

	Ensaio de Carga com Placa	PEL39
	Procedimento Específico do Laboratório	PÁGINA:

1. ÂMBITO

O presente procedimento destina-se a determinar a curva de carga-assentamento e através desta o módulo de deformabilidade vertical (E_v) e/ou módulo de reacção (K_s) de um solo.

Este método permite medir o deslocamento vertical num ponto à superfície do solo, situado no centro de gravidade de uma placa rígida carregada verticalmente. Em cada ponto de ensaio medem-se as deflexões produzidas em um ou mais ciclos, relativos a uma posição inicial de referência. Determinadas as deflexões do solo e as respectivas cargas, transmitidas pela placa, podem calcular-se os módulos referidos.

Este ensaio tem aplicação tanto em obras civis como em movimentação de terras, construção de estradas e aeroportos e verificação da estabilidade de fundações.

2. REFERÊNCIAS

NLT – 357/98 – “Ensayo de carga con placa”

3. ABREVIATURAS E DEFINIÇÕES

Curva de Carga-Assentamentos – o método de ensaio pressupõe aplicação consecutiva de ciclos de carga e descarga ou patamares de carga sucessivamente crescentes, sobre uma placa circular mediante um dispositivo adequado. As tensões normais (σ_0) debaixo da placa e os correspondentes assentamentos (s) produzidos nos distintos ciclos de carga, podem ser representados graficamente num diagrama denominado *curva de carga/assentamentos*.

Módulo de Deformabilidade (E_v) – é um valor característico da deformação do solo. Pode ser calculado a partir da curva de carga – assentamentos, no primeiro e no segundo ciclo de carga através da inclinação da secante entre os pontos $0,3\sigma_{1m\acute{a}x}$ e $0,7\sigma_{1m\acute{a}x}$ por meio da seguinte expressão:

$$E_v = 1,5 \times r \times (\Delta\sigma / \Delta s) \quad [\text{MN/m}^2]$$

No caso de ensaio por patamares crescentes de carga, o módulo de deformabilidade é calculado mediante a seguinte expressão:

$$E_v = 1,5 \times r \times \sigma / s \quad [\text{MN/m}^2]$$

Edição	Data	Preparação	Responsável Laboratório
00			

	Ensaio de Carga com Placa	PEL39
	Procedimento Específico do Laboratório	PÁGINA:

Módulo de Reacção (K_s) – é um valor característico que define a elasticidade da superfície do solo, submetido à carga. Pode ser calculado a partir da curva de carga – assentamentos, no primeiro ciclo de carga, por meio da seguinte expressão:

$$K_s = \sigma / s \quad [\text{MN/m}^3]$$

4. MODO DE PROCEDER

4.1. Aparelhos e Utensílios

4.1.1. Placas de Carga

As placas devem ser construídas de aço. A superfície inferior deve ser completamente plana. A placa deve ter duas asas para facilitar o transporte. As placas a utilizar devem apresentar as seguintes características:

Placa de carga com 300 mm de diâmetro: apresenta uma espessura mínima de 25 mm e os dispositivos adequados para efectuar medições no seu centro geométrico.

Placa de carga com 600 mm de diâmetro: apresenta uma espessura mínima de 25 mm e os dispositivos adequados para efectuar medições no seu centro geométrico.

4.1.2. Camião ou reboque carregado (Reacção)

Para a realização do ensaio é necessário um sistema de reacção, cuja carga útil, seja no mínimo, superior a 50 kN à carga máxima do ensaio. Como tal, utilizar um camião carregado.

4.1.3. Dispositivo de carga

O dispositivo de carga deve ser capaz de efectuar a carga e descarga sobre a placa de forma gradual, rápida e segura. Para isso utiliza-se o cilindro hidráulico conectado a uma bomba hidráulica através de uma mangueira de altas pressões.

4.1.3.1 Bomba Hidráulica, deve ser de duas etapas, isto é, a bomba deve ter a capacidade de mudar de baixa para alta pressão. Deve ter uma válvula redutora, de maneira, a reduzir a pressão com exactidão e de forma gradual. Depois de um longo período de inactividade, é necessário esvaziar todo o ar acumulado na bomba antes de se dar início ao primeiro ciclo de carga.

Edição	Data	Preparação	Responsável Laboratório
00			

	Ensaio de Carga com Placa	PEL39
	Procedimento Específico do Laboratório	PÁGINA:

4.1.3.2 Mangueira para Altas Pressões, deve ter no mínimo 3 metros de comprimento e nas extremidades braçadeiras para minimizar as perdas.

4.1.3.3 Cilindro/macaco Hidráulico, é conectado através da mangueira à bomba hidráulica para carregar a placa. Durante o processo de descarga deve ser capaz de retomar à posição inicial. Deve ter meios próprios para impedir que se volte ou que se desengate do camião ou do elemento utilizado como reacção. Aquando do início do ensaio, o conjunto não deve superar uma altura máxima de 600 mm, caso isso suceda podem utilizar-se calços no veículo de reacção, mas tendo em atenção que o conjunto seja totalmente rígido.

4.1.4. Dispositivo de medição de cargas

Entre a placa e o sistema de aplicação de carga, está um dispositivo de medição mecânico ou electrónico (célula de carga) com o objectivo de medir directamente a carga aplicada. Este equipamento deve indicar a carga com uma margem de erro equivalente a 1 % da carga máxima que se prevê alcançar no ensaio. O dispositivo de medição da carga deve ser calibrado em cada 2 anos.

4.1.5. Dispositivo para medir os assentamentos

A medição dos assentamentos nas superfícies submetidas às cargas durante o ensaio, podem realizar-se com ajuda de uma *ponte de medição* e um transdutor de deslocamento actuando no centro geométrico da placa.

A *ponte de medição* e o dispositivo de medida devem permitir o cálculo do assentamento da placa com uma exactidão de 0,01 mm. O assentamento irá ser medido no eixo vertical relativamente ao plano sobre o qual assenta a placa, situado no seu centro geométrico

A *ponte de medição* deve ser de fácil transporte e estável. Os seus braços devem ser telescópicos, em aço inoxidável ou em alumínio, de forma a resistirem melhor à deflexão. Deve ser regulável em altura, para garantir a sua horizontalidade em terrenos irregulares.

Edição	Data	Preparação	Responsável Laboratório
00			

	Ensaio de Carga com Placa	PEL39
	Procedimento Específico do Laboratório	PÁGINA:

4.1.6. Equipamentos auxiliares

Como equipamentos auxiliares temos:

- Nível de bolha;
- Fita métrica;
- Areia seca de granulometria media;
- Pincel;
- Régua de aço;
- Lona;
- Colher de pedreiro.

4.2. Técnica

4.2.1 Condições de Ensaio

O ensaio de carga com placa pode ser realizado sobre os mais variados tipos de solo, quer eles sejam e granulometria grossa, média ou fina. Directamente sob a placa o material não deve ter um tamanho superior a 1/3 do diâmetro da placa.

No caso de areias com granulometria uniforme, areias que secam rapidamente e de solos que se alterem durante a execução do ensaio, deve-se retirar a camada superficial de modo a efectuar o ensaio com o solo a estudar o mais inalterado possível.

Nos casos de solos de granulometria fina (areias soltas ou argilas), o ensaio de carga só poderá ser realizado caso estes solos apresentem uma consistência que varie entre rígida e firme. Por esta razão, deve-se determinar o teor de humidade do solo até uma profundidade de $2r$, isto é, duas vezes o raio da placa em uso, com medições a várias profundidades, no local onde é realizado o ensaio, uma vez que, o teor de humidade influencia de forma decisiva o resultado do ensaio.

Edição	Data	Preparação	Responsável Laboratório
00			

	Ensaio de Carga com Placa	PEL39
	Procedimento Específico do Laboratório	PÁGINA:

4.2.2 Procedimento de Ensaio de acordo com a norma Espanhola NLT – 357/98

4.2.2.1 Preparação da Superfície de Ensaio

Começa-se por escolher uma área plana e suficientemente grande para a realização do ensaio. Se necessário aplanam-se melhor o local com ajuda de uma régua de aço e eliminam-se todas as partículas soltas com um pincel.

4.2.2.2 Instalação do Equipamento de Carga com Placa

Coloca-se a placa sobre o local escolhido, de modo a que, toda a superfície inferior da placa fique em contacto com o solo e que esta fique nivelada. Caso isso não suceda, espalha-se um pouco de areia seca de granulometria média na área de contacto da placa com o solo. Para garantir que toda a área inferior da placa toca no solo pode-se fazer girar suavemente a placa que esta se acondicione ao solo.

Aplica-se a célula de carga e sobre esta o macaco hidráulico, de maneira a formar um ângulo recto, tendo cuidado para que esta não tombe. A distância entre a placa e a superfície de apoio à reacção (chassis do camião) deve ser no mínimo de 0,75 m para uma placa de 300 mm e 1,10 m para uma placa de 600 mm. A fim de impedir o deslocamento em sentido transversal à direcção da carga, deve-se assegurar convenientemente o apoio.

4.2.2.3 Colocação dos Dispositivos para a Medição dos Assentamentos

No sub capítulo 4.1.5, foi descrito o procedimento a seguir para a colocação dos dispositivos de medição dos assentamentos. Aplica-se sobre a placa uma pré-carga de 20 kPa durante 30 segundos. De seguida faz-se a descarga e colocam-se o transdutor a zeros. Se for necessário protege-se o dispositivo com uma lona, para que não haja interferências nos resultados. Todo o conjunto deve estar protegido de qualquer tipo de vibrações.

4.2.2.4 Processos de Carga e Descarga

4.2.2.4.1 Princípio

A carga máxima, o assentamento máximo ou ambos, para serem alcançados durante o ensaio, dependem da finalidade do ensaio, assim como, das características do solo e da dimensão da placa.

4.2.2.4.2 Determinação do Módulo de Deformabilidade (E_v)

Para determinar o módulo de deformabilidade, em obras de movimento de terras e obras de estradas, é prática habitual utilizar-se a placa de carga de 300 mm de diâmetro e aumentar

Edição	Data	Preparação	Responsável Laboratório
00			

	Ensaio de Carga com Placa	PEL39
	Procedimento Específico do Laboratório	PÁGINA:

progressivamente a carga até alcançar um assentamento de cerca de 5 mm ou uma tensão normal sob a placa da ordem de 0,5 MN/m².

Se utilizar uma placa de carga de 600 mm ou 762 mm de diâmetro, os valores de referência de assentamento e tensão normal são de 7 mm e 0,25 MN/m², 13 mm e 0.2 MN/m², respectivamente.

Suspende-se o ensaio caso ocorram afundamentos com a descarga, em materiais de baixa resistência ou se por outro lado, ao aumentar a carga, se produz um forte incremento das deformações indicando uma rotura iminente.

O processo de carga deve incluir no mínimo 6 patamares com intervalos aproximadamente iguais entre si ou escolher patamares adequados a cada situação a estudar. O intervalo de tempo entre os patamares de carga sucessivos deve ser no mínimo de 1 minuto.

Nos ciclos de carga e descarga só se pode passar ao patamar seguinte quando o deslocamento, em cada 2 minutos, não seja superior a 0,2 mm/min. Caso se utilize a areia de granulometria média na base da placa, o tempo de leitura em cada estágio de carga pode-se reduzir a 1 minuto. A carga aplicada deve permanecer constante nos diferentes estágios de carga.

Uma vez efectuada a primeira leitura do comparador deve procurar-se que o incremento de carga se aplique sempre em intervalos iguais

Se por algum motivo se aplicar uma carga superior à devida, esta não se pode reduzir, devendo manter-se e registar-se o sucedido no impresso de dados, conjuntamente com os valores medidos.

O processo de descarga deve realizar-se em 3 estágios: 50%, 25%, e 0% da carga máxima. Uma vez finalizada a descarga, realiza-se outro ciclo de carga, só que este deve chegar apenas ao penúltimo estágio relativamente aos aplicados no primeiro ciclo, a fim de permanecer nas condições de pré-carga.

Para comprovar o segundo ciclo de carga, pode-se efectuar depois da descarga completa do segundo ciclo, um terceiro de ciclo de carga de forma análoga mas aplicando depois do segundo nível de carga, a carga final do segundo ciclo, sem necessidade de aplicar as cargas correspondentes às etapas intermédias.

Edição	Data	Preparação	Responsável Laboratório
00			

	Ensaio de Carga com Placa	PEL39
	Procedimento Específico do Laboratório	PÁGINA:

4.2.2.4.3 Determinação do Módulo de Reacção (K_s)

Para determinar o módulo de reacção, utilizado no controlo de aterros, estradas e aeroportos, por norma utiliza-se a placa de 762 mm de diâmetro para a realização do ensaio de carga. A pré-carga $0,01 \text{ MN/m}^2$, deve-se manter até que o assentamento da placa seja inferior a $0,02 \text{ mm/min}$. A partir deste momento aumenta-se a carga, em cada estágio de carga com uma tensão normal de $0,04 \text{ MN/m}^2$, $0,08 \text{ MN/m}^2$, $0,14 \text{ MN/m}^2$ e $0,2 \text{ MN/m}^2$. Antes de se aplicar cada estágio de carga espera-se que a variação do assentamento não supere os $0,02 \text{ m/min}$. Para a descarga basta introduzir um estágio intermédio de $0,08 \text{ MN/m}^2$.

4.2.2.5 Preparação da Superfície de Ensaio quando Escavado

Caso os resultados obtidos sejam desproporcionados, por exemplo, uma inclinação transversal ou afundamentos consideráveis da placa, é necessário escavar na zona do ensaio, até uma profundidade equivalente ao diâmetro da placa. Se aparecerem pedras, solos de consistência inferior a rígida ou solos com teores de humidade muito elevados ou muito baixos deve-se anotar estes dados no impresso de ensaio.

4.2.3 Procedimento de Ensaio para verificação da estabilidade de fundações

4.2.3.1 Preparação da Superfície de Ensaio

A área a escolher para o ensaio deve ser onde se irão produzir as maiores cargas e deve ser plana. Se necessário aplanam-se melhor o local com ajuda de uma régua de aço e eliminam-se todas as partículas soltas com um pincel.

4.2.3.2 Instalação do Equipamento de Carga com Placa

Coloca-se a placa sobre o local escolhido, de modo a que, toda a superfície inferior da placa fique em contacto com o solo e que esta fique nivelada. Caso isso não suceda, espalha-se um pouco de areia seca de granulometria média na área de contacto da placa com o solo. Para garantir que toda a área inferior da placa toca no solo pode-se fazer girar suavemente a placa que esta se acondicione ao solo.

Coloca-se a célula de carga na placa e sobre esta o macaco hidráulico, de maneira a formar um ângulo recto, tendo cuidado para que esta não tombe. A distância entre a placa e a superfície de apoio à reacção (chassis do camião) deve ser no mínimo de $0,75 \text{ m}$ para uma placa de 300 mm e $1,10 \text{ m}$ para uma placa de 600 mm . A fim de impedir o deslocamento em sentido transversal à direcção da carga, deve-se assegurar convenientemente o apoio.

Edição	Data	Preparação	Responsável Laboratório
00			

	Ensaio de Carga com Placa	PEL39
	Procedimento Específico do Laboratório	PÁGINA:

4.2.3.3 Colocação dos Dispositivos para a Medição dos Assentamentos

No sub capítulo 4.1.5, foi descrito o procedimento a seguir para a colocação dos dispositivos de medição dos assentamentos. Aplica-se sobre a placa uma pré-carga de aproximadamente 20 kPa durante 1 minuto. De seguida faz-se a descarga e colocam-se o transdutor de deslocamento a zeros. Se for necessário protege-se os dispositivos, com uma lona, para que não haja interferências nos resultados. Todo o conjunto deve estar protegido de qualquer tipo de vibrações.

4.2.3.4 Processos de Patamares de Carga

4.2.3.4.1 Princípio

A carga máxima aplicada, o assentamento máximo ou ambos, para serem alcançados durante o ensaio, dependem da finalidade do ensaio, assim como, das características do solo e da dimensão da placa.

4.2.3.4.2 Determinação do Modulo de Deformabilidade vertical (E_v)

Para determinar o módulo de deformabilidade em locais onde se pretende verificar a estabilidade da fundação, é prática habitual utilizar-se a placa de carga de 600 mm de diâmetro e realizar o ensaio por patamares de carga, até cerca do dobro da carga de serviço a aplicar.

Suspende-se o ensaio caso ocorram afundamentos com a descarga, em materiais de baixa resistência ou se por outro lado, ao aumentar a carga, se produz um forte incremento das deformações indicando uma rotura iminente.

O processo de carga deve incluir no mínimo 3 patamares com intervalos aproximadamente iguais entre si ou escolher patamares adequados a cada situação a estudar.

Nos vários patamares deve-se manter-se a carga constante pelo menos 10 minutos, de forma a avaliar o deslocamento ao longo deste tempo. Só se pode passar ao patamar seguinte quando o deslocamento, em cada 5 minutos, não seja superior a 0,02 mm. A carga aplicada deve permanecer constante nos diferentes estágios de carga.

Se por algum motivo se aplicar uma carga superior à devida, esta não se pode reduzir, devendo manter-se e registar-se o sucedido no impresso de dados, conjuntamente com os valores medidos.

4.2.3.5 Preparação da Superfície de Ensaio quando Escavado

Caso os resultados obtidos sejam desproporcionados, por exemplo, uma inclinação transversal ou afundamentos consideráveis da placa, é necessário escavar na zona do

Edição	Data	Preparação	Responsável Laboratório
00			

	Ensaio de Carga com Placa	PEL39
	Procedimento Específico do Laboratório	PÁGINA:

ensaio, até uma profundidade equivalente ao diâmetro da placa. Se aparecerem pedras, solos de consistência inferior a rígida ou solos com teores de humidade muito elevados ou muito baixos deve-se anotar estes dados no impresso de ensaio.

5. RESULTADOS

5.1 Curva de Carga-Assentamento

A tensão normal média (σ_0) obtida em cada estágio/patamar de carga e assentamento correspondente, medido nos comparadores são registados nos impressos de ensaio.

A pressão correspondente em cada estágio de carga e o valor da leitura do assentamento medido no transdutor de deslocamento, são representados graficamente. No eixo das ordenadas colocamos o assentamento (s) em mm, no eixo das abcissas colocamos a tensão normal (σ_0). A curva resultante deve ser identificada para diferenciar os processos de carga e descarga. O modo de identificação é a colocação de flechas que indicam o sentido do ensaio.

No caso dos solos com módulos de deformabilidade muito elevados e quando no ensaio se utiliza a placa de 762 mm de diâmetro, deve-se ter sempre em conta a flexão da placa. É por isso necessário controlar o assentamento médio da placa com a utilização de comparadores complementares.

O impresso do ensaio deve conter a seguinte informação:

- Situação do lugar de ensaio;
- Diâmetro da placa de carga;
- Tipo de dispositivo utilizado na medição dos assentamentos e qual o factor de correcção, caso seja necessário;
- Tipo de solo;
- Tipo de base da placa;
- Hora de inicio e de fim do ensaio;
- Condições atmosféricas e temperatura ambiente;
- Quem executou o ensaio;
- Descrição de qualquer anomalia observada durante o ensaio e de alterações efectuadas em relação ao procedimento standard;

Edição	Data	Preparação	Responsável Laboratório
00			

	Ensaio de Carga com Placa	PEL39
	Procedimento Específico do Laboratório	PÁGINA:

- Valores das tensões aplicadas e as leituras correspondentes dos medidores de assentamentos;
- Curvas de carga-assentamento;
- Se necessário referir em que condições e porque razão foi necessária a escavação no local de ensaio;

5.2 Cálculo do Módulo de Deformabilidade, E_v

5.2.1 Método NLT

Os módulos de deformabilidade calculam-se por meio de uma curva carga-assentamento do primeiro ciclo de carga e do segundo ciclo de carga, a partir da inclinação da secante entre os pontos **0,3. σ_{max}** e **0,7. σ_{max}** , mediante a expressão:

$$E_v = 1,5 \times r \times (\Delta\sigma / \Delta s) \quad [\text{MN/m}^2]$$

$$\Delta\sigma = \sigma_{02} - \sigma_{01}$$

$$\Delta s = S_2 - S_1$$

σ_{01} - Tensão normal media sob a placa para **0,3 σ_{max}** (MN/m²);

σ_{02} - Tensão normal media sob a placa para **0,7 σ_{max}** (MN/m²);

S_1 – Assentamento médio da placa correspondente a σ_{01} (mm);

S_2 – Assentamento médio da placa correspondente a σ_{02} (mm);

r – Raio da placa de carga (mm);

O modulo de deformação do primeiro ciclo de carga identifica-se com o índice 1 (E_{v1}), enquanto que o do segundo ciclo com o índice (E_{v2}).

Edição	Data	Preparação	Responsável Laboratório
00			

	Ensaio de Carga com Placa	PEL39
	Procedimento Específico do Laboratório	PÁGINA:

5.2.2 Método LEC

No caso de ensaio por patamares de carga o módulo de deformabilidade é calculado mediante a expressão:

$$E_v = 1,5 \times r \times \sigma / s \quad [\text{MN/m}^2]$$

em que,

σ - Tensão máxima aplicada sob a placa (MN/m^2);

S – Assentamento máximo registado no ensaio (mm);

r – Raio da placa de carga (mm).

5.3 Cálculo do Módulo de Reacção, K_s

Para determinar o módulo de reacção utiliza-se o primeiro ciclo de carga. Na curva de carga-assentamento lê-se a tensão normal (σ_0) à qual corresponde o assentamento (s). O módulo de reacção calcula-se segundo a seguinte expressão:

$$K_s = \sigma_0 / s \quad [\text{MN/m}^2]$$

Na construção de estradas e aeroportos determina-se a tensão, medida com uma placa de carga com um diâmetro de 762 mm, que equivale a um assentamento médio de $s = 0,00125$ m (1,25 mm).

De acordo com a forma da curva da carga-assentamento apresentada, pode ser necessário fazer uma correcção do ponto zero através da tangente ao ponto de inflexão, relacionando o assentamento obtido com o novo zero já corrigido.

Edição	Data	Preparação	Responsável Laboratório
00			