



Departamento de Construção Civil  
Curso de Engenharia Civil



# Geotecnia de Fundações TC 041

8º Semestre

Organizado por:

Profa. Caroline Tomazoni Santos

Prof. Eduardo Dell'Avanzi

Profa. Liamara Paglia Sestrem

Prof. Vítor Pereira Faro

Eng. Civil André Luis Meier, Mestrando PPGECC

Eng. Civil Isabel Cristina Salah, Mestranda PPGECC

Eng. Civil Isabela Grossi da Silva, Mestranda PPGECC

1



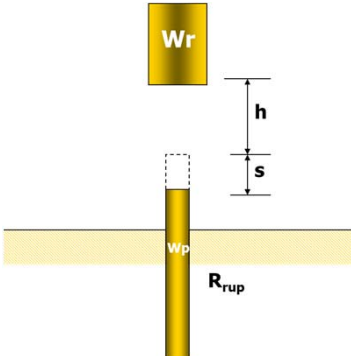
# FÓRMULAS DINÂMICAS



2

Fórmulas dinâmicas

- As fórmulas dinâmicas avaliam a capacidade de carga de estacas cravadas por meio da medição de parâmetros de cravação, como nega e repique elástico.





3

Equipamentos de cravação

- Bate estaca com Martelo de Gravidade:





4

**UFPR**  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

## Equipamentos de cravação

- Martelo de Gravidade:

**GEGEO UFPR**

5

**UFPR**  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

## Equipamentos de cravação

- Bate estaca com Martelo Hidráulico:

**GEGEO UFPR**

6

UFPR  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

## Equipamentos de cravação

- Martelo Hidráulico – Junttan:



GEGEO UFPR

7

UFPR  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

## Equipamentos de cravação

- Martelo Hidráulico:



GEGEO UFPR

8



## Fórmulas dinâmicas

- Os coeficientes de segurança variam de 2 à 10, tendo em vista estas incertezas Velloso e Lopes (2010) recomendam:
  - Usar métodos semi-empíricos;
  - Executar uma prova de carga para calibrar um fator de correção.



9



## Parâmetros de cravação

- Nega:** medida da penetração permanente de uma estaca, causada pela aplicação de um golpe de martelo ou pilão, sempre relacionada com a energia de cravação. Dada a sua pequena grandeza, em geral é medida para uma série de dez golpes (NBR 6122/2010). É uma medida dinâmica e indireta da capacidade de carga de uma estaca e tem o objetivo de verificar a uniformidade do estaqueamento.



10

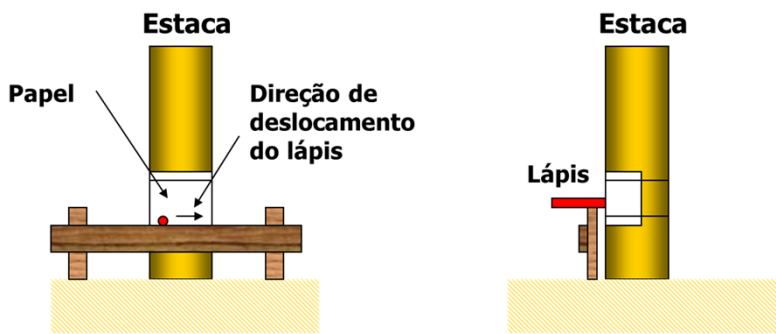
Parâmetros de cravação

- **Repique:** parcela elástica do deslocamento máximo de uma estaca decorrente da aplicação de um golpe do martelo ou pilão (NBR 6122/2010). A verificação do repique é feita por meio de um gráfico traçado no final da cravação para os últimos 10 golpes de cada estaca.




11

Parâmetros de cravação



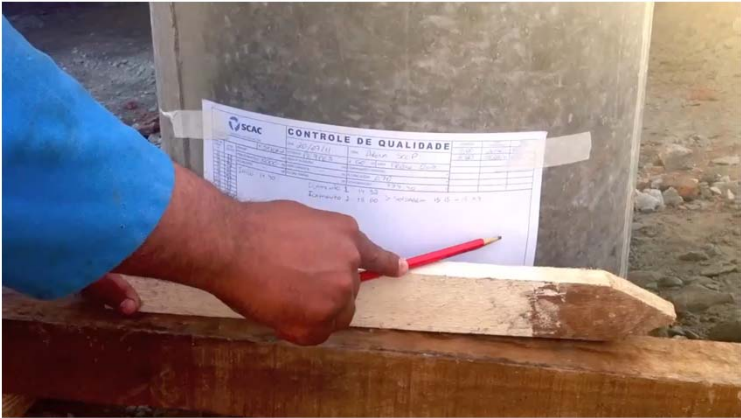
The diagram illustrates the measurement of pile driving parameters. On the left, a yellow pile (Estaca) is shown being driven into the ground by a hammer (Papel) on an anvil. A red dot indicates the direction of displacement (Direção de deslocamento do lápis). On the right, the pile (Estaca) is shown with a pencil (Lápis) marking the displacement on a scale.




12

UFPR  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

## Parâmetros de cravação



SCAC CONTROLE DE QUALIDADE

Medidas

| Item | Medida | Observação |
|------|--------|------------|
| 1    | 11,33  | 1 - normal |
| 2    | 11,33  | 2 - normal |

Observações

GEGEO UFPR

13

UFPR  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

## Parâmetros de cravação



SCAC CONTROLE DE QUALIDADE

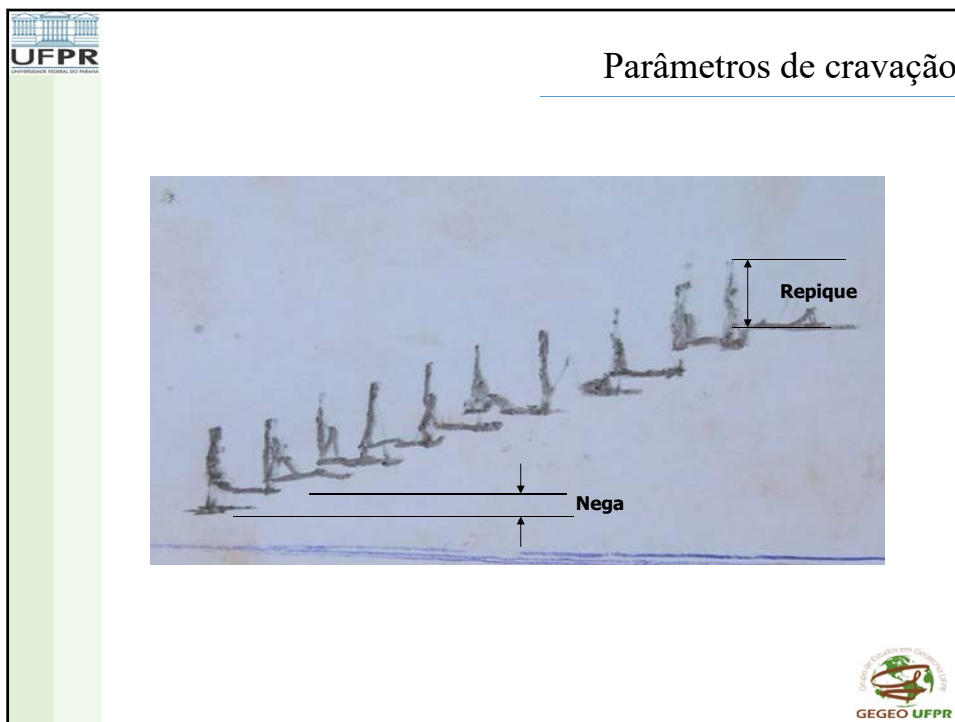
Medidas

| Item | Medida | Observação |
|------|--------|------------|
| 1    | 11,33  | 1 - normal |
| 2    | 11,33  | 2 - normal |

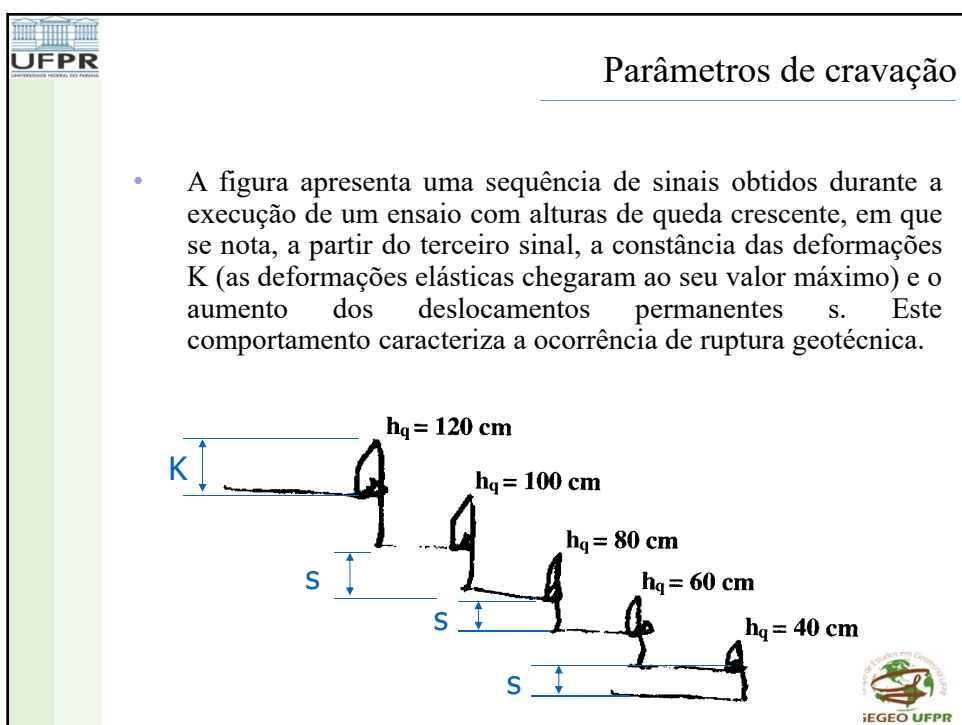
Observações

GEGEO UFPR

14



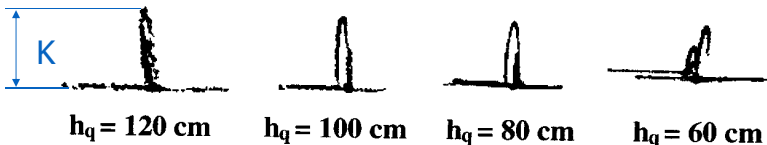
15



16

**Parâmetros de cravação**

- Nesta figura verifica-se que os deslocamentos permanentes (s) permanecem constantes e o valor das deformações elásticas (K) aumentam. Este caso caracteriza a ruptura estrutural do elemento (estaca).



$h_q = 120 \text{ cm}$      $h_q = 100 \text{ cm}$      $h_q = 80 \text{ cm}$      $h_q = 60 \text{ cm}$



17

**Fórmulas dinâmicas**

- As fórmulas dinâmicas baseiam-se na igualdade entre a energia de queda da martelo e o trabalho gasto durante a cravação da estaca:

$$W_r h = R_{rup} s + c$$

$\downarrow$   
Energia do golpe

$\downarrow$   
Trabalho gasto na cravação

- $W_r$  - Peso do martelo;
- $h$  - Altura de queda do martelo;
- $s$  - Nega;
- $R_{rup}$  - Resistência oferecida pelo terreno à cravação;
- $c$  - Soma das perdas de energia durante a cravação.



18



## Fórmulas dinâmicas

---

- Engineering News:

$$R_{rup} = \frac{W_r h}{s + C}$$

- $W_r$  - Peso do martelo;
- $h$  - Altura de queda do martelo;
- $s$  - Nega;
- $C = 2,540$  (mm) para martelo de gravidade;
- $C = 0,254$  (mm) para martelo a vapor;
- Fator de segurança  $\approx 6$ .



19



## Fórmulas dinâmicas

---

- Fórmula dos Holandeses:

$$R_{rup} = \left[ \frac{W_r h}{s} \right] \left[ \frac{W_r}{W_r + W_p} \right]$$

- $W_r$  - Peso do martelo;
- $h$  - Altura de queda do martelo;
- $s$  - Nega;
- $W_p$  - Peso da estaca;
- Fator de segurança  $\approx 10$  (martelo de gravidade);
- Fator de segurança  $\approx 6$  (martelo a vapor).



20



## Fórmulas dinâmicas

---

- Fórmula de Brix:

$$R_{rup} = \left[ \frac{W_r h}{s} \right] \left[ \frac{W_r W_p}{(W_r + W_p)^2} \right]$$

- $W_r$  - Peso do martelo;
- $h$  - Altura de queda do martelo;
- $s$  - Nega;
- $W_p$  - Peso da estaca;
- Fator de segurança  $\approx 5$ .



21



## Fórmulas dinâmicas

---

- Fórmula de Janbu:

$$Ru = \frac{2.E_{ef}}{\mu \left( s + \frac{C_3}{2} \right) \left[ 1 + \sqrt{1 + E_{ef} \frac{\alpha.L}{A.E} \frac{1}{\left( s + \frac{C_3}{2} \right)^2}} \right]}$$

- $Ru$  - Resistência máxima mobilizada;
- $E_{ef}$  - Energia efetivamente transferida à estaca ( $W.h.ef$ );
- $L$  - Comprimento da estaca;
- $A$  - Área da seção da estaca;
- $E$  - Módulo de elasticidade da estaca;
- $s$  - Nega;
- $C_3$  - Deformação elástica do solo;
- $W$  - Peso do martelo;
- $h$  - Altura de queda do martelo
- $ef$  - Eficiência do golpe;



22



## Fórmulas dinâmicas

---

- **Fórmula de Janbu:**
- $\alpha$  - Função do comprimento da estaca e da resistência do solo na ponta da estaca:
  - Para  $L < 10\text{m}$ , estaca curta e resistência alta na ponta do solo  $\alpha$  próximo da unidade, para resistência baixa  $\alpha$  em torno de 0,7;
  - Para estacas longas  $L > 10\text{m}$  o valor de  $\alpha$  pode variar entre 0,5 e 1,0, dependendo da resistência mobilizada.

| Tipo de solo   | Fator $\mu$ |
|----------------|-------------|
| Areia          | 1,00 – 1,15 |
| Areia Siltosa  | 1,15 – 1,25 |
| Silte Arenoso  | 1,20 – 1,45 |
| Argila Siltosa | 1,40 – 1,70 |
| Argila         | 1,70 – 2,10 |



23



## Fórmulas dinâmicas

---

- **Principais vantagens fórmulas dinâmicas:**
  - Simplicidade;
  - Todas as estacas da obra podem ter medições de nega e registros de cravação;
  - Úteis para implantar um estaqueamento homogêneo.



24



## Fórmulas dinâmicas

---

- Principais críticas às formulas dinâmicas:
  - Essas fórmulas foram baseadas na Teoria do choque de corpos rígidos, formulada por Newton e não de corpos elásticos;
  - A resistência mobilizada pelos golpes do pilão nem sempre é suficiente para despertar a resistência máxima disponível que o solo pode oferecer;
  - Existem fatores pouco conhecidos envolvendo o fenômeno, tais como energia real aplicada a estaca, influência do coxim de madeira e do cepo instalados no capacete.



25



## Fórmulas dinâmicas

---

- Principais críticas às formulas dinâmicas:
  - Eficiência do martelo varia;
  - Medidas de nega são imprecisas;
  - Aplicam-se apenas no final da cravação (a resistência do solo varia com o tempo).



26



## Exemplo

Calcule a nega, através da fórmula de Brix, para uma estaca perfil açominas HP310x110 com 30 m para carga de 200 tf. O bate estacas é do tipo queda livre, com  $h = 100$  cm e martelo de 5 ton. Considere o fator de segurança como 5.

$$R_{rup} = \left[ \frac{W_r h}{s} \right] \left[ \frac{W_r W_p}{(W_r + W_p)^2} \right]$$

Solução:

$$W_r = 5 \text{ ton}$$

$$W_p = 0,110 \text{ ton/m} \cdot 30\text{m} = 3,3 \text{ ton}$$

$$R_{rup} = 5 \cdot 200 \text{ tf} = 1000 \text{ tf}$$

$$s = \frac{5 \cdot 100}{1000} \cdot \frac{5 \cdot 3,3}{(5 + 3,3)^2} = 0,119 \text{ cm por golpe ou } 12 \text{ mm para } 10 \text{ golpes}$$

