

## Plano e Procedimento da Garantia de Qualidade para Projecto de Engenharia

### Trabalhos de Escavação para Parede de Contenção com Estacas Moldadas (com Aço e Calda de Solo-Cimento)

#### 1. Generalidades e Campo de Aplicação

A presente secção aborda sobre perfuração do solo da obra pelo equipamento mecânico de três eixos, simultaneamente, pulverizada com calda de cimento através da cabeça do perfurador, onde o material é misturado com o auxílio das lâminas. É instalado de seguida o elemento de aço para o aumento de estanqueidade e rigidez ao sistema de parede para estanqueidade de água. O diâmetro usual de estaca moldada é de 0.65m, 0.80m e 1m, onde geralmente, é utilizado elemento de aço H ou placa de aço. Geralmente, a escavação só poderá ser iniciada após a conclusão da parede de contenção de terra, e a estrutura de suporte (após escavação) para cada camada deve ser verificada/inspeccionada antes de proceder para escavação da próxima camada. Portanto, a presente secção consiste na explicação dos pormenores e requisitos para os materiais da parede de contenção de terra e estrutura de suporte.

A garantia de qualidade da parede de contenção com estacas moldadas (com aço e calda de solo-cimento) deve consistir os seguintes requisitos básicos:

- ✓ Requisito da qualidade de material e de integridade da estrutura de contenção de terra antes da escavação;
- ✓ Requisito de viabilidade e segurança, incluindo procedimentos/métodos adequados de escavação, sistema de suporte, controlo da superfície da escavação, nível freático/controlo de pressão do solo, monitorização do impacto em relação à construção vizinha, etc;
- ✓ Requisito da estabilidade da superfície da escavação, da estrutura de suporte após a escavação final (nomeadamente compatibilidade entre o projecto e a situação no local da obra, monitorização, etc).

Os requisitos básicos acima indicados devem estar de acordo com o projecto, especificações, normas e regulamentos relevantes.

#### 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 execução da parede de contenção com estacas moldadas (aço e calda de solo-cimento) para fim de aprovação ou de registo.

Antes da construção

- ✓ Plano de identificação e protecção das estruturas adjacentes;
- ✓ Relatórios do estudo geológico;

- ✓ Plano de monitorização;
- ✓ Informações detalhadas sobre equipamentos utilizados, incluindo tipo de bate-estacas (diesel com base de esteira-móvel, hidráulico com base de esteira-móvel ou base de prancha), tipo de lâminas (espiral ou espiral laminado) e equipamentos de bombas de injeção;
- ✓ Informações detalhadas sobre os materiais utilizados para sistema de contenção de terra e estrutura de suporte, incluindo certificados de produção dos produtos de aço (*Mill Certificate*), informações da mistura de calda de solo-cimento e especificações técnicas relativas, informações de cimento, agregados, adjuvantes, aditivos e agente anti-fricção, etc;
- ✓ Certificado de qualificação dos trabalhadores (tais como certificado de soldadura, avaliação da qualidade de soldadura, etc);
- ✓ Método de execução (incluindo projecto do sistema de estrutura de suporte temporária, procedimentos de execução, tipo de escavação, medidas de contingência e peças desenhadas de execução);
- ✓ Medidas de protecção para diferentes fases de escavação e após da escavação;
- ✓ Plano de inspecção.

Durante o processo da construção ou durante a recepção

- ✓ Desenho topográfico da superfície da escavação (incluindo informações da elevação e área do local existente);
- ✓ Relatório da qualidade do exemplar do solo/calda de solo-cimento;
- ✓ Registos da execução da parede de contenção com estacas moldadas (aço e calda de solo-cimento);
- ✓ Registos de inspecção do aço de perfil H;
- ✓ Registos de recepção da parede de contenção com estacas moldadas (aço e calda de solo-cimento);
- ✓ Relatórios de avaliação periódica das instalações do sistema de contenção de terra e estrutura de suporte;

### 3. Inspeção, Ensaio e Recepção

Os itens para a inspeção da parede de contenção com estacas moldadas (aço e calda de solo-cimento) representam-se no quadro seguinte:

Quadro dos Itens para Inspeção da Trabalhos de Escavação para Parede de Contenção com Estacas Moldadas (Aço e Calda de Solo-Cimento)								
Itens para Inspeção	Objectivos	Tolerância do Desvio			Controlo de Execução	Frequência da Inspeção	Norma a Cumprir	Nota
		Planta	Elevação	Inclinação				
Controlo do Ponto de Referência		✓	✓	✓	✓	Inspeção Contínua	b	
Registo de Monitorização do Terreno		✓	✓	✓	✓		a, b	
Monitorização da Segurança da Zona Escavada de Fundação e Estruturas Adjacentes <sup>3</sup>					✓		a, c, e	
Registo da Escavação da Camada do Solo e Rocha					✓		a, b	
Nível Freático/ Extracção de Água <sup>1</sup>					✓		a, b	
Monitorização aos Edifícios ou Taludes Afectados					✓		a, b, c	
Controlo da Profundidade da Escavação					✓		b	
Volume de Escavação					✓		b	
Execução, Inspeção e Monitorização das Instalações da Contenção de Terra e Estrutura de Suporte <sup>2</sup>					✓		b, c	
Protecção e Drenagem da Superfície da Escavação					✓		a, b	
Inspeção das Instalações					✓	Antes da Construção	--	
Teste de Mistura da Calda de Solo-Cimento <sup>4</sup>					✓	Antes da Construção	b	
Inspeção de Estaca Moldada com Calda de Solo-Cimento <sup>5</sup>					✓	Cada Estaca	b	
Controlo da Localização de Soldadura do Elemento de Aço <sup>6</sup>					✓	Cada Estaca	b	
Controlo da Inserção do Elemento de Aço <sup>7</sup>					✓	Cada Estaca	b	

Nota: Método de Inspeção

1 – Inspeção Nível Freático/ Extracção de Água

De acordo com as características da obra, é realizado poços para bombeamento de água ou para alívio de pressão do nível freático para alguns casos de escavação de grande profundidade. No entanto, o excesso de bombeamento de água subterrânea pode provocar assentamento, afectando assim edifícios e instalações públicas da zona. Por isso, o nível freático deve ser mantido numa profundidade segura. Mesmo assim, para algumas situações pode haver grandes possibilidades para danos de estacas, sugerindo o aumento da profundidade de penetração no fim de aumentar o caminho de capilaridade.

2 – Execução, Inspeção e Monitorização das Instalações da Contenção de Terra e Estrutura de Suporte

De acordo com o Regulamento de Fundações [1], categoria geotécnica 2 e 3 ou estrutura de suporte permanente, deve ser verificado de acordo com as características do material da estrutura, as seguintes inspeções:

Parede de contenção com estacas moldadas:

- Inspeção das matérias-primas do cimento, aditivos, betão, aço, etc;
- A profundidade da estaca moldada (aço e calda de solo-cimento) deve estar de acordo com os requisitos do projecto;
- Inspeção da qualidade do elemento de aço e soldadura;
- Inspeção da verticalidade da estaca moldada (aço e calda de solo-cimento), de acordo com o requisito de JGJ/T199[2], a verticalidade deve ser não superior a 1/200;
- Inspeção da resistência mecânica da estaca moldada (aço e calda de solo-cimento);
- Inspeção da qualidade de instalação do aço em perfil H para sistema de suporte horizontal, inclinada ou vertical ou de betão armado;
- Os requisitos para a inspeção da estrutura metálica podem ser consultado em "Plano e Procedimento da Garantia de Qualidade para Estrutura Metálica";
- Os requisitos para a inspeção da estrutura de betão armado podem ser consultado em "Plano e Procedimento da Garantia de Qualidade para Betão Armado" e "Plano e Procedimento da Garantia de Qualidade para Estacas Moldadas no Local";
- Os requisitos para a inspeção da monitorização da segurança podem ser consultado em "Plano e Procedimento da Garantia de Qualidade para Monitorização de Segurança Geotécnica";

3 – Monitorização da Segurança da Zona Escavada de Fundação e Estruturas Adjacentes

Durante a escavação, deve ser realizado trabalhos de monitorização quanto a situação das estruturas adjacentes, na superfície e na zona escavada de fundação através do controlo de assentamento das estruturas adjacentes, a sua verticalidade, o assentamento da superfície, o deslocamento máximo da estrutura de protecção, a força axial de suporte, pressão do solo, o assentamento da coluna de suporte, o levantamento da zona escavada de fundação, no fim de compreender o impacto causado às estruturas adjacentes e zona escavada de fundação através da escavação. Os requisitos para o controlo de segurança das estruturas adjacentes e zona escavada de fundação podem ser consultado em "Plano e Procedimento da Garantia de Qualidade para Monitorização de Segurança Geotécnica". No caso estiver especificado os requisitos de monitorização nas especificações técnicas ou no projecto, deve ser respeitado; senão devem respeitar os requisitos do DBJ/T 15-20[19] para a monitorização.

4 – Teste de Mistura da Calda de Solo-Cimento

Antes da execução de estacas, na ausência dos dados sobre a resistência da calda de solo-cimento ou a necessidade de ajustamento da quantidade de cimento, a relação de água-cimento para atender os requisitos do projecto, terá de realizar teste de compressão não-confinada após a cura de 28 dias. A amostra do solo-cimento deve ser realizada a partir da camada de solo na profundidade onde se encontra a execução da estaca, e deve ser realizada amostrada separada para caso de variação considerável das camadas de solo ou características de solo (consultar o conteúdo teste e recepção).

5 – Inspeção de Estaca Moldada com Calda de Solo-Cimento

Para o controlo de qualidade da execução de estacas moldadas com calda de solo-cimento, deve ser garantido a qualidade para cada estaca e fundação da parede de contenção de acordo com os procedimentos de execução e relativas normas de inspeção. Encontre-se os seguintes requisitos para a aceitação da estaca moldada com calda de solo-cimento:

Requisitos de Aceitação de Estaca Moldada com Calda de Solo-Cimento [2]

Ref.	Items de Inspeção	Desvio ou Factor de Tolerância	Freq. de Inspeção		Mét. de Inspeção
			Quant.	Freq.	
1	Cota da Base de Estaca (mm)	+50	Cada Estaca	1	Inspeção do Comprimento de Estaca
2	Desvio de Estaca (mm)	50	Cada Estaca	1	Régua de Aço

3	Diâmetro de Estaca (mm)	±10	Cada Estaca	1	Régua de Aço
4	Duração da Estaca	< 24 horas	Cada Estaca	Todo o Processo	Inspeção do Registo de Execução

6 – Controlo da Localização de Soldadura do Elemento de Aço

Para ligação de duas peças deve ser realizado com soldadura a topo. A junta soldada de um elemento de aço não deve ser superior a 2, a localização de juntas soldadas deve ser escalonada com um afastamento mínimo de 1m, o afastamento mínimo da junta soldada com a base da fundação é de 2m.

7 – Controlo da Inserção do Elemento de Aço

Dado que é considerado apenas a rigidez do elemento de aço para a resistência da parede de contenção com estacas moldadas (aço e calda de solo-cimento), é essencial o controlo de qualidade para a inserção do elemento de aço e deve estar de acordo com os procedimentos de execução e relativas normas de inspeção. Encontre-se os seguintes requisitos para a aceitação da inserção do elemento de aço:

Requisitos de Aceitação da Inserção do Elemento de Aço [2]

Ref.	Items de Inspeção	Desvio ou Factor de Tolerância	Freq. de Inspeção		Mét. de Inspeção
			Quant.	Freq.	
1	Cota da Base do Elemento de Aço (mm)	±50	Cada Estaca	1	Medido de Nível
2	Localização (em planta) do Elemento de Aço (mm)	50 (direcção paralela à base da fundação)	Cada Estaca	1	Régua de Aço
		10 (direcção perpendicular à base da fundação)	Cada Estaca	1	Régua de Aço
3	Desvio de Ângulo (em relação ao eixo) $\phi$ (°)	3	Cada Estaca	1	Medidor de Ângulo

Norma a Cumprir:

- a – Regulamento de Estruturas de Suporte e Obras de Terra [1]
- b – Especificações Técnicas da Parede de Contenção com Estacas Moldadas (Aço e Calda de Solo-Cimento) [2]
- c – Especificações Técnicas do Projecto / Cadernos de Encargos
- d – Deliberação ou Regulamento Relevante
- e – Guia para Dimensionamento de Fundações [4]

## Inspeção, Ensaio e Recepção (Continuação)

Os itens para o ensaio e recepção trabalhos de escavação para parede de contenção com estacas moldadas (com aço e calda de solo-cimento) representam-se no quadro seguinte:

Quadro dos Itens para Ensaio de Trabalhos de Escavação para Parede de Contenção com Estacas Moldadas (com Aço e Calda de Solo-Cimento)								
Itens para Inspeção	Objectivos	Análise do Solo	Estabilidade Escavação	Sistema de Suporte de Instalações da Contenção de Terra	Frequência Recomendada do Ensaio	Norma a Cumprir	Critério de Aceitação	Nota
Análise de Partículas	✓				Se Necessário <sup>1</sup>	a, g, h	i	Antes da Escavação
Ensaio de Teor de Água	✓					b, g, h	i	Antes da Escavação
Ensaio de Limite de Atterberg	✓					c, g, h	i	Antes da Escavação
Ensaio de Resistência da Calda de Solo-Cimento no Interior <sup>1</sup>			✓		Antes de Execução, Realizar de Acordo com a Relação Especificada	d, g, h	i, ii	Antes da Escavação
Ensaio da Relação da Água-Cimento <sup>2</sup>			✓		Não Inferior a 3 Vezes a Cada Lote	e, g, h	i, iii	Antes da Escavação
Ensaio de Amostra da Calda de Solo-Cimento <sup>3</sup>			✓		2 Estacas a Cada Lote	d, g, h	i, ii	Antes da Escavação
Ensaio de Resistência com os Carotes Extraídos <sup>4</sup>			✓		Se Necessário <sup>2</sup>	d, g, h	i, ii	Antes da Escavação
Ensaio de Recepção do Elemento de Aço <sup>5</sup>			✓	✓	Se Necessário <sup>2</sup>	-	iv	Antes da Escavação
Ensaio de Soldadura Não-destrutiva das Ligações Soldadas <sup>5</sup>			✓	✓	20%	g	v	Antes da Escavação
Ensaio do Material de Betão Armado <sup>6</sup>				✓	Se Necessário <sup>2</sup>	-	vi	Antes da Escavação

Nota: Método de Inspeção

- 1 – Antes da execução de estacas, na ausência dos dados sobre a resistência da calda de solo-cimento ou a necessidade de ajustamento da quantidade de cimento, a relação de água-cimento para atender os requisitos do projecto, terá de realizar teste de compressão não-confinada após a cura de 28 dias. Deve ainda aproveitar o equipamento mecânico durante o "pre-drilling", extrair solo não-destrutivo nas 3 localizações ao longo da profundidade (no início, no meio e no fim) para ensaio de resistência da calda solo-cimento no interior (é recomendado o uso do tubo de aço ou PVC, de diâmetro de 76mm, comprimento de 1m, selados com cera no topo e na base, duas amostras para cada profundidade).
- 2 – Deve ser verificado com o densímetro quanto ao traço de água-cimento de acordo com os requisitos do projecto ou normas relativas, sendo variando normalmente entre 1.5~2.0.
- 3 – Deve ser extraído calda de solo-cimento após da sua injeção e sem período de cura, nas 3 diferentes localizações ao longo da profundidade, o primeiro a 3m abaixo do topo da estaca, o segundo próximo da base e o terceiro localizado no meio da profundidade. A amostra deve ser conservada na água para a realização do ensaio de compressão não-confinada aos 28 dias.
- 4 – Após a cura de 28 dias da estaca, deve ser extraída 5 conjuntos de carotes, cada conjunto 3 carotes para a realização do ensaio de compressão não-confinada (é recomendado o uso de perfurador não inferior a 110mm). Devido a possíveis danos causados durante a extracção, pode ser adoptado coeficiente multiplicado de 1.2-1.3. Deve ser preenchido com calda no vazio da estaca após a extracção de carotes.
- 5 – Os requisitos para o ensaio de recepção do elemento de aço e ensaio de soldadura não-destrutiva das ligações soldadas podem ser consultado em "Plano e Procedimento da Garantia de Qualidade para Estrutura Metálica".
- 6 – Os requisitos para o ensaio de recepção do material de betão armado podem ser consultado "Plano e Procedimento da Garantia de Qualidade para Betão Armado".

Frequência Recomendada da Inspeção

- ① – 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.
- ② – No caso em que a estrutura para contenção de terra pertencente a a categoria 2 e 3 do Regulamento de Fundações [5] ou estrutura permanente para contenção de terra, os trabalhos de inspeção relativa devem ser realizada de acordo com as características do material da estrutura, frequência recomendada do ensaio para cada material, norma de referência e critério de aceitação, etc. Estes podem ser consultadas no relativo plano e procedimento da garantia de qualidade.

Norma a Cumprir

- a – ASTM D422 [6]
- b – ASTM D2216 [7]
- c – ASTM D4318 [8]
- d – ASTM C109/C 109M / ISO1092-4 [9]
- e – ASTM D4380 [10]
- f – NAVFAC DM-7.1 [11]
- g – 型鋼水泥土攪拌牆技術規程 [2][20]
- h – Especificações Técnicas do Projecto / Cadernos de Encargos

Critério de Aceitação

- i – No caso dos resultados não estarem de acordo com os requisitos do ensaio, é recomendado a revisão do método de execução ou projecto da estrutura de suporte, etc.
- ii – O solo-cimento após 28 dias de cura, deve ter uma resistência mínima a compressão de 0.5MPa e de acordo com os requisitos do projecto.
- iii – Normalmente, o traço de água-cimento varia entre 1.5~2.0.
- iv – No caso dos resultados forem não satisfatórios, duas amostras adicionais deverão ser seleccionadas para nova verificação. Se qualquer uma destas duas amostras adicionais não cumprir qualquer um dos requisitos anteriores, todos os elementos do lote devem ser considerados não aceitáveis e rejeitados (pode consultar o conteúdo no artigo 86 e 87 do Regulamento de Estruturas de Aço para Edifícios).
- v – O critério de aceitação para ensaio de soldadura de ligação pode ser consultado no artigo 88 do regulamento

REAE. Deve ser realizado adequado trabalhos de rectificação e realizar mais 2 ensaios adicionais do mesmo tipo de soldadura para verificação.

- vi – Para critérios de aceitação do material de betão armado pode ser consultado Norma de Betões (Decreto Lei 42/97/M) ou especificações técnicas. Para caso de amostra não estar de acordo com os requisitos das características geométricas ou características mecânicas do quadro 4 da Norma de Aço para Armaduras Ordinárias (Decreto Lei 64/96/M), todos os elementos do lote devem ser considerados não aceitáveis e rejeitados. No caso de amostra não verificar para uma das exigências acima indicada, a mesma quantidade de amostras adicionais devem ser seleccionadas para nova verificação. No caso alguma das amostras da nova verificação não cumprir para uma das exigências indicada ou as duas exigências, todos os elementos do lote devem ser considerados não aceitáveis. No caso dos resultados não verificarem, deve ser seleccionada o dobro de quantidade para uma nova verificação.

#### 4. Referências

- [1] Decreto-Lei n.º 32/97/M, Regulamento de Estruturas de Suporte e Obras de Terra, Governo de Macau
- [2] JGJ/T199, 型鋼水泥石攪拌牆技術規程
- [3] GB50202, 建築地基基礎工程施工質量驗收規範
- [4] Guia de Dimensionamento Fundações, Direcção dos Serviços de Solos, Obras Públicas e Transportes, Governo de Macau
- [5] Decreto-Lei n.º 47/96/M, Regulamento de Fundações, Governo de Macau,
- [6] ASTM D422, Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils
- [7] ASTM D2216, Standard Test Method for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass
- [8] ASTM D4318, Standard Method for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils
- [9] ASTM C109/C 109M, Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars  
ISO1920-4, Testing of Concrete – Strength of Hardened Concrete
- [10] ASTM D4380, Standard Test Method for Density of Benetonitic Slurries
- [11] NAVFAC DM-7.1, Design Manual 7.1, Soil Mechanics, Naval Facilities Engineering Command, US Dept. of Navy, Alexandria, VA
- [12] BS5135, Specification for arc welding of carbon and carbon manganese steels
- [13] EN25817, Arc-welded joints in steel – Guidance on quality levels for imperfections
- [14] AWS D1.1, Structural Welding Code – Steel
- [15] Decreto-Lei n.º 64/96/M, Norma de Aço para Armaduras Ordinárias, Governo de Macau
- [16] Decreto-Lei n.º 42/97/M, Norma de Betões, Governo de Macau
- [17] Decreto-Lei n.º 63/96/M, Norma de Cimentos, Governo de Macau
- [18] Regulamento Administrativo n.º 29/2001, Regulamento de Estruturas de Aço para Edifícios, Governo da Região Administrativa Especial de Macau
- [19] DBJT 15-20, 建築基坑工程技術規程
- [20] DGJ08-116, 型鋼水泥石攪拌牆技術規程