

DESEMPENHO DE ESTACAS DE CONCRETO EM SOLOS ARENOSOS: ESTUDO DE CASO.

VANESSA OLIVEIRA DA SILVA¹ e ANA CAROLINE PEREIRA NOLASCO²

¹Mestranda em Processos Construtivos e Saneamento Urbano, UFPA, Belém-PA, vanessaeng123@gmail.com;

²Especialista em Engenharia Ferroviária, IPOG, São Luis-MA, carolnolascoengcivil@gmail.com;

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC
06 a 09 de outubro de 2025

RESUMO: O contato entre o concreto fresco e o solo é um fator determinante no desempenho de fundações profundas. Em solos arenosos ou diversificados, a elevada permeabilidade e a baixa coesão podem ocasionar absorção rápida da água do concreto, resultando em endurecimento precoce, dificuldades na introdução da armadura e redução da qualidade estrutural das estacas. Este artigo apresenta um estudo de caso de uma obra executada em solo com alta heterogeneidade e predominância de areia, onde tais problemas foram constatados. A pesquisa inclui caracterização do solo, análise do comportamento do concreto fresco e proposição de soluções técnicas, como ajustes no traço e uso de aditivos. Os resultados demonstram que as técnicas aplicadas na obra foram satisfatórias e podem contribuir para práticas construtivas mais seguras e eficientes em terrenos desafiadores.

PALAVRAS-CHAVE: Concreto, estacas, solo arenoso, fundação profunda, endurecimento rápido.

PERFORMANCE OF CONCRETE PILES IN SANDY SOILS: CASE STUDY.

ABSTRACT: The contact between fresh concrete and soil is a determining factor in the performance of deep foundations. In sandy or diverse soils, high permeability and low cohesion can cause rapid water absorption by the concrete, resulting in premature hardening, difficulties in inserting reinforcement, and reduced structural quality of the piles. This article presents a case study of a project executed in highly heterogeneous, sand-dominated soil, where such problems were observed. The research includes soil characterization, analysis of fresh concrete behavior, and proposed technical solutions, such as mix adjustments and the use of additives. The results demonstrate that the techniques applied on the project were satisfactory and can contribute to safer and more efficient construction practices in challenging terrain.

KEYWORDS: Concrete, piles, sandy soil, deep foundation, fast hardening.

INTRODUÇÃO

O contato direto entre concreto fresco e o solo no processo executivo de fundações profundas pode gerar interferências significativas no desempenho final das estacas de concreto. Em solos arenosos e heterogêneos, a alta permeabilidade, a baixa coesão e a elevada capacidade de absorção de água intensificam o risco de perda de qualidade durante a concretagem.

A problemática se torna crítica quando há endurecimento acelerado do concreto, dificultando a colocação da armadura e comprometendo a integridade da fundação. Nesse contexto, o traço do concreto desempenha papel essencial, uma vez que sua composição afeta diretamente a trabalhabilidade, o tempo de pega e a resistência mecânica. De acordo com Neville (2016), a proporção entre cimento, água, agregados e aditivos determina o equilíbrio entre fluidez e resistência, sendo necessário ajustá-la conforme as condições do solo e do processo executivo.

No caso específico de estacas, o traço deve apresentar características que garantam coesão e trabalhabilidade suficientes para permitir a inserção da armadura, ao mesmo tempo em que evite segregação ou perda excessiva de água para o solo. Mehta & Monteiro (2014) destacam que a relação água/cimento (a/c) é determinante para a durabilidade e o desempenho estrutural, mas, em solos

arenosos, ajustes adicionais, como o uso de aditivos retardadores de pega, podem ser fundamentais para prevenir o endurecimento precoce.

Estudos recentes (HELENE & TERZIAN, 1992; ISAIA, 2010) apontam que a escolha adequada do traço e o controle tecnológico do concreto em campo são fatores decisivos para mitigar falhas executivas e garantir a qualidade de fundações profundas. Assim, a análise do traço utilizado em obras em solos arenosos se mostra imprescindível para a compreensão das patologias e para a proposição de soluções eficazes.

Este estudo parte da análise de um caso real em obra, no qual o solo absorveu rapidamente a água do concreto fresco, resultando em falhas no processo executivo. A partir dessa constatação, foram realizados ajustes no traço do concreto, com aumento controlado do abatimento (slump) e rigoroso acompanhamento tecnológico em campo. Os ensaios demonstraram desempenho satisfatório, com resistência características atingida dentro do prazo previsto. Assim, o trabalho não apenas identifica e discute os fatores que contribuíram para problemas durante a concretagem, mas também apresenta soluções técnicas comprovadas que asseguram a qualidade da execução e podem servir de referência para obras em condições geotécnicas semelhantes.

MATERIAL E MÉTODOS

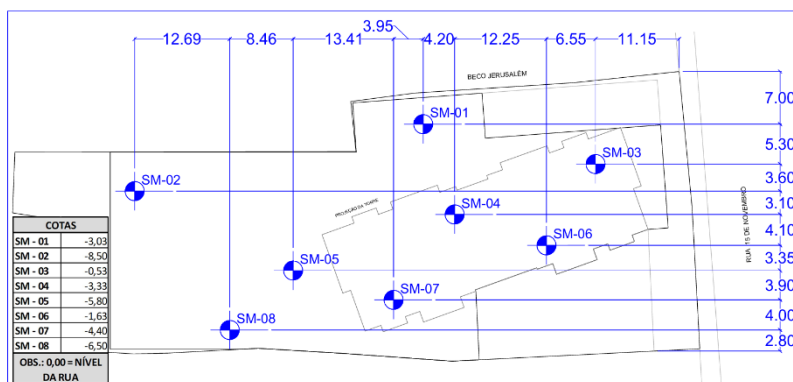
Neste trabalho a pesquisa aborda de forma teórico-prática, apresentando o estudo em diferentes etapas desde análise e caracterização do solo, análise da concretagem das estacas e soluções adotadas.

- Caracterização do solo: foram realizadas, por meio da sondagem rotativa mista, 08 coletas identificadas em campo com a nomeação por SM1 até SM8 conforme a figura 1, com suas respectivas distâncias. A metodologia deste ensaio consiste na utilização de um tubo, denominado barrilete, dotado de peça cortante feita com material de alta dureza (coroa) em sua ponta, que perfura o solo/ rocha por meio do movimento de rotação. O barrilete tem sempre em seu interior uma camisa livre para proteger o testemunho do terreno.

Para rochas brandas utiliza-se coroa com pastilhas de vídia, em caso de rochas de média a alta dureza emprega-se coroa de diamante industrial. Foi utilizada sonda hidráulica MACH 850, com revestimento acoplados à sonda, barrilete duplos giratórios e coroas diamantadas para avanço em pedregulhos/ matacões de rocha e rocha sã.

O ensaio de penetração dinâmica consiste na cravação do amostrador padrão em um trecho de 45 cm, dividido em três segmentos de 15cm. A cravação é feita por meio de golpes sucessivos de um martelo pesando 65 Kgf, através de queda livre a uma altura de 75 cm. A resistência oferecida pelo terreno à cravação do amostrador é representada pelo índice de resistência à penetração N, definindo o número de golpes necessários à penetração de 30 cm finais do amostrador. As amostras (testemunhos), obtidos durante a perfuração foram acondicionadas em caixas de maneira a serem mantidas as posições relativas dos testemunhos coletados na ordem em que aparecem durante a perfuração.

Figura 1. Locação de Pontos de sondagem mista na obra.



Com base no relatório composto por 08 amostragens nomeados por SM-01 até SM-08, verificou-se a predominância do solo arenoso em diferentes granulométricas (areia fina, média e grossa), com presença pontual de silte. A tabela 1 apresenta uma síntese dos resultados gerais:

Tabela 1. Resultado gerais das sondagens SM-01 até SM-08.

Ponto de Sondagem	Predominância Litológica	Observações
SM-01	Areia média a grossa	Solo arenoso predominante
SM-02	Areia média	Boa continuidade do perfil arenoso
SM-03	Areia fina com silte	Camada de transição, ainda com predominância de areia
SM-04	Areia média a fina	Presença pontual de silte, sem alterar característica arenosa
SM-05	Areia grossa	Solo pouco coesivo
SM-06	Areia média	Perfil homogêneo
SM-07	Areia fina com silte	Presença menor de silte, mas predominância arenosa
SM-08	Areia grossa	Condições semelhantes a SM-05

- Análise do processo executivo das estacas: foram realizadas através da estaca hélice contínua que ocorre por meio de um trado onde realiza a perfuração e concretagem das estacas, após esse procedimento é realizado a inserção da armação. Durante esse processo observou-se que até mesmo com profundidades inferiores à 2m, as armações não conseguiam penetrar o concreto, ocasionando assim as reperfurações.

Desse modo, ao analisar o procedimento executivo juntamente com as informações das sondagens, constatamos que nos pontos mais arenosos, observou-se um endurecimento acelerado do concreto logo após a concretagem, impossibilitando a penetração adequada da armadura.

- Soluções técnicas adotadas: mediante aos acontecimentos registrados em campo durante execução das estacas, foi necessário ajustar o traço do concreto para evitar que o mesmo perdesse sua trabalhabilidade de forma rápida causando o endurecimento do concreto de forma precoce.

Foi incorporado um aditivo modificador de viscosidade indicado para concretos fluidos, como o caso das estacas, para evitar segregação e exsudação, com o objetivo de prolongar o tempo de trabalhabilidade e permitir a correta inserção da armadura. O concreto passou a apresentar um slump entre 22 à 30 cm, garantindo maior fluidez sem comprometer a resistência.

- Procedimento operacional ajustado: Após a perfuração da estaca, o operador sinalizava imediatamente para o bombeiro realizar a adição do aditivo diretamente na obra.

O caminhão betoneira permanecia posicionado na entrada da obra, pronto para receber o aditivo e iniciar a injeção do concreto. O intervalo entre a adição do aditivo e a injeção do concreto era de aproximadamente 10 minutos, tempo crítico para evitar perda de fluidez e obstrução da tubulação.

Após a concretagem, a armadura era inserida imediatamente, aproveitando o tempo estendido de trabalhabilidade proporcionado pelo aditivo.

Essas medidas foram fundamentais para evitar retrabalhos, como a necessidade de refazer perfurações ou reinjetar concreto, que ocorriam frequentemente quando se utilizava o traço de concreto convencional com slump de 18 à 20 cm.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante a execução do total de 61 estacas concretadas, 15 foram reperfuradas em um período de 10 dias, sendo que ao total dessa obra seriam 609 estacas, diante desse número expressivo, buscou-se uma solução definitiva que evitasse a repetição de retrabalhos e consumo significativo de insumos, de modo a evitar ônus ao caixa da obra.

Com a análise técnica da sondagem e das informações em campo, o estudo confirmou que a alta capacidade de absorção de água do solo arenoso acelerou o endurecimento do concreto, reduzindo o tempo disponível para a inserção da armadura.

Diante desses resultados, foi possível identificar a necessidade da adoção do novo traço com aditivo modificador de viscosidade e slump ajustado entre 250 mm e 300 mm apresentando resultados significativamente superior em relação à execução anterior. Os principais avanços observados foram:

-Melhoria na trabalhabilidade: O concreto manteve sua fluidez por tempo suficiente para permitir a inserção da armadura sem resistência, mesmo em profundidades superiores a 6 metros.

-Redução de retrabalhos: Com o novo procedimento, eliminou-se a necessidade de refazer perfurações ou reinjetar concreto, o que anteriormente comprometia o cronograma e aumentava os custos da obra.

-Eficiência operacional: A sincronização entre perfuração, adição do aditivo e injeção do concreto foi essencial para o sucesso da execução. O controle rigoroso do tempo de pega evitou obstruções na tubulação e garantiu a homogeneidade das estacas.

-Desempenho estrutural: As estacas executadas com o traço ajustado apresentaram melhor integridade e resistência, conforme verificado em inspeções posteriores.

Esses resultados reforçam a importância de adaptar o traço do concreto às condições específicas do solo e de integrar soluções técnicas com ajustes operacionais. A experiência prática demonstrou que a antecipação de problemas e a resposta rápida em campo são determinantes para o sucesso de fundações profundas em solos arenosos.

Para as estacas, o slump recomendável de aproximadamente 200 mm, conforme a NBR 6122:2019, não era suficiente para garantir fluidez adequada e preencher integralmente o fuste, devido à alta permeabilidade do solo e à presença também de pedregulhos. Em resposta, o abatimento foi ajustado para 250 mm, o que permitiu uma execução contínua e sem descontinuidades com acréscimo de aditivos no processo de concretagem.

Este ajuste foi acompanhado por rigoroso controle tecnológico, incluindo ensaios de slump em campo e molde de corpos de prova. Os resultados indicaram resistência à compressão de 30 MPa aos 28 dias, atendendo ao fck de projeto e comprovando que o aumento da fluidez não comprometeu a integridade estrutural do concreto.

Figura 1. Resultados da Resistência das amostras das estacas em 7 e 28 dias.

CPC / COLETA	SLUMP (mm)	MPa	PEÇA CONCRETADA	DATA DE MOLDAGEM	DATA DE RUPTURA	QTD CP	IDADE DIAS	MPa	
101	260	30,0	ESTACA DE FUNDAÇÃO E-6 (P6)	19/7/2023	26/7/2023	2	7	22,5	
								22,8	
					16/8/2023	2	28	33,3	
1º CAMINHÃO - NOTA 37638 - CONCRETO BOMBEADO - IMPERMIX									
102	220		ESTACA DE FUNDAÇÃO E-24 (P14 / P23)	19/7/2023	26/7/2023	2	7	23,8	
	260							24,7	
					16/8/2023	2	28	34,1	
3º CAMINHÃO - NOTA 37642 - CONCRETO BOMBEADO - IMPERMIX									
				ÁGUA ADICIONADA: 25 LITROS					
103	220	30,0	ESTACA DE FUNDAÇÃO E-28 (P14 / P23)	19/7/2023	26/7/2023	2	7	20,8	
	260								21,8
						16/8/2023	2	28	30,8
5º CAMINHÃO - NOTA 37648 - CONCRETO BOMBEADO - IMPERMIX									
				ÁGUA ADICIONADA: 25 LITROS					
104	240	30,0	ESTACA DE FUNDAÇÃO E-13 (P14 / P23)	19/7/2023	26/7/2023	2	7	20,4	
	260								21,1
						16/8/2023	2	28	32,3
7º CAMINHÃO - NOTA 37652 - CONCRETO BOMBEADO - IMPERMIX									
				ÁGUA ADICIONADA: 15 LITROS					
105	260	30,0	ESTACA DE FUNDAÇÃO E-7 (P14 / P23)	19/7/2023	26/7/2023	2	7	20,3	
									21,5
					16/8/2023	2	28	30,0	
9º CAMINHÃO - NOTA 37656 - CONCRETO BOMBEADO - IMPERMIX									

Tal resultado confirma que, em condições específicas de solos arenosos, a inclusão de aditivos especiais para concreto fluidos e a revisão do traço do concreto aumentaram a trabalhabilidade e o tempo de manuseio, permitindo melhor acomodação da armadura. Além disso, a análise reforçou a importância de antecipar a investigação geotécnica para orientar decisões construtivas antes da execução.

CONCLUSÃO

O trabalho evidenciou que a interação entre concreto fresco e solos arenosos pode comprometer a qualidade estrutural das estacas devido ao endurecimento rápido. A análise do caso estudado demonstrou que soluções técnicas, como ajustes no traço, uso de aditivos para proporcionar fluidez e adequação das práticas executivas, foram eficazes na mitigação dos problemas.

Além disso, o estudo demonstrou que o fato de 15 das 61 estacas terem sido reperfuradas em apenas 10 dias de trabalho evidenciou o quanto o retrabalho poderia onerar o caixa da obra. Entretanto, a análise técnica permitiu identificar a causa do problema e conduziu à alteração do traço do concreto, medida essa que se mostrou eficaz ao eliminar a reincidência de reperfurações. Com isso, foi possível alcançar uma solução definitiva, evitando retrabalhos, otimizando recursos e assegurando a qualidade da fundação.

Conclui-se que a caracterização prévia do solo e a integração entre projeto e execução são fundamentais para o desempenho seguro das fundações. O estudo contribuiu para o avanço de estratégias construtivas aplicáveis em solos desafiadores, fomentando a melhoria contínua da engenharia de fundações.

REFERÊNCIAS

- Aoki, N.; Velloso, D.A. An Approximate method to estimate the bearing capacity of piles. In: Panamerican Conference on Soil Mechanics and Foundations Engineering, 5., 1975, Buenos Aires. Proceedings... Buenos Aires, 1975. V. 1. P. 367- 376.
- Helene, P.; Terzian, P. Manual de Dosagem e Controle do Concreto. São Paulo: PINI, 1992.
- Isaia, G. C. Concreto: Ciência e Tecnologia. São Paulo: IBRACON, 2010.
- Mehta, P. K.; Monteiro, P. J. M. Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2014.
- Neville, A. M. Propriedades do Concreto. 5. ed. São Paulo: Bookman, 2016.
- NBR 6118: 2023 - Projeto de estruturas de concreto – Procedimentos. Rio de Janeiro, 2002. 221p.
- NBR 6122:2019 - Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro.
- NBR 6484:2001 – Solo – Sondagens de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio. Rio de Janeiro.
- Spernau, W (2010). Notas de aula – Estruturas de Fundações. Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.
- Teixeira, A.H.; Godoy, N.S. “Análise, projeto e execução de fundações rasas”, in: HACHICH, W. et al. (ed.) Fundações: teoria e prática. São Paulo: Pini, Cap. 7, p. 227-264, 1996.