_p - área da ponta da estaca;

Q_s - valor do atrito lateral unitário;

A_s - área lateral da estaca;

A tensão de ruptura na ponta é dada por:

$$Q_p = K' \cdot N \quad (11)$$

onde K' é função do tipo de solo (ver Tabela 3).

Tabela 3. Valores de K (DÉCOURT; QUARESMA, 1978)

Tipo de Solo	K' (kPa)
Argila	120
Silte argiloso	200
Silte arenoso	250
Areia	400

O atrito lateral unitário é dado por:

$$Q_s = 10 \left(\frac{N}{3} + 1 \right) \text{ kN/m}^2 \quad (12)$$

Para outros tipos de estacas são considerados os parâmetros α e β , valores de majoração e/ou de minoração para resistências de ponta e atrito lateral, respectivamente, conforme a Equação 13.

$$Q_u = \alpha \cdot Q_p \cdot A_p + \beta \cdot Q_s \cdot A_s \quad (13)$$

Os valores de α e β para os diversos tipos de estacas estão apresentados, respectivamente, na Tabela 4 e Tabela 5, por Falconi *et al.* (2016).

Tabela 4. Valores de α em função do tipo de solo e do tipo de estaca

Solo \ Estaca	Escavadas em geral	Escavadas (bentonita)	Hélice contínua	Raiz	Injetada sob altas pressões
Argila	0,85	0,85	0,3	0,85	1
Solos intermediários	0,6	0,6	0,3	0,6	1
Areias	0,5	0,5	0,3	0,5	1

Tabela 5. Valores de β em função do tipo de solo e do tipo de estaca

Solo \ Estaca	Escavadas em geral	Escavadas (bentonita)	Hélice contínua	Raiz	Injetada sob altas pressões
Argila	0,8	0,9	1,0	1,5	3,0
Solos intermediários	0,65	0,75	1,0	1,5	3,0
Areias	0,5	0,6	1,0	1,5	3,0

2.5 ENSAIO DE CARREGAMENTO DINÂMICO COM ENERGIA CONSTANTE

A avaliação da capacidade de carga de estacas pré-moldadas a partir da observação de sua cravação data desde o início da sua utilização como elemento de fundação. A capacidade estática era calculada através de expressões matemáticas que ficaram conhecidas como fórmulas dinâmicas de cravação. Elas são baseadas no princípio da conservação da energia e nas leis de impacto de Newton, supondo que houvesse mobilização instantânea da capacidade de resistência do solo ao longo do fuste da estaca. A busca por procedimentos rápidos e eficientes, aliados a custos mais acessíveis, se tornou um dos principais focos da engenharia ao longo do Século XX. A meta principal da construção civil é buscar economia de recursos, serviços e materiais, rapidez no processo construtivo e manter os critérios de segurança e qualidade. Assim, dentre outras técnicas utilizadas, o ensaio de carregamento dinâmico se tornou prática rotineira no mundo todo.

A prova de carga dinâmica de alta deformação (ou ensaio de carregamento dinâmico) é uma técnica desenvolvida para a determinação da capacidade de carga do sistema estaca-solo para carregamentos estáticos axiais. O carregamento é aplicado dinamicamente através de múltiplos golpes gerados por um sistema de impacto. No Brasil, o ensaio de carregamento dinâmico é regido pela NBR-13208/94.

Esta técnica foi desenvolvida inicialmente com o objetivo de monitorar a cravabilidade de estacas pré-moldadas (LIKINS e RAUSCHE, 2008). O esquema de aparato montado para monitoração do processo de cravação de estacas está representado na Figura 7. A cravação de estacas pré-moldadas é um processo contínuo de rompimento do solo causado pelo sistema de impacto, comumente conhecido como bate-estacas. Durante o processo de cravação, o ensaio de carregamento dinâmico permite obter: a) informações que garantem a segurança e a integridade da estaca, bem como a eficiência do sistema de impacto e, b) dados de força e aceleração, velocidade ou deslocamento de um ponto próximo ao topo da estaca.

Os resultados obtidos através dos ensaios de carregamento dinâmico têm demonstrado boa correlação com as provas de carga estática (LIKINS e RAUSCHE, 2004), como será mostrado também neste estudo.

Figura 7. Esquema do aparato para monitoração dinâmica em estacas (Fonte: CINTRA et al., 2013)

2.5.1 Fundamentos teóricos

2.5.1.1 Nega de cravação, quake e repique elástico

Os cuidados durante a cravação devem aumentar concomitante à penetração da estaca. Sendo assim, quando o sistema de impacto já não apresenta rendimento, a cravação é interrompida. Como critério de parada, é tradicionalmente respeitado o deslocamento permanente por golpe de cravação aplicado pelo sistema de impacto, denominado nega de cravação. É comum em projeto de fundações que o critério de parada pela nega seja de 10 mm de deslocamento permanente até, no máximo, 30 mm a cada 10 golpes. Nas fases distintas da cravação, com dificuldade gradativa de penetração da estaca no solo até atingir a nega de cravação, pode ser utilizado o critério de ruptura convencional de Terzaghi (1942), em que a capacidade de carga

do sistema é considerada arbitrariamente como a carga correspondente a um recalque de 10% do diâmetro da ponta da estaca. Durante a cravação, a estaca não só sofre um deslocamento permanente, como também uma parcela de deslocamento elástico recuperável após a aplicação do golpe: trata-se do repique elástico. Tanto a nega quanto o repique elástico podem ser obtidos manualmente durante a cravação, por um simples aparato com régua, folha de papel fixadas na estaca e um lápis. Assim são traçadas curvas horizontais durante a aplicação dos golpes. O repique é composto da parcela do encurtamento elástico da estaca e da parcela da deformação elástica do solo da ponta, denominada “quake de ponta”, conforme mostrado na Figura 8.

Figura 8. Nega, repique e quake no topo e ponta da estaca (AOKI, 1991).

Onde:

EMX - energia máxima transferida para a estaca decorrente do golpe;

S – nega;

K – repique elástico da estaca;

C₂ – parcela do repique decorrente do encurtamento elástico da estaca;

C₃ – parcela do repique decorrente da deformação elástica do solo da ponta, ou “quake de ponta”.

Os valores da nega e do repique elástico têm sido utilizados em inúmeras formulações, na tentativa de inferir a capacidade de carga através das chamadas fórmulas dinâmicas. São também utilizados de forma empírica como garantia da "homogeneidade" de um estaqueamento. Considerando que as fórmulas dinâmicas foram desenvolvidas em condições muito distintas da atual engenharia geotécnica, não se deve utilizar tais formulações como ferramenta única na determinação da capacidade de carga do sistema estaca-solo. A teoria da equação da onda permite considerar uma condição mais realista a respeito do comportamento da estaca, levando em conta as características dos solos, os tipos de sistemas de impacto utilizados e, ainda, define com mais precisão a capacidade de carga. A teoria da equação da onda unidimensional é baseada em hipóteses relacionadas à eficiência do sistema de impacto e em suposições a respeito das propriedades do solo obtidas por meio de uma investigação geotécnica criteriosa (ALLIN, LIKINS e HONEYCUTT, 2015).

2.5.1.2 Teoria da equação da onda

Devido à simplicidade das fórmulas dinâmicas foi desenvolvida a análise da cravação de estacas pela teoria da equação da onda, que estuda o fenômeno da propagação da onda gerada pelo golpe aplicado no seu topo. Niyama (1983) descreve a aplicação dessa teoria na cravação de estacas.

Quando uma estaca é subitamente carregada por uma força em seu topo, a parte superior é comprimida e as partículas do material da estaca são aceleradas. A onda de tensão propaga-se com uma velocidade c , que depende das características do material. Num determinado intervalo Δt , a onda atravessa um segmento Δx da estaca, intervalo no qual a partícula situada na frente da onda, que tinha uma velocidade $v = 0$ m/s no instante t_1 terá sido acelerada até atingir a velocidade v , deslocando Δu da sua posição inicial. Esta velocidade v não deve ser confundida com a velocidade de propagação da onda c , que representa a velocidade de transmissão das tensões de uma zona para outra e que depende fundamentalmente do nível de tensão imposto.

A deformação da zona comprimida, no caso, coincide com o deslocamento do topo da estaca e, portanto, tem-se:

$$c = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta u}{\Delta x}$$

$$v = \frac{\Delta u}{\Delta t}$$

Resultando em:

$$\varepsilon = \frac{v}{c} \quad (14)$$

Considerando-se A como sendo a área da seção transversal da estaca e E o módulo de elasticidade do material da estaca, tem-se a relação a seguir, pela Lei de Hooke:

$$F = \frac{EA}{c} \cdot v \quad (15)$$

Observa-se que existe proporcionalidade entre a força F e a velocidade v, quando a onda de tensão se propaga numa direção da estaca. Aplicando a segunda Lei de Newton na seção se obtém:

$$F = m \cdot a = \rho \cdot A \cdot \Delta x \cdot \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (16)$$

Desta forma, a partir das Equações 14, 15 e 16 e, considerando o elemento em repouso com velocidade inicial nula, tem-se:

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (17)$$

O fator de proporcionalidade entre força e velocidade é chamado de impedância (Z). Este fator depende exclusivamente de parâmetros do material da estaca e da sua seção transversal (A), dado pela expressão:

$$Z = \frac{EA}{c} = A \sqrt{E\rho} \quad (17-a)$$

Portanto:

$$F = Z \cdot v \quad (18)$$

A propagação de onda pode ser expressa através de equação diferencial. Considerando um segmento de estaca livre, sem atrito lateral causado pelo solo, tem-se:

$$m \cdot a = F_2 - F_1$$

$$A \cdot \rho \cdot dx \cdot \frac{\delta^2 u}{\delta t^2} = \frac{\delta u}{\delta x} \cdot E \cdot A + \frac{\delta^2 u}{\delta x^2} dx \cdot E \cdot A - \frac{\delta u}{\delta x} \cdot E \cdot A$$

$$\frac{\delta^2 u}{\delta t^2} = \frac{\delta^2 u}{\delta x^2} \cdot c^2 \quad (19)$$

A solução geral dessa equação diferencial parcial de segunda ordem é o deslocamento $u(x,t)$.

$$u(x,t) = g(x + ct) + f(x - ct) \quad (20)$$

Esta solução consiste de duas componentes (g e f), às quais correspondem a ondas que se deslocam em sentidos opostos ao longo da estaca a uma velocidade c , que variam com o tempo. Uma componente é denominada “onda descendente” (“*Wave down*” ou “*Wd*”) e a outra é denominada “onda ascendente” (“*Wave up*” ou “*Wu*”). Esta solução significa que a propagação de onda se dá pela superposição de duas funções (ou duas ondas): uma movendo-se do topo para a ponta da estaca e a outra no sentido oposto, ambas com velocidade fixa igual a c . Na prática, não é possível

obter uma solução fechada para a Equação 20. Por isso, são utilizados métodos numéricos para sua solução.

É possível demonstrar que as ondas de força ascendente e descendente, em determinado ponto da estaca, podem ser determinadas conhecendo-se a força e a velocidade de um determinado ponto, por meio das expressões a seguir:

$$W_d = \frac{(F + Zv)}{2} ; W_u = \frac{(F - Zv)}{2} \quad (21)$$

À medida que a onda propagada encontra em seu trajeto elementos como resistência do solo, variações de características do material da estaca e sua ponta, a mesma sofre reflexões e a Equação 18 deixa de ser válida. A resistência do solo ou mudança na área da seção, resistência ou peso específico do material da estaca provocam reflexões ascendentes da onda de tensão, que podem ser analisadas a partir de medições de força e de velocidade obtidas na parte superior da estaca.

A chamada “Equação da onda unidimensional”, que rege o deslocamento de uma partícula da estaca no tempo t a uma distância x ao longo do fuste, a partir do equilíbrio de forças mostrado na Figura 9, onde F_3 é a componente de força resultante do atrito lateral do solo, é dada por:

Figura 9. Equilíbrio de forças na seção x

$$F_1 = \sigma \cdot A = \varepsilon \cdot E \cdot A = \frac{\delta u}{\delta x} \cdot E \cdot A$$

$$F_2 = \left(\frac{\delta u}{\delta x} + \frac{\delta^2 u}{\delta x^2} dx \right) \cdot E \cdot A$$

$$F_3 = \theta \cdot Q_s \cdot dx$$

Designando:

θ – perímetro da estaca, em (m);

Q_s – atrito lateral, em (kN/m²).

Aplicando a Lei de Newton, resulta:

$$m \cdot a = F_2 - F_1 - F_3$$

$$A \cdot \rho \cdot dx \cdot \frac{\delta^2 u}{\delta t^2} = \frac{\delta u}{\delta x} \cdot E \cdot A + \frac{\delta^2 u}{\delta x^2} dx \cdot E \cdot A - \frac{\delta u}{\delta x} \cdot E \cdot A - \theta \cdot Q_s \cdot dx$$

$$\frac{\delta^2 u}{\delta t^2} = \frac{\delta^2 u}{\delta x^2} \cdot \frac{E}{\rho} - \frac{\theta \cdot Q_s}{A \cdot \rho}$$

$$\frac{\delta^2 u}{\delta x^2} \cdot c^2 - \frac{\delta^2 u}{\delta t^2} = \frac{\theta \cdot Q_s}{A \cdot \rho} \quad (22)$$

2.5.1.3 Modelo de Smith (1960)

Smith (1960) propõe uma solução da equação diferencial das ondas ascendente e descendente pelo método de diferenças finitas, representando os elementos que compõem o sistema de cravação e a estaca por um conjunto de massas para as parcelas dos elementos rígidos, bem como molas para as parcelas dos elementos compressíveis. Este modelo mostrado na Figura 10 permite avaliar deslocamentos, velocidades e forças na seção da estaca ao longo do tempo.

Figura 10. Modelo representativo de Smith (1960).

A resistência total do sistema consiste na soma da parcela estática de ponta com a somatória das resistências estáticas ao longo do fuste. Na parcela de atrito lateral, cujo comportamento representado é elasto-plástico linear sob a ação de uma carga estática, a capacidade de carga estática é relacionada ao deslocamento elástico limite de cada elemento, denominado de “*quake*” lateral (q_s). Conforme mostrado no modelo representado por massas e molas, a resistência total de cada elemento é a soma da parcela estática com a parcela dinâmica, que depende do coeficiente de amortecimento do solo (J). Ao final, esta parcela é desconsiderada para a determinação da capacidade de carga estática total, representada pelo Método CASE como RMX, conforme demonstrado a seguir.

2.5.2 Aparelhagem

Em estacas cravadas o próprio bate-estaca utilizado na obra é suficiente para a realização do ensaio de carregamento dinâmico, aproveitando assim a possibilidade de avaliar a eficiência do martelo utilizado. Já em estacas escavadas, é necessário utilizar um aparato com martelo a gravidade capaz de aplicar golpes axiais e concêntricos à estaca, conforme mostrado na Figura 11.

Figura 11. Sistema de impacto para PDA em estacas escavadas (Fonte: PDI Engenharia)

É comum um martelo ser capaz de cravar uma estaca, porém passado algum tempo, devido ao efeito de cicatrização do solo ("set-up") pode não possuir energia suficiente para mobilizar toda a resistência. No caso de se dispor de martelo de queda livre, pode-se aumentar a altura de queda até certo limite. Para estacas moldadas "in loco" faz-se uso de um pilão com peso equivalente a de 1,0 % a 1,5 % da carga de ruptura que se deseja medir. Para estacas cravadas faz-se uso do próprio bate-estaca utilizado na cravação. Para fator de segurança igual a 2,0, isto corresponde a cerca de 2% a 3% da carga de trabalho. Por exemplo, estaca com

carga de trabalho igual a 1.000 kN, com fator de segurança igual a 2,0, é necessário medir 2.000 kN. O pilão deverá ter, portanto, um peso variado de 20 kN a 30 kN.

Para a obtenção dos sinais de força e velocidade são usados dois pares de sensores capazes de medir individualmente a deformação específica e a aceleração da onda, gerada pela aplicação do golpe na seção instrumentada, conforme mostrado na Figura 12. O sensor que capta a deformação é um transdutor de deformação específica, que gera uma tensão proporcional à deformação sofrida pelo material da estaca durante o golpe, cujo sinal é multiplicado pelo módulo de elasticidade do material da estaca e pela área da seção na região dos sensores. Já a velocidade é calculada pela integração da média da aceleração captada pelos acelerômetros. Estes transdutores são fixados por parafusos mediante chumbadores em estacas de concreto ou furos rosqueados para perfis metálicos ou trilhos. Por determinação de norma os sensores devem ser colocados a pelo menos dois diâmetros ou o dobro da maior distância para estacas quadradas e perfis metálicos abaixo do topo.

Figura 12. Sensores do PDA instalados em bloco de coroamento (Fonte: PDI Engenharia)

São utilizados, no mínimo, dois transdutores de cada tipo colocados diametralmente opostos e conectados ao “*Pile Driving Analyzer*” (PDA) via cabo ou via rádio. O PDA é um equipamento que processa os sinais obtidos pelos transdutores instalados na estaca. Dentre as informações obtidas através deste processamento estão: (i) a

resistência estática à penetração (RMX) da estaca calculada através do método simplificado CASE, (ii) a energia máxima do golpe (EMX), (iii) verificação de anomalia estrutural do material que compõe a estaca (Beta), (iv) valores máximos de tensões de compressão (CSX) e (v) tração (TSX) na região dos sensores.

2.5.3 O Método Simplificado CASE

O método simplificado CASE é uma solução fechada da equação da onda, desde que assuma as seguintes hipóteses simplificadoras: (i) a estaca é homogênea, (ii) não há variações de impedância, (iii) material idealmente elástico que não oferece nenhuma resistência à propagação da onda gerada pelo sistema de impacto e (iv) solo rígido com comportamento elasto-plástico ideal. Uma estaca de comprimento L é golpeada no instante t_1 e a força de impacto gera uma onda descendente de tensão $F(t_1)$. No instante t_2 há o retorno ascendente do reflexo da onda que se propagou ao longo de toda a estaca, contendo todas as reflexões devido à resistência do solo ao longo deste intervalo de tempo, que corresponde a:

$$t_2 = t_1 + \frac{2L}{c} \quad (23)$$

Sendo assim, a equação do método CASE, em termos de resistência pode ser definida como:

$$R = \frac{1}{2}(F_1 + Zv_1 + F_2 - Zv_2) \quad (24)$$

onde:

R – Resistência total da estaca no momento do golpe;

F_1 e v_1 – Força e velocidade na região dos sensores no instante t_1 ;

F_2 e V_2 – Força e velocidade na região dos sensores no instante t_2 .

Como esta resistência contempla as parcelas estáticas R_s e dinâmicas R_d do solo e, para determinação da capacidade de carga a parcela estática é a parcela relevante admite-se, portanto, que:

$$R_s = R - R_d \quad (25)$$

2.5.3.1 Fator de amortecimento (“*Damping*”) do CASE

Para calcular a resistência estática a partir da resistência total R , usa-se um parâmetro adimensional J_v para as resistências viscosas, multiplicado pela velocidade calculada na ponta. Este parâmetro é dividido pela impedância para obter o coeficiente de amortecimento do solo J_c . Assim:

$$J_c = \frac{J_v}{Z} \Rightarrow R_d = J_c \cdot Z \cdot v_{ponta} \quad (26)$$

Fazendo as substituições devidas, a parcela estática é calculada como sendo:

$$R_s = (1 - J_c) \left(\frac{F_1 + Zv_1}{2} \right) + (1 + J_c) \left(\frac{F_2 - Zv_2}{2} \right) \quad (27)$$

Através desta equação é possível notar que quanto maior o coeficiente de amortecimento do solo J_c menor será a capacidade de carga estática do sistema estaca-solo. Para a determinação da máxima resistência mobilizada RMX o fator de amortecimento J_c varia entre 0,4 para solos não-coesivos e 1,0 para solos coesivos (RAUSCHE, HUSSEIN, *et al.*, 1994). Quanto maior o tamanho do grão menor seria o coeficiente de amortecimento do solo, conforme Figura 13:

Figura 13. Relação entre tamanho dos grãos e amortecimento do solo J_c

Niyama (1983) afirma que a previsão da capacidade de carga pelo método CASE leva em conta a resistência atuando simultaneamente ao longo de toda a estaca. Portanto, para estacas longas que apresentam uma parcela significativa de atrito lateral, com cravações difíceis e ocorrência de repique, o cálculo pode subestimar a verdadeira capacidade de carga do sistema, pois a velocidade no topo da estaca se torna negativa antes que a onda refletida alcance esta parte superior. Esse

fenômeno provocaria um descarregamento de uma parcela da resistência lateral invertendo os sinais da força de atrito.

2.5.4 A análise CAPWAP (“Case Pile Wave Analysis Program”)

O Método CASE é frequentemente utilizado para avaliar a performance do sistema estaca-solo-martelo durante a cravação de estacas pré-moldadas ou após a sua instalação, em períodos diversos de repouso. Dados obtidos em campo podem posteriormente ser analisados pela análise CAPWAP a fim de avaliar o comportamento da estaca e do solo. Os resultados desta análise incluem a capacidade estática da estaca e distribuição de resistência lateral ao longo do fuste. CAPWAP é um modelo matemático cujos resultados são baseados na qualidade do ajuste entre uma curva de alguma variável calculada e esta mesma variável medida pela aquisição do sinal no topo da estaca (*“Match Quality”*). Enquanto não for atingido um *“match”* satisfatório (ajuste, igualdade entre sinais), o processo iterativo continua, mudando parâmetros relacionados à resistência do solo e, assim, a curva calculada é novamente traçada. A norma brasileira da ABNT, NBR 13208/2007, item 6.3 (Registro, interpretação e análise de dados) traz a seguinte prescrição:

“6.3.4 Os resultados das análises numéricas tipo CAPWAP® devem incluir as seguintes informações básicas: [...] modelo de cargas mobilizadas versus deslocamentos, usando-se o modelo do solo e da estaca”.

Uma vez obtido o melhor ajuste da curva calculada, o resultado final de saída é resumido em quatro gráficos, conforme mostrado na Figura 14. Na parte superior esquerda está o ajuste das curvas de força medida em campo e calculada pelo CAPWAP. No canto superior direito estão as curvas de força e de velocidade medidas pelo programa, que permitem a determinação da resistência mobilizada no ensaio. Na parte inferior no lado esquerdo, está a análise estática simulada, explicada detalhadamente no item 2.5.4.4. Por fim, o gráfico no canto inferior direito está dividido em duas partes, mostrando a distribuição de resistência pelo atrito lateral unitário e a distribuição de resistência no solo em sua parte inferior.

Figura 14. Apresentação dos dados gerados pela análise CAPWAP

2.5.4.1 O modelo da estaca pela análise CAPWAP

O CAPWAP permite calcular as tensões e movimentos dividindo a estaca em N_p segmentos de propriedades uniformes de aproximadamente um metro de comprimento, conforme Figura 15.

Figura 15. Divisão de elementos da estaca no modelo CAPWAP

Cada elemento de estaca (i) possui um tempo de propagação da onda (Δt_i) que se equivale ao incremento de tempo (Δt) para a análise de todos os segmentos. Assim sendo, a velocidade de propagação da onda para um elemento (i) é:

$$c_i = \sqrt{\frac{E_i}{\rho_i}} \quad (28)$$

O comprimento de cada segmento da estaca (ΔL) se torna:

$$\Delta L_i = \Delta t \cdot c_i \quad (29)$$

O CAPWAP assume que os segmentos de estaca são uniformes e linearmente elásticos. Assim, a força de uma onda descendente, F_{ij} em um tempo (j), no topo de um segmento de estaca (i) é igual à onda na base deste mesmo segmento, porém em um tempo (j+1). Por consequência, se não houver nenhuma variação na seção transversal ou no módulo de elasticidade da estaca, o topo do segmento abaixo (i+1) terá a mesma força F, em um tempo j+1.

Na análise, são registradas as propagações das ondas descendentes e ascendentes e suas forças são somadas e, as velocidades de propagação equivalem da diferença das duas ondas dividida pela impedância da estaca no segmento i (Z_i), onde:

$$Z_i = \frac{E_i \cdot A_i}{c_i} \quad (30)$$

2.5.4.2 Modelo do solo pela análise CAPWAP

O deslocamento e a velocidade de cada segmento de estaca em relação ao solo são a base para a determinação da resistência do solo. O modelo do solo inclui R_{Ns} elementos de atrito lateral e a resistência de ponta, fundamentado a partir do modelo de Smith (item 2.5.1.3), que representa os elementos de atrito lateral como elementos massa-mola e amortecedor que requerem os seguintes parâmetros, conforme mostra a Figura 16-a, onde:

R_{ui} – Resistência estática mobilizada em cada elemento ao longo do fuste;
 q_s – “*Quake*” lateral do elemento de solo ao longo do fuste;
 R_t – Resistência estática mobilizada na ponta;
 q_t – “*Quake*” da ponta;
 J_i e J_t – Coeficientes de amortecimento do solo no fuste e na ponta da estaca;
 m_{pl} – “embuchamento” de solo na ponta da estaca;
 t_g – Vazio entre a ponta da estaca e o solo;
 R_{Ns} – Elementos de solo.

O “*quake*” (q_s para o fuste e q_t , para a ponta) é importante para o cálculo do deslocamento estático, pois é a distância que a estaca deve se deslocar para baixo até que se atinja a máxima resistência mobilizada do solo de um determinado elemento em um golpe. A capacidade de carga estática total (R_s) é a somatória dos valores de R_{ui} , resistências dos elementos do fuste e da ponta. Este modelo permite, inclusive, considerar o embuchamento de solo na ponta em estacas vazadas.

Figura 16. Representação esquemática do solo pelo CAPWAP

Na Figura 16-b, a representação esquemática do solo pelo CAPWAP é uma extensão do modelo original de Smith (1960) (Figura 10), acrescentando parâmetros de propagação da onda irradiada, denominado “*Radiation Damping*”, onde:

m_s – Massa de solo aderida no fuste da estaca;

m_t – Massa de solo ao redor da ponta da estaca;

J_{SK} e J_{BT} – Coeficientes de “*Radiation Damping*” no fuste e na ponta da estaca.

O modelo de resistência do solo de Smith (1960) considera o movimento da estaca para o cálculo das resistências mobilizadas de cada elemento. Ao sofrer o golpe, a estaca também exerce uma força que causa movimento no solo ao seu redor. Forças viscosas, que estão relacionadas à velocidade e não ao deslocamento, exercem resistência à penetração da estaca. A definição tradicional de Smith da resistência dinâmica em um determinado elemento de solo k , é:

$$R_{dk} = J_{sk} \cdot \dot{u}_i \cdot R_{sk} \quad (31)$$

A Equação 31 mostra que a determinação da resistência dinâmica R_{dk} depende da velocidade $\dot{u}_i$, da resistência estática R_{sk} e do coeficiente de amortecimento do solo J_{sk} . Entretanto, para ajuste dos sinais é mais conveniente utilizar coeficientes de viscosidade linear, pois podem ser atribuídos independentemente da magnitude da resistência estática. O coeficiente de amortecimento de Smith pode ser computado, portanto, por coeficientes de viscosidade J_{vk} (atribuindo $R_{sk}=R_{uk}$), utilizando a relação denominada de “aproximação Smith-viscosa”:

$$J_{sk} = J_{vk}/R_{uk} \quad (32)$$

Nessa expressão, R_{uk} corresponde à máxima resistência estática mobilizada R_u no elemento de solo k . A partir daí o coeficiente de amortecimento do solo J_c no método CASE é definido como sendo a somatória dos coeficientes de viscosidade de todos os elementos dividido pela impedância do material que compõe a estaca Z :

$$J_c = \sum (J_{vk})/Z \quad (33)$$

No CAPWAP o amortecimento pode ser determinado a partir do coeficiente de amortecimento J_c do método CASE ou com o amortecimento Smith-viscoso J_{sk} . Entretanto, qualquer modificação nas resistências estáticas irá alterar os valores de

J_{sk} , enquanto que J_c , que não depende da mobilização de resistências estáticas permanece inalterado.

A Figura 17 ilustra a relação entre a resistência estática lateral e o deslocamento do fuste da estaca. Na fase de carregamento, a resistência estática aumenta até a estaca se deslocar em uma distância equivalente ao “quake” lateral q_s , ponto onde atinge o valor de resistência mobilizada R_u . A partir daí se inicia o trecho plástico da curva de carregamento, cuja resistência mobilizada permanece constante até o deslocamento máximo da estaca neste elemento de solo, denominado u_{px} .

Figura 17. Curva resistência estática versus deslocamento do fuste da estaca (Fonte: Pile Dynamics, 2006)

A seguir ocorre a fase de descarregamento com um coeficiente angular definido pelo “quake” de descarregamento q_u (“unloading quake”) no eixo dos deslocamentos até uma resistência negativa R_{nu} . Esta resistência corresponde ao limite mínimo, definido pela equação:

$$R_{nu} = -U_n \cdot R_u \quad (34)$$

onde U_n é um multiplicador do descarregamento lateral. O modelo de Smith (1960) para a resistência estática lateral assume que durante o repique da estaca como efeito elástico da aplicação do golpe, sua resistência no descarregamento é de mesma magnitude da máxima resistência à compressão. Extensiva utilização do CAPWAP demonstra que nem sempre isso ocorre. A variável U_n assume valores de

0 a 1, sendo este último correspondente ao modelo tradicional de Smith (1960), enquanto que 0 não permite a mobilização de resistências negativas durante o repique elástico da estaca. Esta variável é adotada ao longo de todo o fuste (na ponta, U_n vale sempre 0). Em casos nos quais a cravação da estaca é fácil, não há compressão elástica significativa da estaca e U_n vale 0. Se houver um segundo ciclo de carregamento, a curva de resistência aumenta com inclinação igual à fase de descarregamento até atingir uma certa carga R_I , a partir da qual o aumento de resistência acompanha a inclinação da fase de carregamento, conforme mostra a Figura 17 (RAUSCHE *et al.*, 2010).

Para a ponta existe relação análoga, exceto no que diz respeito à fase de descarregamento, cuja resistência permanece nula. À medida que a ponta da estaca move para baixo, a resistência pode eventualmente permanecer nula por algum vazio existente (“*Resistance Gap*”), graficamente representado por t_g e, a partir daí, aumenta linearmente por uma distância q_t (“*quake*” de carregamento da ponta) até atingir a máxima resistência mobilizada de ponta R_t , e mantém-se constante até atingir o deslocamento máximo, u_t (ver Figura 18). Para total ativação da resistência de ponta, o deslocamento deve ser maior que a soma do “*quake*” q_t com o vazio t_g .

No descarregamento, a estaca se movimenta para cima a uma distância denominada q_{tu} (“*quake*” de descarregamento para a ponta) e sua curva de resistência retorna a zero. Dependendo do impacto e do movimento da estaca podem haver oscilações na ponta, gerando um novo ciclo de carregamento, demonstrado na Figura 18. Entretanto, o valor do nível de recarga R_{LT} é definido inicialmente como nulo. É válido salientar que R_{LT} não traz informações significativas para determinação da capacidade de carga na ponta e raramente requer algum tipo de ajuste na análise CAPWAP (PILE DYNAMICS, 2006).

Figura 18. Curva resistência estática versus deslocamento da ponta da estaca (PILE DYNAMICS, 2006)

Quando não há movimento da estaca suficiente para mobilizar as resistências laterais de cada elemento, o solo deixa de ser representado pelo modelo massa-mola original de Smith (1960) e é aplicado o conceito de “*Radiation Damping*”, uma irradiação propagada no solo que não é consumida pelo atrito lateral ao longo da estaca, representada numa extensão do modelo simplificado de Smith (1960) com novos valores para massa (m_s para o fuste e m_t para a ponta) e amortecedor (J_{sk} para o fuste e J_{bt} para a ponta), conforme a Figura 16.

Um exemplo deste fenômeno é para o caso de estacas apoiadas em rocha sã, onde a estaca, ao sofrer o golpe do martelo exerce uma força de compressão, gerando uma onda que irradia para a rocha sem causar deslocamentos significativos no fuste. Outro exemplo refere-se a estacas com ponta em solo com nega menor que 2 mm. Como não há deslocamento suficiente para mobilizar o atrito lateral do solo ao longo do fuste, os parâmetros que dependem do “*quake*” são substituídos pela representação do “*Radiation Damping*”, que trata da resistência lateral do solo ao longo do fuste como sendo uma função da velocidade da onda que se propaga em toda a estaca (PILE DYNAMICS, 2006).

2.5.4.3 Procedimento do CAPWAP para cálculo da resistência estática

Os resultados gerados pelo CAPWAP são fundamentalmente valores de resistências mobilizadas e deslocamentos a partir dos “*quakes*” laterais e de ponta. Estes dados, em conjunto com as propriedades e dimensões da estaca, são suficientes para a distribuição da resistência lateral ao longo do fuste e para a simulação da curva carga-recalque. Para o cálculo da distribuição da resistência estática lateral, as forças de resistência do solo causam reflexões secundárias, de mesma magnitude e direções opostas em um tempo $\frac{2 \cdot x}{c}$, onde x é a profundidade do elemento de solo e c é a velocidade de propagação da onda na estaca. Portanto, Rausche *et al.* (1994) afirmam que a distribuição da resistência lateral máxima mobilizada no golpe para todos os elementos pode ser diretamente determinada pela aquisição de porções de reflexões entre o impacto e o tempo da reflexão da primeira onda ascendente. Os “*quakes*” podem ser calculados pela velocidade do aumento de resistência após o tempo $\frac{2 \cdot L}{c}$. Os coeficientes de amortecimento J_i são calculados através da duração da ativação da resistência total R (Figura 16).

Assim, o Método da Envoltória Máxima de Resistência Lateral consiste na somatória das maiores mobilizações de resistência ao longo do fuste de todos os elementos de solo, determinadas a partir das análises CAPWAP de todos os sinais registrados dos golpes aplicados durante o ensaio dinâmico com energia crescente, com a máxima resistência de ponta mobilizada. Nas análises CAPWAP sequenciais para o desenvolvimento do Método da Envoltória Máxima existem alguns parâmetros que se mantêm constantes e devem ser considerados em todas as análises como, por exemplo, variações de impedância do material que compõe a estaca, “*slacks*” de tração e a velocidade de propagação de onda.

2.5.4.4 Análise estática da curva carga-recalque do topo simulada do CAPWAP

Os deslocamentos de ponta medidos pelo CAPWAP são impostos como condição de contorno. O equilíbrio de forças e deslocamentos no topo é computado ignorando os efeitos viscosos do solo (RAUSCHE *et al.*, 1994).

Este procedimento é repetido diversas vezes com diferentes valores de deslocamentos adotados para a ponta. Assim, há o registro das cargas e deslocamentos resultantes para o topo da estaca, que possibilita o traçado da curva carga-recalque, conforme mostrado na Figura 14, do item 1.8.4.

Esse procedimento tem algumas limitações que devem ser consideradas:

- A curva carga-recalque calculada representa uma prova de carga estática que foi feita durante uma fração de segundos. Por esse motivo, o resultado não consegue incluir nenhum recalque causado pela ação do tempo, como o adensamento das camadas de solo ao redor ou sob a estaca;
- A curva carga-recalque representa uma prova de carga estática realizada no fim da cravação ou instalação da estaca ensaiada, o que pode gerar uma diferença para ensaios estáticos realizados com tempo suficiente para recuperação do atrito lateral do solo após um período de repouso depois de sua instalação ("*set-up*");
- Para estacas de concreto, o módulo de elasticidade usado no cálculo da curva carga-recalque da análise estática é o mesmo determinado pelo PDA. O módulo de elasticidade estático é geralmente menor que o módulo dinâmico, por isso há um fator de redução no software para considerar esta diferença.

Para a análise estática da curva carga-recalque do topo é necessário o conhecimento do módulo de elasticidade estático da estaca E , quando ela não é de aço. Nesses casos, pode-se recorrer à seguinte relação empírica apresentada por Lydon e Balendran (1986):

$$E = 0,83 \cdot E_d \quad (35)$$

onde E_d é o módulo de elasticidade dinâmico, determinado através do trecho inicial das curvas medidas de força F e velocidade v . Nesse trecho, antes de ocorrer qualquer reflexão da onda "*Wave Up*", $F=Z.v$, donde se extrai Z e, finalmente E_d , por meio das Equações 17-a e 17.

2.6 ENSAIO DE CARREGAMENTO DINÂMICO COM ENERGIA CRESCENTE – EFEITOS DA CICATRIZAÇÃO DO SOLO

Segundo Cintra *et al.* (2013), a introdução do ensaio dinâmico com energia crescente foi feita pelo engenheiro Nelson Aoki em 1987, quando observou em um caso de obra com estacas de grande diâmetro, que o ensaio de carregamento dinâmico com energia constante conduzia a valores de carga muito menores do que a capacidade resultante da PCE. Em síntese, o ensaio dinâmico com energia constante fornecia apenas um ponto da curva carga-recalque. Com a obtenção de inúmeros pontos é possível dispor de uma curva de resistência estática mobilizada e deslocamentos (AOKI, 1989).

A Figura 19 mostra a curva RMX-DMX obtida em um ensaio de carregamento dinâmico com energia crescente, no qual foram aplicados 4 golpes, mobilizando resistências estáticas e provocando deslocamentos máximos correspondentes.

Os deslocamentos são compostos de parcelas elásticas K e permanentes S. Em um ensaio de carregamento dinâmico crescente é possível observar comportamento de ruptura do sistema quando o valor da nega atinge valores cada vez maiores, correspondentes à energia aplicada e o valor do repique elástico se mantém praticamente constante.

Em estaca escavada, os ensaios dinâmicos são realizados em um período de tempo após a sua instalação para garantir a resistência do material que a compõe. Em estaca cravada, os ensaios podem ser realizados alguns dias após sua cravação a fim de garantir resistência adicional do sistema, por conta da cicatrização do solo. O sistema de impacto deve transmitir energia suficiente para que seja mobilizada toda a resistência de ponta e de atrito lateral do sistema estaca-solo. Porém, a aplicação de golpes com altura de queda crescente não mobiliza tais resistências em seus golpes iniciais com pequena energia. Assim, mobilizações dinâmicas podem ocorrer apenas na aplicação dos últimos golpes, enquanto que os de menor energia podem ter alterado as condições iniciais do solo em camadas próximas à cabeça da estaca e dos sensores instalados no fuste (RAUSCHE, RICHARDSON e LIKINS, 1996).

2.6.1 Análise de tensão residual (RSA) utilizando CAPWAP

As análises tradicionais utilizam o CAPWAP apenas para o golpe de maior energia ou que mobilize maior resistência durante o ensaio dinâmico. Entretanto, a interpretação dos resultados de um ensaio utilizando apenas um golpe pode induzir a limitações e conclusões incompletas a respeito da capacidade portante do sistema ensaiado. Em estacas longas e compressíveis, as análises CAPWAP podem apresentar resultados aparentemente subestimados e distorcidos na distribuição de resistência ao longo do fuste e na ponta, por conta de tensões residuais não consideradas na análise tradicional. O motivo disso reside no fato de que no final de um dado golpe as resistências laterais mobilizadas nas camadas superiores do sistema estão direcionadas em sentido negativo em virtude da compressibilidade do elemento estrutural em relação ao solo, ou seja, em direção à ponta da estaca, enquanto que as resistências laterais mobilizadas em camadas inferiores podem estar no sentido positivo, em direção à cabeça da estaca. Nessas condições, durante o golpe subsequente, as forças negativas das camadas superiores decrescem até serem completamente anuladas e, somente após este ponto as resistências se tornam positivas contribuindo com o atrito lateral do sistema estaca-solo. Este comportamento faz com que as camadas inferiores sofram menores deformações e mobilizem menores resistências.

Como o método convencional da análise CAPWAP considera que as tensões e deformações do sistema antes do ensaio são nulas, isso tende a superestimar os valores de atrito lateral das camadas superiores e subestimar estes valores nas camadas inferiores e de ponta. Portanto, a análise de tensões residuais (RSA), embora não mude significativamente a resistência total, traz um refinamento na distribuição das resistências mobilizadas do atrito lateral ao longo do fuste (FELLENIOUS, 2015).

A seguir, sintetiza-se o procedimento utilizado pelo CAPWAP:

- A análise das tensões residuais se inicia com todas as variáveis referentes ao solo e à estaca com valores iguais a zero;
- Em seguida, são computados os deslocamentos de todos os elementos da estaca ao longo da profundidade para cada golpe aplicado e, esses deslocamentos residuais são mantidos como condição inicial do golpe seguinte;
- As tensões residuais estão diretamente ligadas à variável de descarregamento U_n (“*Unloading Level*”), já citada no item 2.5.4.2. Portanto, como pré-requisito para a análise de tensões residuais, o valor desta variável deve ser maior do que 0.

2.7 “SET-UP” EM ESTACAS

O efeito chamado “*set-up*” é conhecido há muito tempo e vem sendo considerado na engenharia geotécnica, especialmente em obras que utilizam estacas cravadas em argilas moles. Trata-se do fenômeno de recuperação de capacidade de carga de estacas ao longo do tempo, conhecido também como o processo de cicatrização do solo. É comum observar o comportamento de estacas cravadas com significativa redução de nega após um período de repouso, se comparada àquela obtida no momento de sua cravação. Isso evidencia um provável aumento de capacidade de carga ao longo do tempo, porém de difícil quantificação, pois a relação entre capacidade de carga e nega não pode ser determinada por uma proporcionalidade direta.

Os ensaios de carregamento dinâmicos têm sido as principais ferramentas práticas para a avaliação do “set-up”, pois a complexidade dos fenômenos envolvidos e a dificuldade de realização dos ensaios de laboratório ou de campo representativos ainda não permite a previsão do “set-up” com acurácia. A avaliação do “set-up” de forma mais detalhada foi possível com o advento e prática do ensaio de carregamento dinâmico, que possibilita a determinação da capacidade de carga imediatamente após a instalação da estaca e ao longo do tempo, após diversos períodos de repouso. Este fenômeno tem sido avaliado por diversos estudos e, apesar da grande maioria dos casos documentados indicarem um acréscimo significativo de capacidade de carga, é possível notar a grande variabilidade de resultados conforme mostrado na Figura 20.

Figura 20. Dados de medição de “set-up” da bibliografia (BILFINGER, 2010)

O quociente (Q/Q_0) mostra a relação entre a capacidade de carga ao longo do tempo com a capacidade de carga inicial no momento da cravação da estaca. Estes dados também mostram que dez dias são, em geral, tempo suficiente para que se note grande influência do “set-up”. Resultados coletados em bibliografia mostram grande variabilidade no “set-up” mesmo sendo avaliados em regiões com estratigrafia do solo aproximadamente iguais. Para quantificar o “set-up” através do ensaio de carregamento dinâmico de maneira correta devem ser observados alguns pontos importantes sobre a obtenção de dados, como:

- a) boa correlação entre a prova de carga estática e o ensaio de carregamento dinâmico;

- b) a mobilização significativa da resistência para não falsear os resultados de incremento de capacidade de carga;
- c) a mobilização do atrito lateral na recravação em estacas longas, pois a aplicação de diversos golpes com energia crescente pode “quebrar” o ganho de resistência obtido pela cicatrização do solo e;
- d) os intervalos de tempo entre o final de cravação da estaca e o ensaio realizado na recravação deve ser registrado com precisão.

Para atender a todos estes requisitos, conforme proposto no presente trabalho, será mostrado um estudo de caso na região de Cubatão cujos ensaios de carregamento dinâmico foram realizados em diversos períodos de repouso. Foi aplicada a mesma sequência de golpes com energia crescente em uma estaca, que também foi submetida a prova de carga estática. Considerando o atrito lateral como o responsável pelo aumento da capacidade de carga com o tempo, a avaliação será realizada com foco na relação entre o atrito lateral num certo período e o atrito lateral no final da cravação, sendo definido, portanto, como “*set-up*” lateral.

2.7.1 Métodos empíricos para estimativa do “*set-up*”

Dentre os métodos utilizados para estimar o ganho de capacidade de carga ao longo do tempo as metodologias empíricas preponderam na bibliografia. Rausche (1996) apresenta valores típicos e faz recomendações para diversos tipos de solo na estimativa do “*set-up*”, conforme Tabela 6, a seguir:

Tabela 6. Valores de "Set-up" propostos por Rausche et al. (1996)

Tipo de solo	Faixa de valores de "Set-up"	Fator de "Set-up" recomendado
Argila	1,2-5,5	2,0
Silte-Argila	1,0-2,0	1,0
Silte	1,5-5,0	1,5
Areia-argila	1,0-6,0	1,5
Areia-silte	1,2-2,0	1,2
Areia fina	1,2-2,0	1,2
Areia	0,8-2,0	1,0
Areia-cascalho	1,2-2,0	1,0

Nota-se uma grande variabilidade nas faixas de valores propostas e os valores do fator de “*set-up*” recomendados são conservadores, válidos para simulações de cravação das estacas através de programas que utilizam a equação da onda. Skov e Denver (1988) apresentaram medidas de ganho de capacidade de carga com o tempo e concluíram que, a partir de um determinado tempo inicial t_0 , o ganho de capacidade de carga se torna aproximadamente linear com o logaritmo do tempo e que a relação entre o “*set-up*” e o tempo pode ser representado pela Equação 36:

$$Q/Q_0 - 1 = A' \log(t/t_0) \quad (36)$$

onde:

Q - capacidade de carga no tempo t;

Q_0 - capacidade de carga inicial no tempo t_0 ;

A' - fator que depende do solo, cuja faixa de valores está entre 0,1 e 0,8.

Posteriormente, tal formulação foi apresentada de maneira similar por Svinkin & Skov (2000) com a diferença de que a capacidade de carga de referência é aquela calculada no final de cravação, assumindo que o ensaio é realizado em $t=0,1$ dia (2,4 horas). O parâmetro que modela o “*set-up*” foi denominado “B”, cujos valores típicos variam entre 1,6 e 3,5:

$$Q/Q_0 - 1 = B' (\log(t) + 1) \quad (37)$$

A faixa de valores recomendadas pelos autores leva a valores de “*set-up*” bastante elevados, superiores às outras formulações empíricas. Assumindo $B'=0,1$ a $0,5$, as curvas de ganho de resistência com o tempo praticamente equivalem àquelas propostas por Skov e Denver (BILFINGER, 2010). A capacidade de carga utilizada na abordagem apresentada é a total, sem distinção entre o atrito lateral e capacidade de carga de ponta e, a escolha do valor de t_0 afeta de forma significativa o valor de A' . Há uma correlação linear entre o aumento de resistência do solo ao longo do fuste e o logaritmo da razão de tempo decorrido após o final de cravação da estaca (BULLOCK, SCHMERTMANN e MCVAY, 2005). Assim, Bullock (2005) propôs algumas padronizações e alterações na formulação apresentada por Skov e Denver:

$$f/f_0 - 1 = A' \log(t/t_0) \quad (38)$$

onde:

f - atrito lateral no tempo t ;

f_0 - atrito lateral inicial no tempo t_0 ;

- Padronizar o valor de t_0 como sendo 0,1 hora.
- Utilizar “A” somente para o atrito lateral, quando possível.

Em Bullock (2008) são propostas alterações do valor de t_0 como sendo de 1 dia e um diferente intervalo de valores do parâmetro “A”. Tais proposições não foram consideradas no presente estudo pelo fato da metade dos ensaios dinâmicos para estimativa do “set-up” terem sido realizados com períodos de repouso menores que 1 dia. Komurka *et al.* (2003) idealizaram a capacidade de carga de estacas em função do tempo em 3 fases. Na fase 1, a variação na capacidade de carga não é constante com o logaritmo do tempo, ocorrendo em um curto período após a cravação e sua duração depende do tipo de solo e dimensões da estaca. Na fase 2, o acréscimo da capacidade de carga é linear com o logaritmo do tempo e ocorre até a dissipação total dos excessos de pressões neutras. E, a fase 3 é definida após a dissipação das pressões neutras quando pode ocorrer ganho de capacidade de carga devido ao fenômeno de envelhecimento do solo. As três fases estão representadas na Figura 21:

Figura 21. Gráfico esquemático do desenvolvimento do efeito “Set-up” com o logaritmo do tempo (Komurka *et al.* apud SILVA, 2016)

Nota-se que nesta relação o termo t_0 se refere ao tempo no qual o efeito “*set-up*” se torna linear com o logaritmo do tempo. Portanto, para a determinação de t_0 são necessários valores da capacidade de carga em diversos intervalos de tempo após a cravação. Na prática, o valor de t_0 pode ser obtido através de retroanálises com ensaios de carregamento dinâmico ou estático realizados em estacas teste ou através de valores empíricos disponíveis em bibliografia específica, obtidos através de diversos resultados de ensaios de campo (SILVA, 2016).

2.7.2 Estimativa de “*set-up*” através de análises CAPWAP combinadas

Liang *et al.* (2014) executaram ensaios de carregamento dinâmico em diversos períodos de repouso no mar da China com o objetivo de obter uma estimativa prévia da resistência estática lateral a longo prazo. Foram aplicados golpes com energia constante para cada repouso e traçada a envoltória de atrito lateral unitário com os máximos valores mobilizados para cada segmento do sistema estaca-solo. O método auxiliou na obtenção de uma estimativa mais precisa da capacidade de carga de longo prazo, isto é, a resistência calculada com base em golpes iniciais para a parte superior da estaca e em golpes posteriores para a parte inferior utilizando alturas de queda constantes do sistema de impacto.

É o que mostra a Figura 22, com 3 golpes analisados pelo CAPWAP (números 3, 13 e 55) de uma sequência de golpes aplicados em um ensaio dinâmico com energia constante, realizado 20 horas após a cravação da estaca. O golpe de número 3, no início do ensaio, mobiliza resistências estáticas maiores nos primeiros 80 metros da estaca, ao passo que o golpe de número 55 tem maiores mobilizações apenas nos últimos elementos próximos da ponta.

Figura 22. Distribuição do atrito lateral unitário de 3 análises CAPWAP de sinais coletados com recravação de 20 horas de repouso (LIANG et al., 2014).

A partir das distribuições de resistência lateral dos 3 golpes analisados, é traçada a Envoltória Máxima de Resistência Lateral para 20 horas de repouso, como mostra a linha contínua da Figura 23. Quanto maior o número de golpes analisados pelo CAPWAP mais precisa é a envoltória. No entanto, mesmo o último golpe do repouso de 20 horas não foi suficiente para mobilizar toda a resistência do sistema. Portanto, tal envoltória ainda pode ser considerada uma solução de limite inferior ou conservadora.

Baseado nos resultados apresentados por estes autores, referentes à distribuição do atrito lateral unitário, fica evidente que o “set-up” é significativo neste local. As distribuições de atrito lateral para o final de cravação, repouso de 4 horas e a envoltória com repouso de 20 horas foram plotados juntos na Figura 23 (LIANG et al., 2014).

Figura 23. Atrito lateral unitário (kPa) para final de cravação, 4 horas de repouso e envoltória de 20 horas de repouso (LIANG et al., 2014).

Através do atrito lateral unitário, obtido com a envoltória para 20 horas de repouso, foi elaborado um gráfico de fator de atrito (f/f_0) em função do logaritmo do tempo para o atrito lateral total e para a camada de argila predominante, com a equação proposta por Bullock (2005) para obtenção do parâmetro “A” mostrado na Figura 24.

Figura 24. Fatores de “set-up” lateral (LIANG et al., 2014).

2.8 MODELO NUMÉRICO BASEADO NAS FUNÇÕES DE TRANSFERÊNCIA DE CARGA

Uma limitação das fórmulas dinâmicas e estáticas reside no fato de que não fornecem informações a respeito do carregamento e deslocamento da estaca. Isso mostra a importância de um método numérico que possa definir o comportamento de uma estaca carregada axialmente e estabelecer uma correlação entre a carga transferida para o solo e o deslocamento da estaca. Neste estudo será apresentado o método numérico de Coyle-Reese (1966).

2.8.1 Método de Coyle-Reese (1966)

A Figura 25 mostra o esquema de uma estaca dividida em n elementos. O que se deseja obter é a carga aplicada no topo Q_0 e seu deslocamento correspondente y_0 .

Figura 25. Elementos de estaca e funções de transferência de carga de atrito e ponta

O procedimento deste método se inicia a partir do último elemento da estaca assumindo que sua base (ou ponta) tenha sofrido um pequeno deslocamento e, a partir daí as forças e deslocamentos dos elementos superiores são calculados até o topo utilizando as funções de transferência de carga de atrito lateral e de ponta.

O método de Coyle-Reese (1966) segue os procedimentos detalhados a seguir:

1. a estaca é subdividida em n elementos (Figura 25-a);
2. adota-se um valor para o recalque da ponta (y_p);
3. calcula-se o valor da carga na ponta (Q_p) associado ao recalque (y_p) por meio da fórmula de Boussinesq (placa rígida circular), isto é:

$$Q_p = \frac{2 \cdot D \cdot E_p \cdot y_p}{(1 - \nu^2)} \quad (39)$$

ou através de uma função de transferência de carga conhecida para a ponta (Figura 25-c);

4. admite-se que $y_n = y_p$, no centro do n -ésimo elemento. Entra-se no gráfico de atrito lateral por deslocamento do fuste ($f-y_f$) (função de transferência de carga por atrito do n -ésimo elemento) e extrai-se o valor de f_n , conforme Figura 25-b;
5. estima-se o valor da força normal (P_n) no topo do n -ésimo elemento de altura h_n , através da expressão:

$$P_n = Q_p + f_n \cdot h_n \cdot \pi D \quad (40)$$

se este elemento não for o último (base da estaca), $Q_p = P_{n-1}$.

6. determina-se o encurtamento (deformação elástica) do elemento em sua metade inferior (com módulo de elasticidade E e seção transversal A), através da expressão:

$$\Delta e_n = \frac{\left(\frac{Q_p + P_n}{2} + Q_p \right) \cdot \left(\frac{h_n}{2} \right)}{2 \cdot E \cdot A f} \quad (41)$$

7. com o resultado deste encurtamento calcula-se novamente o novo deslocamento y'_n :

$$y'_n = y_p + \Delta e_n \quad (42)$$

8. se este novo deslocamento não for igual a y_n ($y_n \neq y'_n$) o processo é repetido até atingir a convergência de valores dos deslocamentos;
9. a partir desta convergência o processo se inicia com o elemento acima (n-1), até nova convergência e, sucessivamente, até o elemento do topo, onde haverá o cálculo da carga e seu respectivo recalque (Q_0-y_0); e
10. este processo é repetido com diferentes deslocamentos para a ponta (y_p) a fim de obter diversos valores da curva carga-recalque.

2.8.2 Uso da Envoltória Máxima no Método de Coyle-Reese (1966)

Com o objetivo de validar os resultados obtidos através da Envoltória Máxima de Resistência Lateral, o método de Coyle-Reese (1966) foi aplicado em todos os casos de obra utilizando as funções de transferência de carga calculadas pelo CAPWAP das camadas de solo, a fim de comparar as curvas resultantes deste método com as curvas obtidas nas provas de carga estática. Conforme descrito no item 2.5.4.2, o “*quake*” (RAUSCHE *et al.*, 1994) é importante para o cálculo do deslocamento estático, pois é a distância que a estaca deve se deslocar para baixo até que se atinja a máxima resistência mobilizada do solo de um elemento em um golpe. A partir deste ponto, todos os deslocamentos decorrentes do golpe aplicado serão deslocamentos permanentes e não haverá maiores mobilizações de resistência. Cada golpe aplicado durante o ensaio com energia crescente mobiliza diferentes valores de resistência estática lateral e consequentemente diferentes valores de “*quake*” q_s . A média dos maiores valores de resistência estática para cada camada de solo será utilizada para determinar o máximo valor de atrito lateral unitário ($f_{máx}$) e seu deslocamento correspondente (y_n), nos procedimentos de cálculo do método de Coyle-Reese (1966), conforme mostra a Figura 26. O número de “n” elementos no método de Coyle-Reese (1966) (Figura 25-a do item 2.9), será igual ou maior ao número de camadas de solo determinadas a partir da sondagem local. Cada camada de solo tem sua função de transferência de carga determinada através da aplicação do Método da Envoltória Máxima de Resistência Lateral, cujas características são definidas por:

2.9 ENERGIA COMPLEMENTAR COMO CRITÉRIO DE RUPTURA EM ESTACAS

Aoki (1997) afirma que a definição da carga de ruptura estática de uma estaca submetida a carga axial de compressão é controversa devido às diferentes interpretações dadas à forma da curva carga-recalque. O problema está na concepção de uma curva carga-recalque que correlaciona uma variável independente (carga aplicada) com uma variável dependente (recalque sofrido pela estaca). A forma da curva carga-recalque resulta de variabilidades inerentes ao elemento estrutural, ao maciço de solos e aos diferentes tipos de aplicação de carregamento. A definição de ruptura deve, portanto, conter não só o valor da carga de ruptura como a forma da curva, concepção que implica incluir a energia potencial de deformação na definição deste estado limite último. No ensaio de carregamento dinâmico o equilíbrio é dinâmico e a energia cinética aplicada se transforma em energia de deformação elástica, em trabalho das forças estáticas e de amortecimento dinâmico. De modo análogo ao caso estático, a energia de deformação elástica e o trabalho das forças estáticas e de amortecimento são limitados pela capacidade de carga estática última do sistema. Em ambos os ensaios se verifica a impossibilidade de se atingir a ruptura física do sistema e as definições de carga de ruptura utilizadas são relacionadas às energias de deformações finitas. Entretanto, o ensaio de carregamento dinâmico de energia crescente permite a aplicação do critério de ruptura do sistema a partir da energia complementar. O conceito da aplicação de energia variada no ensaio de carregamento dinâmico levou à interpretação de que no ensaio com energia constante, pelo fato de obter apenas um ponto de uma curva da resistência estática mobilizada *versus* deslocamento, é imposta a ruptura nítida com a curva passando pelo ponto obtido com energia de aplicação constante, podendo induzir a erros de interpretação ao comportamento do sistema ensaiado. Com a obtenção de inúmeros pontos de resistências mobilizadas e diversos deslocamentos é possível obter uma curva de resistência estática mobilizada *versus* deslocamentos do tipo aberta sem caracterização de ruptura.

Aoki (1997) concluiu que a energia potencial complementar se torna constante na ruptura física do sistema porque as reações não crescem mais a partir da energia

correspondente aplicada, assim, resistências de atrito e de ponta se tornam constantes. Este conceito é mais evidente no ensaio de carregamento dinâmico com energia crescente. No contexto de eventos dinâmicos aplica-se o princípio da conservação de energia de Hamilton. O princípio da conservação de energia de Hamilton declara que a variação das energias cinética e potencial com o trabalho de forças não conservativas entre os instantes t_1 e t_2 é igual a zero. Portanto, uma vez esgotada a capacidade de reação do solo toda energia adicional se transforma em trabalho de forças não-conservativas e o sistema passa a se deslocar como um corpo rígido, com incrementos linearmente crescentes de nega (S). Nessas condições, caracteriza-se a ruptura do sistema estaca-solo.

Figura 27. Curva carga-recalque da prova de carga estática (AOKI, 2000).

A Figura 27 apresenta uma curva carga-recalque onde o ponto A corresponde ao recalque provocado pela carga Q . Verifica-se que o acréscimo de carga ΔQ provoca o acréscimo de deslocamento Δs , enquanto a curva descreve o trajeto AB. Quando o recalque s tende para o infinito ao acréscimo de carga ΔQ , isso corresponde a um acréscimo de energia potencial ΔV_s (área ABDEA), que tende para o infinito. Neste caso a carga Q tende para a carga de ruptura Q_u sobre a reta JG , assíntota vertical sobre a curva carga-recalque.

A área $OAEO$ corresponde à energia potencial de deformação V_s acumulada pelo sistema no trajeto OA , enquanto a área $OFAO$ corresponde à energia potencial

complementar V_c no mesmo trajeto. Admitindo-se que a curva carga-recalque da Figura 27 seja representada pela expressão de Van der Veen (1953), pode-se deduzir que a energia potencial de deformação V_s vale:

$$V_s = Q_u \left[s - \frac{(1 - \exp^{-\alpha \cdot s})}{\alpha} \right] \quad (44)$$

Esta expressão mostra que, na ruptura física, quando o recalque s tende para o infinito a energia potencial tende para o infinito, situação inatingível e não adequada para fins de engenharia. A Figura 27 mostra que a energia potencial complementar V_c pode ser calculada pela diferença:

$$V_c = Q \cdot s - V_s \quad (45)$$

Considerando as expressões de Van der Veen (1953) e a Equação 44, deduz-se que:

$$V_{cu} = \frac{Q_u}{\alpha} [1 - (1 + \alpha \cdot s) \cdot \exp^{-\alpha \cdot s}] \quad (46)$$

Esta expressão indica que no limite, quando a carga aplicada tende para Q_u e o recalque s para o infinito, a energia potencial complementar tende para um valor constante igual a:

$$V_{cu} = \frac{Q_u}{\alpha} \quad (47)$$

Conclui-se que na ocorrência de ruptura física a energia complementar V_c tende para um valor constante V_{cu} , quando a energia potencial V_s e o recalque s tendem para o infinito, podendo ser utilizado como novo parâmetro de valor infinito que define este estado limite. A Equação 46 mostra que a constante V_{cu} relaciona o valor da carga de ruptura física Q_u com a forma da curva carga-recalque representada pelo valor α , parâmetro que expressa as variabilidades do elemento estrutural, do maciço de solos e dos diferentes modos de aplicação da carga, além daquela que leva o sistema à ruptura física.

Derivando-se parcialmente a expressão da energia complementar em relação à carga Q , verifica-se que a função Q atinge um máximo ou mínimo quando:

$$\frac{\delta V_c}{\delta Q} = 0 \quad (48)$$

Portanto, pela análise da variação da energia potencial complementar com o carregamento é possível saber quão próximo se encontra a ruptura física, uma vez que sua taxa de variação se anula quando a resistência do sistema atinge seu valor máximo. A carga de ruptura física Q_u corresponde a um valor situado sobre a reta assíntota vertical à curva de carregamento. Este fato implica o conhecimento da forma desta curva, mostrando a necessidade de algo além do valor de Q_u para ser definida a ruptura do sistema. Nas provas de carga estáticas, nas quais não se mede a variação da energia do sistema nem a carga de ruptura, a vantagem de se utilizar esta concepção não é tão evidente quanto na prova de carga dinâmica de energia cinética crescente, onde medidas de energia fazem parte da metodologia do ensaio.

2.9.1 Princípio de Hamilton da conservação de energia

O princípio de Hamilton utiliza quantidades escalares de energia em forma variacional, expresso na Equação 48, a seguir:

$$\int_{t_1}^{t_2} \delta(T - V)dt + \int_{t_1}^{t_2} \delta(W_{nc})dt = 0 \quad (49)$$

Onde:

T – Energia cinética total do sistema;

V – Energia potencial do sistema, incluindo a energia de deformação e potencial de quaisquer forças conservativas externas;

W_{nc} – Trabalho efetuado pelas forças não conservativas que agem sobre o sistema no intervalo de tempo indicado, incluindo forças de amortecimento e qualquer carga externa arbitrária;

δ – variação ocorrida durante o intervalo de tempo indicado.

O princípio da conservação de energia de Hamilton estabelece que a variação das energias cinética e potencial, mais a variação do trabalho efetuado pelas forças não conservativas atuantes sobre o sistema, incluindo o trabalho efetuado pelo amortecimento, somado a qualquer força externa arbitrária considerada durante qualquer intervalo de tempo deve ser igual a zero. Para cada impacto de energia crescente o PDA fornece a energia cinética total aplicada à estaca, a partir da expressão:

$$T = \int_{t_1}^{t_2} F(x, t) \cdot v(x, t) dt \quad (50)$$

onde:

T – energia cinética total aplicada;

F(x,t) – força na seção x no tempo t;

V(x,t) – velocidade na seção x no tempo t.

O impacto provoca um deslocamento máximo (DMX no PDA) ao qual corresponde uma resistência total R calculada pelo método CASE a partir da somatória das parcelas estáticas e dinâmicas. Os valores de energia cinética T, resistência total R, resistência estática R_s e deslocamento máximo DMX são medidos diretamente pelo ensaio dinâmico através do PDA a partir da monitoração de cada golpe aplicado no ensaio com energia crescente. Além destes valores, a nega é medida diretamente com papel e lápis no momento do ensaio pelo procedimento de Chellis (1951) e o repique K é a diferença entre o deslocamento máximo e a nega.

Aoki (1997) afirma que para fins de comparação, os valores de energia cinética podem ser estimados a partir da curva de resistência total mobilizada por deslocamento dinâmico fornecido pelo PDA, a partir da expressão aproximada:

$$T_{(curva\ PDA)} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{R_{(i)} + R_{(i-1)}}{2} \right) \cdot (DMX_{(i)} - DMX_{(i-1)}) \quad (51)$$

O ponto C da curva de resistência total por deslocamento dinâmico da Figura 28 corresponde ao último impacto com maior altura de queda do martelo. A área OCDO

corresponde à energia cinética T aplicada ao sistema no trajeto OC, valor que engloba as energias aplicadas nos impactos de menores alturas anteriores.

Figura 28. Curva de resistência total por deslocamento dinâmico (AOKI, 2000)

O ponto I corresponde ao deslocamento permanente e a área OCIO corresponde ao trabalho efetuado pelas forças não-conservativas atuantes durante o evento dinâmico, incluindo o trabalho das forças de amortecimento do sistema. A área CDIC é igual à energia de deformação elástica V devolvida pelo sistema ao final do impacto. De acordo com o princípio da Hamilton, pode-se escrever que:

$$(T - V) - W_{nc} = 0 \quad (52)$$

Onde:

$$V \cong R(D' - S)/2 \quad (53)$$

Como $D' - S = K$ e $R = R_s + R_d$, a Equação pode ser escrita da seguinte forma:

$$T \cong W_{nc} + (R_s + R_d) \cdot \left(\frac{K}{2}\right) \quad (54)$$

A energia cinética complementar T_c é definida a partir da curva idealizada de resistência total por deslocamento dinâmico e pode ser expressada por:

$$T_c \cong (R \cdot K/2) \quad (55)$$

A Figura 29 apresenta os pontos da curva de resistência estática R_s por deslocamento dinâmico D' obtidos com as medidas efetuadas pelo PDA. Esta resistência estática se refere ao valor do modelo de Smith (1960).

Figura 29. Curva de resistência estática por deslocamento dinâmico (PDA) (AOKI, 2000).

A área OAEO corresponde à energia de deformação potencial V_s , acumulada pelo sistema no trajeto OA, devido à parcela estática da resistência mobilizada durante o impacto de maior altura de queda do martelo. A área OFAO corresponde à energia complementar potencial V_c no mesmo trajeto. A área AEBA é igual à parcela de energia de deformação elástica V_e . Neste caso, a energia de deformação potencial V_s pode ser estimada a partir desta curva pela expressão aproximada:

$$V_{s(\text{curva PDA})} = \sum_{(i=1)}^{(n)} \left(\frac{R_{s(i)} + R_{s(i-1)}}{2} \right) \cdot (D'_{(i)} - D'_{(i-1)}) \quad (56)$$

A energia potencial complementar V_c pode ser estimada pela expressão:

$$V_{c(curva PDA)} = R_S \cdot D' - \sum_{(i=1)}^{(n)} \left(\frac{R_{S(i)} + R_{S(i-1)}}{2} \right) \cdot (D'_{(i)} - D'_{(i-1)}) \quad (57)$$

A parcela de energia de deformação elástica V_e corresponde ao valor:

$$V_e \cong R_S \left(\frac{K}{2} \right) \quad (58)$$

O trabalho realizado pela parcela elástica das forças pode ser estimado pela expressão:

$$W_s = (V_s - V_e) \quad (59)$$

Para um dado deslocamento a diferença entre as energias de deformação do sistema estaca-solo, na prova de carga dinâmica e na prova de carga estática, pode ser estimada pela expressão:

$$W_a = (T - V_s) = W_{nc} - W_s + (R_d \cdot K/2) \quad (60)$$

onde W_a corresponde à diferença de energia de deformação nos eventos dinâmicos e estáticos. Portanto, no evento dinâmico a energia de deformação V cresce com o aumento da energia cinética T , antes do início da penetração permanente. Sob a ação de energias crescentes aplicadas durante o ensaio, os materiais que compõem o sistema na zona onde se inicia a plastificação começam a se comportar como um material cada vez mais rígido até que, na ruptura, esgota-se a capacidade do sistema de acumular energia de deformação elástica e a energia complementar atinge um valor máximo definido como V_{cu} .

Uma vez esgotada a capacidade de reação do solo, toda energia adicional aplicada ao sistema transforma-se em trabalho das forças não-conservativas e o sistema passa a se deslocar como um corpo rígido (AOKI, 1997).

3 CAPÍTULO 3 – CASOS DE OBRA

Neste capítulo estão apresentadas as principais características das obras, resultados obtidos, dados geotécnicos relevantes e análises propostas a respeito da Envoltória Máxima de Resistência Lateral ao longo da profundidade de três (3) casos de obras situadas no Estado de São Paulo.

3.1 OBRA 1: TERMINAL DA BTP NA BAIXADA SANTISTA

3.1.1 Características da obra

O primeiro caso estudado refere-se às fundações do cais da Brasil Terminal Portuário (BTP) na região da Baixada Santista, localizado na margem direita do Canal da Piaçaguera no Porto de Santos, SP (Figura 30).

Figura 30. Terminal de contêineres (Fonte: Andrade Gutierrez)

A obra de implantação da BTP é composta por Cais, Laje de Alívio, Retroárea e Edificações. O ensaio de carregamento dinâmico e a prova de carga estática foram realizados em uma estaca pré-moldada denominada EC1304, localizada no Cais Trecho 5. A planta de layout e a localização aproximada da estaca EC1304 são apresentadas na Figura 31.

Figura 31. Planta de Layout da BTP e localização aproximada da estaca EC1304 (Fonte: Andrade Gutierrez)

A estaca era pré-moldada, com seção circular vazada, diâmetro externo de 80 cm e parede de 15 cm, com área nominal de concreto da seção transversal igual a 3.062,05 cm². A estaca possuía comprimento total de 52,00 m, no qual 43,32 metros estão cravados no solo. Essas características e outros dados estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7. Característica e outros dados da estaca EC1304

Estaca	Diâmetro		Comprimento			Veloc. de onda	Módulo Dinâmico
	externo	interno	Total	Instrumen- tado	Cravado		
Nome	(cm)	(cm)	(m)	(m)	(m)	m/s	GPa
EC1304	80,0	50,0	52,0	50,8	43,4	3.700	33,5

A estaca foi cravada em 29 de maio de 2012 com a utilização de um martelo hidráulico Junttan HHK com peso do pilão de 16.000 kg, através da aplicação de 1.027 golpes com alturas de queda do martelo crescentes nos primeiros dez metros de penetração, atingindo valor máximo de 80 cm de altura de queda que foi mantida constante até o final da cravação. Durante os 20 metros iniciais, a estaca penetrou no solo com uma taxa aproximadamente constante de 50 centímetros a cada 20 golpes aplicados e, a partir deste ponto, com o mesmo número de golpes, a

penetração reduziu para 20 cm até atingir a cota final com 43,4 m de seu comprimento cravado.

3.1.2 Perfil geológico local

O subsolo local foi determinado a partir de diversos ensaios de campo. Trata-se de uma região com grande variabilidade do solo ao longo de sua extensão com comportamento geotécnico variado. As principais camadas de solo sedimentar encontradas na região da estaca ensaiada são brevemente descritas a seguir:

- camada superficial de argila de “Sedimentos Flúvio-Lagunares” (SFL) muito mole, marinha, com cerca de 20,0 m de espessura, que são, em geral, levemente sobreadensadas;
- camada de areia fina argilosa medianamente compacta a compacta (SPT variando de 7 a 33 golpes), com cerca de 8,0 m de espessura;
- camada de argila transicional (AT) com SPT da ordem de 7. Esta camada é caracterizada por elevado sobreadensamento devido a um rebaixamento do nível do mar no pico da última glaciação;
- última camada de areia grossa, compacta, com SPT da ordem de 40.

Informações mais detalhadas sobre estes tipos de sedimentos podem ser encontrados em “Solos Marinhos da Baixada Santista - Características e Propriedades Geotécnicas” (MASSAD, 2009). De acordo com as coordenadas de projeto e o boletim de cravação, as sondagens mais próximas são denominadas SP-02, SP-300 e SP-317 a uma distância máxima de aproximadamente 20 metros da estaca ensaiada deste estudo de caso, conforme mostra a Figura 32. A Figura 33 mostra os perfis geológicos esquemáticos de dessas sondagens. Apesar da sondagem SP-300 ser mais próxima, a sua profundidade é menor do que o comprimento cravado da estaca ensaiada. As três sondagens revelaram grande variabilidade entre si nas camadas abaixo da argila SFL. A Figura 34 fornece informações sobre o SPT das várias camadas de subsolo referentes à sondagem SP-02 e a Figura 35 do SP-317, consideradas mais representativas do solo atravessado pela estaca EC1304.

Figura 32. Sondagens mais próximas da estaca EC1304

Figura 33. Perfis geológicos esquemáticos das sondagens mais próximas à estaca EC 1304

Figura 34. Perfil geotécnico da região – SP-02 – Obra 1

Figura 35. Perfil geotécnico da região – SP-317 – Obra 1

3.1.3 Métodos semiempíricos por Aoki-Velloso (1975) e Décourt-Quaresma (1978) – Estaca EC1304

A partir das informações obtidas do perfil geotécnico local através da sondagem de simples reconhecimento são apresentados resultados da aplicação dos métodos semiempíricos de Aoki-Velloso (1975) e Décourt-Quaresma (1978) para as sondagens SP-02 e SP-317. De sua análise conclui-se que as estimativas das resistências de atrito e de ponta são maiores para a estratigrafia do solo obtida da sondagem SP-317 conforme mostra a Tabela 8, ratificando afirmação anterior sobre a grande variabilidade do subsolo local. O Anexo I apresenta os resultados das aplicações dos métodos semi-empíricos para as sondagens SP-02 e SP-317.

Tabela 8. Resultados obtidos a partir dos métodos semiempíricos - Obra 1

Métodos	Resistência máxima mobilizada (kN)		
	Atrito	Ponta	Total
SP-02 - Aoki-Velloso (1975)	4.384	6.721	11.105
SP-02 - Décourt-Quaresma (1978)	5.043	6.535	11.578
SP-317 - Aoki-Velloso (1975)	8.252	7.037	15.289
SP-317 - Décourt-Quaresma (1978)	7.305	9.852	17.157

As Figuras 36 e 37 mostram que as curvas resultantes da aplicação dos métodos semiempíricos para as duas sondagens são similares. Q ponta tem valores praticamente nulos nos primeiros 20 metros de profundidade, o que condiz com a camada de argila SFL presente neste trecho e as diferenças das curvas abaixo deste ponto entre os dois resultados se dão por conta da presença de diferentes camadas de solo argiloso e arenoso entre os dois perfis. Os resultados são apresentados também nas Tabelas AI-1, AI-2, AI-3 e AI-4 do Anexo I.

Figura 36. Curvas de resistência lateral e ponta em função da profundidade – SP-02

Figura 37. Curvas de resistência lateral e ponta em função da profundidade – SP-317

3.1.4 Prova de carga estática – Estaca EC1304

A prova de carga estática foi realizada durante os dias 7 e 8 de agosto de 2012, cerca de 70 dias após a cravação da estaca, utilizando um conjunto de bombas, macaco hidráulico e manômetro de 4.200 kN apoiados sobre um bloco de concreto sob estrutura formada por 2 vigas e 4 estacas de reação. Não há informação da distância das estacas de reação com a estaca ensaiada. Para a medição de deslocamentos foram utilizados 4 defletômetros de 50 mm. A Tabela 9 e a Figura 38 mostram os resultados obtidos.

Tabela 9. Prova de carga estática - Estaca EC1304.

Estágio	Hora	Tempo	Pressão	Carga	Recalques (Média das Leituras)
		(min)	kPa	(kN)	(mm)
0			0	0	0
1	19:45	0	5.000	844	2,14
	19:47	00:02		844	2,15
	19:49	00:04		844	2,15
	19:53	00:08		844	2,15
2	20:00	0	10.000	1.678	4,44
	20:02	00:02		1.678	4,46
	20:04	00:04		1.678	4,46
	20:08	00:08		1.678	4,47
3	20:10	0	15.000	2.521	7,17
	20:12	00:02		2.521	7,20
	20:14	00:04		2.521	7,22
	20:18	00:08		2.521	7,22
	20:25	00:15		2.521	7,24
4	20:27	0	20.000	3.365	10,13
	20:29	00:02		3.365	10,18
	20:31	00:04		3.365	10,19
	20:35	00:08		3.365	10,22
	20:42	00:15		3.365	10,23
5	20:43	0	25.000	4.208	13,33
	20:45	00:02		4.208	13,36
	20:47	00:04		4.208	13,38
	20:51	00:08		4.208	13,41
	20:58	00:15		4.208	13,44
6	21:00	0	29.000	4.876	16,3
	21:02	00:02		4.876	16,38
	21:04	00:04		4.876	16,39

Estágio	Hora	Tempo	Pressão	Carga	Média das Leituras
	21:08	00:08		4.876	16,42
	21:15	00:15		4.876	16,45
	21:30	00:30		4.876	16,5
7	21:45	0	32.000	5.376	18,74
	21:55	00:10		5.376	18,82
8	21:57	0	34.000	5.719	19,96
	22:07	00:10		5.719	20,04
9	22:09	0	37.000	6.220	22,38
	22:19	00:10		6.220	22,48
10	22:22	0	39.000	6.553	23,94
	22:32	00:10		6.553	24,02
11	22:37	0	42.000	7.063	27,06
	22:47	00:10		7.063	27,19
12	22:50	0	44.000	7.397	28,22
	23:00	00:10		7.397	28,31
13	23:07	0	47.000	7.907	30,98
	23:17	00:10		7.907	31,09
14	23:22	0	50.000	8.407	33,43
	23:32	00:10		8.407	33,59
	23:52	00:30		8.407	33,71
	00:22	01:00		8.407	33,92
	00:52	01:30		8.407	34,07
	01:22	02:00		8.407	34,14
15	01:48	0	390	6.220	32,53
	01:58	00:10		6.220	32,48
16	01:59	0	290	4.876	26,78
	02:09	00:10		4.876	26,72
17	02:13	0	200	3.365	20,92
	02:23	00:10		3.365	20,86
18	02:26	0	100	1.678	14,99
	02:36	00:10		1.678	14,91
19	02:38	0	0	0	6,21
	02:48	00:10		0	6,05
	03:08	00:30		0	6,00
	03:38	01:00		0	5,96

A carga máxima mobilizada na prova de carga estática foi de 8.407 kN, cuja curva é mostrada na Figura 38. O recalque máximo atingiu 34,14 mm e, após o descarregamento, o recalque permanente foi de 5,96mm.

Figura 38. Curva carregamento-deslocamento - Estaca EC1304

3.1.5 Ensaio de carregamento dinâmico com energia crescente – Estaca EC1304

A estaca EC1304 foi ensaiada dinamicamente no dia 06 de junho de 2012, portanto cerca de 8 dias após a sua cravação. Foram aplicados golpes com as seguintes alturas de queda: 20; 40; 60; 80; 100; 120; 120; 120 e 120 cm.

3.1.5.1 Método CASE – Estaca EC1304

Os dados de entrada usados nas análises são mostrados na Tabela 7. A velocidade de propagação de onda bem como o módulo dinâmico foram determinados a partir das curvas de força e velocidade em função do tempo no golpe de maior resistência mobilizada que, neste caso, foi o último golpe aplicado. Ao obter os sinais coletados em campo, o golpe de maior energia foi analisado pelo CAPWAP para determinação da máxima carga mobilizada e cálculo do fator de amortecimento do solo J_c , cujo resultado foi 0,32. Este coeficiente foi considerado válido para todos os golpes aplicados com energia crescente e os resultados são mostrados na Tabela 10.

Tabela 10. Resultados obtidos pelo método CASE - Estaca EC1304

Alturas de Queda do Martelo	RMX	DMX	EMX	Nega (S)
(cm)	(kN)	(mm)	(kN-m)	(mm)
20	3.438	10,9	26,3	0
40	4.264	13,4	37,7	0
60	5.001	15,9	51,8	0
80	5.916	19,7	76,4	0
100	6.632	22,2	95,3	1,0
120	7.143	24,2	112,0	1,0
120 ⁽¹⁾	7.560	25,3	122,5	1,0
120 ⁽²⁾	7.799	25,8	127,2	1,0
120 ⁽³⁾	8.042	26,4	133,2	0,98

A curva obtida através do método CASE se aproxima bem da curva da prova de carga estática na fase de carregamento, como mostra a Figura 39. Os deslocamentos do ensaio dinâmico são os deslocamentos máximos DMX com a somatória das negas de cada golpe, conforme procedimento de Aoki (1997).

Figura 39. Curvas de carregamento estático e dinâmico - Estaca EC1304 - Método CASE

3.1.5.2 Análise CAPWAP do último golpe – Estaca EC1304

O último golpe aplicado ($120^{(3)}$ cm), correspondente à máxima mobilização de resistência, foi utilizado para a primeira análise CAPWAP. Conforme detalhado no item 2.5.4.4, a análise CAPWAP gera uma curva de carregamento por deslocamento simulando uma prova de carga estática. A Tabela 11 fornece alguns dos resultados numéricos obtidos referentes ao melhor “*Match Quality*”.

Tabela 11. Resultados obtidos pela análise CAPWAP - golpe de 120 cm - Estaca EC1304

Estaca	Capacidade Total	Resistência de Atrito		Resistência de Ponta		Quake Lateral Máximo	Quake de Ponta
Nome	kN	kN	%	kN	%	mm	mm
EC1304	8.042	6.204	77	1.838	23	2,31	3,32

Dessa forma é possível realizar uma comparação gráfica entre a curva estática simulada pela análise CAPWAP com a curva obtida na prova de carga estática, conforme mostrado na Figura 40.

Figura 40. Curvas CAPWAP e prova de carga estática - golpe de 120 cm - Estaca EC1304

A Figura 40 evidencia excelente correlação entre os resultados obtidos na estaca EC1304 para as provas de carga estática e dinâmica. Outro resultado da análise CAPWAP foi a determinação da distribuição da resistência lateral ao longo do fuste da estaca, conforme mostram a Tabela 12 e a Figura 41.

Tabela 12. Distribuição de resistência lateral - Estaca EC1304

Elementos do Sistema	Comprimento Cravado	Ru
Nº	(m)	(kN)
0	0	0
1	0,6	1
2	2,7	20
3	4,7	96
4	6,7	96
5	8,8	104
6	10,8	76
7	12,8	77
8	14,9	86
9	16,9	127
10	18,9	134
11	21,0	123
12	23,0	490
13	25,0	578
14	27,1	886
15	29,1	1110
16	31,1	1028
17	33,2	343
18	35,2	242
19	37,2	244
20	39,3	115
21	41,3	115
22	43,3	116
Resistência de ponta (kN)		1.838
Resistência total (kN)		8.042

Figura 41. Resistência lateral versus comprimento cravado de um golpe (120 cm) - Estaca EC1304

A Figura 41 revela uma distribuição do atrito lateral consistente com o perfil do subsolo no que se refere à camada de argila SFL até aproximadamente 22 metros de profundidade, onde o atrito lateral é pouco significativo. Entre os trechos de 25 metros e 33 metros de comprimento observa-se significativo aumento de resistência lateral, provenientes de camadas de areia mais resistentes nesta profundidade. Como foi destacado acima, as 3 sondagens mais próximas da estaca EC1304 revelaram grande variabilidade entre si nas camadas abaixo da argila SFL.

3.1.6 Energia complementar como critério de ruptura – Estaca EC1304

A Tabela 13 mostra os valores das resistências estáticas calculadas pelo Método CASE para cada golpe, adotando o J_c igual a 0,32, valor determinado da forma indicada acima. Mostra também os valores de deslocamentos DMX, da nega S, da energia cinética T, da força medida na região dos sensores $F_{máx}$, da resistência total R, da energia complementar cinética T_c e da energia de deformação complementar estática V_c .

Tabela 13. Parâmetros obtidos na prova de carga dinâmica - Estaca EC1304

H	R	RMX	Rd	DMX	S	T	K	Fmáx	Tc	Vc
(cm)	kN	kN	kN	mm	mm	kJ	DMX-S	kN	kJ	kJ
20	3715	3438	277	10,9	0,0	26,3	0,011	2839	20,2	18,7
40	4630	4264	366	13,4	0,0	37,7	0,013	3228	31,0	28,6
60	5384	5001	383	15,9	0,0	51,8	0,016	3768	42,8	39,8
80	6358	5916	442	19,7	0,0	76,4	0,020	4684	62,6	58,3
100	7162	6632	530	22,2	1,0	95,3	0,021	5158	75,9	70,3
120	7737	7143	594	24,2	1,0	112,0	0,023	5644	89,7	82,9
120	8046	7560	486	25,3	1,0	122,5	0,024	6084	97,8	91,9
120	8162	7799	363	25,8	1,0	127,2	0,025	6385	101,2	96,7
120	8361	8042	319	26,4	0,98	133,2	0,025	6620	106,3	102,2

A Figura 42 mostra que a resistência cresce com o aumento da altura de queda aplicada sem nenhuma tendência de estabilização e, por isso, não se caracteriza a ruptura bem definida.

Figura 42. Resistência total por deslocamento dinâmico – Estaca EC1304

Na Figura 43 apresentam-se as curvas de variação de energia cinética T , da energia complementar T_c e da energia potencial complementar V_c com o valor da altura de queda H .

Figura 43. Curvas da variação de T , T_c , V_c e RMX com H - Estaca EC1304

A Figura 43 indica que as energias complementares crescem e a resistência não se torna constante, indicando que a ruptura não foi atingida. Esta conclusão se torna mais clara ao examinar as curvas de variação de energia total T e das energias complementares T_c e V_c , conforme mostrado na Figura 44. As energias complementares apresentam tendência de aumento com o valor da carga mobilizada RMX no ensaio.

Figura 44. Curvas de T , T_c e V_c com a resistência RMX - Estaca EC1304

A aplicação do princípio de Hamilton aos golpes dados nesta estaca resulta nos valores indicados na Tabela 14 e na Figura 45.

Tabela 14. Energia e trabalho dos golpes com energias crescentes - Estaca EC1304

H	Vs	Ws	Wa
(m)	(kJ)	(kJ)	(kJ)
20	18,7	0,0	7,5
40	28,6	0,0	9,1
60	39,8	0,0	12,0
80	58,3	0,0	18,1
100	76,9	6,6	18,3
120	112,3	7,9	23,1

Figura 45. Transformações de energia ao longo do ensaio de carregamento dinâmico - Estaca EC1304

Conclui-se, portanto, que os valores de resistência e das energias complementares T_c e V_c aumentam gradativamente com o aumento da energia cinética total aplicada em cada golpe, indicando que não há indício de ruptura do sistema pelo critério da energia complementar. Além disso, não há indício de ruptura por conta do elemento estrutural da estaca.

3.1.7 Envoltória Máxima de Resistência Lateral – Estaca EC1304

A Tabela 15 e a Figura 46 mostram os resultados das análises CAPWAP em cada golpe aplicado na estaca. As células da Tabela 15 com cor amarela destacam a máxima mobilização de resistência para todos os elementos ao longo do fuste. É possível notar que, no primeiro trecho do sistema estaca-solo, o atrito lateral atinge valores máximos na aplicação dos golpes de menor energia, ao passo que tais resistências máximas laterais são atingidas nos últimos elementos com aplicação de golpes com energias maiores.

Tabela 15. Distribuição do atrito lateral em todos os golpes aplicados – Estaca EC1304

Comprimento cravado (m)	Ru (kN)								
	20 cm	40 cm	60 cm	80 cm	100 cm	120 cm	120 ¹ cm	120 ² cm	120 ³ cm
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,6	29	1	7	4	0	8	1	7	1
2,7	79	29	29	28	19	23	9	19	20
4,7	115	127	123	114	118	104	91	89	96
6,7	129	146	138	112	109	99	92	92	96
8,8	131	137	148	87	97	99	92	79	104
10,8	125	140	128	99	91	92	92	79	77
12,8	125	132	136	106	81	91	89	80	77
14,9	163	167	164	145	115	91	81	102	86
16,9	198	198	174	145	137	148	145	136	128
18,9	255	266	199	182	192	162	169	132	134
21,0	288	336	526	505	309	170	180	181	123
23,0	282	455	634	686	615	505	577	368	490
25,0	379	455	611	800	856	1027	1032	1093	578
27,1	450	327	421	458	866	1041	976	1101	886
29,1	218	272	282	498	875	1053	1122	1047	1110
31,1	175	208	219	398	590	434	571	852	1028
33,2	125	143	203	248	251	321	194	185	343
35,2	104	113	196	193	214	200	144	116	242
37,2	104	113	130	89	130	149	143	115	244
39,3	104	113	78	95	80	138	141	114	115
41,3	90	99	73	124	50	138	140	113	115
43,3	64	70	71	143	29	138	139	111	115
Atrito Lateral	3730	4046	4685	5260	5825	6231	6220	6206	6204
Resistência de Ponta (kN)	444	545	966	987	1391	1440	1813	1816	1838

A Figura 46 confirma graficamente tais resultados. À medida que a energia aplicada durante o ensaio de carregamento dinâmico aumenta, nota-se que a resistência lateral diminui ao longo do fuste e a resistência na ponta da estaca vai sendo mobilizada gradativamente. Os resultados das análises CAPWAP de todos os golpes encontram-se de maneira detalhada no Anexo AII-1.

Figura 46. Mobilização de resistência lateral dos golpes - Estaca EC1304

A cada novo golpe aplicado o solo sofre alterações e perde parte da resistência recuperada durante a fase de cicatrização. A Figura 47 permite comparar graficamente a resistência lateral mobilizada no último golpe de 120 cm (120³) com a envoltória máxima, em linha tracejada.

Figura 47. Resistência lateral do último golpe vs envoltória máxima – Estaca EC1304

Quanto maior o número de análises CAPWAP mais suavizada é a curva resultante da envoltória máxima. A envoltória de resistência lateral da estaca EC1304 evidencia algumas considerações a respeito do atrito lateral:

- (a) os golpes de 20 cm a 80 cm mobilizaram maiores resistências estáticas laterais até aproximadamente 24 metros de profundidade, que coincide com a camada homogênea da Argila SFL mostrada nas três sondagens mais próximas;
- (b) os primeiros 20 metros de profundidade mostram uma redução gradativa do atrito lateral à medida que a altura de queda do martelo aumenta a cada novo golpe aplicado, até um limite mínimo de resistência estática lateral. O último golpe com maior altura de queda aplicado (120 cm), representado graficamente na cor preta da Figura 46, está no limite mínimo das resistências mobilizadas nos primeiros elementos do sistema, até aproximadamente 22 metros de profundidade;

(c) na segunda metade de elementos do sistema, as resistências laterais dos golpes iniciais são baixas. Nestes casos, o “quake” lateral foi decrescente em direção à ponta da estaca, indicando que esses golpes não foram suficientes para mobilizar o máximo da resistência lateral em camadas inferiores.

A cada análise estática simulada no método da envoltória, o ponto final de descarregamento é considerado o ponto inicial da curva estática simulada do golpe subsequente. Assim, é realizada uma análise cíclica para cada golpe registrado, conforme mostrado na Figura 48. A prova de carga estática está representada na cor preta. O conjunto de curvas oriundas da aplicação de golpes sequenciais com energia crescente mantém bom ajuste com a curva da prova de carga estática. É possível notar que não houveram indícios de ruptura, como foi enfatizado anteriormente, em particular na prova de carga estática, com carga máxima mobilizada de 8.407 kN.

Figura 48. Comparação entre curva estática e envoltória – Estaca EC1304

A Tabela 16 mostra que a contribuição de ponta possui o mesmo valor para a análise CAPWAP de um só golpe e do método da envoltória máxima. Isso ocorre porque o último golpe aplicado (120⁽³⁾) foi o que mobilizou a maior resistência de ponta dentre todos os golpes aplicados no ensaio.

Tabela 16. Resultados finais obtidos - Estaca EC1304

Ensaio / Método	Resistência máxima mobilizada (kN)		
	Atrito	Ponta	Total
SP-02 - Aoki-Velloso (1975)	4.384	6.721	11.105
SP-02 - Décourt-Quaresma (1978)	5.043	6.535	11.578
SP-317 - Aoki-Velloso (1975)	8.252	7.037	15.289
SP-317 - Décourt-Quaresma (1978)	7.305	9.852	17.157
Prova de Carga Estática	-	-	8.407
CAPWAP - Individual (120⁽³⁾ cm)	6.204	1.838*	8.042
Envoltória Máxima	8.247	1.838*	10.085

A Figura 49 compara a distribuição da resistência lateral e do atrito lateral unitário estimados com base: (i) no Método de Décourt-Quaresma (1978) (sondagem SP-02); (ii) na análise CAPWAP do golpe de 120⁽³⁾ cm e (iii) na Envoltória Máxima de Resistência Lateral.

Ao longo dos primeiros 20 metros de profundidade, as estimativas têm resultados muito próximos correspondentes à camada de argila SFL e, a partir desta profundidade, a grande variabilidade de resultados mostra que a sondagem pode não condizer com as camadas de solo no local da estaca EC1304, como foi enfatizado acima.

Figura 49. Atrito unitário – Décourt-Quaresma vs 120⁽³⁾ vs Envoltória Máxima – Estaca EC1304

3.1.8 Análise de tensão residual (“RSA”) – Estaca EC1304

Neste caso de obra foi feita uma análise de tensão residual (“RSA” ou “*Residual Stress Analysis*”) através do CAPWAP, detalhada no item 2.7.1. Esta análise foi realizada em conjunto com o engenheiro Garland Likins (2016) da PDI-USA. A distribuição da resistência lateral está apresentada na Figura 50, juntamente com os resultados das análises apresentadas anteriormente, referentes ao golpe de 120 cm e à Envoltória Máxima. Vale destacar na Figura 50 que no trecho predominante da argila SFL não se constata diferença em termos da distribuição de resistência lateral entre a “RSA” e a análise relativa ao golpe de 120 cm, exceto nos trechos onde predominam solos arenosos. Porém, ao comparar com a Envoltória Máxima, as diferenças são compensadas ao considerar a resistência lateral proveniente de mobilizações dos golpes anteriores.

Figura 50. Distribuição de resistência lateral - Análise Residual - Estaca EC1304

3.1.9 Diagrama de forças normais mobilizadas – Estaca EC1304

Na Figura 51 é apresentado o diagrama de forças normais, proveniente da distribuição das resistências laterais ao longo do fuste resultantes das análises CAPWAP de cada golpe aplicado. Este diagrama mostra como a força aplicada axialmente é consumida pelo atrito lateral até atingir a resistência de ponta da estaca. A forma das curvas na Figura 51 evidencia a influência de tensões residuais na metade inferior da estaca, justificando a diferença das distribuições de resistências laterais a partir dos 25 metros de profundidade entre as curvas da Figura 50 do item 3.1.8, na análise de tensão residual (“RSA”).

Figura 51. Diagrama de forças normais - Estaca EC1304

Ao observar a Figura 51, conclui-se que à medida que a energia transferida à estaca aumenta, as curvas que representam o diagrama de forças normais se tornam cada vez mais paralelas entre si, o que evidencia a condição de amolgamento do solo. É possível perceber no trecho da argila SFL, até aproximadamente os 22 metros de profundidade da estaca que, quanto maior a energia aplicada, menor é a inclinação da curva em relação ao eixo vertical. Essa tendência de verticalização dos diagramas se deve à mobilização máxima do atrito lateral nos primeiros golpes aplicados e, nos golpes subsequentes de maior energia, ao progressivo amolgamento do solo, com menor atrito lateral mobilizado. Se em algum trecho do diagrama a curva estiver paralela ao eixo das ordenadas, isso indicaria que o atrito lateral é nulo. Tal diagrama justifica o método da Envoltória Máxima de Resistência Lateral, cuja proposta é recuperar as maiores mobilizações de atrito lateral em golpes com aplicações menores de energia. Mesmo com a maior altura de queda do martelo utilizada durante o ensaio, a energia aplicada não foi suficiente para o aumento do atrito lateral em camadas inferiores.

3.1.10 Coyle-Reese (1966) aplicado na estaca EC1304

Conforme explicado no item 2.8, os resultados da análise CAPWAP de atrito lateral unitário e “quake” lateral são os dados de entrada para estabelecer a função de transferência de carga de cada camada, que compõe a estratigrafia do solo no local onde a estaca foi cravada. Sendo assim, é apresentado a seguir a aplicação do método de Coyle-Reese com os dados obtidos apenas no último golpe aplicado e, posteriormente, utilizando os resultados obtidos no método da Envoltória Máxima de Resistência Lateral.

3.1.10.1 Método de Coyle-Reese para o último golpe aplicado

Para a aplicação do Método de Coyle-Reese, a estaca foi subdividida em 5 elementos em conformidade com a estratigrafia do solo estimada no local através da sondagem SP-317, como indicado na Figura 35, da seguinte forma:

Tabela 17. Dados de entrada para o método de Coyle-Reese do último golpe - Estaca EC1304

nº	Camada de solo	ΔH (m)	$f_{\text{máx}}$ CAPWAP (kPa)	B (kPa/mm)	"quake" - CAPWAP / y_n (mm)
1	Argila SFL	20	17,7	7,7	2,3
2	Areia Argilosa	4	60,0	26,0	2,3
3	Argila Transicional	8	176,3	76,4	2,3
4	Areia fina e média	10	41,5	18,0	2,3
5	Areia grossa	2	22,7	9,8	2,3

Na análise CAPWAP do último golpe aplicado, o “quake” lateral é constante ao longo do fuste, o que indica a mobilização de atrito lateral em toda a extensão da estaca. Conforme demonstrado no item 2.8.2, o “quake” lateral q_s é o valor arbitrado para o y_n de cada elemento e B é o coeficiente angular do trecho elástico, definido como sendo o quociente entre o $f_{\text{máx}}$ e y_n . O módulo de elasticidade da estaca foi estimado a partir da relação empírica de Lydon e Balendran (1986), conforme a Equação 35. Além destes, outros dados são necessários, como seguem:

- “Quake” de ponta = 3,3 mm;
- Resistência de ponta mobilizada no último golpe = 1.838 kN;

- Seção transversal = 0,3063 m²;
- Módulo de elasticidade da estaca = 27,8 GPa;
- EA = 8.515.287 kN;
- Comprimento da estaca acima do solo = 8,6 m.

O resultado obtido está apresentado na Figura 52. Vê-se que a mobilização máxima de resistência estática pelo método de Coyle-Reese foi estimada em 8.029 kN com 38 mm de recalque. A partir deste ponto, não se verificam maiores mobilizações de resistência. A curva Qo-Yo foi ajustada considerando o encurtamento elástico ocorrido no trecho da estaca acima do solo a fim de se assemelhar às condições da prova de carga estática. A curva obtida através do Método Coyle-Reese tem boa aderência em relação às duas outras curvas, pelo menos até a carga de 4.000 kN.

Figura 52. Coyle-Reese - golpe de 120⁽³⁾ cm - Estaca EC1304

3.1.10.2 Método de Coyle-Reese para a Envoltória Máxima de Resistência Lateral

Para a aplicação do método de Coyle-Reese, as médias de atritos laterais e seus respectivos “*quakes*” laterais foram determinados a partir dos maiores valores mobilizados para cada elemento do sistema estaca-solo. Desta forma, os valores de máximo atrito lateral para as funções de transferência de carga em cada camada de solo serão diferentes daqueles calculados para o último golpe aplicado.

Conforme explicado no item 2.9.1, cada camada de solo tem sua função de transferência de carga, cujo máximo valor de atrito lateral unitário ($f_{\text{máx}}$) é determinado como sendo a média dos maiores valores de atrito obtidos do CAPWAP com a aplicação do Método da Envoltória Máxima de Resistência Lateral. Os dados referentes às funções de transferência de carga são mostrados na Tabela 18. Os resultados são apresentados graficamente na Figura 53.

Tabela 18. Dados de entrada para o método de Coyle-Reese da Envoltória Máxima – Estaca EC1304

nº	Camada de solo	ΔH (m)	$f_{\text{máx}}$ - CAPWAP (kPa)	B (kPa/mm)	"quake" - CAPWAP / y_n (mm)
1	Argila SFL	20	28,8	23,1	1,25
2	Areia Argilosa	4	116,4	68,5	1,7
3	Argila Transicional	8	208,8	84,9	2,46
4	Areia argilosa	10	42,3	24,2	1,75
5	Areia grossa	2	27,9	119,3	0,23

- “*Quake*” de ponta = 3,3 mm;
- Resistência de ponta mobilizada no último golpe = 1.838 kN;
- Seção transversal = 0,3063 m²;
- Módulo de elasticidade da estaca = 27,8 GPa;
- EA = 8.515.287 kN;
- Comprimento da estaca acima do solo = 8,6 m.

Figura 53. Coyle-Reese – Envoltória Máxima - Estaca EC1304

A Figura 53 destaca a excelente aderência entre a curva simulada pelo método de Coyle-Reese e a prova de carga estática. Ademais, a maior carga mobilizada no método de Coyle-Reese foi de 9.863 kN de resistência total, com 45 mm de deslocamento permanente. Este valor se aproxima com o obtido pela somatória de máximas resistências estáticas laterais pelo método da Envoltória Máxima, apresentada na última linha da Tabela 16.

Dentre todos os perfis de sondagem obtidos, a camada que se mantém constante em relação a todas às demais é a da argila SFL de aproximadamente 20 metros de profundidade. Assim, foi possível obter o conjunto de atritos laterais unitários médios para cada golpe aplicado com energia crescente, a fim de estudar o comportamento desta camada de solo nesta região. Cada ponto do gráfico da Figura 54 representa a média de atritos laterais unitários obtidos a partir de cada análise CAPWAP com energia crescente.

Figura 54. Atrito lateral unitário vs "quake" - Argila SFL

O pico da curva da Figura 54, com maior atrito lateral mobilizado (28,8 kPa com 1,25 mm de "quake"), foi utilizado para a argila SFL no método de Coyle-Reese (1966) para a Envoltória Máxima. No último trecho da curva, há uma tendência de estabilização do atrito indicando a condição de solo amolgado e este valor foi utilizado no método de Coyle-Reese para o último golpe aplicado de 120 cm.

3.2 OBRA 2: TERMINAL INTEGRADOR PORTUÁRIO - SANTOS, SP

3.2.1 Descrição da obra

O segundo caso trata de uma estaca-teste para uma obra de ampliação do cais pertencente ao Terminal Integrador Portuário Luiz Antônio Mesquita (TIPLAM), às margens do Rio Piaçaguera, localizado entre os municípios de Santos e Guarujá, SP.

Figura 55. Mapa indicando a localização do TIPLAM (Fonte: googlemaps)

3.2.2 Características da estaca e localização da sondagem

A estaca ensaiada foi confeccionada em aço, com seção circular vazada, diâmetro externo de 91,4 cm e espessura de parede igual a 16 mm, resultando em uma área de aço da seção transversal igual a 451,4 cm². A Estaca Teste (denominada PC01) possuía comprimento total de 40,14 m, sendo 33,30 m cravados no solo em seu último ensaio (ver Tabela 19). A estaca foi instalada em 11 de fevereiro de 2015, com a utilização de um martelo hidráulico Junttan HHK com peso do pilão de 9.000 kg. Foi utilizada altura de queda de 80 cm para sua instalação. Nesta obra foi

realizada a instrumentação dinâmica de cravação, obtenção de nega ao final do estaqueamento e recravações após repousos consecutivos de 3 horas, 6 horas, 24 horas, 48 horas e ao final de 216 horas (equivalente a 9 dias).

Tabela 19. Características da estaca PC01 – repouso de 216 horas

Estaca	Diâmetro		Comprimento			Velocidade de onda	Módulo Dinâmico
	Externo	interno	Total	Instrumentado	Cravado		
Nome	(cm)	(cm)	(m)	(m)	(m)	m/s	GPa
PC01	91,4	88,2	40,1	36,14	33,30	5.123	210,9

O objetivo visado é analisar o incremento do atrito lateral e a cicatrização do solo em diversos períodos de repouso ao se aplicar o método proposto e determinar a envoltória de resistência lateral ao longo do tempo. Na Estaca Teste PC01 foi realizado prova de carga estática e ensaio de carregamento dinâmico. A sondagem mais próxima, denominada SM-101 está a aproximadamente 20,45 m de distância, conforme demonstra a Figura 56.

Figura 56. Localização da Estaca PC01 e da sondagem mais próxima (Fonte: Constremac)

3.2.3 Perfil geológico local

O perfil geológico local é composto inicialmente por aterro de areia média argilosa, seguido por uma camada de argila siltosa mole marinha (SFL) com número de SPT muito baixo aos primeiros vinte e quatro metros de profundidade. Abaixo desta camada encontra-se um solo predominantemente arenoso com variação granulométrica e NSPT variando de 15 a 30 golpes, até aproximadamente 30 metros de profundidade. Ao final, a penúltima camada atingida pela sondagem é uma areia fina e média siltosa, medianamente compacta com resistência relativamente menor do que na camada superior, seguido finalmente de solo residual de gnaiss, conforme a Figura 57.

Figura 57. Perfil geotécnico da região – Obra 2

3.2.4 Métodos semiempíricos por Aoki-Velloso (1975) e Décourt-Quaresma (1978) – Estaca PC01

A partir das informações obtidas através da sondagem de simples reconhecimento foram aplicados os métodos semiempíricos de Aoki-Velloso (1975) e Décourt-Quaresma (1978), cujos resultados estão apresentados na Figura 58 e nas Tabelas AIII-1 e AIII-2 do Anexo III. O aumento significativo das resistências laterais e de ponta a partir dos 24 metros de profundidade é condizente com o perfil geológico e com a curva do SPT mostrados na Figura 57.

Figura 58. Curvas Q Lateral e Q Ponta em função da profundidade – SM101

3.2.5 Prova de carga estática – Estaca PC01

A prova de carga estática foi realizada utilizando um conjunto de 8 tirantes com diâmetros de 160 mm e, para aplicação das cargas, foram utilizados 7 conjuntos de cilindros-manômetros hidráulicos. O ensaio em questão foi do tipo “prova de carga lenta” com carregamento até 9.497 kN.

O período de repouso da estaca para a prova de carga estática foi de três meses (90 dias) desde o último ensaio dinâmico. A prova de carga estática foi iniciada em 20/05/2015 e finalizada em 22/05/2015. A Tabela 20 e a Figura 59 mostram os resultados obtidos.

Tabela 20. Prova de carga estática - Estaca PC01

Estágio	Hora	Tempo	Pressão	Carga	Média das Leituras
		(min)	(kPa)	(kN)	(mm)
1	08:57	00:00	6.000	1.107	1,71
	09:27	00:30		1.107	1,75
2	09:30	00:00	12.000	1.917	3,20
	10:00	00:30		1.917	3,20
3	10:04	00:00	18.000	2.875	5,02
	10:34	00:30		2.875	5,20
4	10:37	00:00	25.000	3.809	8,03
	11:07	00:30		3.809	8,10
5	11:10	00:00	31.500	4.757	11,09
	11:40	00:30		4.757	11,31
6	11:42	00:00	37.500	5.593	13,96
	12:12	00:30		5.593	14,03
7	12:14	00:00	44.000	6.477	17,16
	12:44	00:30		6.477	17,21
8	12:48	00:00	50.500	7.467	20,91
	13:18	00:30		7.467	20,91
9	13:24	00:00	57.000	8.434	24,50
	13:54	00:30		8.434	24,50
10	14:00	00:00	64.000	9.497	28,70
	02:30	12:30		9.497	28,70
11	02:33	00:00	51.000	7.785	27,15
	02:48	00:15		7.785	27,15
12	02:50	00:00	38.500	5.849	20,89
	03:05	00:15		5.849	20,79
13	08:30	00:00	26.000	4.128	13,76
	08:45	00:15		4.128	13,54
14	08:48	00:00	12.500	1.883	7,29
15	09:24	00:00	0	0	1,21

Figura 59. Curva carregamento-deslocamento - prova de carga estática - Estaca PC01

3.2.6 Ensaios de carregamento dinâmico com energia crescente – Estaca PC01

3.2.6.1 Método CASE

Os dados de entrada da estaca ensaiada como velocidade de propagação de onda e módulo elástico são fixos por se tratar de uma estaca metálica com material homogêneo e sem variação de suas propriedades. O golpe de maior energia e maior repouso (120 cm de altura de queda com 216 horas de repouso) foi utilizado para a análise CAPWAP para determinação da máxima carga mobilizada em um golpe e para o cálculo do fator de amortecimento do solo J_c , cujo resultado foi 0,17. Este coeficiente foi considerado válido para todos os golpes aplicados neste ensaio e os resultados são mostrados na Tabela 21 e na Figura 60, na qual o deslocamento foi obtido acumulando as negas anteriores aos valores de DMX de cada golpe. A curva RMX-DMX não possui boa correlação com a prova de carga estática, provavelmente face a imprecisões nas medidas de negas.

Tabela 21. Resultados obtidos pelo método CASE - Estaca PC01 - após repouso de 216 h

Alturas de Queda do Martelo	RMX	DMX	EMX	Nega
(cm)	(kN)	(mm)	(kN-m)	(mm)
20	4.119	7,45	19,0	0
40	6.218	11,29	40,2	0
60	7.300	13,35	52,3	0
80	8.621	15,71	71,8	1,0
100	9.099	16,36	77,4	0
120	9.559	16,27	84,4	0,1

Figura 60. Curvas de carregamento estático e dinâmico – Método Case - Estaca PC01 - após repouso de 216 h

3.2.6.2 Análise CAPWAP do último golpe – PC01

A estaca PC01 foi cravada inicialmente com 32,10 m de profundidade e, ao final de sua cravação, foi realizado o ensaio dinâmico com energia crescente de até 120 cm de altura de queda do martelo. Durante a sequência de ensaios dinâmicos, com diversos períodos de repouso, uma vala de 1,2 m de profundidade foi reaterrada ao redor da estaca, o que ocasionou o aumento do comprimento cravado para 33,30 m

de profundidade. No período de 216 horas, que corresponde a nove dias de repouso, foram realizados novos ensaios e o último golpe aplicado (120 cm de altura de queda) foi analisado pelo CAPWAP, com resultados indicados na Tabela 22.

Tabela 22. Resultados obtidos na análise CAPWAP do último golpe após 216h de repouso - Estaca PC01

Estaca	Capacidade Total	Resistência de Atrito		Resistência de Ponta		Quake Lateral Máximo	Quake de Ponta
Nome	kN	kN	%	kN	%	mm	mm
PC01	9.559	4.647	48	4.912	52	5,73	1,76

Esta análise permite comparar as curvas carga-recalque no topo obtidas na prova de carga estática e a simulada pelo CAPWAP. Este ensaio foi realizado em 20/02/2015, três meses antes da prova de carga estática, o que justifica a diferença entre os recalques de cada caso. Além disso, é possível determinar a distribuição de resistência lateral, como mostra graficamente a Figura 62.

Figura 61. Curvas CAPWAP e prova de carga estática - último golpe após 216 h de repouso - Estaca PC01

Figura 62. Resistência lateral vs comprimento cravado para o último golpe após 216h de repouso - Estaca PC01

3.2.7 Energia complementar como critério de ruptura – Estaca PC01

Os resultados obtidos da Tabela 23, a partir da análise CAPWAP do último golpe aplicado no repouso de 216 horas, possuem como coeficiente de amortecimento J_c igual a 0,17. São mostrados os valores de deslocamentos DMX, da nega S, da energia cinética T, da força medida na região dos sensores $F_{máx}$, das resistências total R, estática R_s e dinâmica R_d , da energia complementar cinética T_c e da energia de deformação complementar estática V_c , calculados a partir da metodologia proposta por Aoki (1997).

Tabela 23. Parâmetros obtidos na prova de carga dinâmica – Estaca PC01

H	R	RMX	Rd	DMX	S	T	K	Fmáx	Tc	Vc
(m)	kN	kN	kN	mm	mm	kJ	DMX-S	kN	kJ	kJ
20	4533	4119	414	7,45	0	19,0	7,45	3476	16,89	15,34
40	6792	6218	574	11,29	0	40,2	11,29	5036	38,34	35,10
60	8011	7300	711	13,35	0	52,3	13,35	6020	53,47	48,72
80	9448	8620	828	15,71	1	71,8	15,71	7174	69,49	63,40
100	9958	9099	859	16,36	0	77,4	16,36	7485	81,46	74,43
120	10420	9559	861	16,27	0,1	84,4	16,27	7842	84,25	77,28

Nas Figuras 63 e 64 apresentam-se as curvas de variação de energia cinética T , da energia complementar T_c e da energia complementar estática V_c com o valor da altura de queda H de cada golpe aplicado.

Figura 63. Curvas da variação de T , T_c , V_c e RMX com H - Estaca PC01

Nota-se que existe uma tendência de estabilização da capacidade de carga estática mobilizada (RMX). Entretanto, as curvas de energia complementar e cinética mantêm a tendência de crescimento em relação à altura de queda, com valores muito próximos entre si devido aos baixos valores de deslocamentos permanentes de cada golpe aplicado.

W_a corresponde à diferença de energia de deformação nos eventos dinâmicos e estáticos. Seu valor constante indica que a energia de deformação V_s cresce conjuntamente com o aumento da energia cinética T aplicada durante o ensaio, o

que mostra que o ensaio não atingiu o regime de plastificação do sistema estaca-solo, conforme demonstrado na Figura 64.

Tabela 24. Energia e trabalho dos golpes com energias crescentes – Estaca PC01

H	Vs	Ws	Wa
(m)	(kJ)	(kJ)	(kJ)
20	15,3	0,0	3,7
40	35,2	0,0	5,1
60	49,1	0,0	3,6
80	67,9	8,6	-0,2
100	73,7	0,0	3,0
120	72,8	1,0	6,2

Figura 64. Transformações de energia no ensaio de carregamento dinâmico – Estaca PC01

3.2.8 Envoltória Máxima de Resistência Lateral – Estaca PC01

Ao final da cravação, estando a estaca ainda com 32,10 m cravados, foi realizada uma análise CAPWAP. A Figura 65 mostra as distribuições de resistência lateral ao final da cravação e após o período de 216 horas de repouso, portanto, ambas relativas a golpes de 120 cm de altura. Para efeito comparativo, foi adicionado um elemento de solo na análise ao final de cravação com valor de resistência nulo, para equiparar os comprimentos cravados dos dois ensaios por conta do reaterro durante o período de repouso, já mencionado acima.

Figura 65. Distribuição de atrito lateral - final de cravação vs repouso de 216 h (9 dias) – Estaca PC01

Ao final da cravação foi estimada uma resistência lateral total no valor de 1.381 kN pelo CAPWAP enquanto que, após o período de 216 horas (9 dias), essa resistência foi estimada em 4.647 kN apenas para o golpe de maior energia, o que corresponde a um aumento de aproximadamente 336%.

Após a sua instalação, a estaca foi submetida a recravações em diversos períodos de repouso, com a realização de novos ensaios dinâmicos com energia crescente, como se passa a descrever. Os resultados das análises CAPWAP de todos os golpes em todos os períodos de repouso e no final de cravação encontram-se de maneira detalhada no Anexo IV.

(a) Repouso de 3 horas: Nesta condição, cada golpe foi analisado individualmente pelo método CAPWAP, com resultados mostrados na Tabela 25 e na Figura 66.

Tabela 25. Segmentos de resistência lateral e máximos - 3 horas – Estaca PC01

Comprimento Cravado	Ru (kN)						Envoltória
(m)	20 cm	40 cm	60 cm	80 cm	100 cm	120 cm	Máximos
0	0	0	0	0	0	0	0
2,0	69	39	59	67	49	66	69
4,0	51	25	34	40	39	31	51
6,0	34	26	23	22	39	26	39
8,0	39	21	19	36	39	27	39
10,0	48	50	56	58	69	44	69
12,0	48	35	53	66	70	59	70
14,0	60	59	53	69	80	63	80
16,0	89	51	72	90	82	77	90
18,0	144	89	98	116	97	97	144
20,1	125	120	112	132	150	113	150
22,1	123	104	125	151	151	119	151
24,1	97	147	138	145	151	118	151
26,1	196	174	138	289	275	157	289
28,1	268	353	410	518	628	311	628
30,1	326	446	767	770	759	877	877
32,1	357	866	682	633	689	964	964
Somatória atrito lateral (kN)	2073	2604	2838	3202	3367	3149	3860
Resistência de ponta (kN)	2104	2514	3752	4354	5064	5533	5533
Resistência total (kN)	4177	5119	6590	7556	8431	8682	9393

Esses resultados mostram o golpe de maior energia aplicada com 3.149 kN de resistência lateral e a envoltória obtida a partir dos valores máximos mobilizados de todos os golpes com 3.860 kN de resistência lateral, o que equivale a um aumento de 22% em relação ao golpe de maior energia.

Figura 66. Mobilização de resistência lateral - 3 horas – Estaca PC01

Neste período de 3 horas de repouso já ocorreu aumento do atrito lateral por conta da cicatrização do solo. Ao avaliar os resultados mostrados na Tabela 25 e na Figura 66, comparados todos os golpes entre si, nota-se que não existem diferenças significativas de mobilização da resistência lateral até os 28 metros de comprimento cravado. A partir desta profundidade, a resistência estática lateral cresce conjuntamente com o aumento da energia aplicada.

Quanto maior a altura de queda do martelo maiores são as mobilizações de resistência de ponta, cuja diferença entre os valores obtidos entre o último e o primeiro golpe é de $5.533 - 2.104 = 3.429$ kN. A partir dos resultados obtidos de todas as análises CAPWAP é possível traçar um conjunto de curvas simuladas e comparar graficamente com a prova de carga estática, como mostra a Figura 67.

Figura 67. Curvas CAPWAP e prova de carga estática – 3 horas – Estaca PC01

A maior capacidade de carga mobilizada no último golpe aplicado, com 120 cm de altura de queda, foi de 8.682 kN. O conjunto de curvas de carregamento por deslocamento do método da Envoltória Máxima de Resistência Lateral, para o ensaio realizado com 3 horas de repouso da estaca pós-cravação, não possui boa correlação com a curva obtida na prova de carga estática, apesar de mobilização de resistência próxima entre os dois ensaios.

O conjunto de curvas da Figura 67 evidencia recalques maiores para o ensaio de carregamento dinâmico e isso se deve ao curto período de “*set-up*” (cicatrização) do solo após a cravação da estaca.

Tomando como exemplo, para a mesma capacidade de carga de 8.000 kN, a prova de carga estática revelou 22 mm de deslocamento contra 32 mm do último golpe aplicado no ensaio dinâmico. Ao comparar o conjunto de curvas estáticas simuladas pelo CAPWAP, o deslocamento para este valor de capacidade de carga aumenta para 34 mm, pois são considerados os incrementos de deslocamentos permanentes de todos os golpes anteriores a este.

Estas diferenças sugerem a relevância do “*set-up*” a fim de obter maiores mobilizações de capacidade de carga do sistema com menores recalques, tanto para os ensaios estáticos quanto dinâmicos. Vale lembrar, conforme dito anteriormente, que a prova de carga estática foi realizada 90 dias após o último ensaio de carregamento dinâmico.

(b) Repouso de 6 horas: a estaca permaneceu em repouso por 6 horas após a cravação e novos ensaios foram realizados. Os resultados das análises CAPWAP estão mostrados na Tabela 26 e na Figura 68. Vale ressaltar que, os golpes aplicados no ensaio anterior com 3 horas de repouso influenciaram a cicatrização do solo e, conseqüentemente, a mobilização do atrito para o novo repouso da estaca.

Tabela 26. Segmentos de resistência lateral e máximos - 6 horas – Estaca PC01

Comprimento Cravado	Ru (kN)						Envoltória
(m)	20 cm	40 cm	60 cm	80 cm	100 cm	120 cm	Máximos
0	0	0	0	0	0	0	0
2,0	112	97	82	83	80	46	112
4,0	75	59	49	42	40	37	75
6,0	20	51	32	26	32	31	51
8,0	41	49	35	53	40	43	53
10,0	84	84	79	88	79	62	88
12,0	118	112	70	63	70	75	118
14,0	136	141	78	72	94	103	141
16,0	148	147	106	157	118	130	157
18,0	149	155	121	167	177	112	177
20,1	139	138	149	157	158	135	158
22,1	99	111	120	104	78	122	122
24,1	100	154	119	115	124	95	154
26,1	102	357	229	302	430	336	430
28,1	271	441	427	467	493	589	589
30,1	433	417	642	737	637	657	737
32,1	480	307	682	607	737	747	747
Somatória atrito lateral (kN)	2508	2820	3021	3240	3388	3321	3908
Resistência de ponta (kN)	1502	3145	3803	4513	5127	5553	5553
Resistência total (kN)	4010	5965	6824	7753	8515	8874	9461

Os resultados obtidos mostram maiores mobilizações de resistência de cada golpe em comparação ao ensaio com 3 horas de repouso, assim como na envoltória dos máximos mobilizados para os elementos do fuste, resultando em 3.908 kN.

Figura 68. Mobilização de resistência lateral - 6 horas – Estaca PC01

No repouso de 6 horas é possível notar que as curvas de distribuição da resistência lateral para cada golpe não estão tão unidas quanto no repouso de 3 horas. Nos primeiros cinco metros há uma redução gradativa da resistência estática lateral mobilizada à medida que a altura de queda do martelo aumenta. No detalhe ampliado da Figura 68, pode-se perceber que os golpes de menor energia mobilizam maiores resistências nos primeiros metros da estaca cravada, ao passo que nas camadas de solo entre 15 metros e 25 metros, os golpes de 80 cm, 100 cm e 120

cm de altura de queda mobilizam resistências estáticas maiores. É novamente traçado o conjunto de curvas simuladas pelo CAPWAP a fim de comparar com a prova de carga estática para o repouso de 6 horas, conforme demonstrado na Figura 69.

Figura 69. Curvas CAPWAP e prova de carga estática – 6 horas – Estaca PC01

A maior capacidade de carga atingida neste ensaio foi de 8.874 kN com 40 mm de deslocamento, 2 mm menor que o período anterior. O conjunto de curvas se aproxima sensivelmente da curva obtida na prova de carga estática com menores recalques, em comparação ao ensaio realizado com 3 horas de repouso (ver a Figura 69). Em relação à resistência estática lateral da Envoltória Máxima, o ganho é de 17%, comparando com o resultado obtido no último golpe aplicado.

(c) Repouso de 24 horas: a estaca permaneceu em repouso por 24 horas após sua cravação e novos ensaios foram realizados. Conforme mostrado na Tabela 27 e nas Figuras 70 e 71, os resultados evidenciam um aumento significativo da resistência estática lateral mobilizada, porém com menor mobilização de ponta em comparação aos resultados obtidos com 6 horas de repouso.

Tabela 27. Segmentos de resistência lateral e máximos - 24 horas – Estaca PC01

Comprimento Cravado	Ru (kN)						Envoltória
(m)	20 cm	40 cm	60 cm	80 cm	100 cm	120 cm	Máximos
0	0	0	0	0	0	0	0
2,0	182	146	72	75	76	79	182
4,0	137	81	66	82	68	79	137
6,0	50	67	58	68	61	79	79
8,0	65	69	61	94	75	99	99
10,0	51	57	80	94	102	98	102
12,0	148	147	106	94	95	118	148
14,0	199	201	133	145	136	148	201
16,0	196	205	147	170	141	148	205
18,0	200	181	154	187	191	215	215
20,1	139	199	152	193	231	195	231
22,1	60	77	131	94	58	87	131
24,1	70	64	98	75	46	87	98
26,1	177	292	150	234	444	295	444
28,1	281	288	530	647	508	719	719
30,1	495	689	768	692	690	866	866
32,1	472	787	859	703	712	845	859
Atrito lateral	2922	3552	3564	3648	3635	4159	4718
Resistência de ponta (kN)	1135	2422	3399	4050	4932	5009	5009
Resistência total (kN)	4057	5974	6963	7698	8567	9168	9727

Figura 70. Mobilização de resistência lateral - 24 horas – Estaca PC01

Com efeito, os golpes de menor energia mobilizam resistências laterais maiores no caso de repouso de 24 horas em comparação com os ensaios anteriores. É possível perceber nos cinco metros finais como a mobilização crescente de resistência lateral próxima à ponta tem relação direta à energia aplicada do golpe, ou seja, quanto

maior a altura de queda do martelo, maiores são as mobilizações de segmentos próximos à ponta da estaca.

Figura 71. Curvas CAPWAP e prova de carga estática – 24 horas – Estaca PC01

Como exemplo, vale lembrar que a maior mobilização de resistência no golpe de 120 cm com 6 horas de repouso, cujo valor é de 8.874 kN, o deslocamento calculado pelo CAPWAP é de 40 mm. Esta mesma capacidade de carga com 24 horas levou a 37 mm de deslocamento (comparem-se as Figuras 69 e 71).

Além disso, a maior resistência mobilizada foi de 9.168 kN com 39 mm de deslocamento. Isso sugere uma maior aproximação com a curva da prova de carga estática, tanto em termos de capacidade de carga obtida quanto nos deslocamentos estimados. Na Figura 71 é possível perceber esta aproximação, principalmente no trecho inicial da curva de carregamento.

(d) Repouso de 48 horas: Ao final do ensaio de 24 horas de repouso foram acrescentados 1,20 m de comprimento cravado devido ao já mencionado reaterro de vala. A estaca permaneceu em repouso por 48 horas e novos ensaios foram realizados com resultados das análises CAPWAP mostrados na Tabela 28 e na Figura 72. O conjunto de curvas simuladas é mostrado na Figura 73.

Tabela 28. Segmentos de resistência lateral e máximos - 48 horas – Estaca PC01

Comprimento Cravado	Ru (tf)						Envoltória
(m)	20 cm	40 cm	60 cm	80 cm	100 cm	120 cm	Máximos
0	0	0	0	0	0	0	0
1,2	104	47	75	70	47	74	104
3,2	104	59	49	50	48	49	104
5,2	90	79	87	58	52	74	90
7,2	90	94	110	81	82	97	110
9,2	92	104	100	101	93	95	104
11,2	120	82	146	99	103	95	146
13,2	146	156	149	150	113	137	156
15,2	149	182	149	149	158	142	182
17,2	198	197	201	199	184	210	210
19,2	227	220	199	221	183	218	227
21,3	104	158	195	201	195	193	201
23,3	73	107	78	92	59	78	107
25,3	58	108	101	85	147	76	147
27,3	57	165	321	477	147	256	477
29,3	174	366	517	486	557	827	827
31,3	586	810	683	608	578	815	815
33,3	592	873	682	603	753	829	873
Somatória de atrito lateral	2963	3808	3842	3730	3500	4265	4877
Resistência de ponta (kN)	983	2411	3214	4083	4710	4939	4939
Resistência total (kN)	3946	6219	7056	7813	8210	9204	9816

Ao comparar a somatória calculada pela Envoltória Máxima com o valor obtido no último golpe aplicado, nota-se que houve um acréscimo de 612 kN de resistência estática lateral, o que equivale a um aumento percentual de aproximadamente 14%. Observando as duas últimas colunas da Tabela 28 e a Figura 72 é possível concluir que apenas o último golpe foi capaz de mobilizar resistências maiores aos elementos próximos à ponta da estaca, enquanto que os golpes de 20 cm, 40 cm e 60 cm mobilizaram maiores resistências estáticas laterais nos primeiros 15 metros de comprimento cravado da estaca.

Figura 72. Mobilização de resistência lateral - 48 horas – Estaca PC01

A maior resistência mobilizada em 48 horas foi de 9.204 kN com 40 mm de deslocamento, ou seja, mesmo que o deslocamento permanente final seja igual ao do período de repouso anterior (24 horas), há um aumento da capacidade de carga total para o golpe de 120 cm. Isso sugere uma tendência de aproximação do conjunto de curvas em relação à prova de carga estática quanto maior for o período de repouso para a realização do ensaio de carregamento dinâmico. O conjunto de curvas para o período de repouso de 48 horas é mostrado na Figura 73.

Figura 73. Curvas CAPWAP e prova de carga estática – 48 horas – Estaca PC01

(e) Repouso de 216 horas: O ensaio realizado neste período de repouso mobilizou as maiores resistências, tanto no golpe individual de maior energia quanto na Envoltória Máxima de Resistência Lateral (ver a Tabela 29 e as Figuras 74 e 75).

Tabela 29. Segmentos de resistência lateral e máximos - 216 horas – Estaca PC01

Comprimento Cravado	Ru (kN)						Envoltória
(m)	20 cm	40 cm	60 cm	80 cm	100 cm	120 cm	Máximos
0	0	0	0	0	0	0	0
1,2	83	85	87	55	47	79	87
3,2	156	157	158	141	99	152	158
5,2	213	199	172	127	158	150	213
7,2	214	183	140	97	141	137	214
9,2	147	141	92	58	56	81	147
11,2	78	118	80	63	54	79	118
13,2	98	98	106	157	87	80	157
15,2	88	178	143	68	118	128	178
17,2	115	219	181	195	170	201	219
19,2	209	202	227	198	177	199	227
21,3	175	202	271	208	205	221	271
23,3	174	278	285	186	211	326	326
25,3	143	284	266	295	286	304	304
27,3	98	291	240	276	315	302	315
29,3	210	308	252	607	532	493	607
31,3	424	342	583	641	605	847	847
33,3	439	357	583	621	677	866	866
Somatória de atrito lateral	3063	3644	3867	3993	3938	4647	5252
Resistência de ponta (kN)	753	2390	2528	4085	4530	4912	4912
Resistência total (kN)	3816	6034	6395	8078	8468	9559	10164

Nota-se, neste caso, a maior influência da cicatrização do solo no aumento da resistência estática lateral ao longo da profundidade, como mostra a Figura 74. É possível observar que, à medida que a energia cinética aplicada aumenta, são mobilizadas resistências estáticas cada vez menores em elementos do sistema próximo ao topo, ao passo que os golpes de maior energia mobilizam resistência

estáticas maiores em elementos próximos à ponta. Em relação ao atrito lateral houve um aumento 13% do obtido no Método da Envoltória Máxima comparativamente ao golpe individual de 120 cm de altura de queda.

Figura 74. Mobilização de resistência lateral - 216 horas – Estaca PC01

O conjunto de curvas simuladas através do CAPWAP da Figura 75 é o mais próximo da prova de carga estática em comparação aos conjuntos de curvas dos demais repousos.

Figura 75. Comparação entre curva estática e envoltória – 216 horas – Estaca PC01

Conforme dito anteriormente, a prova de carga estática foi realizada 90 dias após o último ensaio de carregamento dinâmico. Portanto, através dos resultados obtidos em cada repouso, é possível observar uma aproximação do conjunto de curvas do CAPWAP em relação à prova de carga estática à medida que aumenta o repouso para cada ensaio dinâmico realizado.

Com os resultados da aplicação do Método da Envoltória Máxima de Resistência Lateral no repouso de 216 horas são traçadas: (i) as curvas de distribuição de atrito lateral unitário, (ii) o diagrama de forças normais mobilizadas e (iii) a distribuição de resistência lateral a fim de comparar com os resultados obtidos pelos métodos semiempíricos.

Os resultados apresentados nas Figuras 76, 77 e 78 evidenciam excelente aderência entre as distribuições de atrito lateral unitário, Q_{Lateral} e P_{total} estimados por Décourt-Quaresma (1978), em comparação com as distribuições calculadas pelo CAPWAP do golpe de 120 cm e da Envoltória Máxima de Resistência Lateral. Isso mostra que as distribuições do atrito lateral baseadas no CAPWAP condizem com o perfil geológico local.

Figura 76. Atrito lateral unitário - Décourt-Quaresma vs CAPWAP vs Envoltória Máxima – Estaca PC01

Figura 77. Q Lateral - Semiempíricos vs CAPWAP vs Envoltória Máxima – Estaca PC01

Figura 78. Diagrama de força normal - Décourt-Quaresma vs CAPWAP vs - Envoltória Máxima – Estaca PC01

A Figura 79 é uma compilação dos resultados obtidos das Envoltórias Máximas de Resistência Lateral de todos os períodos de repouso. Através dessa comparação gráfica é possível concluir que o ensaio com energia crescente permite obter um melhor desenvolvimento do atrito lateral pela aplicação do Método da Envoltória Máxima e, quanto maior for o período de repouso para a realização do ensaio, maior será a mobilização da resistência estática lateral ao longo do fuste. Além disso, através dos resultados mostrados em detalhes no Anexo IV, nota-se a relação inversamente proporcional entre o tempo de repouso da estaca e o valor do coeficiente de amortecimento do solo J_c .

Figura 79. Envoltórias Máximas de Resistência Lateral - todos os períodos de repouso – Estaca PC01

Hussein *et al.* (2002) realizaram dois ensaios de carregamento dinâmico com energia constante: ao final de cravação e 43 dias após a instalação da estaca. O método, denominado de Sobreposição (*"Superposition"*), consistia em estimar a capacidade de carga última do sistema combinando os resultados obtidos das

análises CAPWAP nestas duas condições. O procedimento usado foi a combinação da maior mobilização de ponta, resultante do ensaio no final de cravação, com a somatória do atrito lateral da análise CAPWAP na recravação, após 43 dias. Dessa forma, estes autores obtiveram uma melhor correlação com a curva carga-recalque de uma prova de carga estática realizada na mesma estaca. Partindo deste mesmo princípio, combinando a resistência de ponta do final de cravação (5.717* kN) com a somatória de atrito lateral da Envoltória Máxima no maior repouso, a capacidade total é maior em comparação ao valor calculado com os dados obtidos apenas para o repouso de 216 horas.

A Tabela 30 mostra os resultados obtidos na prova de carga estática, as análises CAPWAP de um só golpe para o final de cravação, para o período de 216 horas e a Envoltória Máxima do maior repouso (216 horas) em conjunto com os resultados estimados dos métodos semiempíricos.

Tabela 30. Resultados obtidos - Estaca PC01 - Obra 2

Ensaio	Resistência máxima mobilizada (kN)		
	Atrito	Ponta	Total
Aoki-Velloso (1975)	4.653	5.511	10.164
Décourt-Quaresma (1978)	4.479	5.511	9.991
Prova de carga estática	-	-	9.497
CAPWAP individual – 120 cm – 0 hora	1.381	5.717*	7.098
CAPWAP individual – 120 cm – 216 horas	4.647	4.912	9.559
Envoltória Máxima – 216 horas	5.252	4.912	10.164
Envoltória Máxima	5.252	5.717*	10.969

3.2.9 Diagramas de forças normais mobilizadas – Estaca PC01

Neste item é mostrado o conjunto de diagramas de forças normais mobilizadas para todos os períodos de repouso. O objetivo é observar o comportamento do sistema estaca-solo quanto ao desenvolvimento do atrito lateral ao longo de todo o período de ensaio e a mobilização de ponta. Vale destacar os golpes de 120 cm, cujo

diagrama de força normal é praticamente vertical no final de cravação da estaca indicando atrito lateral quase nulo (ver Figura 80), com uma tendência a um aumento da inclinação revelando ganho de atrito lateral ao longo do tempo, como mostram as Figuras 81 a 85.

Figura 80. Diagrama de força normal - Final de cravação – Estaca PC01

Figura 81. Diagrama de força normal - 3 horas de repouso – Estaca PC01

Figura 82. Diagrama de força normal - 6 horas de repouso – Estaca PC01

Figura 83. Diagrama de força normal - 24 horas de repouso – Estaca PC01

Figura 84. Diagrama de força normal - 48 horas de repouso – Estaca PC01

Figura 85. Diagrama de força normal - 216 horas de repouso – Estaca PC01

3.2.10 Avaliação de “set-up” lateral através do Método da Envoltória Máxima de Resistência Lateral – Estaca PC01

Os resultados dos ensaios dinâmicos em todos os períodos de repouso indicam ganho de resistência total ao longo do tempo. A Tabela 31 mostra um resumo dos resultados obtidos nas análises para todos os períodos, comparando o golpe de 120 cm de altura de queda do martelo com o método da Envoltória Máxima. Os “*match qualities*” obtidos variaram entre 1,0 e 1,9.

Tabela 31. Resumo das análises CAPWAP – Estaca PC01

	120 cm				Envoltória Máxima			
	Resistência			Quake lateral médio	Resistência			Quake lateral médio
	Total	Lateral	Ponta		Total	Lateral	Ponta	
	(kN)	(kN)	(kN)		(kN)	(kN)	(kN)	
Final de cravação	7.098	1.381	5.717	5,62	7.098	1.381	5.717	5,62
3 horas	8.682	3.149	5.533	1,29	9.393	3.860	5.533	3,25
6 horas	8.874	3.321	5.553	4,03	9.461	3.908	5.553	3,47
24 horas	9.168	4.159	5.009	3,32	9.727	4.718	5.009	2,66
48 horas	9.204	4.265	4.939	3,76	9.816	4.877	4.939	3,38
216 horas	9.559	4.647	4.912	4,22	10.164	5.252	4.912	2,99

Através destes resultados é possível perceber o ganho de resistência total e lateral ao longo do tempo e este fenômeno fica evidente tanto na Envoltória Máxima quanto nas análises individuais.

Em relação à resistência de ponta, os valores indicados na Tabela 31 correspondem à máxima mobilização da ponta para cada período de repouso referentes aos golpes de 120 cm de altura de queda e seu valor decrescente ao longo do tempo indica que, por conta do aumento do atrito lateral, a ponta não está sendo totalmente mobilizada.

Com base nesses resultados foram preparadas as Figuras 86 e 87, que mostram variações do quociente (Q/Q_0), entre a capacidade de carga em um intervalo de tempo e no momento da cravação da estaca, com 0 hora, para o atrito lateral e para a carga total ao longo do tempo.

Figura 86. Resultados do "set-up" lateral - 120 cm e Envoltória Máxima – Estaca PC01

Figura 87. Resultados do "set-up" total - 120 cm e Envoltória Máxima – Estaca PC01

Os resultados confirmam a tendência de ganho de atrito lateral e, por consequência, de capacidade de carga total ao longo do tempo. É possível observar que esse incremento de resistência lateral ocorre principalmente durante as 48 horas iniciais de repouso da estaca e, a partir deste ponto, torna-se praticamente linear. A Tabela 32 mostra os valores máximos obtidos do quociente (Q/Q_0). Para a Envoltória Máxima, esses valores de “set-up” são da ordem de 3,8 para atrito lateral e 1,44 para a capacidade total.

Tabela 32. Valores máximos de “set-up” – Estaca PC01

Q/Q_0	Atrito lateral	Capacidade total
120 cm	3,3	1,34
Envoltória máxima	3,8	1,44

Um importante fator que deve ser considerado ao avaliar o “set-up” é a mobilização de todo o atrito lateral durante a aplicação dos golpes. Para determinar se foi atingida toda mobilização de resistência é necessária a avaliação do “quake” lateral do último golpe aplicado para cada período. Caso o resultado do CAPWAP mostre que o “quake” lateral não se mantém constante e que a partir de um determinado ponto há decréscimo de seu valor, isso indica que não foi aplicada energia suficiente para toda mobilização do atrito. O “quake” lateral dos golpes de 120 cm em todos os períodos de repouso são mostrados na Figura 88.

O “quake” lateral se mantém constante apenas no período de 3 horas de repouso da estaca. Nos demais, o valor do “quake” decresce principalmente nas camadas próximas à ponta. Isso indica que a energia aplicada pelo sistema de impacto não foi suficiente para mobilização de todo atrito lateral. Por consequência, os resultados obtidos para avaliação do “set-up” podem ser considerados subestimados ou conservadores, principalmente nas mobilizações do atrito nos últimos metros do fuste da estaca.

Figura 88. “Quake” lateral ao longo do fuste – 120 cm – Estaca PC01

Através do método da Envoltória Máxima são determinadas as curvas de envoltória do atrito lateral unitário (em kPa) ao longo da profundidade para todos os períodos de repouso, conforme foi mostrado no item 3.2.6.3. As camadas de solo próximas à ponta da estaca, na cota abaixo de -26 m, são predominantemente arenosas, o que faz com que o “set-up” seja rapidamente recuperado e se mantenha praticamente estável ao longo do tempo.

Quanto maior o tempo de recuperação do atrito lateral para uma mesma energia aplicada, menores serão as mobilizações de resistência próximas à ponta. As máximas mobilizações de ponta para cada período de repouso são apresentadas na Tabela 33, na qual observa-se uma diminuição do seu valor à medida que o período de repouso do sistema estaca-solo aumenta.

Tabela 33. Mobilização de resistência de ponta ao longo do tempo – Estaca PC01

Resistência de ponta (kN) - Envoltória máxima					
Final de cravação	3 horas	6 horas	24 horas	48 horas	216 horas
5.717	5.533	5.553	5.009	4.939	4.912

É possível obter uma avaliação mais detalhada do ganho de atrito lateral da camada de solo predominante ao longo do fuste da estaca. De acordo com a sondagem de simples reconhecimento local, a camada predominante de solo é a argila SFL, que se encontra entre as cotas -4,0 m e -24,0 m do comprimento cravado de estaca. Da Figura 79 observa-se um efeito de “*set-up*” mais significativo nesta camada de solo e, a partir da profundidade onde o solo é predominantemente arenoso (abaixo da cota -25,0 m), o ganho de atrito lateral unitário é pouco significativo.

Outra importante observação é que o “*quake*” lateral neste intervalo de comprimento cravado possui valor constante em todos os períodos de repouso, o que indica que houve a máxima mobilização da resistência lateral nesta camada, conforme mostrado na Figura 88. As Figuras 89 e 90 e as Tabelas 34 e 35 mostram o quociente (f/f_0) ao longo do tempo apenas da camada de argila SFL (entre as cotas -4,0 m e -24,0 m), tanto para a envoltória máxima quanto para o golpe de 120cm.

Tabela 34. Quociente de atrito (f/f_0) do atrito lateral pelo Método da Envoltória Máxima – Estaca PC01

Envoltória Máxima	Atrito lateral Total		Atrito Lateral só na Argila SFL	
	(f/f_0)	(t/t_0)	(f/f_0)	(t/t_0)
$t_0 = 0,1$ hora	1,00	1	1,00	1
3 horas	2,79	30	3,01	30
6 horas	2,83	60	3,77	60
24 horas	3,45	240	4,93	240
48 horas	3,66	480	5,34	480
216 horas	3,70	2160	6,66	2160

Figura 89. Fatores de "Set-up" lateral – Envoltória Máxima – Estaca PC01

Com base nestes resultados é possível determinar o parâmetro “A” de Bullock (2005) (ver a Equação 38), que depende do tipo de solo, através do coeficiente angular da regressão linear obtida na Figura 89. Essa retroanálise mostra que para todo o fuste o parâmetro “A” é igual a 0,98 e apenas para a camada de argila SFL o parâmetro “A” é igual a 1,6. Comparado com o valor determinado para todo o fuste, o parâmetro “A” para a argila SFL é maior. Isso reside no fato de que o parâmetro “A” para todo o fuste inclui “set-ups” de todas as camadas de solo, inclusive das camadas predominantemente arenosas, que possuem fatores de “set-up” menores.

Com o mesmo procedimento de cálculo proposto por Bullock (2005) e utilizando somente os golpes de 120 cm de altura de queda do martelo, os parâmetros “A” calculados para o “set-up” lateral de todo o fuste e da camada de argila SFL seriam menores em comparação com os obtidos pelo método da Envoltória Máxima, como mostram a Tabela 35 e Figura 90.

Tabela 35. Quociente de atrito (f/f_0) do atrito lateral - golpes de 120 cm – Estaca PC01

120 cm	Atrito lateral Total		Atrito Lateral só na Argila SFL	
	(f/f_0)	(t/t_0)	(f/f_0)	(t/t_0)
$t_0 = 0,1$ hora	1,00	1	1,00	1
3 horas	2,28	30	2,26	30
6 horas	2,40	60	2,75	60
24 horas	3,01	240	3,95	240
48 horas	3,13	480	4,17	480
216 horas	3,30	2160	5,53	2160

Figura 90. Fatores de "Set-up" lateral – 120 cm – Estaca PC01

Dentre alguns estudos de caso, Bilfinger (2010) obteve o parâmetro "A" igual a 0,611 para o atrito lateral na região de Cubatão através do ensaio de carregamento dinâmico. A Tabela 36 mostra que o quociente (f/f_0) triplica seu valor em um tempo de repouso da estaca para 24 horas considerando apenas o golpe de 120 cm, ao passo que através da Envoltória Máxima este mesmo valor seria atingido em aproximadamente 11 horas de repouso.

Tabela 36. Relação entre tempo e quociente (f/f_0) para todo o fuste – Estaca PC01

Parâmetro "A'" - Bullock (2005)		
	Envoltória Máxima ($A'=0,98$)	120 cm ($A'=0,83$)
(f/f_0)	Tempo (horas)	
2	1,1	2
3	11	24
3,2	19	72

3.2.11 Coyle-Reese (1966) aplicado na estaca PC01

Aplicou-se o método de Coyle-Reese (1966) tanto ao último golpe após 216h de repouso quanto à Envoltória Máxima de Resistência Lateral. Além disso, o método foi também aplicado para cada período de repouso, para ratificação do efeito “set-up” no comportamento da estaca.

3.2.11.1 Método de Coyle-Reese para o último golpe aplicado – 216 horas

A estaca foi dividida em 8 elementos de acordo com o perfil geológico local, como mostra a Tabela 37. Nessa tabela são indicados valores de $f_{m\acute{a}x}$, B e y_n , conforme demonstrado no item 2.8.2.

Tabela 37. Dados de entrada para o método de Coyle-Reese do último golpe – Estaca PC01

nº	Camada de solo	ΔH (m)	$f_{m\acute{a}x}$ – CAPWAP (kPa)	B (kPa/mm)	“quake” – CAPWAP / y_n (mm)
1	Aterro	1,3	23,5	4,1	5,73
2	Areia argilosa	2	26,4	4,6	5,73
3	Argila siltosa orgânica (SFL)	10	18,3	3,2	5,73
4	Argila siltosa (SFL)	10	37,3	6,5	5,73
5	Areia Argilosa (SFL)	4	52,6	10,3	5,10
6	Areia grossa	2	85,5	21,9	3,90
7	Areia siltosa	2	147,0	49,0	3,00
8	Silte arenoso	2	150,2	71,5	2,10

Além destes dados, são necessários ainda o “quake” de ponta, a resistência de ponta mobilizada, módulo de elasticidade do material que compõe a estaca e seção transversal.

- “Quake” de ponta = 1,76 mm;
- Resistência de ponta mobilizada no último golpe = 4.912 kN;
- Seção transversal = 0,04514 m²;
- Módulo de elasticidade = 207 GPa;
- EA = 9.335.625 kN.

Conforme mostrado anteriormente, durante o ensaio de carregamento dinâmico havia um trecho da estaca de 2,84 m de comprimento acima do nível do terreno. Na prova de carga estática este trecho acima do terreno foi cortado. Isto causa diferença por conta do encurtamento elástico causado durante os dois ensaios. Por isso, a curva carga-recalque do topo simulada pelo método de Coyle-Reese (1966) foi corrigida apenas para uma avaliação comparativa com o ensaio de carregamento dinâmico (Figura 91). Para a comparação com a prova de carga estática (Figura 92), essa correção, obviamente, não foi feita.

A Figura 91 mostra uma excelente aderência entre as curvas simuladas por Coyle-Reese e pelo “CAPWAP 120 cm - 216h”. A mobilização máxima de resistência estática simulada pelo método de Coyle-Reese (1966) é estimada em 9.596 kN com 34 mm de recalque.

No que se refere à Figura 92, a diferença de recalques entre as curvas “CAPWAP - 120 cm - 216 h” e Coyle-Reese se dá principalmente devido aos tempos em que cada ensaio foi realizado, com diferença de 90 dias entre eles.

Figura 91. Coyle-Reese - 120 cm - 216 horas - Comprimento do PDA – Estaca PC01

Figura 92. Coyle-Reese - 120 cm - 216 horas - Comprimento da PCE – Estaca PC01

3.2.11.2 Método de Coyle-Reese para a Envoltória Máxima de Resistência Lateral

Os dados das funções de transferência de carga pela Envoltória Máxima são mostrados na Tabela 38. Os dados de “quake” de ponta, resistência de ponta e módulo de elasticidade são os mesmos do item 3.2.11.1. O resultado do Método de Coyle-Reese (1966) é apresentado na Figura 93.

Tabela 38. Dados do método de Coyle-Reese - Envoltória Máxima - 216 horas – Estaca PC01

nº	Camada de solo	ΔH (m)	$f_{m\acute{a}x} /$ CAPWAP (kPa)	B (kPa/mm)	“quake” – CAPWAP / y_n (mm)
1	Aterro	1,3	25,9	5,1	5,10
2	Areia argilosa	2	27,3	5,3	5,10
3	Argila siltosa (SFL)	10	29,5	11,0	2,68
4	Argila siltosa (SFL)	10	42,2	9,1	4,65
5	Areia argilosa (SFL)	4	53,4	12,3	4,36
6	Areia grossa	2	105,3	34,3	3,07
7	Areia siltosa	2	147,0	48,8	3,01
8	Silte arenoso	2	150,2	71,9	2,09

Figura 93. Coyle-Reese - Envoltória Máxima - 216 horas - PC01

A Figura 93 mostra a excelente correlação entre a curva simulada pelo método de Coyle-Reese (1966) e a da prova de carga estática. A mobilização máxima do sistema é estimada em 10.164 kN, indicado pela linha pontilhada. Este é exatamente o mesmo valor calculado no Método da Envoltória Máxima para o repouso de 216 horas, mostrado na Tabela 30.

Conforme a Tabela 33, à medida que o tempo de cicatrização do solo aumenta, menor é a mobilização de resistência de ponta. Portanto, a curva simulada com dados obtidos no ensaio realizado com 216 horas de repouso possui a menor mobilização de resistência de ponta, calculada no valor de 4.912 kN. Assim, nova curva simulada pelo método Coyle-Reese (1966) é demonstrada na Figura 94 considerando a maior mobilização de resistência de ponta no valor de 5.717 kN com “quake” de 3,1 mm, obtida no final da cravação da estaca.

Figura 94. Coyle-Reese - Envoltória Máxima - 216 horas - Ponta do final de cravação - Estaca PC01

A excelente correlação entre os gráficos se mantém e a mobilização máxima de resistência estimada (indicada na linha tracejada na cor preta da Figura 94) é de 10.969 kN. A Tabela 39 mostra uma compilação resumida dos resultados obtidos para este caso.

Tabela 39. Resultados obtidos – Estaca PC01

Ensaio	Resistência máxima mobilizada (kN)		
	Atrito	Ponta	Total
Prova de carga estática	-	-	9.497
CAPWAP individual – 216 horas	4.647	4.912	9.559
Coyle-Reese – 216 horas – 120 cm	4.684	4.912	9.596
Envoltória Máxima – 216 horas	5.252	4.912	10.164
Coyle-Reese – 216 horas – Envoltória Máxima	5.252	4.912	10.164
Envoltória Máxima – Ponta do final de cravação	5.252	5.717	10.969
Coyle-Reese – Envoltória Máxima - Ponta do final de cravação	5.252	5.717	10.969

Com base nesses resultados, pode-se concluir que as estimativas de atrito lateral pelo Método da Envoltória Máxima são corretas e que é possível obter uma simulação da curva carga-recalque do topo que se aproxima da curva prova de carga estática, verificado pela aplicação do método de Coyle-Reese.

3.2.11.3 Método de Coyle-Reese para diversos períodos de repouso

A Figura 95 mostra as curvas do método de Coyle-Reese para os diversos períodos de repouso. Quanto maior o período de repouso mais a curva se aproxima da prova de carga estática. Portanto, é necessário considerar um período de repouso adequado para cicatrização do atrito lateral do solo após a instalação da estaca.

Figura 95. Coyle-Reese da Envoltória Máxima para cada período de repouso – Estaca PC01

3.3 OBRA 3: EMPREENDIMENTO IMOBILIÁRIO - OSASCO, SP

3.3.1 Características da obra e da estaca

O terceiro caso trata de uma estaca integrante das fundações de um empreendimento imobiliário na região de Osasco, município pertencente ao estado de São Paulo.

A estaca ensaiada (P29B) era moldada “*in-loco*”, escavada mecanicamente por perfuratriz tipo “*Clam Shell*”, com seção retangular de grandes dimensões (250 cm x 80 cm), denominada estaca barrete (ver Tabela 40). As ferramentas procedem à escavação e a retirada do solo no interior da perfuração enquanto a mesma é preenchida por fluidos estabilizantes, cujo objetivo é manter a sustentação durante a escavação do solo.

Tabela 40. Característica da estaca - Estaca P29B

Estaca	Seção Transversal	Comprimento			Velocidade de onda	Módulo Dinâmico
		Total	Instru-mentado	Cravado		
Nome	(cm)	(m)	(m)	(m)	m/s	GPa
P29B	250 x 80	11,0	10,0	9,3	4.150	43,0

A concretagem submersa é executada de baixo para cima através de tubo tremonha. Para a realização do ensaio dinâmico foi executado prolongamento da estaca por meio da concretagem de um bloco com formato de coifa e com dimensões específicas para que fosse possível aplicação dos golpes com martelo de queda livre, cujo peso era de 18.000 kg.

3.3.2 Perfil geológico local

O perfil geológico, revelado por sondagem feita nas proximidades da obra, é composto predominantemente por um silte argiloso, medianamente compacto a muito compacto, apresentando NSPT crescente desde seus primeiros metros de profundidade variando de 5 a 40 golpes/30cm (Figura 96).

Figura 96. Perfil geotécnico da região – Obra 3

3.3.3 Métodos semiempíricos por Aoki-Velloso (1975) e Décourt-Quaresma (1978) – Estaca P29B

A partir das informações obtidas do perfil geotécnico local (Figura 96) foram aplicados os métodos semiempíricos de Aoki-Velloso (1975) e Décourt-Quaresma (1978), cujos resultados são apresentados na Figura 97.

Figura 97. Curvas Q Lateral e Q Ponta em função da profundidade – Estaca P29B

Os resultados (7.229 kN para o Aoki-Velloso (1975) e 7.882 kN para Décourt-Quaresma (1978)) mostram um ganho elevado e crescente de capacidade de carga ao longo de sua profundidade para os dois métodos aplicados. Os valores de Q_{ponta} são responsáveis pela maior parcela da capacidade de carga de ruptura (Q_{rup}) do sistema, conforme as Tabelas AV-1 e AV-2 do Anexo V.

3.3.4 Prova de carga estática – Estaca P29B

A prova de carga estática foi realizada na estaca denominada P29B no dia 7 de maio de 2015, utilizando um conjunto composto por bomba e 3 macacos hidráulicos para 6.000 kN apoiados sobre um bloco de concreto (Figura 98).

Figura 98. Montagem da prova de carga estática - Estaca P29B (Fonte: Anson)

Os macacos foram instalados sob uma estrutura de reação formada por uma carapaça e 12 tirantes. Para a medição dos deslocamentos foram usados 4 defletômetros de 50 mm com precisão de centésimo de milímetro. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 41 e, graficamente, na Figura 99, que revela uma ruptura física no último trecho da fase de carregamento.

Tabela 41. Prova de carga estática - estaca P29B

Estágio	Hora	Tempo	Pressão	Carga	Média das Leituras
		(min)	(kPa)	kN	(mm)
0	15:30		0	0	0,00
1	15:32	00:00	6.000	1.510	0,23
	15:34	00:02		1.510	0,25
	15:36	00:04		1.510	0,25
	15:40	00:08		1.510	0,25
	15:47	00:15		1.510	0,25
2	15:48	00:00	12.000	3.030	0,65
	15:50	00:02		3.030	0,68
	15:52	00:04		3.030	0,65
	15:56	00:08		3.030	0,70
	16:03	00:15		3.030	0,69
3	16:30	00:00	18.000	4.589	4,40
	16:32	00:02		4.589	4,60

	16:34	00:04		4.589	4,60
	16:38	00:08		4.589	4,80
	16:45	00:15		4.589	5,00
4	17:36	00:00	25.000	6.305	16,50
	17:38	00:02		6.305	16,71
	17:40	00:04		6.305	16,82
	17:44	00:08		6.305	17,00
	17:51	00:15		6.305	17,00
5	18:04	00:00	28.000	7.060	45,00
	18:08	00:04		7.060	45,90
	18:12	00:08		7.060	47,49
	18:19	00:15		7.060	47,73
	18:34	00:30		7.060	47,73
6	19:00	00:00	28.000	7.060	47,73
	19:02	00:02		7.060	47,73
	19:04	00:04		7.060	47,73
	19:08	00:08		7.060	47,73
	19:15	00:15		7.060	47,73
7	19:19	00:00	12.000	3.030	47,37
	19:29	00:10		3.030	47,32
8	19:23	00:00	0	0	42,85

Figura 99. Curva carregamento-deslocamento - Estaca P29B

3.3.5 Ensaio de carregamento dinâmico com energia crescente – Estaca P29B

3.3.5.1 Método CASE

Ao obter os sinais coletados em campo, o golpe de maior energia foi utilizado para a análise CAPWAP a fim de determinar a máxima carga mobilizada e o cálculo do fator de amortecimento do solo J_c , cujo resultado foi 0,10. Este coeficiente foi considerado válido para todos os golpes aplicados e os resultados são mostrados na Tabela 42. A velocidade de propagação de onda e o módulo elástico foram determinados a partir de ajustes realizados na curva força-velocidade do sinal obtido pelo PDA. Na Figura 100, a curva obtida no PDA possui uma tendência semelhante ao da prova de carga estática.

Tabela 42. Resultados obtidos pelo método CASE - Estaca P29B

Alturas de Queda do Martelo	RMX	DMX	EMX	Nega
(cm)	(kN)	(mm)	(kN-m)	(mm)
44	4.256	8,6	48,4	4
64	4.639	11,9	80,5	6
84	6.406	15,0	112,8	9
104	6.766	18,5	145,7	6

Figura 100. Curvas de carregamento estático e dinâmico - Estaca P29B

3.3.5.2 Análise CAPWAP do último golpe – Estaca P29B

O último golpe aplicado, correspondente à máxima mobilização de resistência, foi utilizado para a análise CAPWAP com os resultados apresentados na Tabela 43. O “Match Quality” resultou em 0,83.

Tabela 43. Resultados obtidos pela análise CAPWAP - Estaca P29B

Estaca	Capacidade Total	Resistência de Atrito		Resistência de Ponta		Quake Lateral Máximo	Quake de Ponta
Nome	kN	kN	%	kN	%	mm	mm
P29B	6.766	3.631	53	3.135	47	1,57	16,36

Os resultados obtidos na análise CAPWAP (Tabela 43) possibilitou realizar uma comparação gráfica entre a curva simulada pela análise CAPWAP e a curva carga-recalque obtida na prova de carga estática (Figura 101).

Figura 101. Curvas CAPWAP e prova de carga estática - Estaca P29B

No trecho final do carregamento da Figura 101 há grandes deslocamentos da estaca, trecho onde a curva estática simulada pelo CAPWAP se afasta do resultado da prova de carga estática. A Tabela 44 e a Figura 102 mostram a distribuição da resistência lateral ao longo do fuste.

Tabela 44. Distribuição de resistência lateral - Estaca P29B

Elementos do Sistema	Comprimento Cravado	Ru
Nº	(m)	(kN)
0	0	0
1	1,3	414
2	3,3	442
3	5,3	927
4	7,3	918
5	9,3	931

Figura 102. Resistência lateral versus comprimento cravado de um golpe - Estaca P29B

3.3.6 Energia complementar como critério de ruptura – Estaca P29B

A Tabela 45 mostra os valores das resistências estáticas para cada golpe adotando o J_c igual a 0,1 do deslocamento DMX, da nega S, da energia cinética T, da resistência total R, da energia complementar cinética T_c e da energia de deformação complementar estática V_c .

Tabela 45. Parâmetros obtidos na prova de carga dinâmica – Estaca P29B

H	R	RMX	Rd	DMX	S	T	K	Tc	Vc
(cm)	kN	kN	kN	mm	mm	kJ	D-S	kJ	kJ
44	5857	4256	1601	8,58	4	48,40	4,58	13,41	9,74
64	6458	4639	1819	11,90	6	80,50	5,90	19,05	13,68
84	9620	6406	3214	15,13	9	113,30	6,13	29,48	19,63
104	10627	6766	3861	18,51	6	145,70	12,51	66,47	42,32

Na Figura 103 apresentam-se as curvas de variação de energia cinética T , da energia cinética complementar T_c e da energia complementar estática V_c com os valores RMX correspondentes de cada golpe aplicado. O trecho final da curva de energia cinética T mostra uma tendência de verticalização, o que indica a mobilização de resistências próximas à ruptura do sistema. Entretanto, a carga de ruptura não foi atingida pois as energias cinéticas complementares T_c e V_c não se tornaram constantes.

Figura 103. Curvas da variação de T , T_c , V_c com RMX - Estaca P29B

A aplicação do princípio de Hamilton para os golpes aplicados nesta estaca resulta nos seguintes valores obtidos na Tabela 46 e na Figura 104.

Tabela 46. Energia e trabalho dos golpes com energias crescentes – Estaca P29B

H	T	Vs	Ws	Wa	Vc
(cm)	(kJ)	(kJ)	(kJ)	(kJ)	(kJ)
44	48,40	18,26	17,02	21,63	9,74
64	80,50	33,02	27,83	38,98	13,68
84	113,30	50,86	57,65	36,01	19,63
104	145,70	73,12	40,59	62,78	42,32

Figura 104. Transformações de energia ao longo do ensaio de carregamento dinâmico – Estaca P29B

Conclui-se que apesar da tendência de valores constantes de Tc e Vc, com comportamento próximo à ruptura conforme mostrado na Figura 103, as energias complementares aumentam gradativamente com o aumento da energia cinética nos últimos golpes aplicados, indicando que ainda não há indícios de estabilização e de ruptura do sistema pelo critério da energia complementar. Os valores discrepantes de W_a foram influenciados pela imprecisão nas medidas de nega em campo no momento do ensaio de carregamento dinâmico.

3.3.7 Envoltória Máxima de Resistência Lateral – Estaca P29B

Neste item são apresentados os resultados das análises CAPWAP de todos os golpes aplicados na estaca P29B durante o ensaio de carregamento dinâmico a fim

de avaliar o desenvolvimento da mobilização da resistência lateral. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 47 e nas Figuras 105 e 106.

Tabela 47. Segmentos de resistência lateral e máximos - Estaca P29B

Elementos do Sistema	Comprimento Cravado	Ru (kN)				Envoltória Máxima
Nº	(m)	44 (cm)	64 (cm)	84 (cm)	104 (cm)	
0	0,0	0	0	0	0	0
1	1,3	604	449	447	414	604
2	3,3	412	653	585	442	653
3	5,3	351	503	654	927	927
4	7,3	309	531	692	918	918
5	9,3	264	468	712	931	931
Somatória atrito lateral (kN)		1.940	2.604	3.091	3.631	4.033
Resistência de ponta (kN)		2.891	2.811	3.068	3.135	3.135
Resistência total (kN)		4.831	5.415	6.159	6.766	7.168

Figura 105. Mobilização de resistência lateral – Estaca P29B

Ao considerar que pelo método da Envoltória Máxima houve mobilização de 4.033 kN de resistência lateral a partir dos quatro golpes aplicados, conforme a Tabela 47, isso representa um aumento de 401 kN de resistência lateral em comparação à resistência obtida na análise CAPWAP individual do golpe de 104 cm.

Graficamente, a envoltória das curvas estáticas simuladas pelo CAPWAP para as diversas alturas de queda se aproximou bem da curva da prova de carga estática, conforme mostrado na Figura 106.

Figura 106. Curvas CAPWAP e prova de carga estática – Estaca P29B

A Tabela 47 mostra que a máxima mobilização de resistência obtida no método da envoltória se aproximou da resistência máxima da prova de carga estática, com valor igual a 7.168 kN. Em relação à resistência de ponta, a maior capacidade de carga mobilizada foi do último golpe aplicado. Os resultados das análises CAPWAP de todos os golpes encontram-se de maneira detalhada no Anexo VI.

3.3.8 Diagrama de forças normais mobilizadas – Estaca P29B

O diagrama de forças normais resultantes das análises CAPWAP de cada golpe aplicado é apresentado na Figura 107.

Figura 107. Diagrama de força normal – P29B

Enquanto que a resistência lateral aumenta com a aplicação de energias crescentes, a mobilização de resistência de ponta é praticamente constante em todos os golpes. O elevado “*quake*” da ponta indica que o incremento de resistência lateral a cada novo golpe aplicado é mais significativo que o incremento de resistência de ponta, que é praticamente mobilizada desde o primeiro golpe sem grandes variações entre os demais aplicados.

3.3.9 Coyle-Reese (1966) aplicado na estaca P29B

Apresenta-se, a seguir, resultados da aplicação do método de Coyle-Reese (1966) tanto no último golpe aplicado quanto na Envoltória Máxima de Resistência Lateral.

3.3.9.1 Método de Coyle-Reese para o último golpe aplicado – Estaca P29B

A estaca é subdividida em 5 elementos, sendo a primeira divisão de argila siltosa e as quatro restantes de silte argilo-arenoso, como mostra a Tabela 48.

Tabela 48. Dados de entrada para o método de Coyle-Reese do último golpe – P29B

nº	Camada de solo	ΔH (m)	$f_{m\acute{a}x}$ – CAPWAP (kPa)	B (kPa/mm)	“quake” – CAPWAP / y_n (mm)
1	Argila Siltosa	1,5	46,5	46,5	1,0
2	Silte argilo-arenoso	2	32,3	32,3	1,0
3	Silte argilo-arenoso	2	69,0	69,0	1,0
4	Silte argilo-arenoso	2	69,5	69,5	1,0
5	Silte argilo-arenoso	2	70,5	70,5	1,0

Na análise CAPWAP do último golpe o “quake” lateral é constante ao longo do fuste, o que indica a mobilização de atrito lateral em toda a extensão da estaca. Além destes dados, são necessários ainda o “quake” de ponta, a resistência de ponta mobilizada, módulo de elasticidade do material que compõe a estaca e seção transversal.

- “Quake” de ponta = 13,7 mm;
- Resistência de ponta mobilizada no último golpe = 3.135 kN;
- Seção transversal = 2,0 m²;
- Módulo de elasticidade = 36,0 GPa;
- EA = 72.000.000 kN.

A capacidade de carga pelo método de Coyle-Reese (1966) foi estimada em 6.752 kN com 16 mm de recalque com os dados de entrada obtidos pela análise CAPWAP do golpe de 104 cm. A partir deste ponto a curva se mantém constante no eixo

vertical sem maiores mobilizações de resistência, conforme demonstra a Figura 108. A curva de Coyle-Reese acompanha o CAPWAP e a prova de carga estática com boa correlação na fase de carregamento.

Figura 108. Coyle-Reese - golpe de 104 cm – P29B

3.3.9.2 Método de Coyle-Reese para a Envoltória Máxima de Resistência Lateral – Estaca P29B

Para a aplicação do método de Coyle-Reese, as médias de atritos laterais e seus respectivos “quakes” foram determinados a partir dos maiores valores mobilizados para cada elemento do sistema estaca-solo. Desta forma, os valores de máximo atrito lateral para as funções de transferência de carga para cada camada de solo são diferentes daqueles calculados para o último golpe aplicado. Dados referentes às funções de transferência de carga pela Envoltória Máxima são mostrados na Tabela 49. O resultado encontra-se na Figura 109.

Tabela 49. Dados de entrada para o método de Coyle-Reese da Envoltória Máxima – Estaca P29B

nº	Camada de solo	ΔH (m)	$f_{m\acute{a}x}$ – CAPWAP (kPa)	B (kPa/mm)	“quake” – CAPWAP / y_n (mm)
1	Argila Siltosa	1,5	67,9	30,9	2,2
2	Silte argilo-arenoso	2	47,7	17,8	2,7
3	Silte argilo-arenoso	2	69,0	69,0	1,0
4	Silte argilo-arenoso	2	69,5	69,5	1,0
5	Silte argilo-arenoso	2	70,5	70,5	1,0

Figura 109. Coyle-Reese – Envoltória Máxima – Estaca P29B

A máxima mobilização de resistência total no método de Coyle-Reese (1966) foi estimado em 7.215 kN com 17 mm deslocamento permanente. Esta capacidade de carga, estimada como a ruptura do sistema, coincide com a interseção entre a linha do critério de ruptura de Davisson (1972) e com a curva estimada no método de Coyle-Reese (1966) com os dados da Envoltória Máxima de Resistência Lateral (ponto “A” da Figura 109).

3.3.10 Síntese dos resultados obtidos para a estaca P29B

A Tabela 50 mostra os resultados obtidos pelos métodos semiempíricos, da prova de carga estática, da análise CAPWAP do último golpe, do Método da Envoltória Máxima de Resistência Lateral, da estimativa com o método de Coyle-Reese do golpe de 104 cm e de Coyle-Reese a partir dos dados da Envoltória Máxima. Diferente dos estudos de caso anteriores que superestimaram valores para a capacidade de carga pela Envoltória Máxima, este caso de obra mostrou que a Envoltória Máxima se aproximou da prova de carga estática tanto graficamente, a partir do conjunto das curvas simuladas pelo CAPWAP (Figura 106), quanto no valor de capacidade de carga total. O resultado de capacidade de carga total da Envoltória Máxima é ligeiramente maior, indicando a carga de ruptura do sistema. Os resultados próximos das capacidades de carga entre a PCE e a Envoltória Máxima mostram que o Método da Envoltória Máxima de Resistência Lateral está correto e que pode ser utilizado na determinação da carga de ruptura do sistema ensaiado dinamicamente pelo método de energia crescente. A aplicação de Coyle-Reese mostrou valores próximos da Envoltória Máxima e da PCE com excelente correlação na fase de carregamento da curva carga-recalque até 4.500 kN e a possibilidade de avaliar a ruptura do sistema aplicando o critério de Davisson, na qual a interseção de sua linha coincidiu com o valor de ruptura estimado pela curva de Coyle-Reese utilizando os dados da Envoltória Máxima de Resistência Lateral.

Tabela 50. Resultados obtidos - Estaca P29B

Ensaio	Resistência máxima mobilizada (kN)		
	Atrito	Ponta	Total
Aoki-Veloso (1975)	1.257	5.972	7.229
Décourt-Quaresma (1978)	2.453	5.429	7.882
Prova de Carga Estática	-	-	7.060
CAPWAP individual – 104 cm	3.631	3.135	6.766
Envoltória Máxima	4.033	3.135	7.168
Coyle-Reese – 104 cm	3.617	3.135	6.752
Coyle-Reese – Envoltória Máxima	4.080	3.135	7.215

4 CAPÍTULO 4 – CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

4.1 CONCLUSÕES

4.1.1 SOBRE OS ENSAIOS DE CARREGAMENTO DINÂMICO

As análises CAPWAP devem ser realizadas corretamente e de maneira independente para cada sinal obtido no ensaio, a fim de que não ocorram perturbações na distribuição do atrito lateral. As análises devem atingir valores satisfatórios de “*Match Quality*” e, neste estudo, todas as análises ficaram com “*Best Match*” abaixo de 2.

O sistema de impacto deve ser dimensionado com aplicação de energia suficiente para a máxima mobilização da capacidade de carga da estaca. Caso contrário, a estimativa do atrito pelo método da Envoltória Máxima de Resistência Lateral será subestimada principalmente em camadas de solo próximos à ponta da estaca.

Analisar somente o último golpe aplicado através do CAPWAP a fim de estimar a máxima carga mobilizada e a distribuição de resistência lateral ao longo do fuste resulta em valores subestimados no ensaio de carregamento dinâmico com energia crescente.

Golpes anteriores ao de máxima energia aplicada alteram as propriedades dinâmicas do solo. Este fenômeno fica evidente no primeiro estudo de caso, que mostra a curva do atrito lateral unitário em função do deslocamento do fuste para a camada de argila SFL.

4.1.2 SOBRE A ENVOLTÓRIA MÁXIMA DE RESISTÊNCIA LATERAL

O Método da Envoltória Máxima de Resistência Lateral possibilita recuperar as informações de atrito lateral e de ponta perdidas em golpes anteriores ao de máxima energia aplicada, como ficou evidenciado nos 3 casos de obra analisados. Nas análises CAPWAP sequenciais para o desenvolvimento do Método da Envoltória Máxima existem alguns parâmetros que se mantêm constantes e devem ser considerados em todas as análises, como por exemplo variações de impedância do material que compõe a estaca, “*slacks*” de tração e velocidade de propagação de onda.

Em comparação com a curva carga-recalque obtida na prova de carga estática, o conjunto de curvas estáticas calculadas pelo CAPWAP simulando uma prova de carga cíclica com os resultados da Envoltória Máxima têm correlação igual ou melhor que a análise estática individual simulada pelo CAPWAP do último golpe.

É recomendada a comparação da distribuição de resistência calculada pelo Método da Envoltória Máxima com os resultados de sondagens de simples reconhecimento do solo. Isso foi feito com sucesso para as obras 2 e 3. Para a obra 1 essa comparação foi um tanto imprecisa face à extrema heterogeneidade do subsolo local, revelada pelas sondagens mais próximas da estaca EC1304.

4.1.3 SOBRE O "SET-UP"

O Método da Envoltória Máxima de Resistência Lateral realizada em diversos períodos de repouso da estaca permite uma avaliação do desenvolvimento do atrito lateral ao longo do tempo para cada camada de solo, bem como a projeção de incremento de atrito lateral ao longo do tempo (“*set-up*”). No segundo estudo de caso, foi possível calcular os “*set-ups*” lateral, total e na camada de argila SFL a partir dos dados obtidos pelo Método da Envoltória Máxima de Resistência Lateral em diversos períodos de repouso utilizando padronizações de Bullock (2005).

Foi observado neste estudo de caso que quanto maior o tempo de repouso para a estaca, menor foi o coeficiente de amortecimento J_c ao comparar os golpes com as mesmas alturas de queda do martelo.

4.1.4 SOBRE A SIMULAÇÃO DA CURVA CARGA-RECALQUE ATRAVÉS DO MÉTODO COYLE-REESE

Os máximos valores de atrito lateral calculados pelo Método da Envoltória Máxima possibilita a determinação das funções de transferência de carga para cada camada de solo e, desta forma, aplicações de métodos analíticos baseados nas funções de transferência de carga, como por exemplo Coyle-Reese (1966), apresentado neste estudo. As curvas Qo-yo do Método de Coyle-Reese (1966) com as informações obtidas pelo Método da Envoltória Máxima de Resistência Lateral correlacionaram muito bem com as curvas das provas de carga estática nos três estudos de caso apresentados. Tais correlações foram melhores em comparação com as análises estáticas simuladas pelo CAPWAP de apenas um golpe.

No segundo estudo de caso, o conjunto de curvas obtidas com a aplicação do Método de Coyle-Reese em todos os períodos de repouso da estaca evidenciam a importância da cicatrização do solo, cujos resultados se aproximavam gradativamente da curva da prova de carga estática quanto maior o repouso.

No terceiro caso apresentado, cuja curva carga-recalque da prova de carga estática apresentava indícios de ruptura, as estimativas de capacidade de carga resultantes do Método da Envoltória Máxima e de Coyle-Reese indicam a tendência de ruptura física do sistema causada pelo solo, evidenciada pela interseção com o critério de ruptura de Davisson (1972).

4.2 SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS

Para futuras pesquisas sugere-se a aplicação do Método de Envoltória Máxima de Resistência Lateral em outros tipos de estacas, como hélice contínua, estacas raiz, escavadas de grande diâmetro e pinadas em rocha, incluindo outros tipos de subsolo, como solos predominantemente arenosos e em outras regiões do país.

Será de todo conveniente fazer comparações entre resultados obtidos com o Método da Envoltória Máxima de Resistência Lateral e com provas de carga estática instrumentadas ao longo do fuste.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12131: estacas - prova de carga estática - método de ensaio**, Rio de Janeiro, 2006. 8 p.
- ABNT. NBR 13208. **Estacas - Ensaio de carregamento dinâmico - Método de ensaio**, 2007.
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122: projeto e execução de fundações**, Rio de Janeiro, 2010. 91 p.
- ALLIN, R.; LIKINS, G.; HONEYCUTT, J. Pile Driving Formulas Revisited. **IFCEE**, San Antonio, 17-21 March 2015. 1-11.
- AOKI, N. **Considerações sobre a capacidade de carga de estacas isoladas**. 1976. 44 p. Curso de Extensão Universitária em Engenharia de Fundações, Universidade Gama Filho, Rio de Janeiro, 1976.
- AOKI, N. A New Dynamic Load Test Concept. **Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering**, Rio de Janeiro, v. 1, p. 1-4, 1989.
- AOKI, N. **Carga admissível em estacas através de ensaios dinâmicos**. SEFE - SEMINÁRIO DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES ESPECIAIS. São Paulo. 1991. p. 269-292.
- AOKI, N. **Determinação da capacidade de carga última de estaca cravada em ensaio de carregamento dinâmico de energia crescente**. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos: Universidade de São Paulo. 1997.
- AOKI, N. Energia complementar como critério de ruptura de estaca cravada. **RMCT - Revista Militar de Ciência e Tecnologia**, Rio de Janeiro, v. XVII, n. 3, p. 26 - 42, 3º Quadrimestre 2000.
- AOKI, N.; VELLOSO, D. A. Um Método Aproximado para Estimativa da Capacidade de Carga de Estacas. **Congresso Panamericano de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações**, Buenos Aires, v. V, n. Anais, p. 367 - 376, 1975.
- BILFINGER, W. Set-up em Estacas Cravadas. **V Congresso Luso Brasileiro de Geotecnia**, Gramado, v. 1, p. 9-29, 2010.
- BULLOCK, P. J. The Easy Button for Driven Pile Setup: Dynamic Testing. **From Research to Practice in Geotechnical Engineering**, n. Laier, Crapps and Hussein, ASCE, 2008.

- BULLOCK, P.; SCHMERTMANN, J.; MCVAY, M. Side Shear Setup. I: Test Piles Driven in Florida. **ASCE Journal of Geotechnical Engineering**, Reston, VA, v. 131, p. 292-300, 2005. ISSN 3.
- CHELLIS, R. D. **Pile Foundations**: McGraw-Hill Book Company Inc., 1951.
- CINTRA, J. C. A. et al. **Fundações**: ensaios estáticos e dinâmicos. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.
- COYLE, H. M.; REESE, L. C. Load transfer for axially loaded piles in clay. **Journal of Soil Mech. and Foundation Division. Proc. of the ASCE**, 92, March 1966. 1-26.
- DAVISSON, M. T. High Capacity Piles. Proceedings of Lecture Series Innovations in Foundations Construction. **American Society of Civil Engineers**, Illinois Section, Chicago, p. 81-112, march 1972.
- DÉCOURT, L.; QUARESMA, A. R. Capacidade de Carga de estacas a Partir de Valores de SPT. **6º Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações**, Rio de Janeiro, v. 1, n. Anais, p. 45 - 53, 1978.
- FALCONI, F. et al. **Fundações**: teoria e prática. 3ª. ed. São Paulo: Pini, 2016.
- FELLENIOUS, B. H. The analysis of results from routine pile load tests. **Ground Engineering**, London, v. 13, n. 6, p. 19-31, 1980.
- FELLENIOUS, B. H. **Basics of Foundation Design**, v. Electronic Edition, 2015. 432 p.
- HUSSEIN, M. H.; SHARP, R. M.; KNIGHT, F. W. **The use of Superposition for evaluating pile capacity**. American Society of Civil Engineers. Orlando, Florida. 2002.
- KOMURKA, V.; WAGNER, A.; EDIL, T. Estimating Soil/Pile Set-up. **Wisconsin Highway Research Program**, 2003.
- LIANG, L. et al. Prediction of Long Term Capacity using Dynamic Testing for Underwater Skirt Pile Foundation. **Proceedings of the Twenty-fourth (2014) International Ocean and Polar Engineering Conference**, Busan, Korea, 15 - 20 June 2014.
- LIKINS, G. **Comunicação Pessoal**. 2016.
- LIKINS, G.; RAUSCHE, F. **Correlation of CAPWAP with Static Load Tests**. Proceedings of the Seventh International Conference on The Application of the Stresswave Theory to Piles. Malaysia: Petaling Jaya. 2004.
- LIKINS, G.; RAUSCHE, F. **What constitutes a good PDA test?** Application of Stress Wave Theory to Piles. Lisbon: J.A. Santos. 2008. p. 403-407.

- LYDON, F. D.; BALENDRAN, R. V. Some Observations on Elastic Properties of Plain Concrete. **Cement and Concrete Research**, v. 16, n. 3, p. 267-459, May 1986.
- MASSAD, F. Notes on the interpretation of failure load from routine pile load tests. **Solos e Rochas**, São Paulo, v. 9, n. 1, p. 33-36, abril 1986.
- MASSAD, F. **Solos Marinhos da Baixada Santista - Características e Propriedades Geotécnicas**. São Paulo: Editora de Textos, 2009.
- NIYAMA, S. **Medições Dinâmicas na Cravação de Estacas - Fundamentos, Instrumentação e Aplicações Práticas**. 1983. Dissertação de Mestrado - Escola Politécnica, USP, São Paulo, 1983.
- PILE DYNAMICS, I. **Case Pile Wave Analysis Program - CAPWAP Manual**. 2006., 2006.
- RAUSCHE, F. et al. Static Pile Load-Movement from Dynamic Measurements. **Proceedings of Settlement '94; Vertical and Horizontal Deformations of Foundations and Embankments: College Station, TX**, June 1994. 291-302.
- RAUSCHE, F. et al. Determination of pile driveability and capacity from penetration tests. **FHWA**, 1996.
- RAUSCHE, F. et al. Static and Dynamic Models for CAPWAP Signal Matching. **The art of foundation engineering practice, Geotechnical Special Publication**, Reston, v. 198, p. 534-553, Janeiro 2010. ISSN ASCE.
- RAUSCHE, F.; RICHARDSON, B.; LIKINS, G. E. Multiple Blow CAPWAP Analysis of Pile Dynamic Records. **Proceedings of the Fifth International Conference on The Application of Stress Wave Theory to Piles**, Orlando, FL, p. 144 -162, 1996.
- SILVA, P. C. R. **Avaliação do efeito "set-up" em estacas cravadas em solos argilosos através da teoria da expansão da cavidade cilíndrica**. São Paulo: Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2016.
- SKOV, R.; DENVER, H. Time-dependence of bearing capacity of piles. **Proc. 3rd International Conference on Application of Stress-Wave Theory to Piles**, Canada, 1988. 1-10.
- SMITH, E. A. L. Pile Driving Analysis by the Wave Equation. **Journal of Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE**, v. 86, 1960.
- SVINKIN, M. R.; SKOV, R. Set-up Effect of Cohesive Soils in Pile Capacity. **Proceedings, 6th International Conference on Application of Stress Waves to Piles**, Sao Paulo, Brazil, 2000. 107-111.

TERZAGHI, K. Pile-driving formulas. Discussion on the Progress Report of the Committee on the Bearing Value of Pile Foundations. **Proceedings of the ASCE**, v. 68, n. 2, p. 311-323, Feb 1942.

VAN DER VEEN, C. **The bearing capacity of a pile**. INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING. Zurich: ISSMFE. 1953. p. 84-90.

ANEXO I

Métodos Semi-empíricos para definir a capacidade de carga - EC1304 - Obra 1

AI-1 - Q lateral, Q ponta e Q total por Aoki-Velloso (1975) – SP-02

Aoki-Velloso (1975)							
Descrição do Solo	z (m)	SPT	k	a	Q _{lat,rup} (kN)	Q _{p,rup} (kN)	Q _{rup} (kN)
argila	1	1	200	6,0%	9	57	66
argila	2	1	200	6,0%	17	57	75
argila	3	1	200	6,0%	26	57	83
argila	4	1	200	6,0%	34	57	92
argila	5	2	200	6,0%	52	115	167
argila	6	2	200	6,0%	69	115	184
argila	7	2	200	6,0%	86	115	201
argila	8	2	200	6,0%	103	115	218
argila	9	2	200	6,0%	121	115	236
argila	10	2	200	6,0%	138	115	253
argila	11	2	200	6,0%	155	115	270
argila	12	3	200	6,0%	181	172	353
argila	13	3	200	6,0%	207	172	379
argila	14	2	200	6,0%	224	115	339
argila	15	2	200	6,0%	241	115	356
argila	16	3	200	6,0%	267	172	439
areia argilosa	17	5	600	3,0%	332	862	1193
areia argilosa	18	32	600	3,0%	745	5515	6260
areia argilosa	19	18	600	3,0%	978	3102	4080
areia argilosa	20	11	600	3,0%	1120	1896	3016
areia argilosa	21	3	600	3,0%	1159	517	1676
areia argilosa	22	4	600	3,0%	1211	689	1900
areia siltosa	23	4	800	2,0%	1257	919	2176
areia siltosa	24	4	800	2,0%	1303	919	2222
areia siltosa	25	23	800	2,0%	1567	5285	6852
areia siltosa	26	3	800	2,0%	1601	689	2291
argila arenosa	27	4	350	2,4%	1625	402	2028
argila arenosa	28	4	350	2,4%	1650	402	2052
argila arenosa	29	4	350	2,4%	1674	402	2076
argila arenosa	30	3	350	2,4%	1692	302	1993
argila arenosa	31	4	350	2,4%	1716	402	2118
argila arenosa	32	23	350	2,4%	1855	2312	4167
argila arenosa	33	3	350	2,4%	1873	302	2174
argila arenosa	34	3	350	2,4%	1891	302	2192
areia	35	22	1000	1,4%	2112	6319	8431
areia	36	29	1000	1,4%	2404	8330	10733
areia	37	37	1000	1,4%	2776	10628	13403
areia	38	20	1000	1,4%	2977	5745	8721
argila arenosa	39	22	350	2,4%	3109	2212	5321
argila arenosa	40	24	350	2,4%	3254	2413	5667
argila arenosa	41	23	350	2,4%	3393	2312	5705

argila arenosa	42	25	350	2,4%	3544	2513	6057
areia argilosa	43	26	600	3,0%	3880	4481	8360
areia argilosa	44	39	600	3,0%	4384	6721	11105

AI-2 - Q lateral, Q ponta e Q total por Décourt-Quaresma (1978) – SP-02

Décourt-Quaresma (1978)						
Descrição do Solo	Z (m)	SPT	C (kPa)	Q _{lat,rup} (kN)	Q _{p,rup} (kN)	Q _{rup} (kN)
argila	1	1	120	50	181	231
argila	2	1	120	101	181	281
argila	3	1	120	151	181	332
argila	4	1	120	201	181	382
argila	5	2	120	251	181	432
argila	6	2	120	302	181	483
argila	7	2	120	352	181	533
argila	8	2	120	402	181	583
argila	9	2	120	452	181	633
argila	10	2	120	503	181	684
argila	11	2	120	553	181	734
argila	12	3	120	603	181	784
argila	13	3	120	653	181	834
argila	14	2	120	704	181	885
argila	15	2	120	754	181	935
argila	16	3	120	804	221	1025
areia argilosa	17	5	400	871	2681	3552
areia argilosa	18	32	400	1164	3686	4851
areia argilosa	19	18	400	1340	4088	5429
areia argilosa	20	11	400	1458	2145	3602
areia argilosa	21	3	400	1508	1206	2714
areia argilosa	22	4	400	1567	737	2304
areia siltosa	23	4	400	1625	804	2429
areia siltosa	24	4	400	1684	2078	3762
areia siltosa	25	23	400	1902	2011	3912
areia siltosa	26	3	400	1952	2011	3963
argila arenosa	27	4	120	2011	221	2232
argila arenosa	28	4	120	2069	241	2311
argila arenosa	29	4	120	2128	221	2349
argila arenosa	30	3	120	2178	221	2399
argila arenosa	31	4	120	2237	603	2840
argila arenosa	32	23	120	2455	603	3058
argila arenosa	33	3	120	2505	583	3088
argila arenosa	34	3	120	2555	181	2736
areia	35	22	400	2765	2513	5278

areia	36	29	400	3033	5127	8160
areia	37	37	400	3368	6635	10003
areia	38	20	400	3560	5730	9291
argila arenosa	39	22	120	3770	1267	5037
argila arenosa	40	24	120	3996	1387	5383
argila arenosa	41	23	120	4214	1417	5631
argila arenosa	42	25	120	4448	1448	5896
areia argilosa	43	26	400	4691	5127	9819
areia argilosa	44	39	400	5043	6535	11578

AI-3 - Q lateral, Q ponta e Q total por Aoki-Velloso (1975) – SP-317

Aoki-Velloso (1975)							
Descrição do Solo	z (m)	SPT	k	a	Q _{lat,rup} (kN)	Q _{p,rup} (kN)	Q _{rup} (kN)
argila	1	0	200	6,0%	0	0	0
argila	2	0	200	6,0%	0	0	0
argila	3	0	200	6,0%	0	0	0
argila	4	0	200	6,0%	0	0	0
argila	5	1	200	6,0%	9	57	66
argila	6	1	200	6,0%	17	57	75
argila	7	2	200	6,0%	34	115	149
argila	8	1	200	6,0%	43	57	101
argila	9	4	200	6,0%	78	230	307
argila	10	2	200	6,0%	95	115	210
argila	11	4	200	6,0%	129	230	359
argila	12	6	200	6,0%	181	345	526
argila	13	7	200	6,0%	241	402	643
argila	14	6	200	6,0%	293	345	638
argila	15	6	200	6,0%	345	345	689
argila	16	4	200	6,0%	379	230	609
argila	17	5	200	6,0%	422	287	709
argila	18	4	200	6,0%	457	230	686
argila	19	5	200	6,0%	500	287	787
argila	20	6	200	6,0%	551	345	896
argila	21	8	200	6,0%	620	460	1080
argila	22	14	200	6,0%	741	804	1545
areia argilo-siltosa	23	18	500	2,8%	922	2585	3507
areia argilo-siltosa	24	21	500	2,8%	1133	3016	4149
areia argilo-siltosa	25	18	500	2,8%	1314	2585	3899
areia argilo-siltosa	26	21	500	2,8%	1525	3016	4541
areia argilosa	27	16	600	3,0%	1732	2757	4489
areia argilosa	28	15	600	3,0%	1926	2585	4511

areia argilosa	29	18	600	3,0%	2159	3102	5261
areia argilosa	30	8	600	3,0%	2262	1379	3641
areia argilosa	31	29	600	3,0%	2637	4998	7635
areia argilosa	32	33	600	3,0%	3063	5687	8751
areia argilosa	33	30	600	3,0%	3451	5170	8621
areia argilosa	34	24	600	3,0%	3761	4136	7897
areia argilo-siltosa	35	28	500	2,8%	4043	4021	8064
areia argilo-siltosa	36	34	500	2,8%	4385	4883	9268
areia argilosa	37	34	600	3,0%	4824	5860	10684
areia argilosa	38	29	600	3,0%	5199	4998	10197
areia argilosa	39	25	600	3,0%	5522	4308	9830
areia argilosa	40	43	600	3,0%	6078	7411	13488
areia argilosa	41	45	600	3,0%	6659	7755	14415
areia argilosa	42	47	600	3,0%	7267	8100	15367
areia argilo-siltosa	43	49	500	2,8%	7760	7037	14797
areia argilo-siltosa	44	49	500	2,8%	8252	7037	15289

AI-4 - Q lateral, Q ponta e Q total por Décourt-Quaresma (1978) – SP-317

Décourt-Quaresma (1978)						
Descrição do Solo	Z (m)	SPT	C (kPa)	Q _{lat,rup} (kN)	Q _{p,rup} (kN)	Q _{rup} (kN)
argila	1	0	120	50	181	231
argila	2	0	120	101	181	281
argila	3	0	120	151	181	332
argila	4	0	120	201	181	382
argila	5	1	120	251	181	432
argila	6	1	120	302	181	483
argila	7	2	120	352	181	533
argila	8	1	120	402	201	603
argila	9	4	120	461	201	662
argila	10	2	120	511	221	732
argila	11	4	120	570	261	831
argila	12	6	120	645	342	987
argila	13	7	120	729	382	1111
argila	14	6	120	804	382	1186
argila	15	6	120	880	322	1201
argila	16	4	120	938	302	1240
argila	17	5	120	1005	261	1267
argila	18	4	120	1064	281	1345
argila	19	5	120	1131	302	1433
argila	20	6	120	1206	382	1588
argila	21	8	120	1299	563	1861

argila	22	14	120	1441	804	2245
areia argilo-siltosa	23	18	400	1617	3552	5169
areia argilo-siltosa	24	21	400	1818	3820	5638
areia argilo-siltosa	25	18	400	1994	4021	6015
areia argilo-siltosa	26	21	400	2195	3686	5881
areia argilosa	27	16	400	2354	3485	5839
areia argilosa	28	15	400	2505	3284	5789
areia argilosa	29	18	400	2681	2748	5429
areia argilosa	30	8	400	2773	3686	6459
areia argilosa	31	29	400	3041	4691	7733
areia argilosa	32	33	400	3343	6166	9509
areia argilosa	33	30	400	3619	5831	9450
areia argilosa	34	24	400	3845	5429	9274
areia argilo-siltosa	35	28	400	4105	5228	9333
areia argilo-siltosa	36	34	400	4415	6233	10648
areia argilosa	37	34	400	4725	6836	11561
areia argilosa	38	29	400	4993	6333	11326
areia argilosa	39	25	400	5228	5429	10656
areia argilosa	40	43	400	5613	6836	12449
areia argilosa	41	45	400	6015	8847	14862
areia argilosa	42	47	400	6434	9249	15683
areia argilo-siltosa	43	49	400	6870	9651	16521
areia argilo-siltosa	44	49	400	7305	9852	17157

ANEXO II

Resultados das análises CAPWAP e CASE dos golpes aplicados na estaca EC1304
da Obra 1

All-1 – Análises CAPWAP de todos os golpes aplicados na estaca EC1304

CAPWAP – OBRA 1 – EC1304 – GOLPE DE 20 CM

Resultados obtidos - CAPWAP					"Match Quality"			1,35
Resistência Total		4.174,8	Atrito Lateral		3.730,6	Resistência de ponta		444,2
Elementos de solo	Abaixo dos sensores	Comp. cravado	Ru	Força na estaca	Somatória de Ru	Resistência do elemento	Atrito unitário	Quake
Nº	m	m	kN	kN	kN	kN/m	kPa	mm
				4.174,8				
1	8,1	0,6	29,4	4.145,4	29,4	45,37	18,05	1,6
2	10,2	2,7	79,1	4.066,3	108,5	38,93	15,49	1,6
3	12,2	4,7	114,7	3.951,6	223,2	56,45	22,46	1,6
4	14,2	6,7	128,6	3.823,0	351,8	63,29	25,18	1,6
5	16,3	8,8	131,2	3.691,8	483,0	64,57	25,69	1,6
6	18,3	10,8	124,5	3.567,3	607,5	61,27	24,38	1,6
7	20,3	12,8	124,5	3.442,8	732,0	61,27	24,38	1,6
8	22,4	14,9	162,8	3.280,0	894,8	80,12	31,88	1,6
9	24,4	16,9	200,2	3.079,8	1.095,0	98,52	39,20	1,6
10	26,4	18,9	254,9	2.824,9	1.349,9	125,44	49,91	1,5
11	28,4	21,0	288,1	2.536,8	1.638,0	141,78	56,41	1,5
12	30,5	23,0	281,5	2.255,3	1.919,5	138,53	55,12	1,5
13	32,5	25,0	378,4	1.876,9	2.297,9	186,22	74,09	1,4
14	34,5	27,1	450,1	1.426,8	2.748,0	221,51	88,13	1,3
15	36,6	29,1	217,5	1.209,3	2.965,5	107,04	42,59	1,4
16	38,6	31,1	174,8	1.034,5	3.140,3	86,02	34,23	1,3
17	40,6	33,2	124,5	910,0	3.264,8	61,27	24,38	1,3
18	42,7	35,2	104,0	806,0	3.368,8	51,18	20,36	1,2
19	44,7	37,2	104,0	702,0	3.472,8	51,18	20,36	1,1
20	46,7	39,3	104,0	598,0	3.576,8	51,18	20,36	1,1
21	48,8	41,3	90,3	507,7	3.667,1	44,44	17,68	1,1
22	50,8	43,3	63,5	444,2	3.730,6	31,25	12,43	1,1
Média	Fuste		169,6			86,12	34,26	1,4
	Ponta		444,2				883,71	1,3
Parâmetros do solo - Extensões						Fuste	Ponta	
Fator de amortecimento de Smith						1,2	3,8	
Fator de amortecimento do Case						1,6	0,6	
Quake de descarregamento (%)					qu / qtu	196	30	
Nível de recarga (%)					RI / Rlt	100	100	
Nível de descarregamento (%)					Rnu	21		
Vazio sob a ponta (mm)					tg		0,2	
Embuchamento de solo na ponta da estaca (kN)						mpl	5,1	
FMX	DMX	DFN	SET	EMX				
kN	mm	mm	mm	kJ				
2.839,0	10,9	0,1	0,1	26,7				

Valores máximos e mínimos alcançados durante o golpe analisado

Elementos de solo	Abaixo dos sensores	Força máxima	Força mínima	Compressão máxima	Força mínima/ área	Energia máxima	Desloc. Máximo
Nº	m	kN	kN	MPa	MPa	kJ	mm
1,0	1,0	2.866,9	-117,5	9,4	-0,4	26,4	10,8
2,0	2,0	2.917,9	-156,8	9,5	-0,5	26,1	10,5
5,0	5,1	3.089,9	-269,0	10,1	-0,9	24,9	9,7
8,0	8,1	3.285,6	-377,4	10,7	-1,2	23,6	8,9
11,0	11,2	3.334,8	-434,0	10,9	-1,4	20,9	8,0
14,0	14,2	3.386,1	-480,0	11,1	-1,6	18,3	7,1
17,0	17,3	3.207,3	-462,6	10,5	-1,5	14,7	6,3
20,0	20,3	3.160,0	-489,2	10,3	-1,6	12,6	5,5
23,0	23,4	2.928,0	-439,6	9,6	-1,4	10,0	4,7
26,0	26,4	2.789,5	-415,3	9,1	-1,4	8,2	4,0
29,0	29,5	2.264,1	-290,8	7,4	-1,0	5,7	3,4
32,0	32,5	2.032,6	-241,2	6,6	-0,8	4,4	2,9
35,0	35,6	1.427,5	-53,7	4,7	-0,2	2,5	2,4
38,0	38,6	1.249,1	-50,3	4,1	-0,2	1,9	2,1
41,0	41,7	965,8	-64,5	3,2	-0,2	1,4	1,9
44,0	44,7	955,3	-79,0	3,1	-0,3	1,2	1,7
45,0	45,7	911,1	-89,9	3,0	-0,3	1,0	1,6
46,0	46,7	918,4	-93,1	3,0	-0,3	1,0	1,5
47,0	47,8	863,9	-110,3	2,8	-0,4	0,9	1,5
48,0	48,8	825,7	-109,9	2,7	-0,4	0,9	1,4
49,0	49,8	724,2	-133,5	2,4	-0,4	0,9	1,4
50,0	50,8	714,6	-133,6	2,3	-0,4	0,9	1,3

Resultados de RMX pelo método CASE em função do coeficiente de amortecimento

J_c

J _c	0,00	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90
RMXt1	3.705	3.619	3.532	3.446	3.359	3.272	3.186	3.099	3.013	2.926
RMX	3.901	3.741	3.580	3.446	3.359	3.272	3.186	3.099	3.013	2.926
RNU	4.481	4.472	4.463	4.454	4.445	4.437	4.428	4.419	4.410	4.401

Resultados gráficos – Estaca EC1304 – Golpe de 20 cm

BTP - Porto de Santos; Pile: Estaca EC1304; Cais - Recravação 8 dias; Blow: 1 (Test: 06-Jun-2012 13:23)
PDI Engenharia

14-Aug-2017
CAPWAP(R) 2014-1

CAPWAP – OBRA 1 – EC1304 – GOLPE DE 40 CM

Resultados obtidos - CAPWAP					"Match Quality"			0,84
Resistência Total		4.590,7	Atrito Lateral		4.045,7	Resistência de ponta		545,0
Elementos de solo	Abaixo dos sensores	Comp. cravado	Ru	Força na estaca	Somatória de Ru	Resistência do elemento	Atrito unitário	Quake
Nº	m	m	kN	kN	kN	kN/m	kPa	mm
				4.590,7				
1	8,1	0,6	1,0	4.589,7	1,0	1,54	0,61	1,1
2	10,2	2,7	29,3	4.560,4	30,3	14,42	5,74	1,1
3	12,2	4,7	126,4	4.434,0	156,7	62,20	24,75	1,1
4	14,2	6,7	146,3	4.287,7	303,0	72,00	28,65	1,1
5	16,3	8,8	137,3	4.150,4	440,3	67,57	26,88	1,1
6	18,3	10,8	140,2	4.010,2	580,5	69,00	27,45	1,1
7	20,3	12,8	132,7	3.877,5	713,2	65,31	25,98	1,1
8	22,4	14,9	166,3	3.711,2	879,5	81,84	32,56	1,1
9	24,4	16,9	198,1	3.513,1	1.077,6	97,49	38,79	1,1
10	26,4	18,9	266,3	3.246,8	1.343,9	131,05	52,14	1,1
11	28,4	21,0	335,2	2.911,6	1.679,1	164,96	65,64	1,1
12	30,5	23,0	455,3	2.456,3	2.134,4	224,06	89,15	1,1
13	32,5	25,0	455,3	2.001,0	2.589,7	224,06	89,15	1,1
14	34,5	27,1	326,2	1.674,8	2.915,9	160,53	63,87	1,1
15	36,6	29,1	271,9	1.402,9	3.187,8	133,81	53,24	1,1
16	38,6	31,1	207,8	1.195,1	3.395,6	102,26	40,69	1,1
17	40,6	33,2	143,4	1.051,7	3.539,0	70,57	28,08	1,1
18	42,7	35,2	113,1	938,6	3.652,1	55,66	22,15	1,1
19	44,7	37,2	113,1	825,5	3.765,2	55,66	22,15	1,1
20	46,7	39,3	113,1	712,4	3.878,3	55,66	22,15	1,1
21	48,8	41,3	98,7	613,7	3.977,0	48,57	19,33	1,1
22	50,8	43,3	68,7	545,0	4.045,7	33,81	13,45	1,1
Média	Fuste		183,9			93,39	37,16	1,1
	Ponta		545,0				1.084,2	1,6
Parâmetros do solo - Extensões						Fuste	Ponta	
Fator de amortecimento de Smith						0,95	4,03	
Fator de amortecimento do Case						1,4	0,8	
Quake de descarregamento (%)					qu / qtu	298	30	
Nível de recarga (%)					Rl / Rlt	100	100	
Nível de descarregamento (%)					Rnu	27		
Vazio sob a ponta (mm)					tg		0,6	
Embuchamento de solo na ponta da estaca (kN)						mpl	2,4	
FMX	DMX	DFN	SET	EMX				
kN	mm	mm	mm	kJ				
3.228,0	13,4	0,1	0,1	37,8				

Valores máximos e mínimos alcançados durante o golpe analisado

Elementos de solo	Abaixo dos sensores	Força máxima	Força mínima	Compressão máxima	Força mínima/área	Energia máxima	Desloc. Máximo
Nº	m	kN	kN	MPa	MPa	kJ	mm
1	1,0	2.866,9	-117,5	9,4	-0,38	26,4	10,8
2	2,0	2.917,9	-156,8	9,5	-0,51	26,1	10,5
5	5,1	3.089,9	-269,0	10,1	-0,88	24,9	9,7
8	8,1	3.285,6	-377,4	10,7	-1,23	23,6	8,9
11	11,2	3.334,8	-434,0	10,9	-1,42	20,9	8,0
14	14,2	3.386,1	-480,0	11,1	-1,57	18,3	7,1
17	17,3	3.207,3	-462,6	10,5	-1,51	14,7	6,3
20	20,3	3.160,0	-489,2	10,3	-1,60	12,6	5,5
23	23,4	2.928,0	-439,6	9,6	-1,44	10,0	4,7
26	26,4	2.789,5	-415,3	9,1	-1,36	8,2	4,0
29	29,5	2.264,1	-290,8	7,4	-0,95	5,7	3,4
32	32,5	2.032,6	-241,2	6,6	-0,79	4,4	2,9
35	35,6	1.427,5	-53,7	4,7	-0,18	2,5	2,4
38	38,6	1.249,1	-50,3	4,1	-0,16	1,9	2,1
41	41,7	965,8	-64,5	3,2	-0,21	1,4	1,9
44	44,7	955,3	-79,0	3,1	-0,26	1,2	1,7
45	45,7	911,1	-89,9	3,0	-0,29	1,0	1,6
46	46,7	918,4	-93,1	3,0	-0,30	1,0	1,5
47	47,8	863,9	-110,3	2,8	-0,36	0,9	1,5
48	48,8	825,7	-109,9	2,7	-0,36	0,9	1,4
49	49,8	724,2	-133,5	2,4	-0,44	0,9	1,4
50	50,8	714,6	-133,6	2,3	-0,44	0,9	1,3

Resultados de RMX pelo método CASE em função do coeficiente de amortecimento J_c

J_c	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
RMX _{t1}	4.627	4.514	4.401	4.288	4.174	4.061	3.948	3.835	3.722	3.609
RMX	4.627	4.514	4.401	4.288	4.174	4.061	3.948	3.835	3.722	3.609
R _{NU}	5.429	5.396	5.363	5.331	5.298	5.265	5.232	5.199	5.166	5.133

Resultados gráficos – Estaca EC1304 – Golpe de 40 cm

BTP - Porto de Santos; Pile: Estaca EC1304; Cais - Recravação 8 dias; Blow: 2 (Test: 06-Jun-2012 13:24)
PDI Engenharia

14-Aug-2017
CAPWAP(R) 2014-1

CAPWAP(R) 2014-1 Licensed to PDI Engenharia

CAPWAP – OBRA 1 – EC1304 – GOLPE DE 60 CM

Resultados obtidos - CAPWAP					"Match Quality"			0,86
Resistência Total		5.651,2	Atrito Lateral		4.685,1	Resistência de ponta		966,1
Elementos de solo	Abaixo dos sensores	Comp. cravado	Ru	Força na estaca	Somatória de Ru	Resistência do elemento	Atrito unitário	Quake
Nº	m	m	kN	kN	kN	kN/m	kPa	mm
				5.651,2				
1	8,1	0,6	7,0	5.644,2	7,0	10,80	4,30	1,5
2	10,2	2,7	29,3	5.614,9	36,3	14,42	5,74	1,5
3	12,2	4,7	122,1	5.492,8	158,4	60,09	23,91	1,5
4	14,2	6,7	138,2	5.354,6	296,6	68,01	27,06	1,5
5	16,3	8,8	147,6	5.207,0	444,2	72,64	28,90	1,5
6	18,3	10,8	127,3	5.079,7	571,5	62,65	24,93	1,5
7	20,3	12,8	136,3	4.943,4	707,8	67,08	26,69	1,5
8	22,4	14,9	163,3	4.780,1	871,1	80,36	31,98	1,5
9	24,4	16,9	173,6	4.606,5	1.044,7	85,43	33,99	1,5
10	26,4	18,9	199,3	4.407,2	1.244,0	98,08	39,03	1,5
11	28,4	21,0	525,9	3.881,3	1.769,9	258,81	102,98	1,4
12	30,5	23,0	633,3	3.248,0	2.403,2	311,66	124,01	1,4
13	32,5	25,0	610,6	2.637,4	3.013,8	300,49	119,56	1,3
14	34,5	27,1	421,0	2.216,4	3.434,8	207,19	82,44	1,3
15	36,6	29,1	281,0	1.935,4	3.715,8	138,29	55,02	1,2
16	38,6	31,1	218,3	1.717,1	3.934,1	107,43	42,75	1,0
17	40,6	33,2	203,4	1.513,7	4.137,5	100,10	39,83	1,0
18	42,7	35,2	195,6	1.318,1	4.333,1	96,26	38,30	0,9
19	44,7	37,2	130,4	1.187,7	4.463,5	64,17	25,53	0,9
20	46,7	39,3	78,4	1.109,3	4.541,9	38,58	15,35	0,7
21	48,8	41,3	72,9	1.036,4	4.614,8	35,88	14,27	0,5
22	50,8	43,3	70,3	966,1	4.685,1	34,60	13,77	0,2
Média	Fuste		213,0			108,15	43,03	1,3
	Ponta		966,1				1.921,99	1,2
Parâmetros do solo - Extensões						Fuste	Ponta	
Fator de amortecimento de Smith						1,0	1,1	
Fator de amortecimento do Case						1,7	0,4	
Quake de descarregamento (%)					qu / qtu	300	30	
Nível de recarga (%)					RI / RIt	100	100	
Nível de descarregamento (%)					Rnu	20		
Vazio sob a ponta (mm)					tg		0,0	
Embuchamento de solo na ponta da estaca (kN)						mpl	16,8	
FMX	DMX	DFN	SET	EMX				
kN	mm	mm	mm	kJ				
3.768,0	15,9	0,1	0,1	51,8				

Valores máximos e mínimos alcançados durante o golpe analisado

Elementos de solo	Abaixo dos sensores	Força máxima	Força mínima	Compressão máxima	Força mínima/área	Energia máxima	Desloc. Máximo
Nº	m	kN	kN	MPa	MPa	kJ	mm
1	1,0	3.809,4	-194,4	12,4	-0,63	51,2	15,6
2	2,0	3.903,7	-258,0	12,7	-0,84	50,6	15,2
5	5,1	4.235,1	-448,4	13,8	-1,46	48,5	14,1
8	8,1	4.432,0	-630,2	14,5	-2,06	46,1	12,9
11	11,2	4.633,4	-764,8	15,1	-2,50	42,6	11,6
14	14,2	4.739,8	-834,5	15,5	-2,72	37,6	10,3
17	17,3	4.557,4	-835,8	14,9	-2,73	30,5	9,1
20	20,3	4.573,2	-902,1	14,9	-2,95	26,3	7,8
23	23,4	4.335,6	-881,2	14,2	-2,88	21,0	6,7
26	26,4	4.209,9	-891,0	13,7	-2,91	17,7	5,6
29	29,5	3.531,6	-713,1	11,5	-2,33	12,0	4,6
32	32,5	2.903,3	-567,8	9,5	-1,85	8,4	3,7
35	35,6	2.050,8	-324,3	6,7	-1,06	4,6	3,1
38	38,6	1.963,0	-285,7	6,4	-0,93	3,4	2,6
41	41,7	1.439,4	-215,2	4,7	-0,70	2,2	2,2
44	44,7	1.266,6	-194,7	4,1	-0,64	1,6	1,8
45	45,7	1.210,5	-203,8	4,0	-0,67	1,3	1,7
46	46,7	1.265,7	-195,6	4,1	-0,64	1,2	1,6
47	47,8	1.225,8	-202,9	4,0	-0,66	1,1	1,5
48	48,8	1.238,9	-193,0	4,0	-0,63	1,1	1,4
49	49,8	1.152,6	-188,6	3,8	-0,62	1,0	1,3
50	50,8	1.112,3	-179,8	3,6	-0,59	0,9	1,2

Resultados de RMX pelo método CASE em função do coeficiente de amortecimento J_c

J_c	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
RMX _{t1}	5.384	5.266	5.148	5.030	4.912	4.794	4.676	4.558	4.440	4.322
RMX	5.384	5.266	5.148	5.030	4.912	4.794	4.676	4.558	4.440	4.322
R _{NU}	6.135	6.093	6.050	6.007	5.964	5.922	5.879	5.836	5.793	5.750

Resultados gráficos – Estaca EC1304 – Golpe de 60 cm

BTP - Porto de Santos; Pile: Estaca EC1304; Cais - Recravação 8 dias; Blow. 3 (Test: 06-Jun-2012 13:25:)
PDIE Engenharia

14-Aug-2017
CAPWAP (R) 2014-1

CAPWAP – OBRA 1 – EC1304 – GOLPE DE 80 CM

Resultados obtidos - CAPWAP					"Match Quality"			0,69
Resistência Total		6.246,8	Atrito Lateral		5.260,6	Resistência de ponta		986,2
Elementos de solo	Abaixo dos sensores	Comp. cravado	Ru	Força na estaca	Somatória de Ru	Resistência do elemento	Atrito unitário	Quake
Nº	m	m	kN	kN	kN	kN/m	kPa	mm
				6.246,8				
1	8,1	0,6	3,9	6.242,9	3,9	6,02	2,39	2,0
2	10,2	2,7	28,6	6.214,3	32,5	14,07	5,60	2,0
3	12,2	4,7	114,1	6.100,2	146,6	56,15	22,34	2,0
4	14,2	6,7	112,2	5.988,0	258,8	55,22	21,97	2,0
5	16,3	8,8	86,9	5.901,1	345,7	42,77	17,02	2,0
6	18,3	10,8	98,9	5.802,2	444,6	48,67	19,37	2,0
7	20,3	12,8	105,8	5.696,4	550,4	52,07	20,72	2,0
8	22,4	14,9	145,2	5.551,2	695,6	71,46	28,43	2,0
9	24,4	16,9	145,0	5.406,2	840,6	71,36	28,39	2,0
10	26,4	18,9	182,5	5.223,7	1.023,1	89,81	35,74	2,0
11	28,4	21,0	504,8	4.718,9	1.527,9	248,43	98,85	2,0
12	30,5	23,0	685,8	4.033,1	2.213,7	337,50	134,29	2,0
13	32,5	25,0	800,5	3.232,6	3.014,2	393,95	156,75	2,0
14	34,5	27,1	458,1	2.774,5	3.472,3	225,44	89,70	1,8
15	36,6	29,1	498,6	2.275,9	3.970,9	245,37	97,63	1,7
16	38,6	31,1	398,2	1.877,7	4.369,1	195,96	77,97	1,1
17	40,6	33,2	247,6	1.630,1	4.616,7	121,85	48,48	0,9
18	42,7	35,2	193,0	1.437,1	4.809,7	94,98	37,79	0,8
19	44,7	37,2	88,8	1.348,3	4.898,5	43,70	17,39	0,6
20	46,7	39,3	95,1	1.253,2	4.993,6	46,80	18,62	0,4
21	48,8	41,3	123,6	1.129,6	5.117,2	60,83	24,20	0,3
22	50,8	43,3	143,4	986,2	5.260,6	70,57	28,08	0,2
Média	Fuste		239,1			121,44	48,32	1,7
	Ponta		986,2				1.961,98	1,7
Parâmetros do solo - Extensões						Fuste	Ponta	
Fator de amortecimento de Smith						1,0	1,4	
Fator de amortecimento do Case						1,9	0,5	
Quake de descarregamento (%)					qu / qtu	300	30	
Nível de recarga (%)					RI / Rlt	100	100	
Nível de descarregamento (%)					Rnu	22		
Vazio sob a ponta (mm)					tg		0,0	
Embuchamento de solo na ponta da estaca (kN)						mpl	5,8	
FMX	DMX	DFN	SET	EMX				
kN	mm	mm	mm	kJ				
4.684,0	19,7	0,1	0,1	76,4				

Valores máximos e mínimos alcançados durante o golpe analisado

Elementos de solo	Abaixo dos sensores	Força máxima	Força mínima	Compressão máxima	Força mínima/área	Energia máxima	Desloc. Máximo
Nº	m	kN	kN	MPa	MPa	kJ	mm
1	1,0	4.689,8	-264,7	15,3	-0,86	75,6	19,4
2	2,0	4.744,1	-334,7	15,5	-1,09	74,8	19,0
5	5,1	4.941,3	-533,0	16,1	-1,74	72,4	17,8
8	8,1	5.186,5	-717,5	16,9	-2,34	69,6	16,5
11	11,2	5.550,2	-884,5	18,1	-2,89	65,2	15,1
14	14,2	5.764,7	-998,9	18,8	-3,26	58,4	13,6
17	17,3	5.718,9	-1.045,3	18,7	-3,41	49,9	12,1
20	20,3	5.871,0	-1.128,0	19,2	-3,68	44,1	10,5
23	23,4	5.759,4	-1.144,5	18,8	-3,74	36,6	9,1
26	26,4	5.680,2	-1.169,2	18,5	-3,82	31,6	7,7
29	29,5	4.970,5	-998,7	16,2	-3,26	22,9	6,4
32	32,5	4.266,6	-881,3	13,9	-2,88	16,9	5,3
35	35,6	3.004,8	-714,0	9,8	-2,33	10,0	4,5
38	38,6	2.653,5	-685,1	8,7	-2,24	7,3	3,9
41	41,7	1.846,7	-498,8	6,0	-1,63	4,5	3,4
44	44,7	1.707,5	-437,1	5,6	-1,43	3,7	3,0
45	45,7	1.678,2	-407,0	5,5	-1,33	3,4	2,9
46	46,7	1.744,2	-400,0	5,7	-1,31	3,4	2,7
47	47,8	1.676,5	-358,9	5,5	-1,17	3,1	2,6
48	48,8	1.682,7	-358,0	5,5	-1,17	3,1	2,5
49	49,8	1.519,1	-304,7	5,0	-0,99	2,7	2,4
50	50,8	1.469,7	-300,9	4,8	-0,98	2,3	2,3

Resultados de RMX pelo método CASE em função do coeficiente de amortecimento J_c

J_c	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
RMX _{t1}	6.358	6.216	6.074	5.932	5.790	5.648	5.506	5.364	5.222	5.080
RMX	6.687	6.447	6.210	5.974	5.790	5.648	5.506	5.364	5.222	5.080
R _{NU}	7.050	6.977	6.904	6.831	6.758	6.685	6.612	6.539	6.466	6.393

Resultados gráficos – Estaca EC1304 – Golpe de 80 cm

BTP - Porto de Santos; Pile: Estaca EC1304; Cais - Recravação 8 dias; Blow: 4 (Test: 06-Jun-2012 13:27:)
PDI Engenharia

14-Aug-2017
CAPWAP (R) 2014-1

CAPWAP – OBRA 1 – EC1304 – GOLPE DE 100 CM

Resultados obtidos - CAPWAP					"Match Quality"			0,69
Resistência Total		7.215,9	Atrito Lateral		5.825,2	Resistência de ponta		1.390,7
Elementos de solo	Abaixo dos sensores	Comp. cravado	Ru	Força na estaca	Somatória de Ru	Resistência do elemento	Atrito unitário	Quake
Nº	m	m	kN	kN	kN	kN/m	kPa	mm
				7.215,9				
1	8,1	0,6	0,0	7.215,9	0,0	0,00	0,00	2,1
2	10,2	2,7	18,6	7.197,3	18,6	9,15	3,64	2,1
3	12,2	4,7	117,4	7.079,9	136,0	57,78	22,99	2,1
4	14,2	6,7	108,5	6.971,4	244,5	53,40	21,25	2,1
5	16,3	8,8	96,7	6.874,7	341,2	47,59	18,93	2,1
6	18,3	10,8	91,6	6.783,1	432,8	45,08	17,94	2,1
7	20,3	12,8	81,4	6.701,7	514,2	40,06	15,94	2,1
8	22,4	14,9	114,8	6.586,9	629,0	56,50	22,48	2,1
9	24,4	16,9	137,1	6.449,8	766,1	67,47	26,85	2,1
10	26,4	18,9	191,8	6.258,0	957,9	94,39	37,56	2,1
11	28,4	21,0	308,9	5.949,1	1.266,8	152,02	60,49	2,1
12	30,5	23,0	615,0	5.334,1	1.881,8	302,66	120,42	2,1
13	32,5	25,0	856,6	4.477,5	2.738,4	421,56	167,73	2,1
14	34,5	27,1	866,1	3.611,4	3.604,5	426,23	169,59	2,1
15	36,6	29,1	875,1	2.736,3	4.479,6	430,66	171,35	2,1
16	38,6	31,1	589,8	2.146,5	5.069,4	290,26	115,49	2,1
17	40,6	33,2	251,5	1.895,0	5.320,9	123,77	49,25	2,1
18	42,7	35,2	213,3	1.681,7	5.534,2	104,97	41,77	2,1
19	44,7	37,2	130,7	1.551,0	5.664,9	64,32	25,59	2,1
20	46,7	39,3	80,4	1.470,6	5.745,3	39,57	15,74	1,8
21	48,8	41,3	50,0	1.420,6	5.795,3	24,61	9,79	1,4
22	50,8	43,3	29,9	1.390,7	5.825,2	14,71	5,85	1,1
Média	Fuste		264,8			134,47	53,50	2,1
	Ponta		1.390,7				2.766,71	2,6
Parâmetros do solo - Extensões						Fuste	Ponta	
Fator de amortecimento de Smith						1,0	1,0	
Fator de amortecimento do Case						2,0	0,5	
Quake de descarregamento (%)					qu / qtu	300	53	
Nível de recarga (%)					RI / RIt	100	100	
Nível de descarregamento (%)					Rnu	57		
Vazio sob a ponta (mm)					tg		0,0	
Embuchamento de solo na ponta da estaca (kN)						mpl	12,7	
FMX	DMX	DFN	SET	EMX				
kN	mm	mm	mm	kJ				
5.158,0	22,3	1,0	1,0	95,3				

Valores máximos e mínimos alcançados durante o golpe analisado

Elementos de solo	Abaixo dos sensores	Força máxima	Força mínima	Compressão máxima	Força mínima/área	Energia máxima	Desloc. Máximo
Nº	m	kN	kN	MPa	MPa	kJ	mm
1	1,0	5.154,6	-286,2	16,8	-0,93	94,5	22,0
2	2,0	5.213,3	-362,1	17,0	-1,18	93,7	21,5
5	5,1	5.395,5	-595,1	17,6	-1,94	90,8	20,2
8	8,1	5.623,1	-810,4	18,4	-2,65	87,4	18,8
11	11,2	5.987,5	-1.000,1	19,5	-3,27	82,7	17,2
14	14,2	6.281,9	-1.098,3	20,5	-3,59	74,3	15,6
17	17,3	6.367,9	-1.092,7	20,8	-3,57	63,8	13,9
20	20,3	6.546,6	-1.153,7	21,4	-3,77	56,9	12,3
23	23,4	6.501,0	-1.133,6	21,2	-3,70	48,4	10,6
26	26,4	6.472,1	-1.135,7	21,1	-3,71	42,1	9,0
29	29,5	5.954,8	-909,4	19,4	-2,97	32,7	7,5
32	32,5	5.269,1	-733,9	17,2	-2,40	24,6	6,2
35	35,6	3.411,1	-361,2	11,1	-1,18	13,5	5,2
38	38,6	2.860,6	-257,2	9,3	-0,84	8,9	4,4
41	41,7	1.969,1	-261,5	6,4	-0,85	5,2	3,9
44	44,7	1.685,1	-286,4	5,5	-0,93	4,1	3,5
45	45,7	1.623,5	-315,0	5,3	-1,03	3,6	3,3
46	46,7	1.719,2	-309,8	5,6	-1,01	3,5	3,2
47	47,8	1.689,2	-318,6	5,5	-1,04	3,2	3,1
48	48,8	1.709,9	-316,4	5,6	-1,03	3,1	2,9
49	49,8	1.639,2	-316,1	5,4	-1,03	2,9	2,8
50	50,8	1.583,2	-311,6	5,2	-1,02	2,9	2,6

Resultados de RMX pelo método CASE em função do coeficiente de amortecimento J_c

J_c	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
RMX _{t1}	7.162	6.999	6.835	6.672	6.509	6.346	6.183	6.020	5.856	5.693
RMX	7.421	7.163	6.909	6.673	6.509	6.346	6.183	6.020	5.856	5.693
R _{NU}	7.815	7.717	7.620	7.522	7.424	7.326	7.228	7.130	7.033	6.935

Resultados gráficos – Estaca EC1304 – Golpe de 100 cm

BTP - Porto de Santos; Pile: Estaca EC1304; Cais - Recravação 8 dias; Blow: 5 (Test: 06-Jun-2012 13:28:)
PDI Engenharia

14-Aug-2017
CAPWAP (R) 2014-1

CAPWAP – OBRA 1 – EC1304 – GOLPE DE 120 CM

Resultados obtidos - CAPWAP					"Match Quality"			0,80
Resistência Total		7.671,1	Atrito Lateral		6.230,7	Resistência de ponta		1.440,4
Elementos de solo	Abaixo dos sensores	Comp. cravado	Ru	Força na estaca	Somatória de Ru	Resistência do elemento	Atrito unitário	Quake
Nº	m	m	kN	kN	kN	kN/m	kPa	mm
				7.671,1				
1	8,1	0,6	7,7	7.663,4	7,7	11,88	4,73	2,3
2	10,2	2,7	22,8	7.640,6	30,5	11,22	4,46	2,3
3	12,2	4,7	103,8	7.536,8	134,3	51,08	20,33	2,3
4	14,2	6,7	99,1	7.437,7	233,4	48,77	19,40	2,3
5	16,3	8,8	98,9	7.338,8	332,3	48,67	19,37	2,3
6	18,3	10,8	92,6	7.246,2	424,9	45,57	18,13	2,3
7	20,3	12,8	91,3	7.154,9	516,2	44,93	17,88	2,3
8	22,4	14,9	91,1	7.063,8	607,3	44,83	17,84	2,3
9	24,4	16,9	148,1	6.915,7	755,4	72,88	29,00	2,3
10	26,4	18,9	161,5	6.754,2	916,9	79,48	31,62	2,3
11	28,4	21,0	169,8	6.584,4	1.086,7	83,56	33,25	2,3
12	30,5	23,0	505,1	6.079,3	1.591,8	248,57	98,90	2,3
13	32,5	25,0	1.027,1	5.052,2	2.618,9	505,46	201,12	2,3
14	34,5	27,1	1.040,6	4.011,6	3.659,5	512,11	203,76	2,3
15	36,6	29,1	1.052,3	2.959,3	4.711,8	517,86	206,05	2,3
16	38,6	31,1	433,3	2.526,0	5.145,1	213,24	84,84	2,3
17	40,6	33,2	320,2	2.205,8	5.465,3	157,58	62,70	2,2
18	42,7	35,2	200,3	2.005,5	5.665,6	98,57	39,22	1,8
19	44,7	37,2	149,3	1.856,2	5.814,9	73,47	29,23	1,5
20	46,7	39,3	138,6	1.717,6	5.953,5	68,21	27,14	1,2
21	48,8	41,3	138,6	1.579,0	6.092,1	68,21	27,14	0,9
22	50,8	43,3	138,6	1.440,4	6.230,7	68,21	27,14	0,7
Média	Fuste		283,2			143,83	57,23	2,2
	Ponta		1.440,4				2.865,58	3,0
Parâmetros do solo - Extensões						Fuste	Ponta	
Fator de amortecimento de Smith						0,9	1,3	
Fator de amortecimento do Case						2,0	0,7	
Quake de descarregamento (%)					qu / qtu	289,0	78,0	
Nível de recarga (%)					RI / Rlt	100,0	100,0	
Nível de descarregamento (%)					Rnu	37,0		
Vazio sob a ponta (mm)					tg		0,9	
Embuchamento de solo na ponta da estaca (kN)						mpl	5,4	
FMX	DMX	DFN	SET	EMX				
kN	mm	mm	mm	kJ				
5.644,0	24,2	1,0	1,0	112,0				

Valores máximos e mínimos alcançados durante o golpe analisado

Elementos de solo	Abaixo dos sensores	Força máxima	Força mínima	Compressão máxima	Força mínima/área	Energia máxima	Desloc. Máximo
Nº	m	kN	kN	MPa	MPa	kJ	mm
1	1,0	5.650,4	-318,9	18,4	-1,04	111,1	23,9
2	2,0	5.697,0	-394,1	18,6	-1,29	110,2	23,5
5	5,1	5.860,6	-628,5	19,1	-2,05	107,1	22,1
8	8,1	6.070,6	-853,3	19,8	-2,79	103,4	20,6
11	11,2	6.324,2	-1.044,6	20,6	-3,41	97,9	19,0
14	14,2	6.716,4	-1.160,7	21,9	-3,79	89,1	17,3
17	17,3	6.906,4	-1.213,6	22,5	-3,96	77,3	15,5
20	20,3	7.099,5	-1.306,1	23,2	-4,26	69,3	13,8
23	23,4	7.125,0	-1.330,5	23,3	-4,34	59,7	12,0
26	26,4	7.163,0	-1.360,1	23,4	-4,44	52,1	10,3
29	29,5	6.806,5	-1.285,7	22,2	-4,20	42,9	8,6
32	32,5	6.268,0	-1.122,4	20,5	-3,66	34,1	7,2
35	35,6	3.961,2	-617,1	12,9	-2,01	18,3	6,1
38	38,6	3.120,6	-476,4	10,2	-1,56	11,9	5,2
41	41,7	2.223,5	-475,6	7,3	-1,55	7,5	4,6
44	44,7	2.121,2	-486,9	6,9	-1,59	6,1	4,1
45	45,7	2.033,8	-472,1	6,6	-1,54	5,3	3,9
46	46,7	2.102,2	-477,8	6,9	-1,56	5,2	3,7
47	47,8	2.008,9	-450,7	6,6	-1,47	4,5	3,6
48	48,8	2.019,0	-454,7	6,6	-1,48	4,4	3,4
49	49,8	1.841,3	-405,5	6,0	-1,32	3,7	3,2
50	50,8	1.824,5	-407,8	6,0	-1,33	3,3	3,1

Resultados de RMX pelo método CASE em função do coeficiente de amortecimento J_c

J_c	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
RMX _{t1}	7.737	7.552	7.368	7.184	7.000	6.815	6.631	6.447	6.263	6.078
RMX	8.096	7.788	7.499	7.213	7.000	6.815	6.631	6.447	6.263	6.078
R _{NU}	8.416	8.300	8.183	8.067	7.951	7.834	7.718	7.602	7.486	7.369

Resultados gráficos – Estaca EC1304 – Golpe de 120 cm

BTP - Porto de Santos; Pile: Estaca EC1304; Cais - Recravação 8 dias; Blow: 6 (Test: 06-Jun-2012 13:30:)
PDI Engenharia

14-Aug-2017
CAPWAP (R) 2014-1 DEMO

CAPWAP – OBRA 1 – EC1304 – GOLPE DE 120 CM – 120⁽¹⁾

Resultados obtidos - CAPWAP					"Match Quality"			0,77
Resistência Total		8.033,7	Atrito Lateral		6.220,4	Resistência de ponta		1.813,3
Elementos de solo	Abaixo dos sensores	Comp. cravado	Ru	Força na estaca	Somatória de Ru	Resistência do elemento	Atrito unitário	Quake
Nº	m	m	kN	kN	kN	kN/m	kPa	mm
				8.033,7				
1	8,1	0,6	1,0	8.032,7	1,0	1,54	0,61	2,3
2	10,2	2,7	9,2	8.023,5	10,2	4,53	1,80	2,3
3	12,2	4,7	90,9	7.932,6	101,1	44,73	17,80	2,3
4	14,2	6,7	92,0	7.840,6	193,1	45,28	18,01	2,3
5	16,3	8,8	92,1	7.748,5	285,2	45,32	18,03	2,3
6	18,3	10,8	92,2	7.656,3	377,4	45,37	18,05	2,3
7	20,3	12,8	88,8	7.567,5	466,2	43,70	17,39	2,3
8	22,4	14,9	81,7	7.485,8	547,9	40,21	16,00	2,3
9	24,4	16,9	145,0	7.340,8	692,9	71,36	28,39	2,3
10	26,4	18,9	169,0	7.171,8	861,9	83,17	33,09	2,3
11	28,4	21,0	179,0	6.992,8	1.040,9	88,09	35,05	2,3
12	30,5	23,0	576,6	6.416,2	1.617,5	283,76	112,90	2,3
13	32,5	25,0	1.031,8	5.384,4	2.649,3	507,78	202,04	2,3
14	34,5	27,1	975,3	4.409,1	3.624,6	479,97	190,97	2,3
15	36,6	29,1	1.122,4	3.286,7	4.747,0	552,36	219,78	2,3
16	38,6	31,1	570,5	2.716,2	5.317,5	280,76	111,71	2,3
17	40,6	33,2	194,0	2.522,2	5.511,5	95,47	37,99	2,1
18	42,7	35,2	144,5	2.377,7	5.656,0	71,11	28,29	1,7
19	44,7	37,2	143,0	2.234,7	5.799,0	70,37	28,00	1,4
20	46,7	39,3	141,2	2.093,5	5.940,2	69,49	27,65	1,1
21	48,8	41,3	140,5	1.953,0	6.080,7	69,14	27,51	0,8
22	50,8	43,3	139,7	1.813,3	6.220,4	68,75	27,35	0,5
Média	Fuste		282,7			143,59	57,13	2,2
	Ponta		1.813,3				3.607,45	2,4
Parâmetros do solo - Extensões						Fuste	Ponta	
Fator de amortecimento de Smith						0,9	1,1	
Fator de amortecimento do Case						2,1	0,7	
Quake de descarregamento (%)					qu / qtu	300,0	110,0	
Nível de recarga (%)					RI / RIt	100,0	100,0	
Nível de descarregamento (%)					Rnu	33,0		
Vazio sob a ponta (mm)					tg		0,7	
Embuchamento de solo na ponta da estaca (kN)						mpl	3,2	
FMX	DMX	DFN	SET	EMX				
kN	mm	mm	mm	kJ				
6.084,0	25,3	1,0	1,0	122,5				

Valores máximos e mínimos alcançados durante o golpe analisado

Elementos de solo	Abaixo dos sensores	Força máxima	Força mínima	Compressão máxima	Força mínima/área	Energia máxima	Desloc. Máximo
Nº	m	kN	kN	MPa	MPa	kJ	mm
1	1,0	6.101,3	-319,2	19,9	-1,04	121,7	25,0
2	2,0	6.140,0	-402,0	20,0	-1,31	120,8	24,6
5	5,1	6.295,7	-642,3	20,6	-2,10	117,6	23,2
8	8,1	6.433,0	-876,9	21,0	-2,86	113,9	21,7
11	11,2	6.653,5	-1.087,0	21,7	-3,55	108,9	20,1
14	14,2	7.043,4	-1.218,1	23,0	-3,98	99,8	18,3
17	17,3	7.307,1	-1.287,9	23,9	-4,20	87,3	16,5
20	20,3	7.548,0	-1.384,1	24,6	-4,52	78,5	14,6
23	23,4	7.615,1	-1.421,2	24,9	-4,64	68,0	12,7
26	26,4	7.623,7	-1.465,5	24,9	-4,78	59,5	10,9
29	29,5	7.265,2	-1.393,3	23,7	-4,55	49,0	9,2
32	32,5	6.602,7	-1.206,7	21,6	-3,94	38,5	7,6
35	35,6	4.274,5	-711,6	14,0	-2,32	21,1	6,5
38	38,6	3.387,8	-558,7	11,1	-1,82	13,6	5,6
41	41,7	2.462,6	-547,6	8,0	-1,79	8,7	4,9
44	44,7	2.464,4	-551,7	8,0	-1,80	7,3	4,3
45	45,7	2.388,2	-530,4	7,8	-1,73	6,4	4,1
46	46,7	2.461,8	-532,9	8,0	-1,74	6,2	3,9
47	47,8	2.333,4	-494,4	7,6	-1,61	5,4	3,7
48	48,8	2.333,3	-494,3	7,6	-1,61	5,2	3,5
49	49,8	2.143,7	-427,2	7,0	-1,39	4,6	3,3
50	50,8	2.143,6	-426,0	7,0	-1,39	4,2	3,2

Resultados de RMX pelo método CASE em função do coeficiente de amortecimento J_c

J_c	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
RMX _{t1}	8.046	7.850	7.653	7.456	7.259	7.062	6.865	6.668	6.471	6.274
RMX	8.611	8.287	7.963	7.639	7.315	7.062	6.865	6.668	6.471	6.274
R _{NU}	8.703	8.571	8.440	8.309	8.177	8.046	7.915	7.784	7.652	7.521

Resultados gráficos – Estaca EC1304 – Golpe de 120 cm – 120⁽¹⁾

BTP - Porto de Santos; Pile: Estaca EC1304; Cais - Recravação 8 dias; Blow: 7 (Test: 06-Jun-2012 13:32)
PDI Engenharia

14-Aug-2017
CAPWAP(R) 2014-1

CAPWAP – OBRA 1 – EC1304 – GOLPE DE 120 CM – 120⁽²⁾

Resultados obtidos - CAPWAP					"Match Quality"			0,77
Resistência Total		8.021,6	Atrito Lateral		6.205,3	Resistência de ponta		1.816,3
Elementos de solo	Abaixo dos sensores	Comp. cravado	Ru	Força na estaca	Somatória de Ru	Resistência do elemento	Atrito unitário	Quake
Nº	m	m	kN	kN	kN	kN/m	kPa	mm
				8.021,6				
1	8,1	0,6	6,4	8.015,2	6,4	9,88	3,93	2,6
2	10,2	2,7	18,6	7.996,6	25,0	9,15	3,64	2,6
3	12,2	4,7	88,8	7.907,8	113,8	43,70	17,39	2,6
4	14,2	6,7	91,9	7.815,9	205,7	45,23	18,00	2,6
5	16,3	8,8	78,9	7.737,0	284,6	38,83	15,45	2,6
6	18,3	10,8	79,0	7.658,0	363,6	38,88	15,47	2,6
7	20,3	12,8	80,4	7.577,6	444,0	39,57	15,74	2,6
8	22,4	14,9	101,5	7.476,1	545,5	49,95	19,87	2,6
9	24,4	16,9	136,1	7.340,0	681,6	66,98	26,65	2,6
10	26,4	18,9	132,3	7.207,7	813,9	65,11	25,91	2,6
11	28,4	21,0	180,2	7.027,5	994,1	88,68	35,29	2,6
12	30,5	23,0	367,8	6.659,7	1.361,9	181,00	72,02	2,6
13	32,5	25,0	1.092,2	5.567,5	2.454,1	537,50	213,86	2,6
14	34,5	27,1	1.100,3	4.467,2	3.554,4	541,49	215,45	2,6
15	36,6	29,1	1.046,2	3.421,0	4.600,6	514,86	204,86	2,6
16	38,6	31,1	851,9	2.569,1	5.452,5	419,24	166,81	2,6
17	40,6	33,2	185,1	2.384,0	5.637,6	91,09	36,24	2,6
18	42,7	35,2	115,7	2.268,3	5.753,3	56,94	22,66	2,4
19	44,7	37,2	114,7	2.153,6	5.868,0	56,45	22,46	1,9
20	46,7	39,3	113,9	2.039,7	5.981,9	56,05	22,30	1,3
21	48,8	41,3	112,8	1.926,9	6.094,7	55,51	22,09	0,9
22	50,8	43,3	110,6	1.816,3	6.205,3	54,43	21,66	0,6
Média	Fuste		282,1			143,24	56,99	2,5
	Ponta		1.816,3				3.613,41	2,9
Parâmetros do solo - Extensões						Fuste	Ponta	
Fator de amortecimento de Smith						0,9	1,1	
Fator de amortecimento do Case						2,1	0,7	
Quake de descarregamento (%)					qu / qtu	282,0	69,0	
Nível de recarga (%)					RI / Rlt	100,0	100,0	
Nível de descarregamento (%)					Rnu	38,0		
Vazio sob a ponta (mm)					tg		0,6	
Embuchamento de solo na ponta da estaca (kN)						mpl	3,9	
FMX	DMX	DFN	SET	EMX				
kN	mm	mm	mm	kJ				
6.385,0	25,8	1,0	1,0	127,2				

Valores máximos e mínimos alcançados durante o golpe analisado

Elementos de solo	Abaixo dos sensores	Força máxima	Força mínima	Compressão máxima	Força mínima/área	Energia máxima	Desloc. Máximo
Nº	m	kN	kN	MPa	MPa	kJ	mm
1	1,0	6.422,3	-327,3	21,0	-1,07	126,3	25,5
2	2,0	6.459,7	-405,5	21,1	-1,32	125,5	25,1
5	5,1	6.604,0	-638,2	21,6	-2,08	122,6	23,7
8	8,1	6.725,1	-871,9	22,0	-2,85	118,9	22,3
11	11,2	6.821,6	-1.069,6	22,3	-3,49	113,3	20,7
14	14,2	7.018,3	-1.204,7	22,9	-3,93	104,3	18,9
17	17,3	7.353,9	-1.268,8	24,0	-4,14	92,0	17,1
20	20,3	7.653,4	-1.375,5	25,0	-4,49	83,3	15,2
23	23,4	7.736,2	-1.399,6	25,3	-4,57	72,1	13,3
26	26,4	7.820,2	-1.442,7	25,5	-4,71	63,3	11,4
29	29,5	7.475,6	-1.371,1	24,4	-4,48	52,8	9,6
32	32,5	7.104,4	-1.266,7	23,2	-4,14	43,6	8,0
35	35,6	4.526,7	-709,7	14,8	-2,32	23,5	6,8
38	38,6	3.680,4	-568,9	12,0	-1,86	15,6	5,8
41	41,7	2.539,3	-524,9	8,3	-1,71	9,1	5,1
44	44,7	2.547,2	-548,7	8,3	-1,79	7,8	4,5
45	45,7	2.509,2	-549,9	8,2	-1,80	7,0	4,3
46	46,7	2.602,2	-551,7	8,5	-1,80	6,8	4,1
47	47,8	2.517,6	-525,4	8,2	-1,72	6,1	3,9
48	48,8	2.533,2	-524,9	8,3	-1,71	5,9	3,7
49	49,8	2.381,3	-469,0	7,8	-1,53	5,3	3,5
50	50,8	2.384,0	-468,8	7,8	-1,53	4,8	3,3

Resultados de RMX pelo método CASE em função do coeficiente de amortecimento J_c

J_c	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
RMX _{t1}	8.162	7.962	7.762	7.562	7.362	7.163	6.963	6.763	6.563	6.363
RMX	8.970	8.609	8.248	7.887	7.527	7.175	6.963	6.763	6.563	6.363
R _{NU}	8.767	8.627	8.488	8.349	8.209	8.070	7.930	7.791	7.652	7.512

Resultados gráficos – Estaca EC1304 – Golpe de 120 cm – 120⁽²⁾

BTP - Porto de Santos; Pile: Estaca EC1304; Cais - Recravação 8 dias; Blow. 8 (Test: 06-Jun-2012 13:33);
PDI Engenharia

14-Aug-2017
CAPWAP(R) 2014-1

CAPWAP – OBRA 1 – EC1304 – GOLPE DE 120 CM – 120⁽³⁾

Resultados obtidos - CAPWAP					"Match Quality"			0,65
Resistência Total		8.041,4	Atrito Lateral		6.203,5	Resistência de ponta		1.837,9
Elementos de solo	Abaixo dos sensores	Comp. cravado	Ru	Força na estaca	Somatória de Ru	Resistência do elemento	Atrito unitário	Quake
Nº	m	m	kN	kN	kN	kN/m	kPa	mm
				8.041,4				
1	8,1	0,6	1,0	8.040,4	1,0	1,54	0,61	2,3
2	10,2	2,7	19,2	8.021,2	20,2	9,45	3,76	2,3
3	12,2	4,7	96,2	7.925,0	116,4	47,34	18,84	2,3
4	14,2	6,7	96,2	7.828,8	212,6	47,34	18,84	2,3
5	16,3	8,8	104,2	7.724,6	316,8	51,28	20,40	2,3
6	18,3	10,8	76,4	7.648,2	393,2	37,60	14,96	2,3
7	20,3	12,8	76,8	7.571,4	470,0	37,80	15,04	2,3
8	22,4	14,9	85,9	7.485,5	555,9	42,27	16,82	2,3
9	24,4	16,9	127,4	7.358,1	683,3	62,70	24,95	2,3
10	26,4	18,9	134,2	7.223,9	817,5	66,04	26,28	2,3
11	28,4	21,0	123,0	7.100,9	940,5	60,53	24,08	2,3
12	30,5	23,0	489,4	6.611,5	1.429,9	240,85	95,83	2,3
13	32,5	25,0	577,4	6.034,1	2.007,3	284,15	113,06	2,3
14	34,5	27,1	885,4	5.148,7	2.892,7	435,73	173,37	2,3
15	36,6	29,1	1.109,5	4.039,2	4.002,2	546,01	217,25	2,3
16	38,6	31,1	1.027,5	3.011,7	5.029,7	505,66	201,20	2,3
17	40,6	33,2	342,7	2.669,0	5.372,4	168,65	67,10	2,3
18	42,7	35,2	242,1	2.426,9	5.614,5	119,14	47,41	2,3
19	44,7	37,2	243,7	2.183,2	5.858,2	119,93	47,72	2,3
20	46,7	39,3	114,4	2.068,8	5.972,6	56,30	22,40	2,3
21	48,8	41,3	115,1	1.953,7	6.087,7	56,64	22,54	2,3
22	50,8	43,3	115,8	1.837,9	6.203,5	56,99	22,67	2,3
Média	Fuste		282,0			143,20	56,98	2,3
	Ponta		1.837,9				3.656,4	3,3
Parâmetros do solo - Extensões						Fuste	Ponta	
Fator de amortecimento de Smith						0,85	1,31	
Fator de amortecimento do Case						1,9	0,9	
Quake de descarregamento (%)					qu / qtu	300	85	
Nível de recarga (%)					RI / RIt	100	100	
Nível de descarregamento (%)					Rnu	34		
Vazio sob a ponta (mm)					tg		1,0	
Embuchamento de solo na ponta da estaca (kN)						mpl	3,5	
FMX	DMX	DFN	SET	EMX				
kN	mm	mm	mm	kJ				
6.620,0	26,4	1,0	1,0	133,2				

Valores máximos e mínimos alcançados durante o golpe analisado

Elementos de solo	Abaixo dos sensores	Força máxima	Força mínima	Compressão máxima	Força mínima/área	Energia máxima	Desloc. Máximo
Nº	m	kN	kN	MPa	MPa	kJ	mm
1	1,0	6.635,9	-316,8	21,7	-1,03	132,4	26,1
2	2,0	6.679,4	-395,5	21,8	-1,29	131,6	25,7
5	5,1	6.841,4	-624,7	22,3	-2,04	128,8	24,5
8	8,1	6.978,2	-856,5	22,8	-2,80	125,4	23,0
11	11,2	7.066,3	-1.051,4	23,1	-3,43	120,1	21,4
14	14,2	7.019,1	-1.196,5	22,9	-3,91	110,8	19,7
17	17,3	7.246,8	-1.261,5	23,7	-4,12	97,3	17,9
20	20,3	7.655,7	-1.364,7	25,0	-4,46	88,7	16,0
23	23,4	7.789,4	-1.413,2	25,4	-4,61	77,6	14,0
26	26,4	7.862,6	-1.470,8	25,7	-4,80	68,7	12,1
29	29,5	7.726,5	-1.453,2	25,2	-4,74	58,5	10,4
32	32,5	7.157,1	-1.296,5	23,4	-4,23	47,2	8,7
35	35,6	5.402,0	-786,4	17,6	-2,57	30,0	7,3
38	38,6	4.295,5	-548,5	14,0	-1,79	20,3	6,2
41	41,7	2.834,1	-374,1	9,3	-1,22	11,1	5,5
44	44,7	2.731,5	-398,3	8,9	-1,30	8,9	4,8
45	45,7	2.524,5	-429,8	8,2	-1,40	7,5	4,5
46	46,7	2.606,6	-430,6	8,5	-1,41	7,3	4,3
47	47,8	2.526,7	-457,4	8,2	-1,49	6,6	4,1
48	48,8	2.562,3	-457,1	8,4	-1,49	6,4	3,9
49	49,8	2.432,3	-488,2	7,9	-1,59	5,8	3,7
50	50,8	2.457,6	-489,8	8,0	-1,60	5,7	3,5

Resultados de RMX pelo método CASE em função do coeficiente de amortecimento J_c

J_c	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
RMX _{t1}	8.361	8.150	7.938	7.727	7.516	7.304	7.093	6.881	6.670	6.459
RMX	9.293	8.907	8.521	8.135	7.755	7.387	7.093	6.881	6.670	6.459
R _{NU}	8.967	8.816	8.665	8.514	8.363	8.212	8.061	7.911	7.760	7.609

Resultados gráficos – Estaca EC1304 – Golpe de 120 cm – 120⁽³⁾

BTP - Porto de Santos; Pile: Estaca EC1304; Cais - Recravação 8 dias; Blow: 9 (Test: 06-Jun-2012 13:35)
PDIE Engenharia

14-Aug-2017
CAPWAP (R) 2014-1

ANEXO III

Métodos Semi-empíricos para definir a capacidade carga da estaca PC01 da
Obra 2 (TIPLAM)

AIII-1 - Q lateral, Q ponta e Q total por Aoki-Velloso (1975) – SM-101

Aoki - Velloso (1975)							
z (m)	Descrição do Solo	SPT	k	α	Q _{lat, rup} (kN)	Q _{p, rup} (kN)	Q _{rup} (kN)
1	areia argilosa	6	600	0,03	89	1350	1438
2	areia argilosa	10	600	0,03	236	2250	2486
3	areia argilosa	4	600	0,03	295	900	1195
4	areia argilosa	6	600	0,03	384	1350	1734
5	areia argilosa	1	600	0,03	399	225	624
6	areia argilosa	1	600	0,03	413	225	638
7	argila siltosa	1	220	0,04	421	82	503
8	argila siltosa	1	220	0,04	428	82	510
9	argila siltosa	1	220	0,04	435	82	518
10	argila siltosa	1	220	0,04	442	82	525
11	argila siltosa	1	220	0,04	450	82	532
12	argila siltosa	1	220	0,04	457	82	539
13	argila siltosa	1	220	0,04	464	82	547
14	argila siltosa	1	220	0,04	471	82	554
15	argila siltosa	4	220	0,04	500	330	830
16	argila siltosa	4	220	0,04	529	330	859
17	argila siltosa	5	220	0,04	565	412	978
18	argila siltosa	3	220	0,04	587	247	834
19	argila siltosa	2	220	0,04	601	165	766
20	argila siltosa	2	220	0,04	616	165	781
21	argila siltosa	2	220	0,04	630	165	795
22	argila siltosa	2	220	0,04	645	165	809
23	argila siltosa	2	220	0,04	659	165	824
24	areia argilosa	18	600	0,03	925	4049	4974
25	areia argilosa	16	600	0,03	1161	3599	4760
26	areia argilosa	20	600	0,03	1456	4499	5955
27	areia argilosa	34	600	0,03	1958	7648	9607
28	areia argilosa	30	600	0,03	2401	6749	9150
29	areia argilosa	33	600	0,03	2889	7424	10312
30	areia silto-argilosa	30	700	0,024	3302	7873	11176
31	areia silto-argilosa	22	700	0,024	3606	5774	9379
32	areia silto-argilosa	34	700	0,024	4074	8923	12997
33	areia silto-argilosa	21	700	0,024	4364	5511	9875
34	areia silto-argilosa	21	700	0,024	4653	5511	10164

AIII-2 - Q lateral, Q ponta e Q total por Décourt-Quaresma (1978) – SM-101

Décourt - Quaresma (1978)							
Z (m)	Descrição do Solo	SPT	c	β	Q _{lat, rup} (kN)	Q _{p, rup} (kN)	Q _{rup} (kN)
1	areia argilosa	6	400	1	86	2100	2186
2	areia argilosa	10	400	1	211	1750	1960
3	areia argilosa	4	400	1	278	1750	2027
4	areia argilosa	6	400	1	364	1137	1501
5	areia argilosa	1	400	1	421	1050	1471
6	areia argilosa	1	400	1	479	787	1266
7	argila siltosa	1	120	1	536	236	772
8	argila siltosa	1	120	1	593	236	830
9	argila siltosa	1	120	1	651	236	887
10	argila siltosa	1	120	1	708	236	944
11	argila siltosa	1	120	1	766	236	1002
12	argila siltosa	1	120	1	823	236	1059
13	argila siltosa	1	120	1	881	236	1117
14	argila siltosa	1	120	1	938	262	1200
15	argila siltosa	4	120	1	1005	289	1294
16	argila siltosa	4	120	1	1072	341	1413
17	argila siltosa	5	120	1	1149	315	1464
18	argila siltosa	3	120	1	1206	289	1495
19	argila siltosa	2	120	1	1263	236	1500
20	argila siltosa	2	120	1	1321	236	1557
21	argila siltosa	2	120	1	1378	236	1614
22	argila siltosa	2	120	1	1436	236	1672
23	argila siltosa	2	120	1	1493	630	2123
24	areia argilosa	18	400	1	1694	3237	4931
25	areia argilosa	16	400	1	1876	4724	6600
26	areia argilosa	20	400	1	2096	6124	8220
27	areia argilosa	34	400	1	2450	7349	9799
28	areia argilosa	30	400	1	2766	8486	11252
29	areia argilosa	33	400	1	3111	8136	11247
30	areia silto-argilosa	30	400	1	3427	7436	10863
31	areia silto-argilosa	22	400	1	3666	7523	11189
32	areia silto-argilosa	34	400	1	4020	6736	10756
33	areia silto-argilosa	21	400	1	4250	6649	10898
34	areia silto-argilosa	21	400	1	4479	5511	9991

ANEXO IV

Resultados das análises CAPWAP e CASE dos golpes aplicados na estaca PC01 da Obra 2 (TIPLAM)

AIV-1 – Análises CAPWAP de todos os golpes aplicados na estaca PC01

CAPWAP – OBRA 2 – PC01 – FINAL DE CRAVAÇÃO – GOLPE DE 120 CM

Resultados obtidos - CAPWAP					"Match Quality"			1,92
Resistência Total		7.099,1	Atrito Lateral		1.381,8	Resistência de ponta		5.717,3
Elementos de solo	Abaixo dos sensores	Comp. cravado	Ru	Força na estaca	Somatória de Ru	Resistência do elemento	Atrito unitário	Quake
Nº	m	m	kN	kN	kN	kN/m	kPa	mm
				7.099,1				
1	6,0	2,0	0,0	7.099,1	0,0	0,0	0,0	7,5
2	8,0	4,0	1,0	7.098,1	1,0	0,5	0,2	7,5
3	10,0	6,0	9,8	7.088,3	10,8	4,9	1,7	7,5
4	12,0	8,0	11,8	7.076,5	22,6	5,9	2,1	7,5
5	14,1	10,0	12,7	7.063,8	35,3	6,3	2,2	7,5
6	16,1	12,0	20,6	7.043,2	55,9	10,3	3,6	7,5
7	18,1	14,0	33,3	7.009,9	89,2	16,6	5,8	7,5
8	20,1	16,0	42,2	6.967,7	131,4	21,0	7,3	7,5
9	22,1	18,0	45,1	6.922,6	176,5	22,5	7,8	7,5
10	24,1	20,1	46,1	6.876,5	222,6	23,0	8,0	7,5
11	26,1	22,1	50,0	6.826,5	272,6	24,9	8,7	7,5
12	28,1	24,1	70,6	6.755,9	343,2	35,2	12,3	7,5
13	30,1	26,1	128,5	6.627,4	471,7	64,0	22,3	7,5
14	32,1	28,1	234,4	6.393,0	706,1	116,8	40,7	6,4
15	34,1	30,1	323,6	6.069,4	1.029,7	161,2	56,1	4,9
16	36,1	32,1	352,1	5.717,3	1.381,8	175,4	61,1	3,3
Média	Fuste		86,4			43,1	15,0	5,6
	Ponta		5.717,3				100,0	3,1
Parâmetros do solo - Extensões						Fuste	Ponta	
Fator de amortecimento de Smith						1,2	0,5	
Fator de amortecimento do Case						0,9	1,7	
Quake de descarregamento (%)					qu / qtu	92,0	30,0	
Nível de recarga (%)					RI / RIt	100,0	100,0	
Nível de descarregamento (%)					Rnu	54,0		
Vazio sob a ponta (mm)					tg		2,1	
Embuchamento de solo na ponta da estaca (kN)						mpl	0,0	
FMX	DMX	DFN	SET	EMX				
kN	mm	mm	mm	kJ				
7.960,0	20,3	2,0	2,0	91,8				

Valores máximos e mínimos alcançados durante o golpe analisado

Elementos de solo	Abaixo dos sensores	Força máxima	Força mínima	Compressão máxima	Força mínima/área	Energia máxima	Desloc. Máximo
Nº	m	kN	kN	MPa	MPa	kJ	mm
1	1,0	7.937,3	-411,9	175,8	-9,1	91,5	20,3
2	2,0	7.932,0	-647,3	175,7	-14,3	91,3	20,1
4	4,0	7.921,0	-1.049,6	175,5	-23,3	90,8	19,7
6	6,0	7.908,9	-1.243,7	175,2	-27,6	90,2	19,2
8	8,0	7.899,4	-1.351,4	175,0	-29,9	89,4	18,6
10	10,0	7.901,2	-1.410,9	175,0	-31,3	88,4	18,0
12	12,0	7.886,5	-1.427,2	174,7	-31,6	86,8	17,3
14	14,1	7.869,0	-1.451,2	174,3	-32,2	85,1	16,6
16	16,1	7.863,2	-1.472,1	174,2	-32,6	83,2	15,9
18	18,1	7.848,6	-1.468,1	173,9	-32,5	80,5	15,0
20	20,1	7.803,0	-1.442,0	172,9	-32,0	77,3	14,1
22	22,1	7.733,3	-1.401,7	171,3	-31,1	73,9	13,3
24	24,1	7.658,6	-1.381,3	169,7	-30,6	70,3	12,4
26	26,1	7.594,3	-1.465,3	168,2	-32,5	66,5	11,4
28	28,1	7.561,3	-1.529,6	167,5	-33,9	62,3	10,3
30	30,1	7.574,1	-1.562,8	167,8	-34,6	56,8	9,0
31	31,1	7.415,8	-1.523,5	164,3	-33,8	52,0	8,3
32	32,1	7.996,7	-1.540,0	177,2	-34,1	49,0	7,5
33	33,1	8.041,5	-1.450,9	178,2	-32,1	42,5	6,6
34	34,1	8.651,2	-1.462,7	191,7	-32,4	39,4	5,8
35	35,1	8.896,0	-1.336,7	197,1	-29,6	35,5	5,1
36	36,1	9.788,3	-1.341,5	216,9	-29,7	35,4	4,4

Resultados de RMX pelo método CASE em função do coeficiente de amortecimento Jc

Jc	0,0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8
RMX _{t1}	10.547	9.511	8.475	7.439	6.403					
RMX	10.967	10.014	9.151	8.444	7.966	7.571	7.225	6.925	6.664	6.433
R _{NU}	10.877	9.861	8.845	7.829	6.813					

Resultados gráficos – Estaca PC01 – Final de cravação – Golpe de 120 cm

Tiplam; Pile: Estaca PC01; Final de cravação; Blow: 59 (Test: 11-Feb-2015 10:06.)
PDI Engenharia

14-Aug-2017
CAPWAP(R) 2014-1

CAPWAP – OBRA 2 – PC01 – 3 horas de repouso – Golpe de 20 cm

Resultados obtidos - CAPWAP					"Match Quality"			1,69
Resistência Total		4.177,6	Atrito Lateral		2.073,1	Resistência de ponta		2.104,5
Elementos de solo	Abaixo dos sensores	Comp. cravado	Ru	Força na estaca	Somatória de Ru	Resistência do elemento	Atrito unitário	Quake
Nº	m	m	kN	kN	kN	kN/m	kPa	mm
				4.177,6				
1	6,0	2,0	68,6	4.109,0	68,6	34,6	12,1	1,6
2	8,0	4,0	51,0	4.058,0	119,6	25,4	8,9	1,6
3	10,0	6,0	34,3	4.023,7	153,9	17,1	6,0	1,6
4	12,0	8,0	39,2	3.984,5	193,1	19,5	6,8	1,6
5	14,1	10,0	48,1	3.936,4	241,2	24,0	8,3	1,6
6	16,1	12,0	48,1	3.888,3	289,3	24,0	8,3	1,6
7	18,1	14,0	59,8	3.828,5	349,1	29,8	10,4	1,6
8	20,1	16,0	89,2	3.739,3	438,3	44,4	15,5	1,6
9	22,1	18,0	144,2	3.595,1	582,5	71,8	25,0	1,6
10	24,1	20,1	124,5	3.470,6	707,0	62,0	21,6	1,6
11	26,1	22,1	122,6	3.348,0	829,6	61,1	21,3	1,6
12	28,1	24,1	97,1	3.250,9	926,7	48,4	16,8	1,6
13	30,1	26,1	196,1	3.054,8	1.122,8	97,7	34,0	1,6
14	32,1	28,1	267,7	2.787,1	1.390,5	133,3	46,4	1,4
15	34,1	30,1	325,6	2.461,5	1.716,1	162,2	56,5	1,1
16	36,1	32,1	357,0	2.104,5	2.073,1	177,8	61,9	0,7
Média	Fuste		129,6			64,6	22,5	1,4
	Ponta		2.104,5				3.207,5	1,0
Parâmetros do solo - Extensões						Fuste	Ponta	
Fator de amortecimento de Smith						1,02	1,31	
Fator de amortecimento do Case						1,16	1,52	
Quake de descarregamento (%)					qu / qtu	101	102	
Nível de recarga (%)					RI / Rit	100	100	
Nível de descarregamento (%)					Rnu	0		
Vazio sob a ponta (mm)					tg		0	
Embuchamento de solo na ponta da estaca (kN)						mpl	0,0	
FMX	DMX	DFN	SET	EMX				
kN	mm	mm	mm	kJ				
3.897,0	8,7	1,0	1,0	23,7				

Valores máximos e mínimos alcançados durante o golpe analisado

Elementos de solo	Abaixo dos sensores	Força máxima	Força mínima	Compressão máxima	Força mínima/ área	Energia máxima	Desloc. Máximo
Nº	m	kN	kN	MPa	MPa	kJ	mm
1	1,0	3.874,9	-88,3	85,8	-1,96	23,5	8,8
2	2,0	3.885,0	-116,9	86,1	-2,59	23,4	8,7
4	4,0	3.946,0	-173,6	87,4	-3,85	23,1	8,3
6	6,0	4.025,6	-227,9	89,2	-5,05	22,8	8,0
8	8,0	3.875,7	-198,0	85,9	-4,39	21,3	7,6
10	10,0	3.775,1	-202,5	83,6	-4,49	20,2	7,2
12	12,0	3.733,1	-214,6	82,7	-4,75	19,3	6,8
14	14,1	3.683,7	-218,7	81,6	-4,85	18,3	6,5
16	16,1	3.621,3	-209,6	80,2	-4,64	17,4	6,1
18	18,1	3.602,4	-196,9	79,8	-4,36	16,5	5,8
20	20,1	3.593,4	-171,2	79,6	-3,79	15,5	5,4
22	22,1	3.514,9	-115,0	77,9	-2,55	14,1	5,0
24	24,1	3.293,7	-26,4	73,0	-0,58	12,4	4,6
26	26,1	3.127,9	-25,0	69,3	-0,55	10,8	4,1
28	28,1	3.021,6	-23,8	66,9	-0,53	9,3	3,6
30	30,1	3.061,0	-22,9	67,8	-0,51	7,9	3,0
31	31,1	2.991,7	-20,5	66,3	-0,45	6,6	2,7
32	32,1	3.213,7	-20,8	71,2	-0,46	6,1	2,4
33	33,1	3.097,2	-17,5	68,6	-0,39	4,8	2,1
34	34,1	3.268,1	-17,8	72,4	-0,39	4,3	1,7
35	35,1	3.044,7	-13,9	67,5	-0,31	3,3	1,4
36	36,1	3.161,9	-14,0	70,0	-0,31	2,8	1,2

Resultados de RMX pelo método CASE em função do coeficiente de amortecimento J_c

J_c	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
RMX _{t1}	5.461	5.228	4.994	4.760	4.527	4.293	4.060	3.826	3.592	3.359
RMX	5.463	5.234	5.006	4.777	4.554	4.332	4.117	3.903	3.696	3.496
R _{NU}	5.747	5.542	5.337	5.132	4.927	4.722	4.517	4.312	4.107	3.902

Resultados gráficos – Estaca PC01 – 3 horas de repouso – Golpe de 20 cm

Tiplam; Pile: Estaca PC01; Recrvação 3 horas; Blow: 1 (Test: 11-Feb-2015 13:07:)
PDI Engenharia

14-Aug-2017
CAPWAP(R) 2014-1

CAPWAP – OBRA 2 – PC01 – 3 horas de repouso – Golpe de 40 cm

Resultados obtidos - CAPWAP					"Match Quality"			1,84
Resistência Total		5.118,9	Atrito Lateral		2.604,5	Resistência de ponta		2.514,4
Elementos de solo	Abaixo dos sensores	Comp. cravado	Ru	Força na estaca	Somatória de Ru	Resistência do elemento	Atrito unitário	Quake
Nº	m	m	kN	kN	kN	kN/m	kPa	mm
				5.118,9				
1	6,0	2,0	39,2	5.079,7	39,2	19,8	6,9	1,1
2	8,0	4,0	24,5	5.055,2	63,7	12,2	4,3	1,1
3	10,0	6,0	26,5	5.028,7	90,2	13,2	4,6	1,1
4	12,0	8,0	20,6	5.008,1	110,8	10,3	3,6	1,1
5	14,1	10,0	50,0	4.958,1	160,8	24,9	8,7	1,1
6	16,1	12,0	35,3	4.922,8	196,1	17,6	6,1	1,1
7	18,1	14,0	58,8	4.864,0	254,9	29,3	10,2	1,1
8	20,1	16,0	51,0	4.813,0	305,9	25,4	8,9	1,1
9	22,1	18,0	89,2	4.723,8	395,1	44,4	15,5	1,1
10	24,1	20,1	119,6	4.604,2	514,7	59,6	20,8	1,1
11	26,1	22,1	104,0	4.500,2	618,7	51,8	18,0	1,1
12	28,1	24,1	147,1	4.353,1	765,8	73,3	25,5	1,1
13	30,1	26,1	173,6	4.179,5	939,4	86,5	30,1	1,1
14	32,1	28,1	353,0	3.826,5	1.292,4	175,8	61,2	1,1
15	34,1	30,1	446,2	3.380,3	1.738,6	222,2	77,4	0,9
16	36,1	32,1	865,9	2.514,4	2.604,5	431,3	150,2	0,1
Média	Fuste		162,8			81,1	28,3	0,7
	Ponta		2.514,4				3.832,2	1,0
Parâmetros do solo - Extensões						Fuste	Ponta	
Fator de amortecimento de Smith						1,13	1,31	
Fator de amortecimento do Case						1,62	1,81	
Quake de descarregamento (%)					qu / qtu	166	30	
Nível de recarga (%)					RI / Rit	100	100	
Nível de descarregamento (%)					Rnu	13		
Vazio sob a ponta (mm)					tg		0	
Embuchamento de solo na ponta da estaca (kN)						mpl	1,2	
FMX	DMX	DFN	SET	EMX				
kN	mm	mm	mm	kJ				
4.757,0	11,3	0,1	0,1	34,8				

Valores máximos e mínimos alcançados durante o golpe analisado

Elementos de solo	Abaixo dos sensores	Força máxima	Força mínima	Compressão máxima	Força mínima/ área	Energia máxima	Desloc. Máximo
Nº	m	kN	kN	MPa	MPa	kJ	mm
1	1,0	4.731,3	-117,7	104,8	-2,61	34,6	11,3
2	2,0	4.730,3	-184,2	104,8	-4,08	34,5	11,1
4	4,0	4.764,9	-305,3	105,6	-6,76	34,2	10,7
6	6,0	4.820,8	-403,4	106,8	-8,94	33,8	10,4
8	8,0	4.713,2	-469,9	104,4	-10,41	32,4	10,0
10	10,0	4.658,4	-533,5	103,2	-11,82	31,3	9,5
12	12,0	4.615,5	-573,6	102,3	-12,71	30,1	9,0
14	14,1	4.610,4	-621,7	102,1	-13,77	29,1	8,5
16	16,1	4.511,9	-631,5	100,0	-13,99	27,4	8,1
18	18,1	4.478,9	-669,7	99,2	-14,84	26,2	7,6
20	20,1	4.401,6	-645,0	97,5	-14,29	24,6	7,1
22	22,1	4.397,8	-708,2	97,4	-15,69	23,1	6,6
24	24,1	4.272,9	-763,2	94,7	-16,91	20,9	6,0
26	26,1	4.085,8	-772,6	90,5	-17,12	18,3	5,4
28	28,1	4.007,3	-765,4	88,8	-16,96	15,9	4,7
30	30,1	4.094,0	-696,7	90,7	-15,43	13,0	3,9
31	31,1	4.111,1	-628,9	91,1	-13,93	10,9	3,5
32	32,1	4.430,3	-623,7	98,1	-13,82	9,9	3,0
33	33,1	4.307,5	-496,3	95,4	-10,99	7,4	2,5
34	34,1	4.520,8	-475,6	100,2	-10,54	6,5	2,1
35	35,1	4.206,9	-310,1	93,2	-6,87	4,7	1,7
36	36,1	4.334,9	-294,8	96,0	-6,53	3,1	1,4

Resultados de RMX pelo método CASE em função do coeficiente de amortecimento J_c

J_c	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
RMX _{t1}	6.814	6.546	6.277	6.008	5.739	5.470	5.202	4.933	4.664	4.395
RMX	6.835	6.572	6.317	6.061	5.806	5.554	5.309	5.083	4.874	4.669
R _{NU}	6.962	6.708	6.454	6.200	5.946	5.693	5.439	5.185	4.931	4.677

Resultados gráficos – Estaca PC01 – 3 horas de repouso – Golpe de 40 cm

Tiplam; Pile: Estaca PC01; Recrvação 3 horas; Blow: 2 (Test: 11-Feb-2015 13:07:)
PDIE Engenharia

14-Aug-2017
CAPWAP (R) 2014-1

CAPWAP – OBRA 2 – PC01 – 3 horas de repouso – Golpe de 60 cm

Resultados obtidos - CAPWAP					"Match Quality"			1,5
Resistência Total		6.590,1	Atrito Lateral		2.838,1	Resistência de ponta		3.752,0
Elementos de solo	Abaixo dos sensores	Comp. cravado	Ru	Força na estaca	Somatória de Ru	Resistência do elemento	Atrito unitário	Quake
Nº	m	m	kN	kN	kN	kN/m	kPa	mm
				6.590,1				
1	6,0	2,0	58,8	6.531,3	58,8	29,7	10,3	1,1
2	8,0	4,0	34,3	6.497,0	93,1	17,1	6,0	1,1
3	10,0	6,0	22,6	6.474,4	115,7	11,3	3,9	1,1
4	12,0	8,0	18,6	6.455,8	134,3	9,3	3,2	1,1
5	14,1	10,0	55,9	6.399,9	190,2	27,8	9,7	1,1
6	16,1	12,0	53,0	6.346,9	243,2	26,4	9,2	1,1
7	18,1	14,0	53,0	6.293,9	296,2	26,4	9,2	1,1
8	20,1	16,0	71,6	6.222,3	367,8	35,7	12,4	1,1
9	22,1	18,0	98,1	6.124,2	465,9	48,9	17,0	1,1
10	24,1	20,1	111,8	6.012,4	577,7	55,7	19,4	1,1
11	26,1	22,1	124,5	5.887,9	702,2	62,0	21,6	1,1
12	28,1	24,1	138,3	5.749,6	840,5	68,9	24,0	1,1
13	30,1	26,1	138,3	5.611,3	978,8	68,9	24,0	1,1
14	32,1	28,1	409,9	5.201,4	1.388,7	204,2	71,1	1,1
15	34,1	30,1	766,9	4.434,5	2.155,6	382,0	133,0	1,1
16	36,1	32,1	682,5	3.752,0	2.838,1	339,9	118,4	1,0
Média	Fuste		177,4			88,4	30,8	1,0
	Ponta		3.752,0				5.718,5	1,2
Parâmetros do solo - Extensões						Fuste	Ponta	
Fator de amortecimento de Smith						0,68	0,58	
Fator de amortecimento do Case						1,06	1,20	
Quake de descarregamento (%)					qu / qtu	174	30	
Nível de recarga (%)					RI / Rit	100	100	
Nível de descarregamento (%)					Rnu	3		
Vazio sob a ponta (mm)					tg		0,1	
Embuchamento de solo na ponta da estaca (kN)						mpl	1,99	
FMX	DMX	DFN	SET	EMX				
kN	mm	mm	mm	kJ				
6.107,0	14,2	-0,1	0,1	54,1				

Valores máximos e mínimos alcançados durante o golpe analisado

Elementos de solo	Abaixo dos sensores	Força máxima	Força mínima	Compressão máxima	Força mínima/área	Energia máxima	Desloc. Máximo
Nº	m	kN	kN	MPa	MPa	kJ	mm
1	1,0	6.035,2	-176,5	133,7	-3,91	53,8	14,1
2	2,0	6.038,0	-293,0	133,8	-6,49	53,6	13,9
4	4,0	6.090,4	-475,5	134,9	-10,53	53,3	13,5
6	6,0	6.146,2	-596,2	136,2	-13,21	52,8	13,1
8	8,0	5.997,2	-667,1	132,9	-14,78	50,6	12,6
10	10,0	5.927,8	-727,9	131,3	-16,13	49,0	12,1
12	12,0	5.929,9	-769,4	131,4	-17,05	47,7	11,6
14	14,1	5.949,3	-831,0	131,8	-18,41	46,4	11,0
16	16,1	5.857,2	-901,5	129,8	-19,97	44,0	10,3
18	18,1	5.796,6	-935,8	128,4	-20,73	41,9	9,7
20	20,1	5.766,4	-944,9	127,7	-20,93	40,0	9,2
22	22,1	5.702,8	-958,0	126,3	-21,22	37,6	8,5
24	24,1	5.580,7	-1.003,5	123,6	-22,23	34,6	7,9
26	26,1	5.437,6	-1.040,4	120,5	-23,05	31,4	7,1
28	28,1	5.349,9	-1.061,2	118,5	-23,51	27,8	6,3
30	30,1	5.471,3	-1.073,3	121,2	-23,78	23,8	5,3
31	31,1	5.507,6	-1.060,2	122,0	-23,49	21,0	4,7
32	32,1	5.864,8	-1.080,1	129,9	-23,93	19,3	4,1
33	33,1	5.747,1	-1.000,9	127,3	-22,17	14,9	3,5
34	34,1	6.188,4	-1.006,7	137,1	-22,30	13,3	2,9
35	35,1	5.732,0	-844,8	127,0	-18,72	9,4	2,4
36	36,1	5.903,5	-843,3	130,8	-18,68	8,5	1,9

Resultados de RMX pelo método CASE em função do coeficiente de amortecimento J_c

J_c	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
RMX _{t1}	8.640	8.289	7.939	7.588	7.238	6.887	6.537	6.186	5.836	5.485
RMX	8.680	8.346	8.019	7.697	7.387	7.086	6.795	6.524	6.265	6.015
R _{NU}	8.724	8.382	8.040	7.698	7.356	7.014	6.671	6.329	5.987	5.645

Resultados gráficos – Estaca PC01 – 3 horas de repouso – Golpe de 60 cm

Tiplam; Pile: Estaca PC01; Recrvação 3 horas; Blow: 3 (Test: 11-Feb-2015 13:07:)
PDIE Engenharia

14-Aug-2017
CAPWAP(R) 2014-1

CAPWAP – OBRA 2 – PC01 – 3 horas de repouso – Golpe de 80 cm

Resultados obtidos - CAPWAP					"Match Quality"			1,30
Resistência Total		7.556,0	Atrito Lateral		3.201,8	Resistência de ponta		4.354,2
Elementos de solo	Abaixo dos sensores	Comp. cravado	Ru	Força na estaca	Somatória de Ru	Resistência do elemento	Atrito unitário	Quake
Nº	m	m	kN	kN	kN	kN/m	kPa	mm
				7.556,0				
1	6,0	2,0	66,7	7.489,3	66,7	33,6	11,7	3,7
2	8,0	4,0	40,2	7.449,1	106,9	20,0	7,0	3,7
3	10,0	6,0	21,6	7.427,5	128,5	10,8	3,8	3,7
4	12,0	8,0	36,3	7.391,2	164,8	18,1	6,3	3,7
5	14,1	10,0	57,9	7.333,3	222,7	28,8	10,0	3,7
6	16,1	12,0	65,7	7.267,6	288,4	32,7	11,4	3,7
7	18,1	14,0	68,6	7.199,0	357,0	34,2	11,9	3,7
8	20,1	16,0	90,2	7.108,8	447,2	44,9	15,7	3,7
9	22,1	18,0	115,7	6.993,1	562,9	57,6	20,1	3,7
10	24,1	20,1	132,4	6.860,7	695,3	65,9	23,0	3,7
11	26,1	22,1	151,0	6.709,7	846,3	75,2	26,2	3,7
12	28,1	24,1	145,1	6.564,6	991,4	72,3	25,2	3,7
13	30,1	26,1	289,3	6.275,3	1.280,7	144,1	50,2	3,7
14	32,1	28,1	517,8	5.757,5	1.798,5	257,9	89,8	3,7
15	34,1	30,1	769,8	4.987,7	2.568,3	383,4	133,5	3,7
16	36,1	32,1	633,5	4.354,2	3.201,8	315,5	109,9	2,9
Média	Fuste		200,1			99,7	34,7	3,5
	Ponta		4.354,2				6.636,3	2,7
Parâmetros do solo - Extensões						Fuste	Ponta	
Fator de amortecimento de Smith						0,62	0,41	
Fator de amortecimento do Case						1,09	0,98	
Quake de descarregamento (%)					qu / qtu	65	30	
Nível de recarga (%)					RI / Rit	100	100	
Nível de descarregamento (%)					Rnu	9		
Vazio sob a ponta (mm)					tg		0,3	
Embuchamento de solo na ponta da estaca (kN)						mpl	1,40	
FMX	DMX	DFN	SET	EMX				
kN	mm	mm	mm	kJ				
7.026,0	16,6	0,9	1,0	70,3				

Valores máximos e mínimos alcançados durante o golpe analisado

Elementos de solo	Abaixo dos sensores	Força máxima	Força mínima	Compressão máxima	Força mínima/área	Energia máxima	Desloc. Máximo
Nº	m	kN	kN	MPa	MPa	kJ	mm
1	1,0	6.954,7	-274,6	154,1	-6,08	69,9	16,4
2	2,0	6.951,8	-410,6	154,0	-9,10	69,7	16,1
4	4,0	6.966,5	-641,3	154,3	-14,21	69,2	15,7
6	6,0	7.047,8	-766,8	156,1	-16,99	68,6	15,2
8	8,0	6.895,9	-838,9	152,8	-18,59	66,0	14,7
10	10,0	6.807,3	-867,4	150,8	-19,22	64,2	14,2
12	12,0	6.795,3	-901,3	150,5	-19,97	62,8	13,6
14	14,1	6.770,6	-961,2	150,0	-21,29	60,8	12,9
16	16,1	6.692,0	-999,4	148,3	-22,14	58,2	12,2
18	18,1	6.603,2	-1.045,7	146,3	-23,17	55,5	11,5
20	20,1	6.539,5	-1.060,4	144,9	-23,49	52,9	10,9
22	22,1	6.447,0	-1.091,4	142,8	-24,18	50,0	10,2
24	24,1	6.319,3	-1.120,3	140,0	-24,82	46,6	9,5
26	26,1	6.173,5	-1.182,0	136,8	-26,19	43,0	8,7
28	28,1	6.022,0	-1.185,9	133,4	-26,27	38,9	7,8
30	30,1	6.037,7	-1.178,7	133,8	-26,11	34,7	6,8
31	31,1	5.680,9	-1.105,0	125,9	-24,48	30,4	6,2
32	32,1	6.064,4	-1.103,9	134,4	-24,46	28,7	5,6
33	33,1	5.715,1	-965,1	126,6	-21,38	23,6	5,1
34	34,1	6.242,9	-964,8	138,3	-21,37	21,8	4,4
35	35,1	5.831,3	-764,8	129,2	-16,94	17,5	3,9
36	36,1	6.274,2	-766,4	139,0	-16,98	15,9	3,3

Resultados de RMX pelo método CASE em função do coeficiente de amortecimento J_c

J_c	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
RMX _{t1}	9.765	9.343	8.922	8.500	8.079	7.657	7.236	6.815	6.393	5.972
RMX	9.824	9.413	9.010	8.618	8.230	7.860	7.509	7.180	6.874	6.591
RNU	9.839	9.425	9.011	8.597	8.183	7.769	7.355	6.941	6.527	6.113

Resultados gráficos – Estaca PC01 – 3 horas de repouso – Golpe de 80 cm

Tiplam; Pile: Estaca PC01 ; Recrvação 3 horas; Blow: 4 (Test: 11-Feb-2015 13:08:)
PDI Engenharia

14-Aug-2017
CAPWAP(R) 2014-1

CAPWAP – OBRA 2 – PC01 – 3 horas de repouso – Golpe de 100 cm

Resultados obtidos - CAPWAP					"Match Quality"			1,21
Resistência Total		8.431,5	Atrito Lateral		3.367,3	Resistência de ponta		5.064,2
Elementos de solo	Abaixo dos sensores	Comp. cravado	Ru	Força na estaca	Somatória de Ru	Resistência do elemento	Atrito unitário	Quake
Nº	m	m	kN	kN	kN	kN/m	kPa	mm
				8.431,5				
1	6,0	2,0	49,0	8.382,5	49,0	24,7	8,6	3,4
2	8,0	4,0	39,2	8.343,3	88,2	19,5	6,8	3,4
3	10,0	6,0	39,2	8.304,1	127,4	19,5	6,8	3,4
4	12,0	8,0	39,2	8.264,9	166,6	19,5	6,8	3,4
5	14,1	10,0	68,6	8.196,3	235,2	34,2	11,9	3,4
6	16,1	12,0	69,6	8.126,7	304,8	34,7	12,1	3,4
7	18,1	14,0	80,4	8.046,3	385,2	40,0	14,0	3,4
8	20,1	16,0	82,4	7.963,9	467,6	41,0	14,3	3,4
9	22,1	18,0	97,1	7.866,8	564,7	48,4	16,8	3,4
10	24,1	20,1	150,0	7.716,8	714,7	74,7	26,0	3,4
11	26,1	22,1	151,0	7.565,8	865,7	75,2	26,2	3,4
12	28,1	24,1	151,0	7.414,8	1.016,7	75,2	26,2	3,4
13	30,1	26,1	274,6	7.140,2	1.291,3	136,8	47,6	3,4
14	32,1	28,1	627,6	6.512,6	1.918,9	312,6	108,9	3,4
15	34,1	30,1	759,0	5.753,6	2.677,9	378,0	131,7	3,4
16	36,1	32,1	689,4	5.064,2	3.367,3	343,4	119,6	2,9
Média	Fuste		210,5			104,9	36,5	3,3
	Ponta		5.064,2				7.718,4	3,0
Parâmetros do solo - Extensões						Fuste	Ponta	
Fator de amortecimento de Smith						0,60	0,36	
Fator de amortecimento do Case						1,11	0,99	
Quake de descarregamento (%)					qu / qtu	62	34	
Nível de recarga (%)					RI / Rit	100	100	
Nível de descarregamento (%)					Rnu	12		
Vazio sob a ponta (mm)					tg		0,4	
Embuchamento de solo na ponta da estaca (kN)						mpl	0,26	
FMX	DMX	DFN	SET	EMX				
kN	mm	mm	mm	kJ				
7.752,0	17,9	0,5	1,0	83,3				

Valores máximos e mínimos alcançados durante o golpe analisado

Elementos de solo	Abaixo dos sensores	Força máxima	Força mínima	Compressão máxima	Força mínima/área	Energia máxima	Desloc. Máximo
Nº	m	kN	kN	MPa	MPa	kJ	mm
1	1,0	7.693,5	-294,2	170,4	-6,52	82,8	17,7
2	2,0	7.687,8	-420,0	170,3	-9,31	82,6	17,5
4	4,0	7.693,0	-664,3	170,4	-14,72	82,1	17,1
6	6,0	7.758,5	-830,1	171,9	-18,39	81,5	16,6
8	8,0	7.641,4	-949,1	169,3	-21,03	79,1	16,1
10	10,0	7.571,6	-1.010,4	167,7	-22,38	77,0	15,5
12	12,0	7.518,6	-1.037,6	166,6	-22,99	74,7	14,8
14	14,1	7.497,6	-1.097,4	166,1	-24,31	72,4	14,2
16	16,1	7.385,4	-1.163,1	163,6	-25,77	69,1	13,4
18	18,1	7.283,5	-1.165,3	161,4	-25,82	65,7	12,6
20	20,1	7.158,0	-1.207,2	158,6	-26,74	62,1	11,8
22	22,1	7.065,6	-1.205,3	156,5	-26,70	58,8	11,1
24	24,1	6.984,0	-1.200,4	154,7	-26,59	55,3	10,3
26	26,1	6.751,1	-1.292,2	149,6	-28,63	50,7	9,4
28	28,1	6.571,1	-1.306,6	145,6	-28,95	45,8	8,5
30	30,1	6.640,8	-1.288,5	147,1	-28,55	40,6	7,3
31	31,1	6.282,9	-1.210,2	139,2	-26,81	35,6	6,7
32	32,1	6.678,9	-1.213,8	148,0	-26,89	33,6	6,0
33	33,1	6.280,9	-1.034,1	139,1	-22,91	26,6	5,4
34	34,1	6.900,4	-1.033,8	152,9	-22,90	24,5	4,7
35	35,1	6.468,6	-820,4	143,3	-18,18	19,1	4,0
36	36,1	6.874,7	-820,3	152,3	-18,17	17,1	3,4

Resultados de RMX pelo método CASE em função do coeficiente de amortecimento J_c

J_c	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
RMX _{t1}	10.594	10.108	9.621	9.134	8.648	8.161	7.674	7.188	6.701	6.215
RMX	10.627	10.154	9.689	9.235	8.792	8.369	8.001	7.703	7.426	7.163
RNU	10.704	10.228	9.753	9.277	8.801	8.326	7.850	7.374	6.899	6.423

Resultados gráficos – Estaca PC01 – 3 horas de repouso – Golpe de 100 cm

Tiplam; Pile: Estaca PC01; Recrvação 3 horas; Blow 5 (Test: 11-Feb-2015 13:08:)
PDI Engenharia

14-Aug-2017
CAPWAP (R) 2014-1

CAPWAP – OBRA 2 – PC01 – 3 horas de repouso – Golpe de 120 cm

Resultados obtidos - CAPWAP					"Match Quality"			1,24
Resistência Total		8.682,0	Atrito Lateral		3.149,1	Resistência de ponta		5.532,9
Elementos de solo	Abaixo dos sensores	Comp. cravado	Ru	Força na estaca	Somatória de Ru	Resistência do elemento	Atrito unitário	Quake
Nº	m	m	kN	kN	kN	kN/m	kPa	mm
				8.682,0				
1	6,0	2,0	65,7	8.616,3	65,7	33,1	11,5	1,3
2	8,0	4,0	31,4	8.584,9	97,1	15,6	5,5	1,3
3	10,0	6,0	26,5	8.558,4	123,6	13,2	4,6	1,3
4	12,0	8,0	27,5	8.530,9	151,1	13,7	4,8	1,3
5	14,1	10,0	44,1	8.486,8	195,2	22,0	7,7	1,3
6	16,1	12,0	58,8	8.428,0	254,0	29,3	10,2	1,3
7	18,1	14,0	62,8	8.365,2	316,8	31,3	10,9	1,3
8	20,1	16,0	77,5	8.287,7	394,3	38,6	13,4	1,3
9	22,1	18,0	97,1	8.190,6	491,4	48,4	16,8	1,3
10	24,1	20,1	112,8	8.077,8	604,2	56,2	19,6	1,3
11	26,1	22,1	118,7	7.959,1	722,9	59,1	20,6	1,3
12	28,1	24,1	117,7	7.841,4	840,6	58,6	20,4	1,3
13	30,1	26,1	156,9	7.684,5	997,5	78,2	27,2	1,3
14	32,1	28,1	310,9	7.373,6	1.308,4	154,9	53,9	1,3
15	34,1	30,1	876,7	6.496,9	2.185,1	436,7	152,1	1,3
16	36,1	32,1	964,0	5.532,9	3.149,1	480,1	167,2	1,3
Média	Fuste		196,8			98,1	34,2	1,3
	Ponta		5.532,9				8.432,8	3,2
Parâmetros do solo - Extensões						Fuste	Ponta	
Fator de amortecimento de Smith						0,49	0,20	
Fator de amortecimento do Case						0,84	0,61	
Quake de descarregamento (%)					qu / qtu	92	37	
Nível de recarga (%)					RI / Rit	100	100	
Nível de descarregamento (%)					Rnu	25		
Vazio sob a ponta (mm)					tg		0,2	
Embuchamento de solo na ponta da estaca (kN)						mpl	0,00	
FMX	DMX	DFN	SET	EMX				
kN	mm	mm	mm	kJ				
8.135,0	18,8	-0,4	0,1	90,7				

Valores máximos e mínimos alcançados durante o golpe analisado

Elementos de solo	Abaixo dos sensores	Força máxima	Força mínima	Compressão máxima	Força mínima/ área	Energia máxima	Desloc. Máximo
Nº	m	kN	kN	MPa	MPa	kJ	mm
1	1,0	8.116,9	-411,9	179,8	-9,12	90,2	18,5
2	2,0	8.126,6	-576,9	180,0	-12,78	90,0	18,3
4	4,0	8.198,6	-841,5	181,6	-18,64	89,5	17,9
6	6,0	8.254,8	-947,7	182,9	-21,00	89,0	17,4
8	8,0	8.090,5	-1.035,3	179,2	-22,94	85,7	16,8
10	10,0	8.034,8	-1.115,0	178,0	-24,70	83,7	16,2
12	12,0	8.013,3	-1.100,3	177,5	-24,38	81,8	15,6
14	14,1	8.009,2	-1.195,8	177,4	-26,49	79,7	14,9
16	16,1	7.965,5	-1.231,8	176,5	-27,29	76,9	14,1
18	18,1	7.895,7	-1.221,9	174,9	-27,07	73,4	13,2
20	20,1	7.839,3	-1.292,1	173,7	-28,63	70,1	12,5
22	22,1	7.761,6	-1.315,9	172,0	-29,15	66,6	11,7
24	24,1	7.639,1	-1.283,0	169,2	-28,42	62,6	10,9
26	26,1	7.480,4	-1.414,7	165,7	-31,34	58,2	10,0
28	28,1	7.356,2	-1.444,6	163,0	-32,00	53,6	9,1
30	30,1	7.487,4	-1.409,4	165,9	-31,22	48,3	8,0
31	31,1	7.386,8	-1.351,2	163,6	-29,93	43,8	7,3
32	32,1	7.652,0	-1.356,9	169,5	-30,06	41,6	6,6
33	33,1	7.266,6	-1.221,2	161,0	-27,05	35,3	5,9
34	34,1	7.970,7	-1.214,5	176,6	-26,91	32,7	5,2
35	35,1	7.091,5	-866,8	157,1	-19,20	23,2	4,5
36	36,1	7.797,2	-865,6	172,7	-19,18	17,8	3,8

Resultados de RMX pelo método CASE em função do coeficiente de amortecimento J_c

J_c	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
RMX _{t1}	11.044	10.517	9.991	9.464	8.938	8.412	7.885	7.359	6.832	6.306
RMX	11.108	10.593	10.099	9.609	9.144	8.699	8.286	7.931	7.622	7.333
RNU	11.250	10.745	10.239	9.733	9.227	8.722	8.216	7.710	7.205	6.699

Resultados gráficos – Estaca PC01 – 3 horas de repouso – Golpe de 120 cm

Tiplam; Pile: Estaca PC01; Recrvação 3 horas; Blow: 6 (Test: 11-Feb-2015 13:08)
PDI Engenharia

14-Aug-2017
CAPWAP(R) 2014-1

CAPWAP – OBRA 2 – PC01 – 6 horas de repouso – Golpe de 20 cm

Resultados obtidos - CAPWAP					"Match Quality"			1,92
Resistência Total		4.010,0	Atrito Lateral		2.507,6	Resistência de ponta		1.502,4
Elementos de solo	Abaixo dos sensores	Comp. cravado	Ru	Força na estaca	Somatória de Ru	Resistência do elemento	Atrito unitário	Quake
Nº	m	m	kN	kN	kN	kN/m	kPa	mm
				4.010,0				
1	6,0	2,0	111,8	3.898,2	111,8	56,4	19,6	2,0
2	8,0	4,0	74,5	3.823,7	186,3	37,1	12,9	2,0
3	10,0	6,0	19,6	3.804,1	205,9	9,8	3,4	2,0
4	12,0	8,0	41,2	3.762,9	247,1	20,5	7,2	2,0
5	14,1	10,0	84,3	3.678,6	331,4	42,0	14,6	2,0
6	16,1	12,0	117,7	3.560,9	449,1	58,6	20,4	2,0
7	18,1	14,0	136,3	3.424,6	585,4	67,9	23,6	2,0
8	20,1	16,0	148,1	3.276,5	733,5	73,8	25,7	2,0
9	22,1	18,0	149,1	3.127,4	882,6	74,3	25,9	2,0
10	24,1	20,1	139,3	2.988,1	1.021,9	69,4	24,2	2,0
11	26,1	22,1	99,0	2.889,1	1.120,9	49,3	17,2	2,0
12	28,1	24,1	100,0	2.789,1	1.220,9	49,8	17,4	2,0
13	30,1	26,1	102,0	2.687,1	1.322,9	50,8	17,7	2,0
14	32,1	28,1	270,7	2.416,4	1.593,6	134,8	47,0	1,6
15	34,1	30,1	433,5	1.982,9	2.027,1	215,9	75,2	1,3
16	36,1	32,1	480,5	1.502,4	2.507,6	239,3	83,4	1,1
Média	Fuste		156,7			78,1	27,2	1,6
	Ponta		1.502,4				2.289,8	1,1
Parâmetros do solo - Extensões						Fuste	Ponta	
Fator de amortecimento de Smith						0,98	0,87	
Fator de amortecimento do Case						1,34	0,72	
Quake de descarregamento (%)					qu / qtu	116	108	
Nível de recarga (%)					RI / Rit	100	100	
Nível de descarregamento (%)					Rnu	0		
Vazio sob a ponta (mm)					tg		0,1	
Embuchamento de solo na ponta da estaca (kN)						mpl	0,21	
FMX	DMX	DFN	SET	EMX				
kN	mm	mm	mm	kJ				
3.311,0	7,4	0,1	0,1	17,2				

Valores máximos e mínimos alcançados durante o golpe analisado

Elementos de solo	Abaixo dos sensores	Força máxima	Força mínima	Compressão máxima	Força mínima/ área	Energia máxima	Desloc. Máximo
Nº	m	kN	kN	MPa	MPa	kJ	mm
1	1,0	3.302,2	-201,3	73,2	-4,46	17,0	7,4
2	2,0	3.303,5	-228,4	73,2	-5,06	16,9	7,2
4	4,0	3.337,9	-283,3	73,9	-6,28	16,6	6,9
6	6,0	3.452,7	-333,8	76,5	-7,40	16,4	6,6
8	8,0	3.263,4	-333,1	72,3	-7,38	14,9	6,2
10	10,0	3.134,7	-346,0	69,4	-7,67	13,9	5,9
12	12,0	3.141,4	-370,4	69,6	-8,21	13,4	5,5
14	14,1	3.144,7	-389,0	69,7	-8,62	12,8	5,2
16	16,1	3.096,2	-395,8	68,6	-8,77	11,9	4,8
18	18,1	3.010,1	-397,1	66,7	-8,80	10,9	4,6
20	20,1	2.906,7	-409,0	64,4	-9,06	9,9	4,3
22	22,1	2.796,4	-423,9	62,0	-9,39	8,9	4,1
24	24,1	2.699,4	-440,5	59,8	-9,76	8,0	3,8
26	26,1	2.598,9	-440,3	57,6	-9,75	7,2	3,6
28	28,1	2.543,9	-428,0	56,4	-9,48	6,5	3,2
30	30,1	2.504,9	-410,2	55,5	-9,09	5,8	2,9
31	31,1	2.458,8	-395,1	54,5	-8,75	5,3	2,6
32	32,1	2.554,9	-394,6	56,6	-8,74	5,1	2,4
33	33,1	2.307,8	-349,3	51,1	-7,74	4,2	2,2
34	34,1	2.391,5	-347,6	53,0	-7,70	4,2	2,0
35	35,1	2.051,9	-277,7	45,5	-6,15	3,4	1,8
36	36,1	2.400,9	-276,7	53,2	-6,13	2,9	1,8

Resultados de RMX pelo método CASE em função do coeficiente de amortecimento J_c

J_c	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
RMX _{t1}	4.614	4.415	4.216	4.017	3.818	3.619	3.420	3.221	3.022	2.823
RMX	4.637	4.441	4.245	4.049	3.853	3.660	3.468	3.279	3.093	2.913
RNU	4.833	4.656	4.478	4.301	4.124	3.947	3.770	3.593	3.416	3.238

Resultados gráficos – Estaca PC01 – 6 horas de repouso – Golpe de 20 cm

Tiplam; Pile: Estaca PC01; Recravação 6 horas; Blow: 1 (Test: 11-Feb-2015 16:08:)
PDI Engenharia

14-Aug-2017
CAPWAP(R) 2014-1

CAPWAP – OBRA 2 – PC01 – 6 horas de repouso – Golpe de 40 cm

Resultados obtidos - CAPWAP					"Match Quality"			1,72
Resistência Total		5.965,3	Atrito Lateral		2.820,3	Resistência de ponta		3.145,0
Elementos de solo	Abaixo dos sensores	Comp. cravado	Ru	Força na estaca	Somatória de Ru	Resistência do elemento	Atrito unitário	Quake
Nº	m	m	kN	kN	kN	kN/m	kPa	mm
				5.965,3				
1	6,0	2,0	97,1	5.868,2	97,1	49,0	17,1	3,1
2	8,0	4,0	58,8	5.809,4	155,9	29,3	10,2	3,1
3	10,0	6,0	51,0	5.758,4	206,9	25,4	8,9	3,1
4	12,0	8,0	49,0	5.709,4	255,9	24,4	8,5	3,1
5	14,1	10,0	84,3	5.625,1	340,2	42,0	14,6	3,1
6	16,1	12,0	111,8	5.513,3	452,0	55,7	19,4	3,1
7	18,1	14,0	141,2	5.372,1	593,2	70,3	24,5	3,1
8	20,1	16,0	147,1	5.225,0	740,3	73,3	25,5	3,1
9	22,1	18,0	154,9	5.070,1	895,2	77,2	26,9	3,1
10	24,1	20,1	138,3	4.931,8	1.033,5	68,9	24,0	3,1
11	26,1	22,1	110,8	4.821,0	1.144,3	55,2	19,2	3,1
12	28,1	24,1	154,0	4.667,0	1.298,3	76,7	26,7	3,1
13	30,1	26,1	357,0	4.310,0	1.655,3	177,8	61,9	3,1
14	32,1	28,1	441,3	3.868,7	2.096,6	219,8	76,6	2,9
15	34,1	30,1	416,8	3.451,9	2.513,4	207,6	72,3	2,3
16	36,1	32,1	306,9	3.145,0	2.820,3	152,9	53,2	1,7
Média	Fuste		176,3			87,9	30,6	2,8
	Ponta		3.145,0				4.793,3	1,7
Parâmetros do solo - Extensões						Fuste	Ponta	
Fator de amortecimento de Smith						0,84	0,58	
Fator de amortecimento do Case						1,30	1,01	
Quake de descarregamento (%)					qu / qtu	97	42	
Nível de recarga (%)					RI / Rit	100	100	
Nível de descarregamento (%)					Rnu	4		
Vazio sob a ponta (mm)					tg		0,0	
Embuchamento de solo na ponta da estaca (kN)						mpl	1,31	
FMX	DMX	DFN	SET	EMX				
kN	mm	mm	mm	kJ				
4.859,0	10,8	-0,1	0,1	34,8				

Valores máximos e mínimos alcançados durante o golpe analisado

Elementos de solo	Abaixo dos sensores	Força máxima	Força mínima	Compressão máxima	Força mínima/ área	Energia máxima	Desloc. Máximo
Nº	m	kN	kN	MPa	MPa	kJ	mm
1	1,0	4.845,7	-259,7	107,4	-5,75	34,6	10,7
4	2,0	4.844,2	-296,5	107,3	-6,57	34,4	10,5
6	4,0	4.866,1	-383,0	107,8	-8,48	34,0	10,1
8	6,0	4.971,9	-470,8	110,1	-10,43	33,6	9,7
10	8,0	4.801,2	-463,9	106,4	-10,28	31,5	9,2
12	10,0	4.719,9	-475,3	104,6	-10,53	30,0	8,8
14	12,0	4.664,4	-494,4	103,3	-10,95	28,7	8,3
16	14,1	4.649,4	-498,9	103,0	-11,05	27,4	7,8
18	16,1	4.588,0	-489,5	101,6	-10,84	25,7	7,3
20	18,1	4.496,7	-516,5	99,6	-11,44	24,0	6,9
22	20,1	4.360,5	-552,6	96,6	-12,24	22,1	6,5
24	22,1	4.222,3	-601,6	93,5	-13,33	20,3	6,1
26	24,1	4.089,1	-630,8	90,6	-13,98	18,6	5,7
28	26,1	3.974,2	-662,2	88,0	-14,67	17,1	5,3
30	28,1	3.938,8	-715,8	87,3	-15,86	15,6	4,7
31	30,1	3.953,3	-737,6	87,6	-16,34	13,7	4,1
32	31,1	3.648,9	-668,6	80,8	-14,81	11,7	3,7
33	32,1	3.822,4	-674,2	84,7	-14,94	11,0	3,4
34	33,1	3.558,3	-583,8	78,8	-12,93	9,1	3,0
35	34,1	3.864,3	-588,1	85,6	-13,03	8,4	2,6
36	35,1	3.720,9	-502,7	82,4	-11,14	7,0	2,2

Resultados de RMX pelo método CASE em função do coeficiente de amortecimento J_c

J_c	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
RMX _{t1}	6.822	6.531	6.239	5.947	5.656	5.364	5.072	4.781	4.489	4.198
RMX	6.857	6.572	6.287	6.012	5.739	5.466	5.196	4.939	4.685	4.445
RNU	7.111	6.849	6.586	6.323	6.061	5.798	5.535	5.273	5.010	4.747

Resultados gráficos – Estaca PC01 – 6 horas de repouso – Golpe de 40 cm

Tiplam; Pile: Estaca PC01; Recrvação 6 horas; Blow: 2 (Test: 11-Feb-2015 16:08)
PDI Engenharia

14-Aug-2017
CAPWAP(R) 2014-1

CAPWAP – OBRA 2 – PC01 – 6 horas de repouso – Golpe de 60 cm

Resultados obtidos - CAPWAP					"Match Quality"			1,66
Resistência Total		6.824,4	Atrito Lateral		3.021,4	Resistência de ponta		3.803,0
Elementos de solo	Abaixo dos sensores	Comp. cravado	Ru	Força na estaca	Somatória de Ru	Resistência do elemento	Atrito unitário	Quake
Nº	m	m	kN	kN	kN	kN/m	kPa	mm
				6.824,4				
1	6,0	2,0	82,4	6.742,0	82,4	41,6	14,5	1,4
2	8,0	4,0	49,0	6.693,0	131,4	24,4	8,5	1,4
3	10,0	6,0	32,4	6.660,6	163,8	16,1	5,6	1,4
4	12,0	8,0	35,3	6.625,3	199,1	17,6	6,1	1,4
5	14,1	10,0	79,4	6.545,9	278,5	39,6	13,8	1,4
6	16,1	12,0	69,6	6.476,3	348,1	34,7	12,1	1,4
7	18,1	14,0	78,5	6.397,8	426,6	39,1	13,6	1,4
8	20,1	16,0	105,9	6.291,9	532,5	52,7	18,4	1,4
9	22,1	18,0	120,6	6.171,3	653,1	60,1	20,9	1,4
10	24,1	20,1	149,1	6.022,2	802,2	74,3	25,9	1,4
11	26,1	22,1	119,6	5.902,6	921,8	59,6	20,8	1,4
12	28,1	24,1	118,7	5.783,9	1.040,5	59,1	20,6	1,4
13	30,1	26,1	229,5	5.554,4	1.270,0	114,3	39,8	1,4
14	32,1	28,1	426,6	5.127,8	1.696,6	212,5	74,0	1,4
15	34,1	30,1	642,3	4.485,5	2.338,9	319,9	111,4	1,4
16	36,1	32,1	682,5	3.803,0	3.021,4	339,9	118,4	1,2
Média	Fuste		188,8			94,1	32,8	1,4
	Ponta		3.803,0				5.796,2	1,3
Parâmetros do solo - Extensões						Fuste	Ponta	
Fator de amortecimento de Smith						0,86	0,48	
Fator de amortecimento do Case						1,43	1,01	
Quake de descarregamento (%)					qu / qtu	216	30	
Nível de recarga (%)					RI / Rit	100	100	
Nível de descarregamento (%)					Rnu	3		
Vazio sob a ponta (mm)					tg		0,1	
Embuchamento de solo na ponta da estaca (kN)						mpl	2,25	
FMX	DMX	DFN	SET	EMX				
kN	mm	mm	mm	kJ				
5.847,0	12,9	-0,1	0,1	48,6				

Valores máximos e mínimos alcançados durante o golpe analisado

Elementos de solo	Abaixo dos sensores	Força máxima	Força mínima	Compressão máxima	Força mínima/área	Energia máxima	Desloc. Máximo
Nº	m	kN	kN	MPa	MPa	kJ	mm
1	1,0	5.837,9	-274,8	129,3	-6,09	48,3	12,8
2	2,0	5.836,6	-314,6	129,3	-6,97	48,1	12,6
4	4,0	5.896,0	-415,6	130,6	-9,21	47,6	12,2
6	6,0	6.008,8	-506,1	133,1	-11,21	47,1	11,7
8	8,0	5.778,1	-510,0	128,0	-11,30	44,3	11,2
10	10,0	5.653,8	-547,1	125,3	-12,12	42,3	10,7
12	12,0	5.620,1	-579,6	124,5	-12,84	40,8	10,2
14	14,1	5.614,1	-600,6	124,4	-13,31	39,0	9,6
16	16,1	5.466,5	-629,3	121,1	-13,94	36,3	8,9
18	18,1	5.384,8	-658,7	119,3	-14,59	34,2	8,4
20	20,1	5.304,0	-732,6	117,5	-16,23	32,1	7,9
22	22,1	5.168,4	-774,4	114,5	-17,16	29,6	7,4
24	24,1	4.987,3	-825,1	110,5	-18,28	27,0	6,9
26	26,1	4.714,5	-841,2	104,4	-18,64	24,0	6,3
28	28,1	4.605,3	-886,8	102,0	-19,65	21,2	5,5
30	30,1	4.702,4	-903,6	104,2	-20,02	18,1	4,6
31	31,1	4.676,3	-863,3	103,6	-19,13	15,1	4,1
32	32,1	4.990,5	-886,2	110,6	-19,63	13,8	3,6
33	33,1	4.874,5	-790,6	108,0	-17,51	10,4	3,1
34	34,1	5.215,9	-808,4	115,6	-17,91	9,0	2,5
35	35,1	4.914,2	-655,8	108,9	-14,53	6,2	2,0
36	36,1	5.082,9	-665,3	112,6	-14,74	5,4	1,5

Resultados de RMX pelo método CASE em função do coeficiente de amortecimento J_c

J_c	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
RMX _{t1}	8.185	7.833	7.481	7.129	6.777	6.425	6.073	5.722	5.370	5.018
RMX	8.254	7.922	7.591	7.260	6.943	6.631	6.329	6.045	5.778	5.528
RNU	8.464	8.140	7.816	7.492	7.167	6.843	6.519	6.195	5.871	5.547

Resultados gráficos – Estaca PC01 – 6 horas de repouso – Golpe de 60 cm

Tiplam; Pile: Estaca PC01; Recrvação 6 horas; Blow: 3 (Test: 11-Feb-2015 16:09:)
PDI Engenharia

14-Aug-2017
CAPWAP (R) 2014-1

CAPWAP – OBRA 2 – PC01 – 6 horas de repouso – Golpe de 80 cm

Resultados obtidos - CAPWAP					"Match Quality"			1,80
Resistência Total		7.753,3	Atrito Lateral		3.240,3	Resistência de ponta		4.513,0
Elementos de solo	Abaixo dos sensores	Comp. cravado	Ru	Força na estaca	Somatória de Ru	Resistência do elemento	Atrito unitário	Quake
Nº	m	m	kN	kN	kN	kN/m	kPa	mm
				7.753,3				
1	6,0	2,0	83,4	7.669,9	83,4	42,1	14,6	3,6
2	8,0	4,0	42,2	7.627,7	125,6	21,0	7,3	3,6
3	10,0	6,0	26,5	7.601,2	152,1	13,2	4,6	3,6
4	12,0	8,0	53,0	7.548,2	205,1	26,4	9,2	3,6
5	14,1	10,0	88,3	7.459,9	293,4	44,0	15,3	3,6
6	16,1	12,0	62,8	7.397,1	356,2	31,3	10,9	3,6
7	18,1	14,0	71,6	7.325,5	427,8	35,7	12,4	3,6
8	20,1	16,0	156,9	7.168,6	584,7	78,2	27,2	3,6
9	22,1	18,0	166,7	7.001,9	751,4	83,0	28,9	3,6
10	24,1	20,1	156,9	6.845,0	908,3	78,2	27,2	3,6
11	26,1	22,1	104,0	6.741,0	1.012,3	51,8	18,0	3,6
12	28,1	24,1	114,7	6.626,3	1.127,0	57,1	19,9	3,6
13	30,1	26,1	302,0	6.324,3	1.429,0	150,4	52,4	3,6
14	32,1	28,1	466,8	5.857,5	1.895,8	232,5	81,0	3,6
15	34,1	30,1	737,5	5.120,0	2.633,3	367,3	127,9	3,1
16	36,1	32,1	607,0	4.513,0	3.240,3	302,3	105,3	2,1
Média	Fuste		202,5			100,9	35,2	3,2
	Ponta		4.513,0				6.878,3	2,1
Parâmetros do solo - Extensões						Fuste	Ponta	
Fator de amortecimento de Smith						0,54	0,55	
Fator de amortecimento do Case						0,97	1,37	
Quake de descarregamento (%)					qu / qtu	66	111	
Nível de recarga (%)					RI / Rit	100	100	
Nível de descarregamento (%)					Rnu	0		
Vazio sob a ponta (mm)					tg		0,2	
Embuchamento de solo na ponta da estaca (kN)						mpl	0,6	
FMX	DMX	DFN	SET	EMX				
kN	mm	mm	mm	kJ				
7.213,0	16,2	0,9	1,0	72,3				

Valores máximos e mínimos alcançados durante o golpe analisado

Elementos de solo	Abaixo dos sensores	Força máxima	Força mínima	Compressão máxima	Força mínima/ área	Energia máxima	Desloc. Máximo
Nº	m	kN	kN	MPa	MPa	kJ	mm
1	1,0	7.150,9	-245,2	158,4	-5,43	71,8	16,0
2	2,0	7.154,1	-340,4	158,5	-7,54	71,6	15,8
4	4,0	7.208,5	-528,5	159,7	-11,71	71,0	15,3
6	6,0	7.283,6	-698,4	161,4	-15,47	70,4	14,8
8	8,0	7.078,2	-760,5	156,8	-16,85	67,0	14,2
10	10,0	7.004,7	-804,4	155,2	-17,82	64,9	13,6
12	12,0	7.024,4	-849,9	155,6	-18,83	63,2	13,0
14	14,1	6.972,6	-897,6	154,5	-19,88	60,6	12,3
16	16,1	6.825,8	-867,7	151,2	-19,22	56,9	11,5
18	18,1	6.814,5	-849,1	151,0	-18,81	53,9	10,7
20	20,1	6.821,7	-818,8	151,1	-18,14	51,4	10,1
22	22,1	6.595,3	-749,0	146,1	-16,59	47,3	9,4
24	24,1	6.318,9	-641,8	140,0	-14,22	43,3	8,8
26	26,1	6.080,5	-515,8	134,7	-11,43	39,5	8,1
28	28,1	6.094,3	-462,1	135,0	-10,24	36,1	7,2
30	30,1	6.241,7	-366,3	138,3	-8,12	32,0	6,1
31	31,1	5.885,3	-106,1	130,4	-2,35	27,4	5,5
32	32,1	6.277,1	-115,6	139,1	-2,56	25,5	4,9
33	33,1	5.925,7	-3,5	131,3	-0,08	20,5	4,3
34	34,1	6.552,4	-3,5	145,2	-0,08	18,5	3,6
35	35,1	6.192,8	-2,5	137,2	-0,06	13,9	3,0
36	36,1	6.636,7	-2,6	147,0	-0,06	12,0	2,5

Resultados de RMX pelo método CASE em função do coeficiente de amortecimento J_c

J_c	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
RMX _{t1}	9.848	9.400	8.951	8.502	8.054	7.605	7.156	6.708	6.259	5.811
RMX	9.975	9.546	9.132	8.723	8.315	7.933	7.568	7.222	6.902	6.608
RNU	10.036	9.606	9.177	8.747	8.317	7.887	7.457	7.027	6.598	6.168

Resultados gráficos – Estaca PC01 – 6 horas de repouso – Golpe de 80 cm

Tiplam; File: Estaca PC01; Recrvação 6 horas; Blow: 4 (Test: 11-Feb-2015 16:09)
PDI Engenharia

14-Aug-2017
CAPWAP(R) 2014-1

CAPWAP – OBRA 2 – PC01 – 6 horas de repouso – Golpe de 100 cm

Resultados obtidos - CAPWAP					"Match Quality"			1,64
Resistência Total		8.515,1	Atrito Lateral		3.388,2	Resistência de ponta		5.126,9
Elementos de solo	Abaixo dos sensores	Comp. cravado	Ru	Força na estaca	Somatória de Ru	Resistência do elemento	Atrito unitário	Quake
Nº	m	m	kN	kN	kN	kN/m	kPa	mm
				8.515,1				
1	6,0	2,0	80,4	8.434,7	80,4	40,5	14,1	5,0
2	8,0	4,0	40,2	8.394,5	120,6	20,0	7,0	5,0
3	10,0	6,0	32,4	8.362,1	153,0	16,1	5,6	5,0
4	12,0	8,0	40,2	8.321,9	193,2	20,0	7,0	5,0
5	14,1	10,0	79,4	8.242,5	272,6	39,6	13,8	5,0
6	16,1	12,0	69,6	8.172,9	342,2	34,7	12,1	5,0
7	18,1	14,0	94,1	8.078,8	436,3	46,9	16,3	5,0
8	20,1	16,0	117,7	7.961,1	554,0	58,6	20,4	5,0
9	22,1	18,0	176,5	7.784,6	730,5	87,9	30,6	5,0
10	24,1	20,1	157,9	7.626,7	888,4	78,6	27,4	5,0
11	26,1	22,1	78,5	7.548,2	966,9	39,1	13,6	5,0
12	28,1	24,1	123,6	7.424,6	1.090,5	61,6	21,4	5,0
13	30,1	26,1	429,5	6.995,1	1.520,0	213,9	74,5	5,0
14	32,1	28,1	493,3	6.501,8	2.013,3	245,7	85,6	5,0
15	34,1	30,1	637,4	5.864,4	2.650,7	317,5	110,6	4,0
16	36,1	32,1	737,5	5.126,9	3.388,2	367,3	127,9	2,9
Média	Fuste		211,8			105,6	36,8	4,3
	Ponta		5.126,9				7.814,0	3,2
Parâmetros do solo - Extensões						Fuste	Ponta	
Fator de amortecimento de Smith						0,72	0,40	
Fator de amortecimento do Case						1,35	1,11	
Quake de descarregamento (%)					qu / qtu	67	30	
Nível de recarga (%)					RI / Rit	100	100	
Nível de descarregamento (%)					Rnu	11		
Vazio sob a ponta (mm)					tg		0,9	
Embuchamento de solo na ponta da estaca (kN)						mpl	0,3	
FMX	DMX	DFN	SET	EMX				
kN	mm	mm	mm	kJ				
7.658,0	17,3	0,9	1,0	81,2				

Valores máximos e mínimos alcançados durante o golpe analisado

Elementos de solo	Abaixo dos sensores	Força máxima	Força mínima	Compressão máxima	Força mínima/área	Energia máxima	Desloc. Máximo
Nº	m	kN	kN	MPa	MPa	kJ	mm
1	1,0	7.612,2	-294,2	168,6	-6,52	80,7	17,2
2	2,0	7.610,8	-417,7	168,6	-9,25	80,5	17,0
4	4,0	7.631,7	-636,1	169,1	-14,09	80,0	16,5
6	6,0	7.731,1	-755,6	171,3	-16,74	79,4	16,0
8	8,0	7.549,2	-821,8	167,2	-18,21	75,9	15,4
10	10,0	7.478,1	-872,1	165,7	-19,32	73,7	14,8
12	12,0	7.449,0	-906,3	165,0	-20,08	71,7	14,1
14	14,1	7.437,2	-964,5	164,8	-21,37	69,2	13,4
16	16,1	7.318,4	-1.012,2	162,1	-22,42	65,5	12,6
18	18,1	7.257,8	-1.075,5	160,8	-23,83	61,9	11,7
20	20,1	7.173,8	-1.090,3	158,9	-24,15	58,6	11,0
22	22,1	7.083,2	-1.084,3	156,9	-24,02	55,0	10,3
24	24,1	6.833,4	-1.096,8	151,4	-24,30	50,6	9,7
26	26,1	6.588,5	-1.131,0	146,0	-25,06	46,8	9,0
28	28,1	6.599,2	-1.179,3	146,2	-26,13	44,0	8,2
30	30,1	6.739,8	-1.233,6	149,3	-27,33	39,8	7,2
31	31,1	6.176,2	-1.125,0	136,8	-24,92	34,1	6,6
32	32,1	6.461,9	-1.150,2	143,2	-25,48	32,3	6,0
33	33,1	6.025,3	-1.019,9	133,5	-22,60	27,1	5,3
34	34,1	6.430,1	-1.033,5	142,5	-22,90	25,1	4,7
35	35,1	6.351,1	-853,8	140,7	-18,91	20,3	4,0
36	36,1	7.177,5	-855,8	159,0	-18,96	18,0	3,4

Resultados de RMX pelo método CASE em função do coeficiente de amortecimento J_c

J_c	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
RMX _{t1}	10.435	9.948	9.462	8.975	8.489	8.002	7.516	7.029	6.543	6.056
RMX	10.491	10.015	9.557	9.103	8.675	8.250	7.852	7.487	7.152	6.833
RNU	10.643	10.177	9.712	9.246	8.780	8.314	7.849	7.383	6.917	6.452

Resultados gráficos – Estaca PC01 – 6 horas de repouso – Golpe de 100 cm

Tiplam; Pile: Estaca PC01; Recrvação 6 horas; Blow: 5 (Test: 11-Feb-2015 16:09)
PDI Engenharia

14-Aug-2017
CAPWAP(R) 2014-1

CAPWAP – OBRA 2 – PC01 – 6 horas de repouso – Golpe de 120 cm

Resultados obtidos - CAPWAP					"Match Quality"			1,44
Resistência Total		8.874,0	Atrito Lateral		3.321,5	Resistência de ponta		5.552,5
Elementos de solo	Abaixo dos sensores	Comp. cravado	Ru	Força na estaca	Somatória de Ru	Resistência do elemento	Atrito unitário	Quake
Nº	m	m	kN	kN	kN	kN/m	kPa	mm
				8.874,0				
1	6,0	2,0	46,1	8.827,9	46,1	23,2	8,1	4,4
2	8,0	4,0	37,3	8.790,6	83,4	18,6	6,5	4,4
3	10,0	6,0	31,4	8.759,2	114,8	15,6	5,5	4,4
4	12,0	8,0	43,1	8.716,1	157,9	21,5	7,5	4,4
5	14,1	10,0	61,8	8.654,3	219,7	30,8	10,7	4,4
6	16,1	12,0	74,5	8.579,8	294,2	37,1	12,9	4,4
7	18,1	14,0	103,0	8.476,8	397,2	51,3	17,9	4,4
8	20,1	16,0	130,4	8.346,4	527,6	65,0	22,6	4,4
9	22,1	18,0	111,8	8.234,6	639,4	55,7	19,4	4,4
10	24,1	20,1	135,3	8.099,3	774,7	67,4	23,5	4,4
11	26,1	22,1	121,6	7.977,7	896,3	60,6	21,1	4,4
12	28,1	24,1	95,1	7.882,6	991,4	47,4	16,5	4,4
13	30,1	26,1	336,4	7.546,2	1.327,8	167,6	58,4	4,4
14	32,1	28,1	589,4	6.956,8	1.917,2	293,6	102,2	4,4
15	34,1	30,1	657,0	6.299,8	2.574,2	327,2	114,0	4,1
16	36,1	32,1	747,3	5.552,5	3.321,5	372,2	129,6	2,9
Média	Fuste		207,6			103,5	36,0	4,0
	Ponta		5.552,5				8.462,7	3,2
Parâmetros do solo - Extensões						Fuste	Ponta	
Fator de amortecimento de Smith						0,80	0,29	
Fator de amortecimento do Case						1,46	0,87	
Quake de descarregamento (%)					qu / qtu	66	30	
Nível de recarga (%)					RI / Rit	100	100	
Nível de descarregamento (%)					Rnu	8		
Vazio sob a ponta (mm)					tg		0,3	
Embuchamento de solo na ponta da estaca (kN)						mpl	1,0	
FMX	DMX	DFN	SET	EMX				
kN	mm	mm	mm	kJ				
7.872,0	17,8	-0,3	0,1	86,1				

Valores máximos e mínimos alcançados durante o golpe analisado

Elementos de solo	Abaixo dos sensores	Força máxima	Força mínima	Compressão máxima	Força mínima/área	Energia máxima	Desloc. Máximo
Nº	m	kN	kN	MPa	MPa	kJ	mm
1	1,0	7.851,4	-372,7	173,9	-8,26	85,6	17,6
2	2,0	7.848,7	-498,9	173,9	-11,05	85,3	17,4
4	4,0	7.857,7	-708,2	174,1	-15,69	84,8	17,0
6	6,0	7.929,3	-814,9	175,7	-18,05	84,1	16,5
8	8,0	7.823,3	-871,2	173,3	-19,30	81,5	15,9
10	10,0	7.744,9	-940,0	171,6	-20,83	79,1	15,2
12	12,0	7.708,9	-981,9	170,8	-21,75	76,8	14,5
14	14,1	7.663,0	-1.041,4	169,8	-23,07	74,1	13,8
16	16,1	7.581,9	-1.107,0	168,0	-24,53	70,6	13,0
18	18,1	7.505,0	-1.151,0	166,3	-25,50	66,7	12,2
20	20,1	7.373,4	-1.149,2	163,4	-25,46	62,3	11,3
22	22,1	7.156,3	-1.144,4	158,5	-25,35	57,8	10,6
24	24,1	7.019,6	-1.153,9	155,5	-25,56	54,1	9,9
26	26,1	6.809,1	-1.228,8	150,8	-27,22	50,1	9,2
28	28,1	6.666,3	-1.238,2	147,7	-27,43	46,1	8,4
30	30,1	6.844,7	-1.305,4	151,6	-28,92	41,8	7,3
31	31,1	6.347,7	-1.211,4	140,6	-26,84	36,0	6,7
32	32,1	6.703,5	-1.238,8	148,5	-27,44	33,9	6,0
33	33,1	6.220,7	-1.056,4	137,8	-23,40	27,2	5,3
34	34,1	6.519,1	-1.068,2	144,4	-23,66	25,0	4,7
35	35,1	6.326,9	-850,5	140,2	-18,84	19,8	4,0
36	36,1	7.073,6	-847,5	156,7	-18,78	17,4	3,3

Resultados de RMX pelo método CASE em função do coeficiente de amortecimento J_c

J_c	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
RMX _{t1}	10.815	10.320	9.825	9.330	8.834	8.339	7.844	7.349	6.853	6.358
RMX	10.873	10.392	9.911	9.444	8.989	8.544	8.130	7.781	7.463	7.163
RNU	10.909	10.424	9.938	9.452	8.966	8.480	7.994	7.509	7.023	6.537

Resultados gráficos – Estaca PC01 – 6 horas de repouso – Golpe de 120 cm

Tiplam; Pile: Estaca PC01; Recravação 6 horas; Blow: 6 (Test: 11-Feb-2015 16:09)
PDI Engenharia

14-Aug-2017
CAPWAP(R) 2014-1

CAPWAP – OBRA 2 – PC01 – 24 horas de repouso – Golpe de 20 cm

Resultados obtidos - CAPWAP					"Match Quality"			1,94
Resistência Total		4.057,0	Atrito Lateral		2.922,4	Resistência de ponta		1.134,6
Elementos de solo	Abaixo dos sensores	Comp. cravado	Ru	Força na estaca	Somatória de Ru	Resistência do elemento	Atrito unitário	Quake
Nº	m	m	kN	kN	kN	kN/m	kPa	mm
				4.057,0				
1	6,0	2,0	182,4	3.874,6	182,4	92,0	32,0	1,7
2	8,0	4,0	137,3	3.737,3	319,7	68,4	23,8	1,7
3	10,0	6,0	50,0	3.687,3	369,7	24,9	8,7	1,7
4	12,0	8,0	64,7	3.622,6	434,4	32,2	11,2	1,7
5	14,1	10,0	51,0	3.571,6	485,4	25,4	8,9	1,7
6	16,1	12,0	148,1	3.423,5	633,5	73,8	25,7	1,7
7	18,1	14,0	199,1	3.224,4	832,6	99,2	34,5	1,7
8	20,1	16,0	196,1	3.028,3	1.028,7	97,7	34,0	1,7
9	22,1	18,0	200,1	2.828,2	1.228,8	99,7	34,7	1,7
10	24,1	20,1	139,3	2.688,9	1.368,1	69,4	24,2	1,7
11	26,1	22,1	59,8	2.629,1	1.427,9	29,8	10,4	1,7
12	28,1	24,1	69,6	2.559,5	1.497,5	34,7	12,1	1,7
13	30,1	26,1	176,5	2.383,0	1.674,0	87,9	30,6	1,7
14	32,1	28,1	281,5	2.101,5	1.955,5	140,2	48,8	1,5
15	34,1	30,1	495,2	1.606,3	2.450,7	246,6	85,9	1,2
16	36,1	32,1	471,7	1.134,6	2.922,4	234,9	81,8	0,9
Média	Fuste		182,6			91,0	31,7	1,5
	Ponta		1.134,6				1.729,3	1,1
Parâmetros do solo - Extensões						Fuste	Ponta	
Fator de amortecimento de Smith						0,83	0,81	
Fator de amortecimento do Case						1,34	0,50	
Quake de descarregamento (%)					qu / qtu	186	103	
Nível de recarga (%)					RI / Rit	100	100	
Nível de descarregamento (%)					Rnu	0		
Vazio sob a ponta (mm)					tg		0,1	
Embuchamento de solo na ponta da estaca (kN)						mpl	4,8	
FMX	DMX	DFN	SET	EMX				
kN	mm	mm	mm	kJ				
3.475,0	7,5	0,0	0,1	18,5				

Valores máximos e mínimos alcançados durante o golpe analisado

Elementos de solo	Abaixo dos sensores	Força máxima	Força mínima	Compressão máxima	Força mínima/ área	Energia máxima	Desloc. Máximo
Nº	m	kN	kN	MPa	MPa	kJ	mm
1	1,0	3.432,9	-186,8	76,1	-4,14	18,4	7,5
2	2,0	3.434,8	-206,2	76,1	-4,57	18,2	7,3
4	4,0	3.507,1	-257,7	77,7	-5,71	17,9	6,9
6	6,0	3.693,7	-323,3	81,8	-7,16	17,5	6,5
8	8,0	3.392,3	-315,9	75,2	-7,00	15,5	6,2
10	10,0	3.155,6	-329,5	69,9	-7,30	13,9	5,8
12	12,0	3.113,4	-357,3	69,0	-7,91	13,1	5,4
14	14,1	3.055,9	-374,9	67,7	-8,31	12,3	5,1
16	16,1	3.101,4	-391,5	68,7	-8,67	11,6	4,7
18	18,1	2.991,0	-408,1	66,3	-9,04	10,5	4,4
20	20,1	2.812,6	-396,5	62,3	-8,78	9,2	4,2
22	22,1	2.660,5	-382,4	58,9	-8,47	8,1	3,9
24	24,1	2.488,4	-374,7	55,1	-8,30	7,1	3,7
26	26,1	2.358,3	-375,4	52,2	-8,32	6,3	3,4
28	28,1	2.338,9	-373,5	51,8	-8,27	5,9	3,2
30	30,1	2.366,9	-382,3	52,4	-8,47	5,4	2,8
31	31,1	2.241,7	-364,0	49,7	-8,06	4,8	2,7
32	32,1	2.327,1	-366,0	51,6	-8,11	4,7	2,5
33	33,1	2.072,1	-323,0	45,9	-7,15	3,9	2,3
34	34,1	2.091,2	-313,8	46,3	-6,95	3,8	2,2
35	35,1	1.640,0	-244,5	36,3	-5,42	2,8	2,0
36	36,1	1.883,4	-232,3	41,7	-5,15	2,0	1,9

Resultados de RMX pelo método CASE em função do coeficiente de amortecimento J_c

J_c	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
RMX _{t1}	4.637	4.414	4.191	3.968	3.745	3.522	3.299	3.076	2.853	2.629
RMX	4.663	4.442	4.223	4.005	3.786	3.568	3.355	3.151	2.964	2.784
RNU	5.013	4.828	4.642	4.457	4.271	4.086	3.900	3.715	3.529	3.344

Resultados gráficos – Estaca PC01 – 24 horas de repouso – Golpe de 20 cm

Tiplam, Pile: Estaca PC01; Recrvação 24 horas; Blow: 1 (Test: 12-Feb-2015 10:09)
PDI Engenharia

14-Aug-2017
CAPWAP(R) 2014-1

CAPWAP – OBRA 2 – PC01 – 24 horas de repouso – Golpe de 40 cm

Resultados obtidos - CAPWAP					"Match Quality"			1,53
Resistência Total		5.974,1	Atrito Lateral		3.551,9	Resistência de ponta		2.422,2
Elementos de solo	Abaixo dos sensores	Comp. cravado	Ru	Força na estaca	Somatória de Ru	Resistência do elemento	Atrito unitário	Quake
Nº	m	m	kN	kN	kN	kN/m	kPa	mm
				5.974,1				
1	6,0	2,0	146,1	5.828,0	146,1	73,7	25,7	2,1
2	8,0	4,0	81,4	5.746,6	227,5	40,5	14,1	2,1
3	10,0	6,0	66,7	5.679,9	294,2	33,2	11,6	2,1
4	12,0	8,0	68,6	5.611,3	362,8	34,2	11,9	2,1
5	14,1	10,0	56,9	5.554,4	419,7	28,3	9,9	2,1
6	16,1	12,0	147,1	5.407,3	566,8	73,3	25,5	2,1
7	18,1	14,0	201,0	5.206,3	767,8	100,1	34,9	2,1
8	20,1	16,0	205,0	5.001,3	972,8	102,1	35,6	2,1
9	22,1	18,0	181,4	4.819,9	1.154,2	90,4	31,5	2,1
10	24,1	20,1	199,1	4.620,8	1.353,3	99,2	34,5	2,1
11	26,1	22,1	77,5	4.543,3	1.430,8	38,6	13,4	2,1
12	28,1	24,1	63,7	4.479,6	1.494,5	31,7	11,1	2,1
13	30,1	26,1	292,2	4.187,4	1.786,7	145,5	50,7	2,1
14	32,1	28,1	288,3	3.899,1	2.075,0	143,6	50,0	1,9
15	34,1	30,1	689,4	3.209,7	2.764,4	343,4	119,6	1,5
16	36,1	32,1	787,5	2.422,2	3.551,9	392,2	136,6	1,1
Média	Fuste		222,0			110,7	38,5	1,7
	Ponta		2.422,2				3.691,7	1,2
Parâmetros do solo - Extensões						Fuste	Ponta	
Fator de amortecimento de Smith						0,83	0,48	
Fator de amortecimento do Case						1,62	0,63	
Quake de descarregamento (%)					qu / qtu	210	100	
Nível de recarga (%)					RI / Rit	100	100	
Nível de descarregamento (%)					Rnu	4		
Vazio sob a ponta (mm)					tg		0,0	
Embuchamento de solo na ponta da estaca (kN)						mpl	2,9	
FMX	DMX	DFN	SET	EMX				
kN	mm	mm	mm	kJ				
4.833,0	10,5	-0,3	0,1	34,8				

Valores máximos e mínimos alcançados durante o golpe analisado

Elementos de solo	Abaixo dos sensores	Força máxima	Força mínima	Compressão máxima	Força mínima/ área	Energia máxima	Desloc. Máximo
Nº	m	kN	kN	MPa	MPa	kJ	mm
1	1,0	4.820,3	-310,3	106,8	-6,88	34,5	10,4
2	2,0	4.819,7	-347,8	106,8	-7,71	34,3	10,2
4	4,0	4.868,1	-435,4	107,8	-9,65	33,8	9,7
6	6,0	5.057,4	-517,2	112,0	-11,46	33,3	9,3
8	8,0	4.734,4	-524,6	104,9	-11,62	30,3	8,8
10	10,0	4.588,4	-542,1	101,7	-12,01	28,4	8,3
12	12,0	4.486,3	-568,7	99,4	-12,60	26,8	7,8
14	14,1	4.395,2	-584,0	97,4	-12,94	25,1	7,3
16	16,1	4.452,0	-621,7	98,6	-13,77	23,7	6,7
18	18,1	4.311,5	-611,2	95,5	-13,54	21,6	6,3
20	20,1	4.041,2	-601,8	89,5	-13,33	19,2	6,0
22	22,1	3.805,7	-581,6	84,3	-12,89	17,0	5,6
24	24,1	3.635,7	-585,2	80,5	-12,96	15,2	5,2
26	26,1	3.408,8	-579,7	75,5	-12,84	13,2	4,8
28	28,1	3.355,6	-606,1	74,3	-13,43	12,1	4,3
30	30,1	3.434,2	-605,5	76,1	-13,41	11,0	3,7
31	31,1	3.167,3	-573,7	70,2	-12,71	9,3	3,4
32	32,1	3.310,7	-578,2	73,3	-12,81	8,7	3,0
33	33,1	3.180,4	-558,7	70,5	-12,38	7,3	2,7
34	34,1	3.430,7	-559,3	76,0	-12,39	6,9	2,4
35	35,1	3.040,4	-416,9	67,4	-9,24	5,4	2,1
36	36,1	3.174,7	-411,4	70,3	-9,11	4,4	2,0

Resultados de RMX pelo método CASE em função do coeficiente de amortecimento J_c

$\overline{73}, c$	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
RMX _{t1}	6.637	6.334	6.030	5.727	5.423	5.120	4.816	4.512	4.209	3.905
RMX	6.648	6.349	6.051	5.753	5.455	5.166	4.883	4.608	4.343	4.092
RNU	7.077	6.817	6.558	6.298	6.038	5.779	5.519	5.260	5.000	4.740

Resultados gráficos – Estaca PC01 – 24 horas de repouso – Golpe de 40 cm

Tiplam; Pile: Estaca PC01; Recrvação 24 horas; Blow: 2 (Test: 12-Feb-2015 10:09)
PDI Engenharia

14-Aug-2017
CAPWAP(R) 2014-1

CAPWAP – OBRA 2 – PC01 – 24 horas de repouso – Golpe de 60 cm

Resultados obtidos - CAPWAP					"Match Quality"			1,19
Resistência Total		6.963,9	Atrito Lateral		3.564,9	Resistência de ponta		3.399,0
Elementos de solo	Abaixo dos sensores	Comp. cravado	Ru	Força na estaca	Somatória de Ru	Resistência do elemento	Atrito unitário	Quake
Nº	m	m	kN	kN	kN	kN/m	kPa	mm
				6.963,9				
1	6,0	2,0	71,6	6.892,3	71,6	36,1	12,6	1,8
2	8,0	4,0	65,7	6.826,6	137,3	32,7	11,4	1,8
3	10,0	6,0	57,9	6.768,7	195,2	28,8	10,0	1,8
4	12,0	8,0	60,8	6.707,9	256,0	30,3	10,6	1,8
5	14,1	10,0	80,4	6.627,5	336,4	40,0	14,0	1,8
6	16,1	12,0	105,9	6.521,6	442,3	52,7	18,4	1,8
7	18,1	14,0	133,4	6.388,2	575,7	66,4	23,1	1,8
8	20,1	16,0	147,1	6.241,1	722,8	73,3	25,5	1,8
9	22,1	18,0	154,0	6.087,1	876,8	76,7	26,7	1,8
10	24,1	20,1	152,0	5.935,1	1.028,8	75,7	26,4	1,8
11	26,1	22,1	131,4	5.803,7	1.160,2	65,5	22,8	1,8
12	28,1	24,1	98,1	5.705,6	1.258,3	48,9	17,0	1,8
13	30,1	26,1	150,0	5.555,6	1.408,3	74,7	26,0	1,8
14	32,1	28,1	529,6	5.026,0	1.937,9	263,8	91,9	1,8
15	34,1	30,1	767,9	4.258,1	2.705,8	382,5	133,2	1,8
16	36,1	32,1	859,1	3.399,0	3.564,9	427,9	149,0	1,1
Média	Fuste		222,8			111,1	38,7	1,6
	Ponta		3.399,0				5.180,5	1,1
Parâmetros do solo - Extensões						Fuste	Ponta	
Fator de amortecimento de Smith						0,83	0,27	
Fator de amortecimento do Case						1,62	0,51	
Quake de descarregamento (%)					qu / qtu	176	100	
Nível de recarga (%)					RI / Rit	100	100	
Nível de descarregamento (%)					Rnu	4		
Vazio sob a ponta (mm)					tg		0,0	
Embuchamento de solo na ponta da estaca (kN)						mpl	0,0	
FMX	DMX	DFN	SET	EMX				
kN	mm	mm	mm	kJ				
6.014,0	13,4	0,8	1,0	53,2				

Valores máximos e mínimos alcançados durante o golpe analisado

Elementos de solo	Abaixo dos sensores	Força máxima	Força mínima	Compressão máxima	Força mínima/ área	Energia máxima	Desloc. Máximo
Nº	m	kN	kN	MPa	MPa	kJ	mm
1	1,0	6.021,5	-345,5	133,4	-7,65	52,8	13,2
2	2,0	6.028,0	-400,7	133,5	-8,88	52,5	12,9
4	4,0	6.101,1	-517,6	135,2	-11,47	52,0	12,4
6	6,0	6.213,3	-615,9	137,6	-13,65	51,3	11,9
8	8,0	6.057,3	-647,7	134,2	-14,35	48,5	11,3
10	10,0	5.923,6	-656,1	131,2	-14,54	45,8	10,7
12	12,0	5.852,6	-655,4	129,7	-14,52	43,4	10,1
14	14,1	5.811,2	-670,8	128,7	-14,86	40,9	9,5
16	16,1	5.741,8	-697,5	127,2	-15,45	38,0	8,8
18	18,1	5.615,7	-697,8	124,4	-15,46	35,0	8,2
20	20,1	5.419,8	-748,8	120,1	-16,59	31,9	7,6
22	22,1	5.187,8	-793,7	114,9	-17,58	28,7	7,1
24	24,1	4.923,4	-823,6	109,1	-18,25	25,6	6,6
26	26,1	4.650,3	-840,1	103,0	-18,61	22,7	5,9
28	28,1	4.508,6	-853,5	99,9	-18,91	19,9	5,3
30	30,1	4.729,3	-863,6	104,8	-19,13	17,3	4,4
31	31,1	4.645,2	-823,5	102,9	-18,24	15,2	4,0
32	32,1	4.874,6	-828,7	108,0	-18,36	14,1	3,5
33	33,1	4.396,7	-693,7	97,4	-15,37	10,3	3,0
34	34,1	4.757,7	-694,7	105,4	-15,39	9,9	2,6
35	35,1	4.264,9	-491,7	94,5	-10,89	7,3	2,5
36	36,1	4.497,0	-488,2	99,6	-10,82	5,7	2,4

Resultados de RMX pelo método CASE em função do coeficiente de amortecimento J_c

J_c	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
RMX _{t1}	8.278	7.897	7.516	7.135	6.754	6.373	5.992	5.611	5.231	4.850
RMX	8.300	7.935	7.572	7.212	6.862	6.513	6.165	5.833	5.509	5.201
RNU	8.694	8.355	8.016	7.676	7.337	6.998	6.658	6.319	5.980	5.641

Resultados gráficos – Estaca PC01 – 24 horas de repouso – Golpe de 60 cm

Tiplam; Pile: Estaca PC01; Recrvação 24 horas; Blow: 3 (Test: 12-Feb-2015 10:10:)
PDIE Engenharia

14-Aug-2017
CAPWAP (R) 2014-1

CAPWAP – OBRA 2 – PC01 – 24 horas de repouso – Golpe de 80 cm

Resultados obtidos - CAPWAP					"Match Quality"			1,57
Resistência Total		7.697,9	Atrito Lateral		3.647,8	Resistência de ponta		4.050,1
Elementos de solo	Abaixo dos sensores	Comp. cravado	Ru	Força na estaca	Somatória de Ru	Resistência do elemento	Atrito unitário	Quake
Nº	m	m	kN	kN	kN	kN/m	kPa	mm
				7.697,9				
1	6,0	2,0	74,5	7.623,4	74,5	37,6	13,1	2,3
2	8,0	4,0	82,4	7.541,0	156,9	41,0	14,3	2,3
3	10,0	6,0	67,7	7.473,3	224,6	33,7	11,7	2,3
4	12,0	8,0	94,1	7.379,2	318,7	46,9	16,3	2,3
5	14,1	10,0	94,1	7.285,1	412,8	46,9	16,3	2,3
6	16,1	12,0	94,1	7.191,0	506,9	46,9	16,3	2,3
7	18,1	14,0	145,1	7.045,9	652,0	72,3	25,2	2,3
8	20,1	16,0	169,7	6.876,2	821,7	84,5	29,4	2,3
9	22,1	18,0	187,3	6.688,9	1.009,0	93,3	32,5	2,3
10	24,1	20,1	193,2	6.495,7	1.202,2	96,2	33,5	2,3
11	26,1	22,1	94,1	6.401,6	1.296,3	46,9	16,3	2,3
12	28,1	24,1	74,5	6.327,1	1.370,8	37,1	12,9	2,3
13	30,1	26,1	234,4	6.092,7	1.605,2	116,8	40,7	2,3
14	32,1	28,1	647,2	5.445,5	2.252,4	322,4	112,3	2,3
15	34,1	30,1	692,3	4.753,2	2.944,7	344,8	120,1	2,3
16	36,1	32,1	703,1	4.050,1	3.647,8	350,2	122,0	1,9
Média	Fuste		228,0			113,6	39,6	2,3
	Ponta		4.050,1				6.172,8	2,2
Parâmetros do solo - Extensões						Fuste	Ponta	
Fator de amortecimento de Smith						0,68	0,51	
Fator de amortecimento do Case						1,35	1,13	
Quake de descarregamento (%)					qu / qtu	109	98	
Nível de recarga (%)					RI / Rit	100	100	
Nível de descarregamento (%)					Rnu	0		
Vazio sob a ponta (mm)					tg		0,1	
Embuchamento de solo na ponta da estaca (kN)						mpl	1,7	
FMX	DMX	DFN	SET	EMX				
kN	mm	mm	mm	kJ				
6.886,0	15,7	1,3	1,0	69,2				

Valores máximos e mínimos alcançados durante o golpe analisado

Elementos de solo	Abaixo dos sensores	Força máxima	Força mínima	Compressão máxima	Força mínima/ área	Energia máxima	Desloc. Máximo
Nº	m	kN	kN	MPa	MPa	kJ	mm
1	1,0	6.854,4	-215,7	151,9	-4,78	68,7	15,5
2	2,0	6.853,6	-276,1	151,8	-6,12	68,4	15,2
4	4,0	6.889,5	-396,3	152,6	-8,78	67,9	14,7
6	6,0	7.016,2	-506,1	155,4	-11,21	67,2	14,2
8	8,0	6.887,6	-497,3	152,6	-11,02	64,0	13,6
10	10,0	6.729,6	-497,0	149,1	-11,01	60,6	12,9
12	12,0	6.651,6	-468,3	147,4	-10,37	57,7	12,2
14	14,1	6.489,7	-444,5	143,8	-9,85	54,0	11,5
16	16,1	6.351,4	-420,1	140,7	-9,31	50,3	10,7
18	18,1	6.278,1	-374,1	139,1	-8,29	46,9	9,9
20	20,1	6.091,8	-329,6	135,0	-7,30	43,2	9,3
22	22,1	5.860,4	-232,5	129,8	-5,15	39,3	8,7
24	24,1	5.541,7	-98,5	122,8	-2,18	35,3	8,0
26	26,1	5.134,1	-1,7	113,7	-0,04	31,4	7,4
28	28,1	5.074,7	-1,6	112,4	-0,04	28,6	6,5
30	30,1	5.347,7	-1,7	118,5	-0,04	25,7	5,6
31	31,1	5.238,4	-1,6	116,1	-0,04	22,4	5,1
32	32,1	5.660,6	-1,6	125,4	-0,03	21,0	4,5
33	33,1	5.113,7	-1,4	113,3	-0,03	16,2	4,0
34	34,1	5.517,5	-1,4	122,2	-0,03	14,7	3,4
35	35,1	5.184,0	-1,3	114,8	-0,03	11,4	2,9
36	36,1	5.450,8	-1,3	120,8	-0,03	9,9	2,4

Resultados de RMX pelo método CASE em função do coeficiente de amortecimento J_c

J_c	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
RMX _{t1}	9.526	9.104	8.682	8.260	7.838	7.416	6.994	6.572	6.150	5.728
RMX	9.540	9.128	8.716	8.307	7.910	7.518	7.143	6.779	6.426	6.096
RNU	9.873	9.485	9.098	8.710	8.323	7.936	7.548	7.161	6.773	6.386

Resultados gráficos – Estaca PC01 – 24 horas de repouso – Golpe de 80 cm

Tiplam; Pile: Estaca PC01; Recrvação 24 horas; Blow: 4 (Test: 12-Feb-2015 10:10);
PDI Engenharia

14-Aug-2017
CAPWAP(R) 2014-1

CAPWAP – OBRA 2 – PC01 – 24 horas de repouso – Golpe de 100 cm

Resultados obtidos - CAPWAP					"Match Quality"			1,21
Resistência Total		8.567,1	Atrito Lateral		3.635,3	Resistência de ponta		4.931,8
Elementos de solo	Abaixo dos sensores	Comp. cravado	Ru	Força na estaca	Somatória de Ru	Resistência do elemento	Atrito unitário	Quake
Nº	m	m	kN	kN	kN	kN/m	kPa	mm
				8.567,1				
1	6,0	2,0	76,5	8.490,6	76,5	38,6	13,4	3,5
2	8,0	4,0	67,7	8.422,9	144,2	33,7	11,7	3,5
3	10,0	6,0	60,8	8.362,1	205,0	30,3	10,6	3,5
4	12,0	8,0	74,5	8.287,6	279,5	37,1	12,9	3,5
5	14,1	10,0	102,0	8.185,6	381,5	50,8	17,7	3,5
6	16,1	12,0	95,1	8.090,5	476,6	47,4	16,5	3,5
7	18,1	14,0	136,3	7.954,2	612,9	67,9	23,6	3,5
8	20,1	16,0	141,2	7.813,0	754,1	70,3	24,5	3,5
9	22,1	18,0	191,2	7.621,8	945,3	95,2	33,2	3,5
10	24,1	20,1	231,4	7.390,4	1.176,7	115,3	40,1	3,5
11	26,1	22,1	57,9	7.332,5	1.234,6	28,8	10,0	3,5
12	28,1	24,1	46,1	7.286,4	1.280,7	23,0	8,0	3,5
13	30,1	26,1	444,2	6.842,2	1.724,9	221,2	77,1	3,5
14	32,1	28,1	508,0	6.334,2	2.232,9	253,0	88,1	3,5
15	34,1	30,1	690,4	5.643,8	2.923,3	343,9	119,8	2,8
16	36,1	32,1	712,0	4.931,8	3.635,3	354,6	123,5	1,6
Média	Fuste		227,2			113,3	39,4	3,0
	Ponta		4.931,8				7.516,6	1,4
Parâmetros do solo - Extensões						Fuste	Ponta	
Fator de amortecimento de Smith						0,91	0,24	
Fator de amortecimento do Case						1,81	0,65	
Quake de descarregamento (%)					qu / qtu	146	30	
Nível de recarga (%)					RI / Rit	100	100	
Nível de descarregamento (%)					Rnu	0		
Vazio sob a ponta (mm)					tg		0,0	
Embuchamento de solo na ponta da estaca (kN)						mpl	4,1	
FMX	DMX	DFN	SET	EMX				
kN	mm	mm	mm	kJ				
7.102,0	15,8	-0,3	0,1	72,1				

Valores máximos e mínimos alcançados durante o golpe analisado

Elementos de solo	Abaixo dos sensores	Força máxima	Força mínima	Compressão máxima	Força mínima/área	Energia máxima	Desloc. Máximo
Nº	m	kN	kN	MPa	MPa	kJ	mm
1	1,0	7.110,4	-336,7	157,5	-7,46	71,7	15,6
2	2,0	7.107,8	-399,4	157,5	-8,85	71,3	15,3
4	4,0	7.129,4	-562,0	157,9	-12,45	70,7	14,8
6	6,0	7.271,5	-687,1	161,1	-15,22	69,9	14,2
8	8,0	7.088,5	-670,1	157,0	-14,84	66,3	13,6
10	10,0	6.939,6	-696,1	153,7	-15,42	63,0	12,9
12	12,0	6.849,0	-725,2	151,7	-16,07	60,1	12,3
14	14,1	6.748,0	-764,2	149,5	-16,93	56,6	11,5
16	16,1	6.562,9	-751,2	145,4	-16,64	52,3	10,7
18	18,1	6.458,4	-822,3	143,1	-18,22	48,8	10,0
20	20,1	6.253,3	-899,1	138,5	-19,92	44,8	9,3
22	22,1	6.105,8	-900,0	135,3	-19,94	41,0	8,7
24	24,1	5.850,7	-911,3	129,6	-20,19	36,7	8,1
26	26,1	5.429,6	-951,2	120,3	-21,07	31,9	7,4
28	28,1	5.392,7	-997,7	119,5	-22,10	29,5	6,5
30	30,1	5.676,3	-1.012,3	125,8	-22,43	26,7	5,5
31	31,1	5.140,8	-892,0	113,9	-19,76	21,8	5,0
32	32,1	5.470,3	-918,6	121,2	-20,35	20,3	4,4
33	33,1	5.393,5	-807,5	119,5	-17,89	16,2	3,8
34	34,1	5.716,3	-818,5	126,6	-18,13	14,5	3,2
35	35,1	5.475,1	-641,9	121,3	-14,22	10,9	2,6
36	36,1	5.977,2	-635,6	132,4	-14,08	9,2	2,0

Resultados de RMX pelo método CASE em função do coeficiente de amortecimento J_c

J_c	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
RMX_{t1}	9.884	9.446	9.009	8.571	8.134	7.696	7.258	6.821	6.383	5.946
RMX	9.947	9.519	9.105	8.691	8.291	7.898	7.525	7.154	6.807	6.471
RNU	10.294	9.898	9.501	9.105	8.709	8.312	7.916	7.519	7.123	6.726

Resultados gráficos – Estaca PC01 – 24 horas de repouso – Golpe de 100 cm

Tiplam; Pile: Estaca PC01; Recrvação 24 horas; Blow: 5 (Test: 12-Feb-2015 10:10:)
PDIE Engenharia

14-Aug-2017
CAPWAP (R) 2014-1

CAPWAP – OBRA 2 – PC01 – 24 horas de repouso – Golpe de 120 cm

Resultados obtidos - CAPWAP					"Match Quality"			1,18
Resistência Total		9.168,2	Atrito Lateral		4.159,0	Resistência de ponta		5.009,2
Elementos de solo	Abaixo dos sensores	Comp. cravado	Ru	Força na estaca	Somatória de Ru	Resistência do elemento	Atrito unitário	Quake
Nº	m	m	kN	kN	kN	kN/m	kPa	mm
				9.168,2				
1	6,0	2,0	79,4	9.088,8	79,4	40,0	13,9	3,7
2	8,0	4,0	79,4	9.009,4	158,8	39,6	13,8	3,7
3	10,0	6,0	79,4	8.930,0	238,2	39,6	13,8	3,7
4	12,0	8,0	99,0	8.831,0	337,2	49,3	17,2	3,7
5	14,1	10,0	98,1	8.732,9	435,3	48,9	17,0	3,7
6	16,1	12,0	117,7	8.615,2	553,0	58,6	20,4	3,7
7	18,1	14,0	148,1	8.467,1	701,1	73,8	25,7	3,7
8	20,1	16,0	148,1	8.319,0	849,2	73,8	25,7	3,7
9	22,1	18,0	214,8	8.104,2	1.064,0	107,0	37,3	3,7
10	24,1	20,1	195,2	7.909,0	1.259,2	97,2	33,9	3,7
11	26,1	22,1	87,3	7.821,7	1.346,5	43,5	15,1	3,7
12	28,1	24,1	87,3	7.734,4	1.433,8	43,5	15,1	3,7
13	30,1	26,1	295,2	7.439,2	1.729,0	147,0	51,2	3,7
14	32,1	28,1	718,8	6.720,4	2.447,8	358,0	124,7	3,7
15	34,1	30,1	865,9	5.854,5	3.313,7	431,3	150,2	3,3
16	36,1	32,1	845,3	5.009,2	4.159,0	421,0	146,6	2,3
Média	Fuste		259,9			129,6	45,1	3,3
	Ponta		5.009,2				7.634,6	2,4
Parâmetros do solo - Extensões						Fuste	Ponta	
Fator de amortecimento de Smith						0,71	0,31	
Fator de amortecimento do Case						1,63	0,86	
Quake de descarregamento (%)					qu / qtu	115	34	
Nível de recarga (%)					RI / Rit	100	100	
Nível de descarregamento (%)					Rnu	1		
Vazio sob a ponta (mm)					tg		0,1	
Embuchamento de solo na ponta da estaca (kN)						mpl	3,0	
FMX	DMX	DFN	SET	EMX				
kN	mm	mm	mm	kJ				
7.794,0	17,2	-0,1	0,1	85,1				

Valores máximos e mínimos alcançados durante o golpe analisado

Elementos de solo	Abaixo dos sensores	Força máxima	Força mínima	Compressão máxima	Força mínima/área	Energia máxima	Desloc. Máximo
Nº	m	kN	kN	MPa	MPa	kJ	mm
1	1,0	7.726,8	-377,2	171,2	-8,36	84,6	17,0
2	2,0	7.727,6	-443,7	171,2	-9,83	84,2	16,7
4	4,0	7.769,6	-570,5	172,1	-12,64	83,5	16,2
6	6,0	7.921,5	-689,0	175,5	-15,26	82,7	15,6
8	8,0	7.762,4	-721,9	172,0	-15,99	79,0	14,9
10	10,0	7.615,1	-708,9	168,7	-15,70	75,2	14,3
12	12,0	7.495,9	-762,6	166,1	-16,90	71,5	13,5
14	14,1	7.316,3	-810,8	162,1	-17,96	67,2	12,8
16	16,1	7.181,2	-857,2	159,1	-18,99	62,9	11,9
18	18,1	7.014,7	-928,1	155,4	-20,56	58,4	11,1
20	20,1	6.802,6	-1.013,2	150,7	-22,45	53,9	10,4
22	22,1	6.667,9	-1.062,5	147,7	-23,54	49,7	9,7
24	24,1	6.344,8	-1.063,3	140,6	-23,56	44,7	9,0
26	26,1	5.998,3	-1.110,9	132,9	-24,61	40,0	8,3
28	28,1	5.925,1	-1.192,2	131,3	-26,41	36,8	7,4
30	30,1	6.096,0	-1.206,5	135,1	-26,73	33,2	6,3
31	31,1	5.773,2	-1.157,9	127,9	-25,65	29,0	5,8
32	32,1	6.211,2	-1.176,4	137,6	-26,06	27,2	5,2
33	33,1	5.756,8	-1.002,7	127,5	-22,21	21,4	4,6
34	34,1	6.091,3	-1.004,4	134,9	-22,25	19,5	3,9
35	35,1	5.811,0	-799,4	128,7	-17,71	14,7	3,3
36	36,1	6.211,8	-793,5	137,6	-17,58	12,5	2,7

Resultados de RMX pelo método CASE em função do coeficiente de amortecimento J_c

J_c	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
RMX _{t1}	10.716	10.229	9.742	9.255	8.768	8.281	7.794	7.307	6.820	6.333
RMX	10.756	10.280	9.805	9.339	8.885	8.452	8.039	7.638	7.260	6.896
RNU	11.107	10.659	10.211	9.763	9.315	8.867	8.419	7.971	7.523	7.075

Resultados gráficos – Estaca PC01 – 24 horas de repouso – Golpe de 120 cm

Tiplam; Pile: Estaca PC01; Recrvação 24 horas; Blow: 6 (Test: 12-Feb-2015 10:11);
PDI Engenharia

14-Aug-2017
CAPWAP(R) 2014-1

CAPWAP – OBRA 2 – PC01 – 48 horas de repouso – Golpe de 20 cm

Resultados obtidos - CAPWAP					"Match Quality"			1,91
Resistência Total		3.946,3	Atrito Lateral		2.963,7	Resistência de ponta		982,6
Elementos de solo	Abaixo dos sensores	Comp. cravado	Ru	Força na estaca	Somatória de Ru	Resistência do elemento	Atrito unitário	Quake
Nº	m	m	kN	kN	kN	kN/m	kPa	mm
				3.946,3				
1	4,0	1,2	104,0	3.842,3	104,0	88,5	30,8	1,8
2	6,0	3,2	104,0	3.738,3	208,0	51,8	18,0	1,8
3	8,0	5,2	90,2	3.648,1	298,2	44,9	15,7	1,8
4	10,0	7,2	90,2	3.557,9	388,4	44,9	15,7	1,8
5	12,0	9,2	92,2	3.465,7	480,6	45,9	16,0	1,8
6	14,1	11,2	119,6	3.346,1	600,2	59,6	20,8	1,8
7	16,1	13,2	146,1	3.200,0	746,3	72,8	25,3	1,8
8	18,1	15,2	149,1	3.050,9	895,4	74,3	25,9	1,8
9	20,1	17,2	198,1	2.852,8	1.093,5	98,7	34,4	1,8
10	22,1	19,2	226,5	2.626,3	1.320,0	112,8	39,3	1,8
11	24,1	21,3	104,0	2.522,3	1.424,0	51,8	18,0	1,8
12	26,1	23,3	72,6	2.449,7	1.496,6	36,2	12,6	1,8
13	28,1	25,3	57,9	2.391,8	1.554,5	28,8	10,0	1,8
14	30,1	27,3	56,9	2.334,9	1.611,4	28,3	9,9	1,8
15	32,1	29,3	173,6	2.161,3	1.785,0	86,5	30,1	1,7
16	34,1	31,3	586,4	1.574,9	2.371,4	292,1	101,7	1,5
17	36,1	33,3	592,3	982,6	2.963,7	295,0	102,7	1,2
Média	Fuste		174,3			89,0	31,0	1,6
	Ponta		982,6				1.497,6	1,3
Parâmetros do solo - Extensões						Fuste	Ponta	
Fator de amortecimento de Smith						0,80	1,09	
Fator de amortecimento do Case						1,30	0,59	
Quake de descarregamento (%)					qu / qtu	182	105	
Nível de recarga (%)					RI / Rlt	100	100	
Nível de descarregamento (%)					Rnu	0		
Vazio sob a ponta (mm)					tg		0,1	
Embuchamento de solo na ponta da estaca (kN)						mpl	3,0	
FMX	DMX	DFN	SET	EMX				
kN	mm	mm	mm	kJ				
3.195,0	6,8	-0,1	0,1	15,8				

Valores máximos e mínimos alcançados durante o golpe analisado

Elementos de solo	Abaixo dos sensores	Força máxima	Força mínima	Compressão máxima	Força mínima/ área	Energia máxima	Desloc. Máximo
Nº	m	kN	kN	MPa	MPa	kJ	mm
1	1,0	3.234,8	-193,6	71,7	-4,29	15,6	6,6
2	2,0	3.256,7	-214,9	72,1	-4,76	15,5	6,4
4	4,0	3.367,7	-265,0	74,6	-5,87	15,2	6,1
6	6,0	3.245,5	-281,3	71,9	-6,23	14,0	5,7
8	8,0	3.125,2	-308,8	69,2	-6,84	12,9	5,4
10	10,0	3.036,0	-334,3	67,3	-7,41	11,9	5,1
12	12,0	2.956,5	-354,5	65,5	-7,85	11,0	4,8
14	14,1	2.898,2	-369,3	64,2	-8,18	10,2	4,4
16	16,1	2.812,4	-373,6	62,3	-8,28	9,4	4,2
18	18,1	2.705,6	-369,0	59,9	-8,17	8,5	4,0
20	20,1	2.634,4	-370,4	58,4	-8,21	7,7	3,8
22	22,1	2.507,1	-359,1	55,5	-7,96	6,8	3,6
24	24,1	2.305,7	-355,1	51,1	-7,87	5,9	3,4
26	26,1	2.226,4	-348,1	49,3	-7,71	5,4	3,2
28	28,1	2.182,7	-332,3	48,4	-7,36	5,1	3,0
30	30,1	2.164,5	-333,5	48,0	-7,39	4,7	2,7
31	31,1	2.153,6	-336,2	47,7	-7,45	4,5	2,6
32	32,1	2.245,1	-335,9	49,7	-7,44	4,3	2,4
33	33,1	2.137,1	-323,3	47,3	-7,16	3,9	2,3
34	34,1	2.161,9	-323,2	47,9	-7,16	3,7	2,1
35	35,1	1.678,9	-247,4	37,2	-5,48	2,8	2,0
36	36,1	1.855,3	-245,6	41,1	-5,44	2,1	1,8

Resultados de RMX pelo método CASE em função do coeficiente de amortecimento J_c

J_c	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
RMX _{t1}	4.345	4.136	3.927	3.718	3.509	3.300	3.091	2.883	2.674	2.465
RMX	4.363	4.157	3.953	3.751	3.549	3.348	3.151	2.955	2.762	2.572
RNU	4.829	4.668	4.507	4.347	4.186	4.026	3.865	3.704	3.544	3.383

Resultados gráficos – Estaca PC01 – 48 horas de repouso – Golpe de 20 cm

Tiplam; Pile: Estaca PC01; Rec 48 horas; Blow: 1 (Test: 13-Feb-2015 10:10:)
PDI Engenharia

14-Aug-2017
CAPWAP(R) 2014-1

CAPWAP – OBRA 2 – PC01 – 48 horas de repouso – Golpe de 40 cm

Resultados obtidos - CAPWAP					"Match Quality"			1,34
Resistência Total		6.218,5	Atrito Lateral		3.807,0	Resistência de ponta		2.411,5
Elementos de solo	Abaixo dos sensores	Comp. cravado	Ru	Força na estaca	Somatória de Ru	Resistência do elemento	Atrito unitário	Quake
Nº	m	m	kN	kN	kN	kN/m	kPa	mm
				6.218,5				
1	4,0	1,2	47,1	6.171,4	47,1	40,1	14,0	2,1
2	6,0	3,2	58,8	6.112,6	105,9	29,3	10,2	2,1
3	8,0	5,2	79,4	6.033,2	185,3	39,6	13,8	2,1
4	10,0	7,2	94,1	5.939,1	279,4	46,9	16,3	2,1
5	12,0	9,2	104,0	5.835,1	383,4	51,8	18,0	2,1
6	14,1	11,2	82,4	5.752,7	465,8	41,0	14,3	2,1
7	16,1	13,2	155,9	5.596,8	621,7	77,7	27,0	2,1
8	18,1	15,2	182,4	5.414,4	804,1	90,9	31,6	2,1
9	20,1	17,2	197,1	5.217,3	1.001,2	98,2	34,2	2,1
10	22,1	19,2	219,7	4.997,6	1.220,9	109,4	38,1	2,1
11	24,1	21,3	157,9	4.839,7	1.378,8	78,6	27,4	2,1
12	26,1	23,3	106,9	4.732,8	1.485,7	53,2	18,5	2,1
13	28,1	25,3	107,9	4.624,9	1.593,6	53,7	18,7	2,1
14	30,1	27,3	164,8	4.460,1	1.758,4	82,1	28,6	2,1
15	32,1	29,3	365,8	4.094,3	2.124,2	182,2	63,5	2,1
16	34,1	31,3	810,0	3.284,3	2.934,2	403,4	140,5	1,8
17	36,1	33,3	872,8	2.411,5	3.807,0	434,7	151,4	1,2
Média	Fuste		223,9			114,3	39,8	1,8
	Ponta		2.411,5				3.675,4	1,2
Parâmetros do solo - Extensões						Fuste	Ponta	
Fator de amortecimento de Smith						0,93	0,32	
Fator de amortecimento do Case						1,94	0,43	
Quake de descarregamento (%)					qu / qtu	184	96	
Nível de recarga (%)					RI / Rit	100	100	
Nível de descarregamento (%)					Rnu	4		
Vazio sob a ponta (mm)					tg		0,0	
Embuchamento de solo na ponta da estaca (kN)						mpl	5,7	
FMX	DMX	DFN	SET	EMX				
kN	mm	mm	mm	kJ				
4.913,0	10,6	0,1	0,1	35,7				

Valores máximos e mínimos alcançados durante o golpe analisado

Elementos de solo	Abaixo dos sensores	Força máxima	Força mínima	Compressão máxima	Força mínima/ área	Energia máxima	Desloc. Máximo
Nº	m	kN	kN	MPa	MPa	kJ	mm
1	1,0	4.921,6	-289,2	109,0	-6,41	35,4	10,4
2	2,0	4.939,4	-335,9	109,4	-7,44	35,1	10,2
4	4,0	5.022,6	-418,2	111,3	-9,27	34,6	9,7
6	6,0	4.967,1	-470,1	110,0	-10,42	33,1	9,3
8	8,0	4.903,4	-518,5	108,6	-11,49	31,4	8,8
10	10,0	4.794,1	-538,1	106,2	-11,92	29,5	8,3
12	12,0	4.645,5	-550,9	102,9	-12,20	27,3	7,8
14	14,1	4.477,1	-550,0	99,2	-12,19	25,1	7,2
16	16,1	4.459,6	-584,0	98,8	-12,94	23,2	6,7
18	18,1	4.270,7	-576,2	94,6	-12,77	21,0	6,3
20	20,1	4.038,9	-548,3	89,5	-12,15	18,8	5,9
22	22,1	3.786,6	-527,4	83,9	-11,68	16,6	5,5
24	24,1	3.515,2	-522,3	77,9	-11,57	14,4	5,1
26	26,1	3.354,3	-524,3	74,3	-11,61	12,7	4,7
28	28,1	3.275,6	-525,7	72,6	-11,65	11,5	4,2
30	30,1	3.246,7	-501,5	71,9	-11,11	10,2	3,7
31	31,1	3.116,8	-483,5	69,1	-10,71	9,1	3,4
32	32,1	3.283,6	-491,3	72,7	-10,88	8,5	3,1
33	33,1	3.094,8	-459,9	68,6	-10,19	6,9	2,7
34	34,1	3.297,2	-445,1	73,0	-9,86	6,4	2,4
35	35,1	2.934,1	-268,3	65,0	-5,94	4,5	2,1
36	36,1	3.086,4	-238,9	68,4	-5,29	3,3	1,8

Resultados de RMX pelo método CASE em função do coeficiente de amortecimento J_c

J_c	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
RMX _{t1}	6.700	6.386	6.071	5.757	5.442	5.128	4.814	4.499	4.185	3.871
RMX	6.736	6.430	6.124	5.817	5.513	5.215	4.919	4.634	4.356	4.092
RNU	7.193	6.927	6.662	6.397	6.132	5.867	5.602	5.337	5.072	4.807

Resultados gráficos – Estaca PC01 – 48 horas de repouso – Golpe de 40 cm

Tiplam; Pile: Estaca PC01; Rec 48 horas; Blow: 2 (Test: 13-Feb-2015 10:10);
PDI Engenharia

14-Aug-2017
CAPWAP(R) 2014-1

CAPWAP – OBRA 2 – PC01 – 48 horas de repouso – Golpe de 60 cm

Resultados obtidos - CAPWAP					"Match Quality"			1,17
Resistência Total		7.056,9	Atrito Lateral		3.842,3	Resistência de ponta		3.214,6
Elementos de solo	Abaixo dos sensores	Comp. cravado	Ru	Força na estaca	Somatória de Ru	Resistência do elemento	Atrito unitário	Quake
Nº	m	m	kN	kN	kN	kN/m	kPa	mm
				7.056,9				
1	4,0	1,2	74,5	6.982,4	74,5	63,4	22,1	4,4
2	6,0	3,2	49,0	6.933,4	123,5	24,4	8,5	4,4
3	8,0	5,2	87,3	6.846,1	210,8	43,5	15,1	4,4
4	10,0	7,2	109,8	6.736,3	320,6	54,7	19,1	4,4
5	12,0	9,2	100,0	6.636,3	420,6	49,8	17,4	4,4
6	14,1	11,2	146,1	6.490,2	566,7	72,8	25,3	4,4
7	16,1	13,2	149,1	6.341,1	715,8	74,3	25,9	4,4
8	18,1	15,2	149,1	6.192,0	864,9	74,3	25,9	4,4
9	20,1	17,2	201,0	5.991,0	1.065,9	100,1	34,9	4,4
10	22,1	19,2	199,1	5.791,9	1.265,0	99,2	34,5	4,4
11	24,1	21,3	195,2	5.596,7	1.460,2	97,2	33,9	4,4
12	26,1	23,3	78,5	5.518,2	1.538,7	39,1	13,6	4,4
13	28,1	25,3	101,0	5.417,2	1.639,7	50,3	17,5	4,4
14	30,1	27,3	320,7	5.096,5	1.960,4	159,7	55,6	3,9
15	32,1	29,3	516,8	4.579,7	2.477,2	257,4	89,6	3,4
16	34,1	31,3	683,5	3.896,2	3.160,7	340,4	118,6	2,8
17	36,1	33,3	681,6	3.214,6	3.842,3	339,5	118,2	2,1
Média	Fuste		226,0			115,4	40,2	3,5
	Ponta		3.214,6				4.899,4	2,5
Parâmetros do solo - Extensões						Fuste	Ponta	
Fator de amortecimento de Smith						0,83	0,43	
Fator de amortecimento do Case						1,74	0,75	
Quake de descarregamento (%)					qu / qtu	127	31	
Nível de recarga (%)					RI / Rit	100	100	
Nível de descarregamento (%)					Rnu	5		
Vazio sob a ponta (mm)					tg		0,0	
Embuchamento de solo na ponta da estaca (kN)						mpl	0,6	
FMX	DMX	DFN	SET	EMX				
kN	mm	mm	mm	kJ				
6.093,0	12,9	-0,1	0,1	52,4				

Valores máximos e mínimos alcançados durante o golpe analisado

Elementos de solo	Abaixo dos sensores	Força máxima	Força mínima	Compressão máxima	Força mínima/ área	Energia máxima	Desloc. Máximo
Nº	m	kN	kN	MPa	MPa	kJ	mm
1	1,0	6.104,9	-404,9	135,2	-8,97	52,2	12,8
2	2,0	6.119,1	-465,3	135,6	-10,31	51,9	12,6
4	4,0	6.200,9	-575,5	137,4	-12,75	51,3	12,1
6	6,0	6.086,3	-626,3	134,8	-13,87	49,0	11,6
8	8,0	6.073,1	-692,4	134,5	-15,34	47,2	11,0
10	10,0	5.990,0	-706,3	132,7	-15,65	44,7	10,5
12	12,0	5.862,3	-697,3	129,9	-15,45	41,9	9,9
14	14,1	5.795,5	-728,0	128,4	-16,13	39,3	9,3
16	16,1	5.640,2	-739,2	125,0	-16,38	36,1	8,7
18	18,1	5.495,5	-753,2	121,7	-16,69	33,3	8,1
20	20,1	5.397,3	-796,1	119,6	-17,64	30,9	7,6
22	22,1	5.237,5	-791,7	116,0	-17,54	28,2	7,2
24	24,1	5.073,0	-791,2	112,4	-17,53	25,7	6,7
26	26,1	4.856,9	-791,3	107,6	-17,53	23,4	6,3
28	28,1	4.839,3	-817,2	107,2	-18,10	22,0	5,7
30	30,1	4.947,3	-840,6	109,6	-18,62	20,1	5,0
31	31,1	4.660,3	-791,7	103,2	-17,54	17,7	4,6
32	32,1	4.890,3	-806,8	108,3	-17,87	16,9	4,2
33	33,1	4.358,5	-684,6	96,6	-15,17	13,9	3,8
34	34,1	4.635,1	-686,0	102,7	-15,20	13,1	3,4
35	35,1	4.207,2	-528,8	93,2	-11,71	10,3	3,0
36	36,1	4.812,6	-527,4	106,6	-11,68	8,9	2,6

Resultados de RMX pelo método CASE em função do coeficiente de amortecimento J_c

J_c	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
RMX _{t1}	8.351	7.963	7.574	7.186	6.797	6.408	6.020	5.631	5.243	4.854
RMX	8.369	7.986	7.603	7.221	6.850	6.478	6.116	5.772	5.455	5.152
RNU	8.873	8.536	8.200	7.863	7.527	7.190	6.854	6.517	6.181	5.844

Resultados gráficos – Estaca PC01 – 48 horas de repouso – Golpe de 60 cm

Tiplam; Pile: Estaca PC01; Rec 48 horas; Blow: 3 (Test: 13-Feb-2015 10:11:)
PDI Engenharia

14-Aug-2017
CAPWAP(R) 2014-1

CAPWAP – OBRA 2 – PC01 – 48 horas de repouso – Golpe de 80 cm

Resultados obtidos - CAPWAP					"Match Quality"			1,39
Resistência Total		7.813,8	Atrito Lateral		3.730,3	Resistência de ponta		4.083,5
Elementos de solo	Abaixo dos sensores	Comp. cravado	Ru	Força na estaca	Somatória de Ru	Resistência do elemento	Atrito unitário	Quake
Nº	m	m	kN	kN	kN	kN/m	kPa	mm
				7.813,8				
1	4,0	1,2	69,6	7.744,2	69,6	59,2	20,6	2,9
2	6,0	3,2	50,0	7.694,2	119,6	24,9	8,7	2,9
3	8,0	5,2	57,9	7.636,3	177,5	28,8	10,0	2,9
4	10,0	7,2	81,4	7.554,9	258,9	40,5	14,1	2,9
5	12,0	9,2	101,0	7.453,9	359,9	50,3	17,5	2,9
6	14,1	11,2	99,0	7.354,9	458,9	49,3	17,2	2,9
7	16,1	13,2	150,0	7.204,9	608,9	74,7	26,0	2,9
8	18,1	15,2	149,1	7.055,8	758,0	74,3	25,9	2,9
9	20,1	17,2	199,1	6.856,7	957,1	99,2	34,5	2,9
10	22,1	19,2	220,6	6.636,1	1.177,7	109,9	38,3	2,9
11	24,1	21,3	201,0	6.435,1	1.378,7	100,1	34,9	2,9
12	26,1	23,3	92,2	6.342,9	1.470,9	45,9	16,0	2,9
13	28,1	25,3	85,3	6.257,6	1.556,2	42,5	14,8	2,9
14	30,1	27,3	476,6	5.781,0	2.032,8	237,4	82,7	2,9
15	32,1	29,3	486,4	5.294,6	2.519,2	242,3	84,4	2,9
16	34,1	31,3	608,0	4.686,6	3.127,2	302,8	105,5	2,3
17	36,1	33,3	603,1	4.083,5	3.730,3	300,4	104,6	1,5
Média	Fuste		219,4			112,0	39,0	2,6
	Ponta		4.083,5				6.223,7	1,5
Parâmetros do solo - Extensões						Fuste	Ponta	
Fator de amortecimento de Smith						0,86	0,36	
Fator de amortecimento do Case						1,76	0,82	
Quake de descarregamento (%)					qu / qtu	207	30	
Nível de recarga (%)					RI / Rit	100	100	
Nível de descarregamento (%)					Rnu	1		
Vazio sob a ponta (mm)					tg		0,0	
Embuchamento de solo na ponta da estaca (kN)						mpl	1,7	
FMX	DMX	DFN	SET	EMX				
kN	mm	mm	mm	kJ				
6.625,0	14,0	-0,3	0,1	61,5				

Valores máximos e mínimos alcançados durante o golpe analisado

Elementos de solo	Abaixo dos sensores	Força máxima	Força mínima	Compressão máxima	Força mínima/ área	Energia máxima	Desloc. Máximo
Nº	m	kN	kN	MPa	MPa	kJ	mm
1	1,0	6.601,6	-393,0	146,3	-8,71	61,1	13,9
2	2,0	6.618,9	-463,7	146,6	-10,27	60,7	13,6
4	4,0	6.743,6	-609,7	149,4	-13,51	60,1	13,1
6	6,0	6.561,4	-669,2	145,4	-14,83	57,2	12,5
8	8,0	6.478,1	-721,8	143,5	-15,99	54,9	11,9
10	10,0	6.407,9	-738,3	142,0	-16,36	52,4	11,3
12	12,0	6.283,9	-762,9	139,2	-16,90	49,3	10,7
14	14,1	6.111,6	-789,7	135,4	-17,49	45,9	10,0
16	16,1	6.013,7	-814,0	133,2	-18,03	42,4	9,2
18	18,1	5.782,2	-815,6	128,1	-18,07	38,6	8,5
20	20,1	5.623,3	-859,6	124,6	-19,04	35,4	8,0
22	22,1	5.400,4	-876,8	119,6	-19,42	31,7	7,5
24	24,1	5.131,2	-866,0	113,7	-19,18	28,1	7,0
26	26,1	4.828,3	-862,5	107,0	-19,11	24,9	6,4
28	28,1	4.768,0	-893,2	105,6	-19,79	22,7	5,7
30	30,1	4.973,8	-911,4	110,2	-20,19	20,2	4,8
31	31,1	4.478,1	-813,2	99,2	-18,02	16,3	4,3
32	32,1	4.754,2	-830,2	105,3	-18,39	15,2	3,8
33	33,1	4.667,3	-764,9	103,4	-16,95	12,1	3,3
34	34,1	4.935,0	-775,9	109,3	-17,19	10,9	2,8
35	35,1	4.773,8	-648,4	105,8	-14,36	8,2	2,3
36	36,1	5.166,0	-642,2	114,4	-14,23	7,2	1,8

Resultados de RMX pelo método CASE em função do coeficiente de amortecimento J_c

J_c	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
RMX _{t1}	9.129	8.717	8.305	7.893	7.482	7.070	6.658	6.246	5.834	5.423
RMX	9.161	8.755	8.355	7.961	7.571	7.193	6.816	6.459	6.110	5.806
RNU	9.604	9.240	8.875	8.511	8.147	7.782	7.418	7.054	6.689	6.325

Resultados gráficos – Estaca PC01 – 48 horas de repouso – Golpe de 80 cm

Tiplam; Pile: Estaca PC01; Rec: 48 horas; Blow: 4 (Test: 13-Feb-2015 10:11:)
PDI Engenharia

14-Aug-2017
CAPWAP(R) 2014-1

CAPWAP – OBRA 2 – PC01 – 48 horas de repouso – Golpe de 100 cm

Resultados obtidos - CAPWAP					"Match Quality"			1,48
Resistência Total		8.210,4	Atrito Lateral		3.500,3	Resistência de ponta		4.710,1
Elementos de solo	Abaixo dos sensores	Comp. cravado	Ru	Força na estaca	Somatória de Ru	Resistência do elemento	Atrito unitário	Quake
Nº	m	m	kN	kN	kN	kN/m	kPa	mm
				8.210,4				
1	4,0	1,2	47,1	8.163,3	47,1	40,1	14,0	4,2
2	6,0	3,2	48,1	8.115,2	95,2	24,0	8,3	4,2
3	8,0	5,2	52,0	8.063,2	147,2	25,9	9,0	4,2
4	10,0	7,2	82,4	7.980,8	229,6	41,0	14,3	4,2
5	12,0	9,2	93,2	7.887,6	322,8	46,4	16,2	4,2
6	14,1	11,2	103,0	7.784,6	425,8	51,3	17,9	4,2
7	16,1	13,2	112,8	7.671,8	538,6	56,2	19,6	4,2
8	18,1	15,2	157,9	7.513,9	696,5	78,6	27,4	4,2
9	20,1	17,2	184,4	7.329,5	880,9	91,8	32,0	4,2
10	22,1	19,2	183,4	7.146,1	1.064,3	91,3	31,8	4,2
11	24,1	21,3	195,2	6.950,9	1.259,5	97,2	33,9	4,2
12	26,1	23,3	58,8	6.892,1	1.318,3	29,3	10,2	4,2
13	28,1	25,3	147,1	6.745,0	1.465,4	73,3	25,5	4,2
14	30,1	27,3	147,1	6.597,9	1.612,5	73,3	25,5	4,2
15	32,1	29,3	557,0	6.040,9	2.169,5	277,4	96,6	4,2
16	34,1	31,3	577,6	5.463,3	2.747,1	287,7	100,2	3,6
17	36,1	33,3	753,2	4.710,1	3.500,3	375,1	130,7	2,5
Média	Fuste		205,9			105,1	36,6	3,7
	Ponta		4.710,1				7.178,7	2,8
Parâmetros do solo - Extensões						Fuste	Ponta	
Fator de amortecimento de Smith						0,87	0,35	
Fator de amortecimento do Case						1,67	0,89	
Quake de descarregamento (%)					qu / qtu	132	30	
Nível de recarga (%)					RI / Rit	100	100	
Nível de descarregamento (%)					Rnu	6		
Vazio sob a ponta (mm)					tg		0,1	
Embuchamento de solo na ponta da estaca (kN)						mpl	2,5	
FMX	DMX	DFN	SET	EMX				
kN	mm	mm	mm	kJ				
7.548,0	16,4	0,7	1,0	79,9				

Valores máximos e mínimos alcançados durante o golpe analisado

Elementos de solo	Abaixo dos sensores	Força máxima	Força mínima	Compressão máxima	Força mínima/área	Energia máxima	Desloc. Máximo
Nº	m	kN	kN	MPa	MPa	kJ	mm
1	1,0	7.517,1	-434,6	166,5	-9,63	79,4	16,3
2	2,0	7.537,2	-500,7	167,0	-11,09	79,1	16,0
4	4,0	7.637,5	-659,4	169,2	-14,61	78,4	15,5
6	6,0	7.540,4	-726,1	167,1	-16,09	75,9	14,9
8	8,0	7.462,5	-766,5	165,3	-16,98	73,3	14,3
10	10,0	7.417,4	-774,1	164,3	-17,15	70,4	13,6
12	12,0	7.275,3	-775,6	161,2	-17,18	66,6	12,9
14	14,1	7.142,1	-801,7	158,2	-17,76	62,5	12,1
16	16,1	7.006,8	-848,3	155,2	-18,79	58,3	11,3
18	18,1	6.902,4	-897,5	152,9	-19,88	53,9	10,5
20	20,1	6.705,6	-919,6	148,6	-20,37	49,4	9,8
22	22,1	6.451,7	-919,7	142,9	-20,37	44,9	9,2
24	24,1	6.244,9	-922,9	138,4	-20,45	40,8	8,6
26	26,1	5.932,7	-932,5	131,4	-20,66	36,7	8,0
28	28,1	5.955,6	-992,8	131,9	-21,99	34,4	7,2
30	30,1	5.853,7	-971,2	129,7	-21,52	30,7	6,3
31	31,1	5.760,9	-959,4	127,6	-21,25	28,1	5,8
32	32,1	6.071,1	-978,0	134,5	-21,67	26,6	5,2
33	33,1	5.577,6	-853,2	123,6	-18,90	21,9	4,7
34	34,1	5.991,6	-879,8	132,7	-19,49	20,3	4,1
35	35,1	5.483,3	-778,4	121,5	-17,25	16,4	3,5
36	36,1	6.183,4	-783,6	137,0	-17,36	14,3	3,0

Resultados de RMX pelo método CASE em função do coeficiente de amortecimento J_c

J_c	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
RMX _{t1}	10.316	9.835	9.354	8.873	8.392	7.911	7.430	6.949	6.468	5.987
RMX	10.356	9.884	9.412	8.943	8.493	8.063	7.658	7.256	6.882	6.533
RNU	10.816	10.385	9.954	9.523	9.092	8.661	8.230	7.799	7.369	6.938

Resultados gráficos – Estaca PC01 – 48 horas de repouso – Golpe de 100 cm

Tiplam; Pile: Estaca PC01; Rec 48 horas; Blow: 5 (Test: 13-Feb-2015 10:12:)
PDI Engenharia

14-Aug-2017
CAPWAP(R) 2014-1

CAPWAP – OBRA 2 – PC01 – 48 horas de repouso – Golpe de 120 cm

Resultados obtidos - CAPWAP					"Match Quality"			1,17
Resistência Total		9.204,5	Atrito Lateral		4.264,9	Resistência de ponta		4.939,6
Elementos de solo	Abaixo dos sensores	Comp. cravado	Ru	Força na estaca	Somatória de Ru	Resistência do elemento	Atrito unitário	Quake
Nº	m	m	kN	kN	kN	kN/m	kPa	mm
				9.204,5				
1	4,0	1,2	73,5	9.131,0	73,5	62,5	21,8	4,2
2	6,0	3,2	49,0	9.082,0	122,5	24,4	8,5	4,2
3	8,0	5,2	73,5	9.008,5	196,0	36,6	12,8	4,2
4	10,0	7,2	97,1	8.911,4	293,1	48,4	16,8	4,2
5	12,0	9,2	95,1	8.816,3	388,2	47,4	16,5	4,2
6	14,1	11,2	95,1	8.721,2	483,3	47,4	16,5	4,2
7	16,1	13,2	137,3	8.583,9	620,6	68,4	23,8	4,2
8	18,1	15,2	142,2	8.441,7	762,8	70,8	24,7	4,2
9	20,1	17,2	209,9	8.231,8	972,7	104,5	36,4	4,2
10	22,1	19,2	217,7	8.014,1	1.190,4	108,4	37,8	4,2
11	24,1	21,3	193,2	7.820,9	1.383,6	96,2	33,5	4,2
12	26,1	23,3	78,5	7.742,4	1.462,1	39,1	13,6	4,2
13	28,1	25,3	76,5	7.665,9	1.538,6	38,1	13,3	4,2
14	30,1	27,3	256,0	7.409,9	1.794,6	127,5	44,4	4,2
15	32,1	29,3	826,7	6.583,2	2.621,3	411,8	143,4	4,2
16	34,1	31,3	814,9	5.768,3	3.436,2	405,9	141,4	3,5
17	36,1	33,3	828,7	4.939,6	4.264,9	412,7	143,7	2,5
Média	Fuste		250,9			128,1	44,6	3,8
	Ponta		4.939,6				7.528,5	2,9
Parâmetros do solo - Extensões						Fuste	Ponta	
Fator de amortecimento de Smith						0,75	0,29	
Fator de amortecimento do Case						1,76	0,80	
Quake de descarregamento (%)					qu / qtu	142	30	
Nível de recarga (%)					RI / Rit	100	100	
Nível de descarregamento (%)					Rnu	3		
Vazio sob a ponta (mm)					tg		0,0	
Embuchamento de solo na ponta da estaca (kN)						mpl	2,1	
FMX	DMX	DFN	SET	EMX				
kN	mm	mm	mm	kJ				
7.890,0	16,7	-0,2	0,1	85,4				

Valores máximos e mínimos alcançados durante o golpe analisado

Elementos de solo	Abaixo dos sensores	Força máxima	Força mínima	Compressão máxima	Força mínima/área	Energia máxima	Desloc. Máximo
Nº	m	kN	kN	MPa	MPa	kJ	mm
1	1,0	7.844,6	-474,3	173,8	-10,51	84,9	16,6
2	2,0	7.872,8	-541,3	174,4	-11,99	84,5	16,4
4	4,0	8.005,8	-688,5	177,4	-15,25	83,8	15,8
6	6,0	7.821,9	-758,1	173,3	-16,79	80,4	15,2
8	8,0	7.779,9	-809,4	172,4	-17,93	77,7	14,6
10	10,0	7.678,4	-808,5	170,1	-17,91	74,2	13,9
12	12,0	7.521,5	-810,2	166,6	-17,95	70,1	13,2
14	14,1	7.386,3	-854,0	163,6	-18,92	66,1	12,4
16	16,1	7.301,8	-881,6	161,8	-19,53	62,0	11,6
18	18,1	7.128,3	-956,3	157,9	-21,19	57,3	10,8
20	20,1	7.014,7	-994,1	155,4	-22,02	53,2	10,1
22	22,1	6.749,9	-996,4	149,5	-22,07	48,3	9,5
24	24,1	6.443,3	-1.011,0	142,7	-22,40	43,6	8,9
26	26,1	6.168,4	-1.038,5	136,7	-23,01	39,4	8,2
28	28,1	6.108,3	-1.082,3	135,3	-23,98	36,7	7,4
30	30,1	6.227,0	-1.109,4	138,0	-24,58	33,5	6,4
31	31,1	6.023,3	-1.061,3	133,4	-23,51	29,8	5,9
32	32,1	6.434,6	-1.082,6	142,6	-23,98	28,2	5,3
33	33,1	5.628,3	-902,2	124,7	-19,99	22,3	4,7
34	34,1	6.061,1	-925,3	134,3	-20,50	20,6	4,1
35	35,1	5.471,5	-750,6	121,2	-16,63	16,1	3,5
36	36,1	6.203,5	-748,5	137,4	-16,58	13,8	2,9

Resultados de RMX pelo método CASE em função do coeficiente de amortecimento J_c

J_c	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
RMX _{t1}	10.782	10.279	9.776	9.273	8.769	8.266	7.763	7.260	6.757	6.254
RMX	10.806	10.314	9.823	9.342	8.869	8.405	7.959	7.541	7.156	6.810
RNU	11.278	10.824	10.370	9.917	9.463	9.010	8.556	8.102	7.649	7.195

Resultados gráficos – Estaca PC01 – 48 horas de repouso – Golpe de 120 cm

Tiplam; Pile: Estaca PC01 ; Rec 48 horas; Blow: 6 (Test: 13-Feb-2015 10:13:)
PDI Engenharia

14-Aug-2017
CAPWAP(R) 2014-1

CAPWAP – OBRA 2 – PC01 – 216 horas de repouso – Golpe de 20 cm

Resultados obtidos - CAPWAP					"Match Quality"			1,62
Resistência Total		3.817,0	Atrito Lateral		3.063,8	Resistência de ponta		753,2
Elementos de solo	Abaixo dos sensores	Comp. cravado	Ru	Força na estaca	Somatória de Ru	Resistência do elemento	Atrito unitário	Quake
Nº	m	m	kN	kN	kN	kN/m	kPa	mm
				3.817,0				
1	4,0	1,2	83,4	3.733,6	83,4	71,0	24,7	1,6
2	6,0	3,2	155,9	3.577,7	239,3	77,7	27,0	1,6
3	8,0	5,2	212,8	3.364,9	452,1	106,0	36,9	1,6
4	10,0	7,2	213,8	3.151,1	665,9	106,5	37,1	1,6
5	12,0	9,2	147,1	3.004,0	813,0	73,3	25,5	1,6
6	14,1	11,2	78,5	2.925,5	891,5	39,1	13,6	1,6
7	16,1	13,2	98,1	2.827,4	989,6	48,9	17,0	1,6
8	18,1	15,2	88,3	2.739,1	1.077,9	44,0	15,3	1,6
9	20,1	17,2	114,7	2.624,4	1.192,6	57,1	19,9	1,6
10	22,1	19,2	208,9	2.415,5	1.401,5	104,1	36,2	1,6
11	24,1	21,3	174,6	2.240,9	1.576,1	87,0	30,3	1,6
12	26,1	23,3	173,6	2.067,3	1.749,7	86,5	30,1	1,6
13	28,1	25,3	143,2	1.924,1	1.892,9	71,3	24,8	1,6
14	30,1	27,3	98,1	1.826,0	1.991,0	48,9	17,0	1,6
15	32,1	29,3	209,9	1.616,1	2.200,9	104,5	36,4	1,5
16	34,1	31,3	423,6	1.192,5	2.624,5	211,0	73,5	1,3
17	36,1	33,3	439,3	753,2	3.063,8	218,8	76,2	1,1
Média	Fuste		180,2			92,0	32,0	1,5
	Ponta		753,2				1.148,0	1,3
Parâmetros do solo - Extensões						Fuste	Ponta	
Fator de amortecimento de Smith						0,69	1,09	
Fator de amortecimento do Case						1,16	0,45	
Quake de descarregamento (%)					qu / qtu	187	90	
Nível de recarga (%)					RI / Rlt	100	100	
Nível de descarregamento (%)					Rnu	0		
Vazio sob a ponta (mm)					tg		0,1	
Embuchamento de solo na ponta da estaca (kN)						mpl	0,0	
FMX	DMX	DFN	SET	EMX				
kN	mm	mm	mm	kJ				
3.477,0	7,2	-0,2	0,1	19,0				

Valores máximos e mínimos alcançados durante o golpe analisado

Elementos de solo	Abaixo dos sensores	Força máxima	Força mínima	Compressão máxima	Força mínima/ área	Energia máxima	Desloc. Máximo
Nº	m	kN	kN	MPa	MPa	kJ	mm
1	1,0	3.489,9	-177,5	77,3	-3,93	18,8	7,0
2	2,0	3.525,0	-192,9	78,1	-4,27	18,6	6,8
4	4,0	3.660,2	-230,0	81,1	-5,10	18,2	6,4
6	6,0	3.667,1	-261,0	81,2	-5,78	17,0	6,0
8	8,0	3.537,3	-277,5	78,4	-6,15	15,2	5,6
10	10,0	3.280,5	-276,4	72,7	-6,12	13,3	5,3
12	12,0	2.999,3	-278,4	66,4	-6,17	11,5	5,0
14	14,1	2.818,1	-296,4	62,4	-6,57	10,3	4,7
16	16,1	2.761,0	-321,2	61,2	-7,12	9,6	4,4
18	18,1	2.685,0	-336,8	59,5	-7,46	8,8	4,2
20	20,1	2.661,4	-343,4	59,0	-7,61	8,2	3,9
22	22,1	2.615,3	-334,4	57,9	-7,41	7,4	3,6
24	24,1	2.431,5	-298,6	53,9	-6,61	6,4	3,4
26	26,1	2.294,4	-291,8	50,8	-6,47	5,6	3,1
28	28,1	2.158,8	-303,9	47,8	-6,73	4,8	2,8
30	30,1	2.079,1	-315,6	46,1	-6,99	4,2	2,6
31	31,1	2.024,1	-330,7	44,8	-7,33	3,8	2,4
32	32,1	2.080,8	-325,4	46,1	-7,21	3,7	2,3
33	33,1	1.851,9	-311,3	41,0	-6,90	3,2	2,2
34	34,1	1.831,3	-297,8	40,6	-6,60	3,1	2,0
35	35,1	1.392,6	-228,9	30,9	-5,07	2,3	1,9
36	36,1	1.556,8	-223,2	34,5	-4,95	1,7	1,8

Resultados de RMX pelo método CASE em função do coeficiente de amortecimento J_c

J_c	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
RMX _{t1}	4.533	4.292	4.052	3.811	3.571	3.330	3.090	2.849	2.609	2.368
RMX	4.533	4.292	4.052	3.811	3.575	3.338	3.107	2.884	2.667	2.457
RNU	5.209	5.037	4.864	4.691	4.518	4.345	4.173	4.000	3.827	3.654

Resultados gráficos – Estaca PC01 – 216 horas de repouso – Golpe de 20 cm

Tiplam; Pile: Estaca PC01; Rec 216 horas; Blow: 1 (Test: 20-Feb-2015 14:25)
PDI Engenharia

14-Aug-2017
CAPWAP(R) 2014-1

CAPWAP – OBRA 2 – PC01 – 216 horas de repouso – Golpe de 40 cm

Resultados obtidos - CAPWAP					"Match Quality"			1,35
Resistência Total		6.034,2	Atrito Lateral		3.644,3	Resistência de ponta		2.389,9
Elementos de solo	Abaixo dos sensores	Comp. cravado	Ru	Força na estaca	Somatória de Ru	Resistência do elemento	Atrito unitário	Quake
Nº	m	m	kN	kN	kN	kN/m	kPa	mm
				6.034,2				
1	4,0	1,2	85,3	5.948,9	85,3	72,6	25,3	3,7
2	6,0	3,2	156,9	5.792,0	242,2	78,2	27,2	3,7
3	8,0	5,2	199,1	5.592,9	441,3	99,2	34,5	3,7
4	10,0	7,2	183,4	5.409,5	624,7	91,3	31,8	3,7
5	12,0	9,2	141,2	5.268,3	765,9	70,3	24,5	3,7
6	14,1	11,2	117,7	5.150,6	883,6	58,6	20,4	3,7
7	16,1	13,2	98,1	5.052,5	981,7	48,9	17,0	3,7
8	18,1	15,2	178,5	4.874,0	1.160,2	88,9	31,0	3,7
9	20,1	17,2	218,7	4.655,3	1.378,9	108,9	37,9	3,7
10	22,1	19,2	202,0	4.453,3	1.580,9	100,6	35,0	3,7
11	24,1	21,3	202,0	4.251,3	1.782,9	100,6	35,0	3,7
12	26,1	23,3	278,5	3.972,8	2.061,4	138,7	48,3	3,7
13	28,1	25,3	284,4	3.688,4	2.345,8	141,7	49,3	3,5
14	30,1	27,3	291,3	3.397,1	2.637,1	145,1	50,5	3,2
15	32,1	29,3	307,9	3.089,2	2.945,0	153,4	53,4	2,7
16	34,1	31,3	342,3	2.746,9	3.287,3	170,5	59,4	1,9
17	36,1	33,3	357,0	2.389,9	3.644,3	177,8	61,9	1,3
Média	Fuste		214,4			109,4	38,1	3,1
	Ponta		2.389,9				3.642,5	1,5
Parâmetros do solo - Extensões						Fuste	Ponta	
Fator de amortecimento de Smith						0,93	0,42	
Fator de amortecimento do Case						1,87	0,55	
Quake de descarregamento (%)					qu / qtu	173	48	
Nível de recarga (%)					RI / Rit	100	100	
Nível de descarregamento (%)					Rnu	0		
Vazio sob a ponta (mm)					tg		0,0	
Embuchamento de solo na ponta da estaca (kN)						mpl	2,4	
FMX	DMX	DFN	SET	EMX				
kN	mm	mm	mm	kJ				
5.037,0	10,9	-0,1	0,1	40,2				

Valores máximos e mínimos alcançados durante o golpe analisado

Elementos de solo	Abaixo dos sensores	Força máxima	Força mínima	Compressão máxima	Força mínima/ área	Energia máxima	Desloc. Máximo
Nº	m	kN	kN	MPa	MPa	kJ	mm
1	1,0	5.066,0	-313,9	112,2	-6,95	39,8	10,7
2	2,0	5.084,3	-354,0	112,6	-7,84	39,5	10,4
4	4,0	5.199,1	-419,1	115,2	-9,28	38,8	9,9
6	6,0	5.180,7	-453,5	114,8	-10,05	36,6	9,3
8	8,0	5.040,8	-468,1	111,7	-10,37	33,4	8,8
10	10,0	4.810,9	-483,0	106,6	-10,70	30,0	8,3
12	12,0	4.591,9	-503,2	101,7	-11,15	27,1	7,8
14	14,1	4.461,8	-536,1	98,8	-11,88	24,8	7,3
16	16,1	4.365,9	-544,3	96,7	-12,06	23,1	6,9
18	18,1	4.348,8	-558,6	96,3	-12,37	21,7	6,5
20	20,1	4.241,0	-541,2	94,0	-11,99	19,6	6,0
22	22,1	4.080,2	-510,6	90,4	-11,31	17,5	5,6
24	24,1	3.952,5	-482,0	87,6	-10,68	15,7	5,2
26	26,1	3.865,1	-476,8	85,6	-10,56	14,1	4,7
28	28,1	3.740,9	-459,4	82,9	-10,18	12,4	4,3
30	30,1	3.623,0	-433,5	80,3	-9,60	10,7	3,8
31	31,1	3.406,1	-397,8	75,5	-8,81	9,4	3,5
32	32,1	3.528,9	-403,5	78,2	-8,94	9,1	3,2
33	33,1	3.320,9	-351,4	73,6	-7,79	7,9	3,0
34	34,1	3.413,8	-349,7	75,6	-7,75	7,5	2,7
35	35,1	3.011,5	-289,3	66,7	-6,41	6,2	2,4
36	36,1	3.488,1	-285,6	77,3	-6,33	5,6	2,1

Resultados de RMX pelo método CASE em função do coeficiente de amortecimento J_c

J_c	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
RMX_{t1}	6.792	6.459	6.125	5.792	5.458	5.125	4.791	4.457	4.124	3.790
RMX	6.792	6.459	6.125	5.792	5.458	5.125	4.798	4.475	4.161	3.858
RNU	7.677	7.432	7.187	6.942	6.697	6.452	6.207	5.962	5.717	5.472

Resultados gráficos – Estaca PC01 – 216 horas de repouso – Golpe de 40 cm

Tiplam; Pile: Estaca PC01 ; Rec 216 horas; Blow: 2 (Test: 20-Feb-2015 14:25)
PDI Engenharia

14-Aug-2017
CAPWAP(R) 2014-1

CAPWAP – OBRA 2 – PC01 – 216 horas de repouso – Golpe de 60 cm

Resultados obtidos - CAPWAP					"Match Quality"			1,22
Resistência Total		6.396,0	Atrito Lateral		3.867,8	Resistência de ponta		2.528,2
Elementos de solo	Abaixo dos sensores	Comp. cravado	Ru	Força na estaca	Somatória de Ru	Resistência do elemento	Atrito unitário	Quake
Nº	m	m	kN	kN	kN	kN/m	kPa	mm
				6.396,0				
1	4,0	1,2	87,3	6.308,7	87,3	74,3	25,9	5,1
2	6,0	3,2	157,9	6.150,8	245,2	78,6	27,4	5,1
3	8,0	5,2	171,6	5.979,2	416,8	85,5	29,8	5,1
4	10,0	7,2	140,2	5.839,0	557,0	69,8	24,3	5,1
5	12,0	9,2	92,2	5.746,8	649,2	45,9	16,0	5,1
6	14,1	11,2	80,4	5.666,4	729,6	40,0	14,0	5,1
7	16,1	13,2	105,9	5.560,5	835,5	52,7	18,4	5,1
8	18,1	15,2	143,2	5.417,3	978,7	71,3	24,8	5,1
9	20,1	17,2	181,4	5.235,9	1.160,1	90,4	31,5	5,1
10	22,1	19,2	226,5	5.009,4	1.386,6	112,8	39,3	5,1
11	24,1	21,3	270,7	4.738,7	1.657,3	134,8	47,0	5,1
12	26,1	23,3	285,4	4.453,3	1.942,7	142,2	49,5	4,7
13	28,1	25,3	265,8	4.187,5	2.208,5	132,4	46,1	4,3
14	30,1	27,3	240,3	3.947,2	2.448,8	119,7	41,7	3,9
15	32,1	29,3	252,0	3.695,2	2.700,8	125,5	43,7	3,0
16	34,1	31,3	583,5	3.111,7	3.284,3	290,6	101,2	2,4
17	36,1	33,3	583,5	2.528,2	3.867,8	290,6	101,2	1,7
Média	Fuste		227,5			116,2	40,5	3,9
	Ponta		2.528,2				3.853,3	1,3
Parâmetros do solo - Extensões						Fuste	Ponta	
Fator de amortecimento de Smith						1,07	0,72	
Fator de amortecimento do Case						2,27	1,00	
Quake de descarregamento (%)					qu / qtu	169	30	
Nível de recarga (%)					RI / Rit	100	100	
Nível de descarregamento (%)					Rnu	23		
Vazio sob a ponta (mm)					tg		0,1	
Embuchamento de solo na ponta da estaca (kN)						mpl	6,1	
FMX	DMX	DFN	SET	EMX				
kN	mm	mm	mm	kJ				
6.021,0	12,8	0,0	0,1	52,3				

Valores máximos e mínimos alcançados durante o golpe analisado

Elementos de solo	Abaixo dos sensores	Força máxima	Força mínima	Compressão máxima	Força mínima/ área	Energia máxima	Desloc. Máximo
Nº	m	kN	kN	MPa	MPa	kJ	mm
1	1,0	6.025,4	-329,9	133,5	-7,31	51,9	12,5
2	2,0	6.040,6	-374,6	133,8	-8,30	51,6	12,2
4	4,0	6.153,4	-458,2	136,3	-10,15	50,8	11,6
6	6,0	6.123,6	-486,2	135,7	-10,77	48,0	11,1
8	8,0	5.952,9	-471,1	131,9	-10,44	44,0	10,5
10	10,0	5.730,8	-469,9	127,0	-10,41	40,1	9,9
12	12,0	5.556,2	-472,8	123,1	-10,47	36,9	9,3
14	14,1	5.470,3	-498,3	121,2	-11,04	34,6	8,8
16	16,1	5.424,5	-533,9	120,2	-11,83	32,6	8,2
18	18,1	5.368,2	-568,1	118,9	-12,59	30,4	7,6
20	20,1	5.287,4	-594,8	117,1	-13,18	28,1	7,1
22	22,1	5.184,1	-601,5	114,8	-13,33	25,7	6,6
24	24,1	5.053,0	-611,9	111,9	-13,56	23,1	6,0
26	26,1	4.897,0	-628,2	108,5	-13,92	20,7	5,6
28	28,1	4.704,0	-656,8	104,2	-14,55	18,4	5,1
30	30,1	4.524,1	-681,0	100,2	-15,09	16,1	4,5
31	31,1	4.300,1	-699,6	95,3	-15,50	14,4	4,2
32	32,1	4.465,8	-708,2	98,9	-15,69	13,9	3,9
33	33,1	4.272,3	-702,7	94,6	-15,57	12,1	3,5
34	34,1	4.377,5	-707,9	97,0	-15,68	11,6	3,2
35	35,1	3.825,8	-592,3	84,8	-13,12	9,2	2,9
36	36,1	4.563,5	-592,5	101,1	-13,13	7,9	2,6

Resultados de RMX pelo método CASE em função do coeficiente de amortecimento J_c

J_c	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
RMX _{t1}	8.011	7.598	7.184	6.771	6.358	5.944	5.531	5.118	4.704	4.291
RMX	8.011	7.598	7.184	6.776	6.371	5.966	5.576	5.200	4.849	4.537
RNU	8.796	8.461	8.126	7.791	7.456	7.121	6.786	6.451	6.117	5.782

Resultados gráficos – Estaca PC01 – 216 horas de repouso – Golpe de 60 cm

Tiplam; Pile: Estaca PC01; Rec 216 horas; Blow 3 (Test: 20-Feb-2015 14:25:)
PDI Engenharia

14-Aug-2017
CAPWAP (R) 2014-1

CAPWAP – OBRA 2 – PC01 – 216 horas de repouso – Golpe de 80 cm

Resultados obtidos - CAPWAP					"Match Quality"			1,12
Resistência Total		8.079,0	Atrito Lateral		3.993,5	Resistência de ponta		4.085,5
Elementos de solo	Abaixo dos sensores	Comp. cravado	Ru	Força na estaca	Somatória de Ru	Resistência do elemento	Atrito unitário	Quake
Nº	m	m	kN	kN	kN	kN/m	kPa	mm
				8.079,0				
1	4,0	1,2	54,9	8.024,1	54,9	46,7	16,3	4,9
2	6,0	3,2	141,2	7.882,9	196,1	70,3	24,5	4,9
3	8,0	5,2	127,5	7.755,4	323,6	63,5	22,1	4,9
4	10,0	7,2	97,1	7.658,3	420,7	48,4	16,8	4,9
5	12,0	9,2	57,9	7.600,4	478,6	28,8	10,0	4,9
6	14,1	11,2	62,8	7.537,6	541,4	31,3	10,9	4,9
7	16,1	13,2	156,9	7.380,7	698,3	78,2	27,2	4,9
8	18,1	15,2	67,7	7.313,0	766,0	33,7	11,7	4,9
9	20,1	17,2	195,2	7.117,8	961,2	97,2	33,9	4,9
10	22,1	19,2	198,1	6.919,7	1.159,3	98,7	34,4	4,9
11	24,1	21,3	207,9	6.711,8	1.367,2	103,6	36,1	4,9
12	26,1	23,3	186,3	6.525,5	1.553,5	92,8	32,3	4,9
13	28,1	25,3	295,2	6.230,3	1.848,7	147,0	51,2	4,6
14	30,1	27,3	275,6	5.954,7	2.124,3	137,3	47,8	4,1
15	32,1	29,3	607,0	5.347,7	2.731,3	302,3	105,3	3,1
16	34,1	31,3	641,4	4.706,3	3.372,7	319,5	111,3	2,4
17	36,1	33,3	620,8	4.085,5	3.993,5	309,2	107,7	1,6
Média	Fuste		234,9			119,9	41,8	3,6
	Ponta		4.085,5				6.226,8	1,1
Parâmetros do solo - Extensões						Fuste	Ponta	
Fator de amortecimento de Smith						1,25	0,17	
Fator de amortecimento do Case						2,73	0,39	
Quake de descarregamento (%)					qu / qtu	179	30	
Nível de recarga (%)					RI / Rit	100	100	
Nível de descarregamento (%)					Rnu	42		
Vazio sob a ponta (mm)					tg		0,0	
Embuchamento de solo na ponta da estaca (kN)						mpl	1,2	
FMX	DMX	DFN	SET	EMX				
kN	mm	mm	mm	kJ				
7.175,0	15,1	1,0	1,0	71,8				

Valores máximos e mínimos alcançados durante o golpe analisado

Elementos de solo	Abaixo dos sensores	Força máxima	Força mínima	Compressão máxima	Força mínima/ área	Energia máxima	Desloc. Máximo
Nº	m	kN	kN	MPa	MPa	kJ	mm
1	1,0	7.132,0	-343,5	158,0	-7,61	71,2	14,8
2	2,0	7.131,6	-394,2	158,0	-8,73	70,8	14,5
4	4,0	7.246,3	-509,3	160,5	-11,28	69,9	13,9
6	6,0	7.278,0	-555,4	161,2	-12,30	66,8	13,3
8	8,0	6.986,7	-513,2	154,8	-11,37	61,1	12,6
10	10,0	6.740,8	-495,0	149,3	-10,97	56,1	12,0
12	12,0	6.550,0	-513,7	145,1	-11,38	52,1	11,3
14	14,1	6.476,8	-557,2	143,5	-12,34	49,5	10,6
16	16,1	6.478,3	-604,8	143,5	-13,40	46,6	9,9
18	18,1	6.199,4	-589,6	137,3	-13,06	41,9	9,1
20	20,1	6.235,4	-606,9	138,1	-13,44	39,4	8,4
22	22,1	6.017,9	-581,1	133,3	-12,87	35,0	7,7
24	24,1	5.814,9	-583,5	128,8	-12,93	31,0	7,0
26	26,1	5.601,6	-600,8	124,1	-13,31	27,5	6,3
28	28,1	5.516,7	-617,7	122,2	-13,68	24,5	5,6
30	30,1	5.304,9	-618,0	117,5	-13,69	20,7	4,8
31	31,1	5.053,8	-607,8	112,0	-13,47	18,0	4,4
32	32,1	5.377,3	-619,5	119,1	-13,72	16,9	3,9
33	33,1	4.531,4	-501,9	100,4	-11,12	13,0	3,4
34	34,1	4.895,2	-512,4	108,4	-11,35	12,0	3,0
35	35,1	4.835,1	-369,7	107,1	-8,19	8,8	2,5
36	36,1	5.534,2	-373,5	122,6	-8,27	7,7	2,0

Resultados de RMX pelo método CASE em função do coeficiente de amortecimento J_c

J_c	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
RMX _{t1}	9.448	8.957	8.465	7.974	7.483	6.992	6.500	6.009	5.518	5.026
RMX	9.452	8.969	8.486	8.014	7.545	7.084	6.633	6.190	5.763	5.398
RNU	10.236	9.824	9.411	8.999	8.586	8.174	7.761	7.349	6.937	6.524

Resultados gráficos – Estaca PC01 – 216 horas de repouso – Golpe de 80 cm

Tiplam; Pile: Estaca PC01; Rec 216 horas; Blow: 4 (Test: 20-Feb-2015 14:26:)
POI Engenharia

14-Aug-2017
CAPWAP(R) 2014-1

CAPWAP – OBRA 2 – PC01 – 216 horas de repouso – Golpe de 100 cm

Resultados obtidos - CAPWAP					"Match Quality"			0,97
Resistência Total		8.468,2	Atrito Lateral		3.938,5	Resistência de ponta		4.529,7
Elementos de solo	Abaixo dos sensores	Comp. cravado	Ru	Força na estaca	Somatória de Ru	Resistência do elemento	Atrito unitário	Quake
Nº	m	m	kN	kN	kN	kN/m	kPa	mm
				8.468,2				
1	4,0	1,2	47,1	8.421,1	47,1	40,1	14,0	3,6
2	6,0	3,2	99,0	8.322,1	146,1	49,3	17,2	3,6
3	8,0	5,2	157,9	8.164,2	304,0	78,6	27,4	3,6
4	10,0	7,2	141,2	8.023,0	445,2	70,3	24,5	3,6
5	12,0	9,2	55,9	7.967,1	501,1	27,8	9,7	3,6
6	14,1	11,2	53,9	7.913,2	555,0	26,9	9,4	3,6
7	16,1	13,2	87,3	7.825,9	642,3	43,5	15,1	3,6
8	18,1	15,2	117,7	7.708,2	760,0	58,6	20,4	3,6
9	20,1	17,2	169,7	7.538,5	929,7	84,5	29,4	3,6
10	22,1	19,2	177,5	7.361,0	1.107,2	88,4	30,8	3,6
11	24,1	21,3	205,0	7.156,0	1.312,2	102,1	35,6	3,6
12	26,1	23,3	210,8	6.945,2	1.523,0	105,0	36,6	3,6
13	28,1	25,3	286,4	6.658,8	1.809,4	142,7	49,7	3,6
14	30,1	27,3	314,8	6.344,0	2.124,2	156,8	54,6	3,6
15	32,1	29,3	532,5	5.811,5	2.656,7	265,2	92,4	3,5
16	34,1	31,3	605,1	5.206,4	3.261,8	301,4	105,0	2,7
17	36,1	33,3	676,7	4.529,7	3.938,5	337,0	117,4	1,7
Média	Fuste		231,7			118,3	41,2	3,1
	Ponta		4.529,7				6.903,8	1,8
Parâmetros do solo - Extensões						Fuste	Ponta	
Fator de amortecimento de Smith						1,09	0,27	
Fator de amortecimento do Case						2,36	0,68	
Quake de descarregamento (%)					qu / qtu	255	30	
Nível de recarga (%)					RI / Rit	100	100	
Nível de descarregamento (%)					Rnu	45		
Vazio sob a ponta (mm)					tg		0,1	
Embuchamento de solo na ponta da estaca (kN)						mpl	2,4	
FMX	DMX	DFN	SET	EMX				
kN	mm	mm	mm	kJ				
7.486,0	15,8	-0,1	0,1	77,4				

Valores máximos e mínimos alcançados durante o golpe analisado

Elementos de solo	Abaixo dos sensores	Força máxima	Força mínima	Compressão máxima	Força mínima/ área	Energia máxima	Desloc. Máximo
Nº	m	kN	kN	MPa	MPa	kJ	mm
1	1,0	7.470,5	-398,7	165,5	-8,83	76,8	15,4
2	2,0	7.474,7	-458,6	165,6	-10,16	76,3	15,0
4	4,0	7.573,6	-558,0	167,8	-12,36	75,3	14,4
6	6,0	7.595,2	-606,1	168,3	-13,43	72,3	13,7
8	8,0	7.460,8	-617,5	165,3	-13,68	67,5	13,0
10	10,0	7.109,7	-578,0	157,5	-12,81	61,1	12,4
12	12,0	6.718,5	-532,7	148,8	-11,80	55,5	11,7
14	14,1	6.619,5	-577,4	146,6	-12,79	52,6	11,0
16	16,1	6.579,8	-613,1	145,8	-13,58	49,8	10,2
18	18,1	6.484,8	-632,6	143,7	-14,02	46,2	9,4
20	20,1	6.367,6	-633,1	141,1	-14,03	42,5	8,7
22	22,1	6.130,6	-607,2	135,8	-13,45	37,9	8,0
24	24,1	5.917,0	-603,3	131,1	-13,37	33,6	7,2
26	26,1	5.695,6	-614,8	126,2	-13,62	29,6	6,5
28	28,1	5.548,2	-633,6	122,9	-14,04	25,9	5,8
30	30,1	5.320,6	-639,3	117,9	-14,16	21,7	5,0
31	31,1	4.967,9	-635,5	110,1	-14,08	18,5	4,6
32	32,1	5.214,9	-654,1	115,5	-14,49	17,4	4,0
33	33,1	4.809,2	-627,2	106,5	-13,90	13,9	3,6
34	34,1	5.081,6	-637,0	112,6	-14,11	12,8	3,1
35	35,1	4.683,6	-569,7	103,8	-12,62	9,8	2,6
36	36,1	5.440,5	-573,5	120,5	-12,70	8,5	2,0

Resultados de RMX pelo método CASE em função do coeficiente de amortecimento J_c

J_c	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
RMX _{t1}	9.958	9.451	8.944	8.437	7.930	7.423	6.915	6.408	5.901	5.394
RMX	9.958	9.457	8.960	8.469	7.990	7.531	7.090	6.662	6.264	5.903
RNU	10.770	10.344	9.918	9.492	9.066	8.640	8.214	7.788	7.362	6.936

Resultados gráficos – Estaca PC01 – 216 horas de repouso – Golpe de 100 cm

Tiplam; Pile: Estaca PC01; Rec 216 horas; Blow: 5 (Test: 20-Feb-2015 14:27:)
PDI Engenharia

14-Aug-2017
CAPWAP(R) 2014-1

CAPWAP – OBRA 2 – PC01 – 216 horas de repouso – Golpe de 120 cm

Resultados obtidos - CAPWAP					"Match Quality"			0,91
Resistência Total		9.559,4	Atrito Lateral		4.647,2	Resistência de ponta		4.912,2
Elementos de solo	Abaixo dos sensores	Comp. cravado	Ru	Força na estaca	Somatória de Ru	Resistência do elemento	Atrito unitário	Quake
Nº	m	m	kN	kN	kN	kN/m	kPa	mm
				9.559,4				
1	4,0	1,2	79,4	9.480,0	79,4	67,5	23,5	5,7
2	6,0	3,2	152,0	9.328,0	231,4	75,7	26,4	5,7
3	8,0	5,2	150,0	9.178,0	381,4	74,7	26,0	5,7
4	10,0	7,2	137,3	9.040,7	518,7	68,4	23,8	5,7
5	12,0	9,2	81,4	8.959,3	600,1	40,5	14,1	5,7
6	14,1	11,2	79,4	8.879,9	679,5	39,6	13,8	5,7
7	16,1	13,2	80,4	8.799,5	759,9	40,0	14,0	5,7
8	18,1	15,2	128,5	8.671,0	888,4	64,0	22,3	5,7
9	20,1	17,2	201,0	8.470,0	1.089,4	100,1	34,9	5,7
10	22,1	19,2	199,1	8.270,9	1.288,5	99,2	34,5	5,7
11	24,1	21,3	220,6	8.050,3	1.509,1	109,9	38,3	5,7
12	26,1	23,3	325,6	7.724,7	1.834,7	162,2	56,5	5,7
13	28,1	25,3	304,0	7.420,7	2.138,7	151,4	52,7	5,7
14	30,1	27,3	302,0	7.118,7	2.440,7	150,4	52,4	5,1
15	32,1	29,3	493,3	6.625,4	2.934,0	245,7	85,6	3,9
16	34,1	31,3	847,3	5.778,1	3.781,3	422,0	147,0	3,0
17	36,1	33,3	865,9	4.912,2	4.647,2	431,3	150,2	2,1
Média	Fuste		273,4			139,6	48,6	4,3
	Ponta		4.912,2				7.486,8	1,8
Parâmetros do solo - Extensões						Fuste	Ponta	
Fator de amortecimento de Smith						0,94	0,18	
Fator de amortecimento do Case						2,38	0,48	
Quake de descarregamento (%)					qu / qtu	197	38	
Nível de recarga (%)					RI / Rit	100	100	
Nível de descarregamento (%)					Rnu	19		
Vazio sob a ponta (mm)					tg		0,1	
Embuchamento de solo na ponta da estaca (kN)						Mpl	3,2	
FMX	DMX	DFN	SET	EMX				
kN	mm	mm	mm	kJ				
7.842,0	16,4	0,0	0,1	84,4				

Valores máximos e mínimos alcançados durante o golpe analisado

Elementos de solo	Abaixo dos sensores	Força máxima	Força mínima	Compressão máxima	Força mínima/ área	Energia máxima	Desloc. Máximo
Nº	m	kN	kN	MPa	MPa	kJ	mm
1	1,0	7.778,6	-416,6	172,3	-9,23	83,8	16,2
2	2,0	7.782,2	-473,6	172,4	-10,49	83,4	15,9
4	4,0	7.899,0	-577,9	175,0	-12,80	82,4	15,2
6	6,0	7.873,2	-626,9	174,4	-13,89	78,6	14,6
8	8,0	7.651,9	-634,0	169,5	-14,05	72,8	13,9
10	10,0	7.454,3	-636,5	165,1	-14,10	67,3	13,2
12	12,0	7.240,1	-630,6	160,4	-13,97	62,4	12,5
14	14,1	7.143,4	-666,4	158,3	-14,76	59,1	11,8
16	16,1	7.058,8	-718,8	156,4	-15,92	55,9	11,0
18	18,1	7.021,1	-762,1	155,5	-16,88	52,6	10,2
20	20,1	6.950,3	-775,6	154,0	-17,18	49,0	9,5
22	22,1	6.756,4	-766,2	149,7	-16,97	44,4	8,8
24	24,1	6.598,1	-784,1	146,2	-17,37	40,3	8,0
26	26,1	6.477,6	-825,4	143,5	-18,29	36,4	7,3
28	28,1	6.204,5	-837,6	137,5	-18,56	31,9	6,6
30	30,1	6.022,6	-862,7	133,4	-19,11	27,9	5,7
31	31,1	5.749,2	-866,7	127,4	-19,20	24,8	5,2
32	32,1	6.058,6	-878,5	134,2	-19,46	23,6	4,7
33	33,1	5.627,8	-812,7	124,7	-18,00	19,7	4,2
34	34,1	6.016,0	-818,5	133,3	-18,13	18,4	3,7
35	35,1	5.330,6	-606,5	118,1	-13,44	13,8	3,2
36	36,1	6.263,7	-616,4	138,8	-13,66	12,0	2,6

Resultados de RMX pelo método CASE em função do coeficiente de amortecimento J_c

J_c	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
RMX _{t1}	10.420	9.896	9.372	8.848	8.324	7.800	7.276	6.752	6.228	5.704
RMX	10.444	9.928	9.419	8.919	8.418	7.925	7.448	6.971	6.511	6.109
RNU	11.186	10.738	10.291	9.843	9.396	8.949	8.501	8.054	7.606	7.159

Resultados gráficos – Estaca PC01 – 216 horas de repouso – Golpe de 120 cm

Tiplam; Pile: Estaca PC01; Rec 216 horas; Blow: 6 (Test: 20-Feb-2015 14:28:)
PDI Engenharia

14-Aug-2017
CAPWAP(R) 2014-1

ANEXO V

Métodos Semi-empíricos para definir a capacidade carga da estaca P29B da
Obra 3 (Empreendimento em Osasco)

AV-1 - Q lateral, Q ponta e Q total por Aoki-Velloso (1975) – P29B

Aoki - Velloso (1975)							
z (m)	Descrição do Solo	SPT	k	α	Q _{lat, rup} (kN)	Q _{p, rup} (kN)	Q _{rup} (kN)
1	argila siltosa	1	250	3,0%	6	168	174
2	argila siltosa	5	250	3,0%	38	838	875
3	silte argilo-arenoso	10	250	3,0%	101	1676	1776
4	silte argilo-arenoso	15	250	3,0%	195	2513	2708
5	silte argilo-arenoso	16	250	3,0%	295	2681	2976
6	silte areno-argiloso	17	330	3,0%	436	3760	4196
7	silte areno-argiloso	21	330	3,0%	610	4645	5255
8	silte areno-argiloso	24	330	3,0%	810	5308	6118
9	silte areno-argiloso	27	330	3,0%	1033	5972	7005
10	silte areno-argiloso	27	330	3,0%	1257	5972	7229

AV-2 - Q lateral, Q ponta e Q total por Décourt-Quaresma (1978) – P29B

Décourt - Quaresma (1978)							
Z (m)	Descrição do Solo	SPT	c	β	Q _{lat, rup} (kN)	Q _{p, rup} (kN)	Q _{rup} (kN)
1	argila siltosa	1	140	65%	65	965	1030
2	argila siltosa	5	120	65%	152	1448	1600
3	silte argilo-arenoso	10	120	65%	294	2413	2707
4	silte argilo-arenoso	15	120	65%	490	3297	3788
5	silte argilo-arenoso	16	120	65%	697	3860	4557
6	silte areno-argiloso	17	100	80%	965	3619	4584
7	silte areno-argiloso	21	100	80%	1287	4155	5442
8	silte areno-argiloso	24	100	80%	1649	4825	6474
9	silte areno-argiloso	27	100	80%	2051	5228	7278
10	silte areno-argiloso	27	100	80%	2453	5429	7882

ANEXO VI

Resultados das análises CAPWAP e CASE dos golpes aplicados na P29B da
Obra 3 (Empreendimento em Osasco)

AVI-1 – Análises CAPWAP de todos os golpes aplicados na estaca P29B

CAPWAP – Obra 3 – P29B –Golpe de 44 cm

Resultados obtidos - CAPWAP					"Match Quality"			0,86
Resistência Total		4.830,8	Atrito Lateral		1.939,8	Resistência de ponta		2.891,0
Elementos de solo	Abaixo dos sensores	Comp. cravado	Ru	Força na estaca	Somatória de Ru	Resistência do elemento	Atrito unitário	Quake
Nº	m	m	kN	kN	kN	kN/m	kPa	mm
				4.830,8				
1	2,0	1,3	604,1	4.226,7	604,1	464,7	67,9	2,2
2	4,0	3,3	411,9	3.814,8	1.016,0	206,0	30,1	2,2
3	6,0	5,3	351,1	3.463,7	1.367,1	175,6	26,1	2,2
4	8,0	7,3	308,9	3.154,8	1.676,0	154,5	23,4	2,2
5	10,0	9,3	263,8	2.891,0	1.939,8	131,9	20,0	2,1
Média	Fuste		388,0			208,6	31,1	2,2
	Ponta		2.891,0				1.445,5	7,3
Parâmetros do solo - Extensões						Fuste	Ponta	
Fator de amortecimento de Smith						0,70	1,39	
Fator de amortecimento do Case						0,06	0,19	
Quake de descarregamento (%)					qu / qtu	230	119	
Nível de recarga (%)					RI / RIt	100	100	
Nível de descarregamento (%)					Rnu	99		
Vazio sob a ponta (mm)					tg		1,4	
Embuchamento de solo na ponta da estaca (kN)						mpl	42,3	
FMX	DMX	DFN	SET	EMX				
kN	mm	mm	mm	kJ				
13.550,0	8,6	3,0	3,0	48,4				

Valores máximos e mínimos alcançados durante o golpe analisado

Elementos de solo	Abaixo dos sensores	Força máxima	Força mínima	Compressão máxima	Força mínima/ área	Energia máxima	Desloc. Máximo
Nº	m	kN	kN	MPa	MPa	kJ	mm
1	1,0	13.145,9	-315,9	6,2	-0,15	48,4	8,6
2	2,0	12.470,8	-395,2	5,8	-0,19	48,4	8,6
3	3,0	11.332,3	-277,1	5,3	-0,13	43,0	8,5
4	4,0	10.340,7	-361,5	4,9	-0,17	43,0	8,5
5	5,0	8.959,8	-264,0	4,2	-0,12	39,1	8,5
6	6,0	7.891,6	-367,4	3,9	-0,18	39,1	8,5
7	7,0	6.540,0	-298,6	3,3	-0,15	35,7	8,5
8	8,0	5.230,1	-405,7	2,6	-0,20	35,7	8,5
9	9,0	4.518,5	-320,5	2,3	-0,16	32,7	8,4
10	10,0	4.522,1	-380,9	2,3	-0,19	30,4	8,4

Resultados de RMX pelo método CASE em função do coeficiente de amortecimento J_c

J_c	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
RMX_{t1}	5.860	4.212	2.563	915	0	0	0	0	0	0
RMX	5.860	4.220	3.689	3.575	3.509	3.504	3.503	3.501	3.500	3.499
RNU	5.860	4.212	2.563	915	0	0	0	0	0	0

Resultados gráficos – Estaca P29B – Golpe de 44 cm

Pile: Estaca P29B; Rec 49 dias; Blow: 1 (Test: 26-Jan-2015 15:09)
PDI Engenharia

14-Aug-2017
CAPWAP(R) 2014-1

CAPWAP – Obra 3 – P29B –Golpe de 64 cm

Resultados obtidos - CAPWAP					"Match Quality"			0,78
Resistência Total		5.415,2	Atrito Lateral		2.604,6	Resistência de ponta		2.810,6
Elementos de solo	Abaixo dos sensores	Comp. cravado	Ru	Força na estaca	Somatória de Ru	Resistência do elemento	Atrito unitário	Quake
Nº	m	m	kN	kN	kN	kN/m	kPa	mm
				5.415,2				
1	2,0	1,3	449,1	4.966,1	449,1	345,5	50,5	2,7
2	4,0	3,3	653,1	4.313,0	1.102,2	326,6	47,7	2,7
3	6,0	5,3	503,1	3.809,9	1.605,3	251,6	37,4	2,7
4	8,0	7,3	531,5	3.278,4	2.136,8	265,8	40,3	2,7
5	10,0	9,3	467,8	2.810,6	2.604,6	233,9	35,4	2,7
Média	Fuste		520,9			280,1	41,7	2,7
	Ponta		2.810,6				1.405,3	8,9
Parâmetros do solo - Extensões						Fuste	Ponta	
Fator de amortecimento de Smith						0,76	0,89	
Fator de amortecimento do Case						0,09	0,12	
Quake de descarregamento (%)					qu / qtu	158	90	
Nível de recarga (%)					RI / Rit	100	100	
Nível de descarregamento (%)					Rnu	45		
Vazio sob a ponta (mm)					tg		0,0	
Embuchamento de solo na ponta da estaca (kN)						mpl	69,4	
FMX	DMX	DFN	SET	EMX				
kN	mm	mm	mm	kJ				
19.754,0	11,9	4,0	4,0	80,5				

Valores máximos e mínimos alcançados durante o golpe analisado

Elementos de solo	Abaixo dos sensores	Força máxima	Força mínima	Compressão máxima	Força mínima/área	Energia máxima	Desloc. Máximo
Nº	m	kN	kN	MPa	MPa	kJ	mm
1	1,0	19.039,8	-345,0	8,9	-0,16	80,6	11,9
2	2,0	18.290,4	-477,4	8,6	-0,22	80,5	11,9
3	3,0	17.156,2	-398,2	8,0	-0,19	73,9	11,9
4	4,0	16.056,7	-515,8	7,5	-0,24	73,9	11,9
5	5,0	14.454,7	-329,1	6,8	-0,15	64,6	11,9
6	6,0	12.831,4	-438,5	6,4	-0,22	64,6	11,9
7	7,0	10.766,9	-356,7	5,4	-0,18	57,2	11,9
8	8,0	8.538,1	-501,1	4,3	-0,25	57,1	11,8
9	9,0	6.516,8	-378,9	3,3	-0,19	49,4	11,8
10	10,0	4.557,5	-479,2	2,3	-0,24	42,7	11,8

Resultados de RMX pelo método CASE em função do coeficiente de amortecimento J_c

J_c	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
RMX_{t1}	6.464	4.543	2.622	701	0	0	0	0	0	0
RMX	6.464	4.602	4.008	3.967	3.967	3.967	3.967	3.967	3.967	3.967
RNU	6.464	4.543	2.622	701	0	0	0	0	0	0

Resultados gráficos – Estaca P29B – Golpe de 64 cm

Pile: Estaca P29B; Rec. 49 dias; Blow: 2 (Test: 26-Jan-2015 15:14)
PDI Engenharia

14-Aug-2017
CAPWAP(R) 2014-1

CAPWAP – Obra 3 – P29B –Golpe de 84 cm

Resultados obtidos - CAPWAP					"Match Quality"			0,57
Resistência Total		6.159,6	Atrito Lateral		3.091,1	Resistência de ponta		3.068,5
Elementos de solo	Abaixo dos sensores	Comp. cravado	Ru	Força na estaca	Somatória de Ru	Resistência do elemento	Atrito unitário	Quake
Nº	m	m	kN	kN	kN	kN/m	kPa	mm
				6.159,6				
1	2,0	1,3	447,2	5.712,4	447,2	344,0	50,3	5,9
2	4,0	3,3	585,5	5.126,9	1.032,7	292,8	42,8	5,9
3	6,0	5,3	654,1	4.472,8	1.686,8	327,1	48,7	5,9
4	8,0	7,3	692,3	3.780,5	2.379,1	346,2	52,5	5,9
5	10,0	9,3	712,0	3.068,5	3.091,1	356,0	53,9	5,9
Média	Fuste		618,2			332,4	49,5	5,9
	Ponta		3.068,5				1.534,3	14,0
Parâmetros do solo - Extensões						Fuste	Ponta	
Fator de amortecimento de Smith						1,27	0,56	
Fator de amortecimento do Case						0,18	0,08	
Quake de descarregamento (%)					qu / qtu	116	138	
Nível de recarga (%)					Rl / Rit	100	100	
Nível de descarregamento (%)					Rnu	51		
Vazio sob a ponta (mm)					tg		3,7	
Embuchamento de solo na ponta da estaca (kN)						mpl	47,3	
FMX	DMX	DFN	SET	EMX				
kN	mm	mm	mm	kJ				
25.492,0	15,0	3,0	3,0	112,8				

Valores máximos e mínimos alcançados durante o golpe analisado

Elementos de solo	Abaixo dos sensores	Força máxima	Força mínima	Compressão máxima	Força mínima/ área	Energia máxima	Desloc. Máximo
Nº	m	kN	kN	MPa	MPa	kJ	mm
1	1,0	25.100,6	-415,2	11,8	-0,19	112,8	15,0
2	2,0	24.407,4	-634,6	11,4	-0,30	112,8	15,0
3	3,0	22.824,7	-530,2	10,7	-0,25	102,3	15,0
4	4,0	21.300,9	-689,1	10,0	-0,32	102,2	15,0
5	5,0	18.947,6	-460,8	8,9	-0,22	88,9	15,0
6	6,0	16.967,5	-567,0	8,5	-0,28	88,8	15,0
7	7,0	13.803,0	-265,4	6,9	-0,13	74,0	15,0
8	8,0	10.764,5	-297,1	5,4	-0,15	73,9	14,9
9	9,0	7.419,2	-9,4	3,7	0,00	58,1	14,9
10	10,0	4.591,1	-5,2	2,3	0,00	42,1	14,9

Resultados de RMX pelo método CASE em função do coeficiente de amortecimento J_c

J_c	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
RMX_{t1}	9.640	6.351	3.063	0	0	0	0	0	0	0
RMX	9.640	6.351	4.327	4.319	4.319	4.319	4.319	4.319	4.319	4.319
R_{NU}	9.640	6.351	3.063	0	0	0	0	0	0	0

Resultados gráficos – Estaca P29B – Golpe de 84 cm

File: Estaca P29B; Rec 49 dias; Blow: 3 (Test: 26-Jan-2015 15:17:)
PDI Engenharia

15-Aug-2017
CAPWAP(R) 2014-1

CAPWAP – Obra 3 – P29B – Golpe de 104 cm

Resultados obtidos - CAPWAP					"Match Quality"			0,83
Resistência Total		6.766,6	Atrito Lateral		3.631,4	Resistência de ponta		3.135,2
Elementos de solo	Abaixo dos sensores	Comp. cravado	Ru	Força na estaca	Somatória de Ru	Resistência do elemento	Atrito unitário	Quake
Nº	m	m	kN	kN	kN	kN/m	kPa	mm
				6.766,6				
1	2,0	1,3	413,8	6.352,8	413,8	318,3	46,5	1,0
2	4,0	3,3	442,3	5.910,5	856,1	221,2	32,3	1,0
3	6,0	5,3	926,7	4.983,8	1.782,8	463,4	69,0	1,0
4	8,0	7,3	917,9	4.065,9	2.700,7	459,0	69,5	1,0
5	10,0	9,3	930,7	3.135,2	3.631,4	465,4	70,5	1,0
Média	Fuste		726,3			390,5	58,2	1,0
	Ponta		3.135,2				1.567,6	13,7
Parâmetros do solo - Extensões						Fuste	Ponta	
Fator de amortecimento de Smith						1,02	0,08	
Fator de amortecimento do Case						0,17	0,01	
Quake de descarregamento (%)					qu / qtu	281	76	
Nível de recarga (%)					RI / RIt	100	100	
Nível de descarregamento (%)					Rnu	35		
Vazio sob a ponta (mm)					tg		2,6	
Embuchamento de solo na ponta da estaca (kN)						mpl	51,7	
FMX	DMX	DFN	SET	EMX				
kN	mm	mm	mm	kJ				
30.190,0	18,5	6,0	6,0	145,7				

Valores máximos e mínimos alcançados durante o golpe analisado

Elementos de solo	Abaixo dos sensores	Força máxima	Força mínima	Compressão máxima	Força mínima/ área	Energia máxima	Desloc. Máximo
Nº	m	kN	kN	MPa	MPa	kJ	mm
1	1,0	29.960,0	-943,1	14,1	-0,44	144,7	18,5
2	2,0	29.236,2	-994,4	13,7	-0,47	144,7	18,5
3	3,0	27.178,0	-1.846,4	12,7	-0,87	131,3	18,4
4	4,0	25.370,6	-1.577,2	11,9	-0,74	131,2	18,4
5	5,0	22.825,5	-2.042,1	10,7	-0,96	116,8	18,4
6	6,0	20.691,5	-1.332,9	10,3	-0,67	116,7	18,3
7	7,0	16.736,6	-1.933,8	8,4	-0,97	89,1	18,3
8	8,0	12.885,7	-663,6	6,4	-0,33	89,1	18,3
9	9,0	8.478,7	-468,0	4,2	-0,23	61,4	18,2
10	10,0	4.468,9	-378,6	2,2	-0,19	33,6	18,2

Resultados de RMX pelo método CASE em função do coeficiente de amortecimento J_c

J_c	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
RMX_{t1}	10.630	6.675	2.721	0	0	0	0	0	0	0
RMX	10.630	6.675	4.648	4.614	4.612	4.612	4.612	4.612	4.612	4.612
RNU	10.630	6.675	2.721	0	0	0	0	0	0	0

Resultados gráficos – Estaca P29B – Golpe de 104 cm

File: Estaca P29B; Rec 49 dias; Blow: 4 (Test: 26-Jan-2015 15:22)
PDI Engenharia

15-Aug-2017
CAPWAP(R) 2014-1