

Plano e Procedimento da Garantia de Qualidade para Projecto de Engenharia

Obras de Estacas de Aço Tipo H Embutido na Rocha

1. Generalidades e Campo de Aplicação

A presente secção aplica-se a trabalhos do controlo de qualidade relativo aos materiais e execução de estacas de aço H embutido na rocha. Geralmente, o diâmetro de estaca é de 610mm, onde o corpo da estaca é formado a partir de estaca de aço com perfis de secção H e argamassa. Esta secção tem como objectivo de conduzir uma descrição detalhada sobre a execução de estacas de aço tipo H, onde é executada através de perfurador até a profundidade pré-definida do maço rochoso, colocando o tubo de protecção e estaca de aço tipo H, e de seguida betonada por argamassa dentro do tubo de betonagem até a altura definida no projecto.

A garantia da qualidade de estacas de aço tipo H deve incluir os seguintes requisitos básicos:

- ✓ Requisitos de inspecção da qualidade do material de estacas;
- ✓ Requisitos da precisão geométrica da instalação, incluindo o desvio em relação ao centro (precisão de horizontalidade) e inclinação da estaca (precisão de verticalidade);
- ✓ Ensaios para verificação da capacidade de carga ou ensaio de tracção, incluindo ensaio de carotagem de argamassa embutido em rocha, ensaio da carga estática (SLT), ensaio de tracção, etc.

Os requisitos mencionados anteriormente devem estar de acordo com o projecto, relevantes normas e regulamentos.

2. Requisitos dos Documentos de Garantia de Qualidade de Projecto de Engenharia

Os documentos abaixo referidos devem ser submetidos de acordo com as fases da instalação de obras de estacas de aço do tipo H para fim de aprovação ou de registo.

Antes da construção

- ✓ Relatórios do estudo geológico;
- ✓ Monitorização dos edifícios vizinhos e medidas de protecção incluindo plano de monitorização de segurança;
- ✓ Informações dos equipamentos de execução, incluindo equipamentos de perfuração, bate-estacas do tubo de protecção tipo “casing” e todas as especificações dos equipamentos da construção;
- ✓ Plano de construção, incluindo o transporte, armazenamento, plano logístico, equipamentos mecânicos, procedimento de construção, controlo de qualidade e de execução, controlo de segurança e medidas de contingência para casos de emergência, etc;
- ✓ Informações técnicas detalhadas e relativos relatórios de ensaio do material, incluindo o material de betonagem, aço do tipo H (certificado da origem do material, propriedades dimensionais, peso, propriedades físicas e químicas, etc), material de soldadura, etc. Relativamente aos requisitos das informações técnicas do aço referidos, podem ser consultados no “Plano e Procedimento da Garantia de Qualidade das Obras de Estrutura de Aço”.
- ✓ Certificado válido da qualificação do soldador, especificações de procedimento para a execução

de soldadura (“WPS”) e registo de procedimento da execução da soldadura (“PQR”). Os relativos requisitos podem ser consultados no “Plano e Procedimento da Garantia de Qualidade das Obras de Estrutura de Aço”.

- ✓ Plano geral de inspecção para estacas embutido na rocha, incluindo informações da terceira entidade responsável para testes de inspecção e ensaio do material de estaca e trabalhos de recepção.

Durante o processo da construção ou durante a recepção

- ✓ Registos e relatórios de ensaios de estacas;
- ✓ Os registos da instalação de estacas na obra, incluem:
 - Método de escavação e equipamentos relativos;
 - Plano de localização de estacas e número de referência;
 - Comprimento do tubo de protecção tipo “casing”, instalação e a sua recuperação;
 - Descrição da situação real relativo o estrato subterrânea e nível freático, etc;
 - Caso especial ocorrido durante a execução, incluindo na instalação do aço do tipo H e betonagem de argamassa;
 - Quantidade de argamassa utilizada;
 - Localização da substituição de estacas, seu diâmetro, comprimento e número de estacas;
 - Registos do desvio da cabeça de estaca (horizontal, vertical e ângulo de inclinação), etc.
- ✓ Relatórios dos ensaios no local (incluindo relatório inspecção visual e inspecção não-destrutiva de soldadura do aço do tipo H, ensaio de capacidade de carga e de tracção, etc);
- ✓ Plantas de telas finais.

3. Inspeção, Ensaio e Recepção

Os itens para a inspeção de obras de estacas de aço do tipo H representam-se no quadro seguinte:

Quadro dos Itens para Inspeção de Obras de Estacas de Aço do Tipo H								
Objectivos Itens para Inspeção	Desvio da Localização			Controlo de Execução	Controlo de Material	Frequência da Inspeção	Norma a Cumprir	Nota
	Horiz.	Vert.	Inclinação					
Controlo do Ponto de Referência	✓	✓		✓		100% Inspeção	a, b, c, d	
Monitorização de Segurança da Obra e Edifícios Vizinhos ¹				✓		Se necessário❶	a, b, c	
Número do Lote e Classe dos Materiais					✓	100% Inspeção	c, e	
Qualidade Visual					✓	100% Inspeção	c	
Dimensão Normalizada					✓	100% Inspeção	c, e	
Armazenamento e Transporte dos Materiais					✓	100% Inspeção	c, e	
Inspeção do Equipamento ²				✓		Antes da Construção	-	
Controlo da Precisão de Execução ³	✓	✓	✓	✓		100% Inspeção	a, b, c, d, f	
Tubo de Protecção Embutido ⁴				✓		100% Inspeção	c	
Ligação do Tubo de Protecção ⁵				✓		100% Inspeção	c	
Perfuração ⁶				✓		100% Inspeção	c	
Limpeza e Inspeção da Base de Estaca ⁷				✓		100% Inspeção	c, d	
Instalação e Ligação do Aço do Tipo H				✓		100% Inspeção	c, d, f	
Betonagem / Colocação de Argamassa ⁸				✓		100% Inspeção	c, d	
Tratamento da Cabeça de Estaca				✓		100% Inspeção	a, b, c	

Nota: Itens para Inspeção

1– Monitorização de Segurança da Obra e Edifícios Vizinhos

A monitorização de segurança aos edifícios vizinhos pode ser realizada através do medidor de assentamento, de inclinação, de fissuras e geofone, etc no fim de estudar as vibrações causadas pelos equipamentos de execução em relação aos edifícios e analisá-los em termos da segurança. Os detalhes podem ser consultados no “Plano e Procedimento da Garantia de Qualidade para Monitorização da Segurança Geotécnica”.

2 – Inspeção dos Equipamentos de Cravação

Geralmente, inclui máquina de perfuração, bate-estacas para tubo de protecção tipo “casing” e outros

ferramentas e equipamentos de execução.

3 – Controlo da Precisão de Execução

Como a precisão de cravação afecta a capacidade de carga, o desvio em relação ao centro, a fundação em geral e ligação entre estacas, deve ser controlada dentro dos requisitos exigidos. A tolerância de aceitação deve ser de acordo com os requisitos das especificações técnicas/cadernos de encargos, e também de acordo com os requisitos do artigo 5.7.3. do “Guia de Dimensionamento de Fundações [1]”, as tolerâncias de aceitação são:

- Desvio na vertical para estacas em terra, 1/75 e para estacas no mar, 1/25
- Desvio de estacas inclinadas do valor especificado da inclinação, 1/25
- Desvio da cota de corte, 25mm.

4 – Tubo de Protecção Embutido

O tubo de protecção deve ser liso e direito onde possa ser medido facilmente a sua profundidade. Na altura de execução deve garantir o bom estado de estacas e estrutura previamente instaladas. Caso a instalação é feito com tubos ligados, deve ser garantido a sua estanqueidade a água subterrânea ou entrada de detritos no interior do tubo.

5 – Ligação do Tubo de Protecção

Quando o corpo de estaca é protegido pelo tubo de protecção, onde a junta do tubo é ligada por soldadura, a inspecção dos trabalhos de soldadura pode ser consultado no “Plano e Procedimento da Garantia de Qualidade para Estruturas de Aço”.

6 – Perfuração

Antes da perfuração, de acordo com as características dos equipamentos, deve ser elaborado critério de avaliação relativo a precisão da perfuração no fim de garantir que o trabalho é executado dentro dos limites. Quando a perfuração alcança na profundidade pré-definida, deve prosseguir-se a inspecção quanto ao colapso do solo, profundidade, verticalidade, e no caso não estar de acordo com os requisitos do projecto, deve tomar medidas de recuperação ou alteração. No que se refere aos trabalhos de perfuração, geralmente, é adoptado pelo método de tubo de protecção para a protecção da escavação.

7 – Limpeza e Inspecção da Base de Estaca

Quando a base de estaca é alcançada, deve prosseguir-se a limpeza da base de estaca no fim de garantir a isenção das lamas ou lixo; no caso da estaca for dimensionado para ser embutida em rocha, relativo inspecção da base deve ser executada no fim de garantir de acordo com os requisitos do projecto.

8 – Betonagem / Colocação de Argamassa

O material de argamassa deve ser do tipo sem retracção, onde a betonagem é feita através da bomba de betonagem, betonando de forma contínua a argamassa (feita in situ) em alta pressão no tubo de injeção previamente, a partir da base de estaca até toda a água que se encontra no interior do tubo se descarrega para exterior.

Frequência de Inspeção

- ❶ – No caso em que os resultados tenham relevantes interesses relativos aos requisitos do projecto ou da construção; ou os resultados / parâmetros tenham grande influência no projecto ou qualidade, deve ter especial consideração.

Norma a Cumprir:

- a – Regulamento de Fundações [1]
- b – Guia de Dimensionamento Fundações [2]
- c – Especificações Técnicas do Projecto / Cadernos de Encargos
- d – General Specification for Civil Engineering Works [4]
- e – Especificações Técnicas de Produtos do Fabricante
- f – General Specification for Building [5]

Os itens para o ensaio e recepção de obras de estacas de aço tipo H representam-se no quadro seguinte:

Quadro dos Itens para Ensaio de Obras de Estacas de Aço do Tipo H									
Itens para Inspeção Método de Inspeção		Estudo Geológico	Material	Integridade	Capacidade	Frequência Recomendada do Ensaio	Norma a Cumprir	Critério de Recepção	Nota
Estudo Geológico		✓				Se Necessário❶	a, b, c, d, e, f	-	
Material de Mini-Estacas	Ensaio de Recepção do Tubo de Protecção em Aço¹		✓			Cada Lote❷	c, g	-	
	Ensaio do Material de Aço do Tipo H¹		✓			Cada Lote❷	c, g	-	
	Ensaio do Material de Argamassa²		✓			Cada Betonagem	c, f ASTM C939 [13]	-	
Inspeção do Estrato do Maciço Rochoso / Estrato do Suporte de Carga (prospecção com pré-perfuração)³					✓	Cada Lote	c, d, e, f, h	i	
Ligação do Tubo de Protecção: Inspeção Visual e Ensaio de Soldadura Não Destrutiva⁴				✓		Se Necessário❸	c	-	
Ligação do Aço do Tipo H: Inspeção Visual⁴				✓		100%	c	-	
Ligação do Aço do Tipo H: Ensaio de Soldadura Não Destrutiva⁴				✓		10%	c	-	
Ensaio de Carotagem de Argamassa Embutido em Rocha⁵				✓		10%	h	ii	
Ensaio de Carga Estática de Estacas (SLT)⁶ (Incluindo Ensaio de Carga Axial de Tracção, de Carga Axial de Compressão e de Carga Transversal)					✓	Mín. 1%❹	a, b, c ASTM D1143 [15] ASTM D3689 [16] ASTM D3966 [17]	iii	

Nota: Método de Inspeção

1 – Ensaio de Recepção do Tubo de Protecção em Aço e Aço do Tipo H

O ensaio de tracção e método de recepção da amostra do tubo de protecção deve ser de acordo com os requisitos de EN10002[11]. Para caso em que o certificado de qualidade não contém informações sobre as propriedades químicas e capacidade de resistência ao impacto deve ser feito teste de Charpy. O método do ensaio deve estar de acordo com os requisitos EN10045 [12].

2 – Ensaio do Material e Argamassa

Geralmente, o ensaio deve incluir a análise da mistura, teste de fluxo de argamassa, teste de filtração de água, teste de compressão das amostras em cubo. A amostra para teste de compressão deve ter uma dimensão de 100mm, constituído no mínimo 9 cubos por conjuntos, testado para cura de 3, 7 e 28 dias.

3 – Inspeção do Estrato do Maciço Rochoso / Estrato do Suporte de Carga (prospecção com pré-perfuração)

No caso da estaca é dimensionada para assentar-se no estrato do maciço rochoso ou embutido no maciço rochoso, a fim de assegurar fim de garantir a qualidade na essa pré-perfuração na camada de fundação deve

ser feita até pelo menos 5m abaixo da cota de fundação prevista para a estaca [7], pode ser utilizado os seguintes métodos de inspecção:

- a. Antes do trabalho da perfuração, pode ser realizada a pré-perfuração no fim de garantir a localização do estrato do maciço rochoso / estrato do suporte de carga. O método consiste em utilizar um perfurador com diâmetro não inferior a 60mm para efectuar a carotagem contínua de acordo com os cadernos de encargos e requisitos do projecto, incluindo a inspecção de continuidade, de visual, de carga uniaxial no fim de assegurar fim de garantir a qualidade na essa pré-perfuração na camada de fundação deve ser feita até pelo menos 5m abaixo da cota de fundação prevista para a estaca [7].
- b. No caso tiver informações suficientes sobre o estudo geológico na vizinhança (num raio de 5m), pode ser utilizado para a análise das condições do estrato do maciço rochoso / estrato do suporte da carga;
- c. O trabalho de recepção e elaboração de relatórios da pré-perfuração deve ser realizado por uma 3ª entidade independente, qualificada no campo da prospecção geotécnica. As entidades devem ser experientes e reconhecidas no campo da prospecção geotécnica em Macau. O registo e o relatório da recepção devem ser assinados pelo engenheiro civil / engenheiro geotécnico dessas entidades qualificado para o efeito.

4 – Ensaio de Soldadura Não Destrutiva

Para ligação do tubo de protecção e aço do tipo H feito através de soldadura, pode ser realizada inspecção visual e ensaio de soldadura não destrutiva para soldadura de ligação e soldadura de corte de acordo com os requisitos do “Plano e Procedimento da Garantia de Qualidade para Estruturas de Aço”.

5 – Ensaio de Carotagem de Argamassa Embutido em Rocha

O ensaio é realizado através equipamento mecânico perfurador, permitindo a verificação da integridade e a resistência à compressão do argamassa de estacas. A carotagem é feita ao longo da estaca e abaixo da base do estrato do suporte da carga/maciço rochoso. O comprimento da rocha sob a base deve ser 600 mm. Sugere-se que o diâmetro da rocha seja de 84 mm.

Para a inspecção visual da amostra de argamassa e carotagem, é considerado não satisfatório para o caso abaixo mencionado:

1. Defeitos significativos na amostra de argamassa como falta de argamassa;
2. A resistência de compressão da amostra de argamassa seja menor que 75% do projecto pré-definido.

Geralmente, é sugerido a utilização de tubo de ferro ou aço com diâmetro interior de 150mm, A profundidade enterrada do tubo embutido pode ser colocada 0,6 m acima do topo da seção embutida na rocha. É também sugerido a ligação mecânica fosse feita de forma mecânica, com uma frequência de amostra de 100%.

Após a aceitação do resultado do ensaio, deve ser preenchido com argamassa sem contracção, devidamente aprovada, no tubo embutido e orifício perfurado.

6 – Ensaio de Carga Estática de Estacas (“Pile Static Compression Loading Test”, SLT)

No que se refere a fundação realizada por cravação, pode ser realizado o ensaio de carga estática, aumentando a carga no topo de estacas, por escalões, para a avaliação do assentamento e confirmação da capacidade de resistência à compressão axial de estaca singular. O equipamento do ensaio é formado por equipamento do aumento de carga e medidores de assentamento, onde o equipamento de carga é executado através do aparelho de tracção instalado no topo de estaca. O ensaio de carga axial de compressão deve estar de acordo com os requisitos Regulamento de Fundações [1], Guia de Dimensionamento Fundações [2] e ASTM D1143 [15] para a obtenção do assentamento final e assentamento residual. Além disso, ainda engloba o ensaio de carga axial de tracção (ASTM D3689 [16]) e ensaio de carga transversal (ASTM D3966 [17]).

Frequência Recomendada de Inspeção

- ❶ – No caso em que os resultados do estudo geológico tenham relevantes interesses relativos aos requisitos do projecto ou da construção devem ter especial consideração. Para a investigação de profundidade, a profundidade em estrato do fim de assegurar fim de garantir a qualidade na essa pré-perfuração na camada de fundação deve ser feita até pelo menos 5m abaixo da cota de fundação prevista para a estaca [7].
- ❷ – A frequência de inspeção para produtos siderúrgicos pode ser consultado artigo 86 de Regulamento de Estruturas de Aço para Edifícios ou cadernos de encargos. De acordo com o regulamento, deve ser retirado uma amostra em cada 40ton para a mesma produção da mesma espessura. O conceito da “mesma espessura” refere aos perfis que tenham uma tolerância de 5mm. A amostra para teste deve ser retirada na obra de forma aleatória.
- ❸ – No caso em que os resultados tenham relevantes interesses relativos aos requisitos do projecto ou da construção; ou os resultados / parâmetros tenham grande influência no projecto ou qualidade, deve ter especial consideração.
- ❹ – A realização do ensaio de carga axial de tracção / ensaio de carga transversal fica sujeito aos requisitos das especificações técnicas/ cadernos de encargos, e condições de projecto e de execução.

Norma a Cumprir

- a – Regulamento de Fundações [1]
- b – Guia de Dimensionamento Fundações [2]
- c – Especificações Técnicas do Projecto / Cadernos de Encargos
- d – Guide to Site Investigation [8]
- e – Guide to Rock and Soil Descriptions [9]
- f – General Specification for Building [5]
- g – Regulamento de Estruturas de Aço para Edifícios [3]
- h – Foundation Design and Construction [6]
- i – Code of Practice for Foundations [7]

Critério de Aceitação

- i – No caso dos resultados não estarem de acordo com os requisitos dos regulamentos e especificações técnicas, deve ser aumentada a profundidade de estaca até alcançar o estrato do suporte de carga/maciço rochoso de acordo com as especificações.
- ii – No caso tiverem dúvida nos resultados da inspeção visual, pode ser retirada carote de argamassa para verificação, onde o resultado não deve ser inferior a 75% do projecto pré-definido [5]; Para caso dos resultados não satisfatórios, é sugerido conduzir 2 carotagens adicionais na zona vizinhança para uma nova verificação. Deve também submeter método de rectificação para estaca não satisfatória.
- iii – No caso dos resultados não estarem de acordo com os requisitos dos regulamentos ou relativas especificações técnicas, recomenda-se a verificação para dois elementos de estacas vizinhas adicionais. No caso em que os resultados não estão de acordo com os requisitos do ensaio, devem ser submetidos proposta remediável para o adequado trabalho de reforço.

4. Referências

- [1] Decreto-Lei n.º 47/96/M, Regulamento de Fundações, Governo de Macau
- [2] Guia de Dimensionamento Fundações, Direcção dos Serviços de Solos Obras Públicas e Transportes, Governo de Macau
- [3] Regulamento Administrativo n.º 29/2001, Regulamento de Estruturas de Aço para Edifícios, Governo da Região Administrativa Especial de Macau
- [4] General Specification for Civil Engineering Works, The Government of the Hong Kong Special Administrative Region
- [5] General Specification for Building, Architectural Services Department, The Government of the Hong Kong Special Administrative Region
- [6] GEO Publication No. 1/2006, Foundation Design and Construction, Geotechnical Engineering Office, Civil Engineering and Development Department, The Government of the Hong Kong Special Administrative Region
- [7] Code of Practice for Foundations, The Government of the Hong Kong Special Administrative Region
- [8] GEOGUIDE 2, Guide to Site Investigation, Geotechnical Engineering Office, Civil Engineering Department, The Government of the Hong Kong Special Administrative Region
- [9] GEOGUIDE 3, Guide to Rock and Soil Descriptions, Geotechnical Engineering Office, Civil Engineering Department, The Government of the Hong Kong Special Administrative Region
- [10] Canadian Foundation Engineering Manual, Canadian Geotechnical Society
- [11] EN10002, Tensile testing of metallic materials
- [12] EN10045, Charpy impact test on metallic materials. Test method (V- and U-notches)
- [13] ASTM C939 Standard Test Method for Flow of Grout for Preplaced-Aggregate Concrete (Flow Cone Method)
- [14] ISO 1920-4, Testing of Concrete – Strength of Hardened Concrete
- [15] ASTM D1143, Standard Test Method for Piles under Static Axial Compressive Load
- [16] ASTM D3689, Standard Test Method for Individual Piles under Static Axial Tensile Load
- [17] ASTM D3966, Standard Test Method for Piles under Lateral Loads
- [18] 樁基檢驗手冊, 中國水利水電出版社
- [19] 基礎工程施工規範與解說, 科技圖書
- [20] 土力學地基與基礎, 中國建築工業出版社
- [21] JGJ 106, 建築基樁檢測技術規範, 中華人民共和國行業標準