

TENSÕES NO SOLO DEVIDO A CARGAS EXTERNAS

Prof. Maristâni G. Spannenberg F.

1

DISTRIBUIÇÃO DE TENSÕES

- Lei de variação das modificações de tensões, em função da posição dos elementos do terreno em relação aos carregamentos aplicados.

Peso Próprio do Solo



Carregamento
Externo

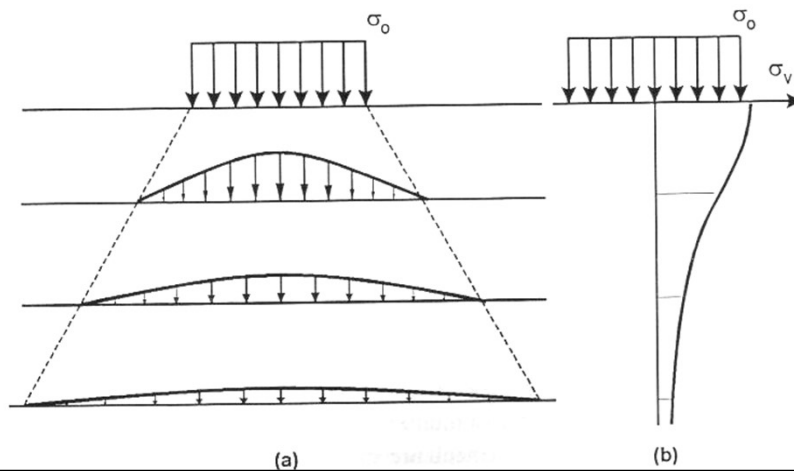


Modificações
nas Tensões

2

DISTRIBUIÇÃO DE TENSÕES

- Os acréscimos de tensão ao longo da profundidade, causados por uma carga aplicada na superfície do solo não se limitam à projeção da área carregada;



3

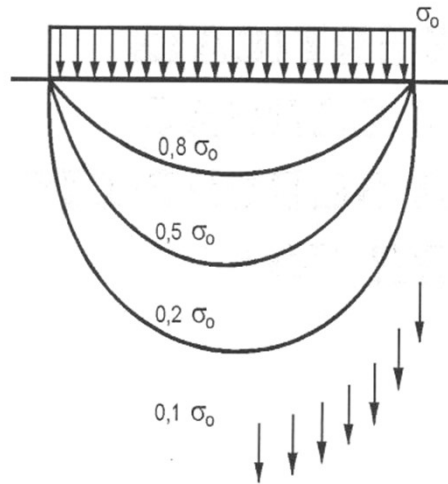
DISTRIBUIÇÃO DE TENSÕES

- Os acréscimos de tensão vertical diminuem com a profundidade e com a distância lateral em relação ao eixo do carregamento.
- Uma hipótese bastante simples considera que a resultante da distribuição dos acréscimos de tensão em um plano horizontal é constante para qualquer profundidade.
- A tensão vertical total em um ponto no interior da massa de solo será dada pela soma do acréscimo causado pelas cargas externas com a tensão causada pelo peso próprio do solo.

4

DISTRIBUIÇÃO DE TENSÕES

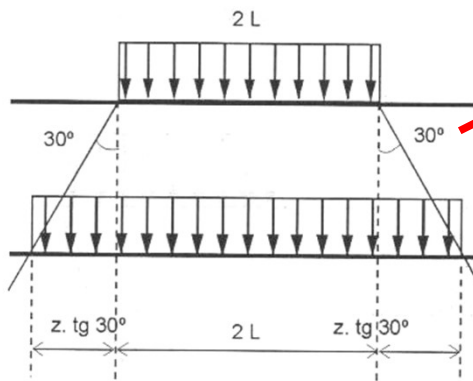
- Isóbaras
- Bulbo de Tensões



5

DISTRIBUIÇÃO DE TENSÕES

- Cálculo das Tensões Verticais
[Hipótese Simples, Kollbrüner (1946)]



(faixa de largura $2L$ e comprimento infinito)

Ângulo de Espreadimento
(varia com o tipo de solo)

Solos moles	< 40°
Areias	40° a 45°
Argilas rijas e duras	70°
Rochas	> 70°

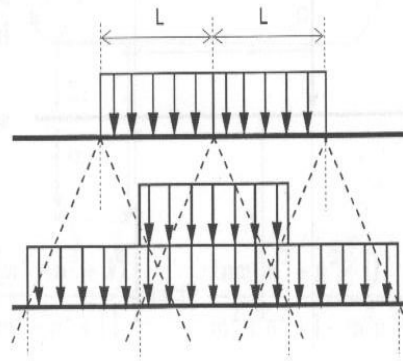
(Kögler & Scheidig, 1948)

$$\sigma_v = \frac{2 \cdot L}{2 \cdot L + 2 \cdot z \cdot \tan 30^\circ} \cdot \sigma_0$$

6

DISTRIBUIÇÃO DE TENSÕES

- A hipótese simples, também chamada Método do Espreadimento, pode ser aplicada a áreas quadradas, retangulares ou circulares.
- Deve-se notar que a distribuição real de tensões não é uniforme, mas sim em forma de sino.
- Portanto, deve ser utilizada somente como estimativa nos seguintes casos:
 - Fundações ou estruturas rígidas;
 - Grandes profundidades;
 - Maciços homogêneos.



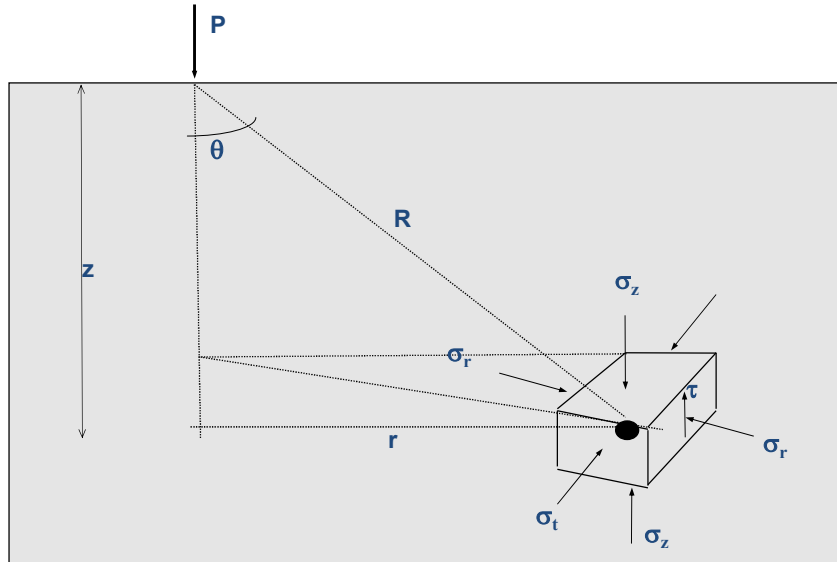
7

APLICAÇÃO DA TEORIA DA ELASTICIDADE

- Tem sido amplamente empregada;
- O solo não é um material elástico, pois as deformações não são reversíveis;
- O solo não é isotrópico nem homogêneo;
- O comportamento do solo é não linear;
- No entanto, para pequenos incrementos, pode-se considerar que as tensões e as deformações no solo são proporcionais (módulo de elasticidade único);
- A prática tem demonstrado que os resultados são satisfatórios;
- As tensões aplicadas não devem ser próximas à resistência ao cisalhamento do solo ($FS > 3$);
- Maciços homogêneos: módulo de deformação constante com a profundidade.

8

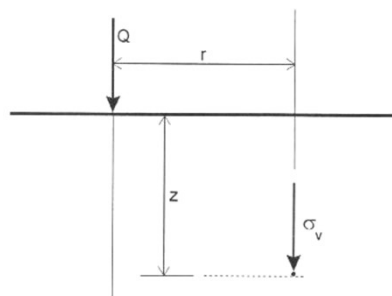
ESTADO GENÉRICO DE TENSÕES



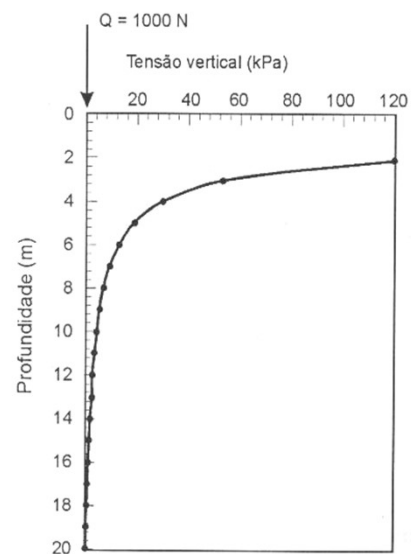
9

SOLUÇÃO DE BOUSSINESQ

- Carga Concentrada na Superfície



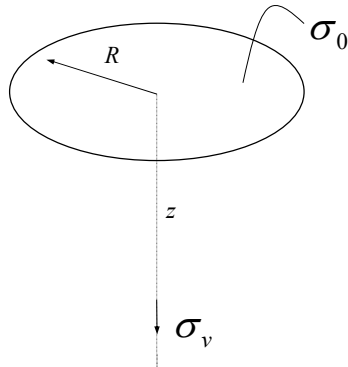
$$\sigma_v = \frac{Q}{\pi \cdot z^2} \cdot \frac{3/2}{\left(1 + \left(\frac{r}{z}\right)^2\right)^{5/2}}$$



10

SOLUÇÃO DE LOVE (1929)

- Carregamento Uniforme em Área Circular
- A solução fornece o acréscimo de tensão em pontos sobre a vertical que passa pelo eixo da área carregada.

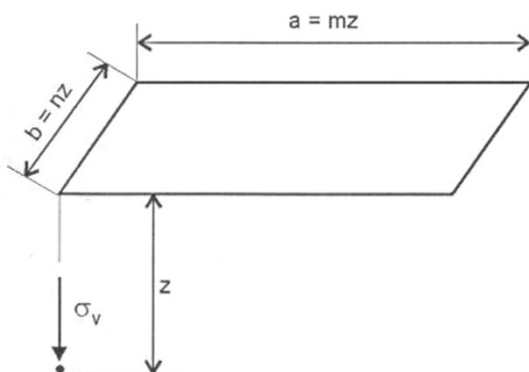


$$\sigma_v = \sigma_0 \cdot \left\{ 1 - \left[\frac{1}{1 + \left(\frac{R}{z} \right)^2} \right]^{3/2} \right\}$$

11

SOLUÇÃO DE NEWMARK (1933)

- Carregamentos em Áreas Retangulares



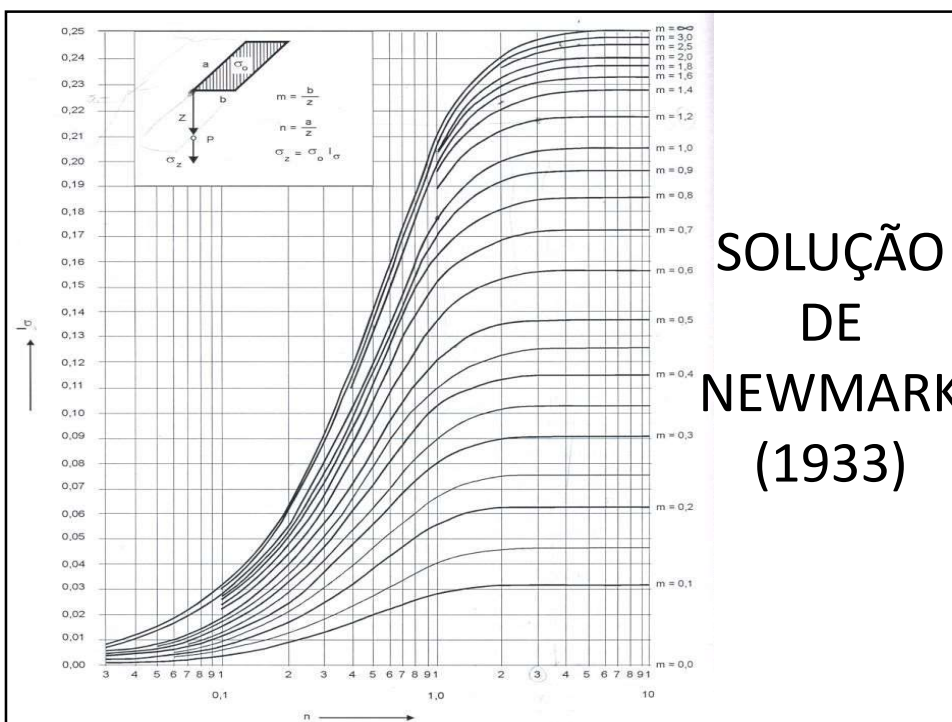
$$\sigma_v = I \cdot \sigma_0$$

$$I = f(m, n)$$

$$m = \frac{a}{z}$$

$$n = \frac{b}{z}$$

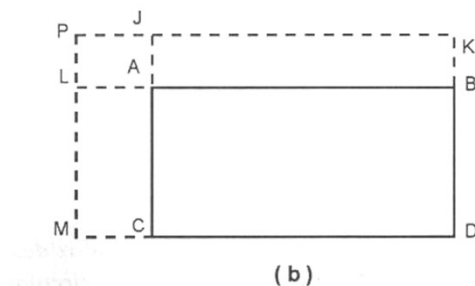
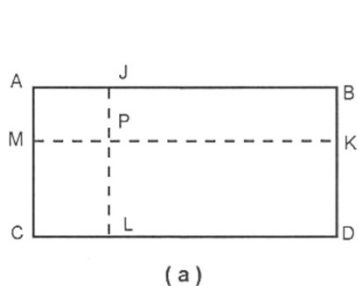
12



13

SOLUÇÃO DE NEWMARK

- A **solução fornece o acréscimo de tensão** em um ponto situado sobre a vertical que passa em uma das arestas da **área retangular** carregada;
- No entanto, pode-se utilizar a solução para qualquer outro ponto no maciço a partir da superposição dos efeitos.

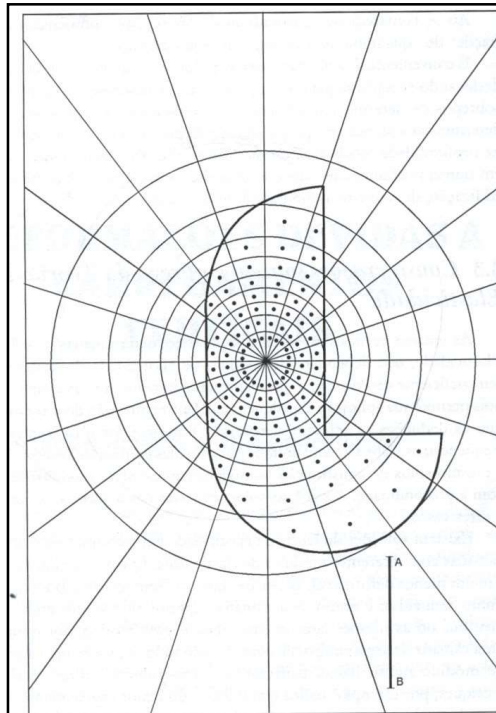


14

ÁBACO DOS “QUADRADINHOS” (NEWMARK)

- Carregamento uniforme em área de forma qualquer.
- Baseia-se na **Solução de Love**.
- Quando a área carregada é de grande extensão (infinita), o acréscimo de tensão vertical em qualquer ponto do maciço é igual à pressão aplicada na superfície.
- Pode-se dizer, então, que a tensão em um ponto é igual á somatória dos efeitos provocado por áreas parciais que cubram toda a área carregada, isto é, cada área parcial contribui com uma parcela do acréscimo de tensão.
- O método consiste em dividir a área total em pequenas áreas, de tal forma que cada área contribua igualmente para o acréscimo de tensão em um ponto.

15



ÁBACO DOS “QUADRINHOS” (NEWMARK)

Baseada na solução de Love.

16

ÁBACO DOS “QUADRADINHOS”: TRAÇADO E APLICAÇÃO

1. Em papel transparente, divide-se a área total em 10 áreas circulares concêntricas, de forma que cada área, da menor para a maior, contribua com 10, 20, 30,..., 100% da pressão aplicada, respectivamente, para o acréscimo de tensão vertical em ponto situado a uma profundidade z sobre o eixo dos círculos concêntricos;
2. Desta forma, cada anel resultante contribuirá com 10% da pressão aplicada;
3. O raio R de cada círculo é dado, para cada valor de z , pela Solução de Love:

$$\frac{\sigma_v}{\sigma_0} = f\left(\frac{R}{z}\right)$$

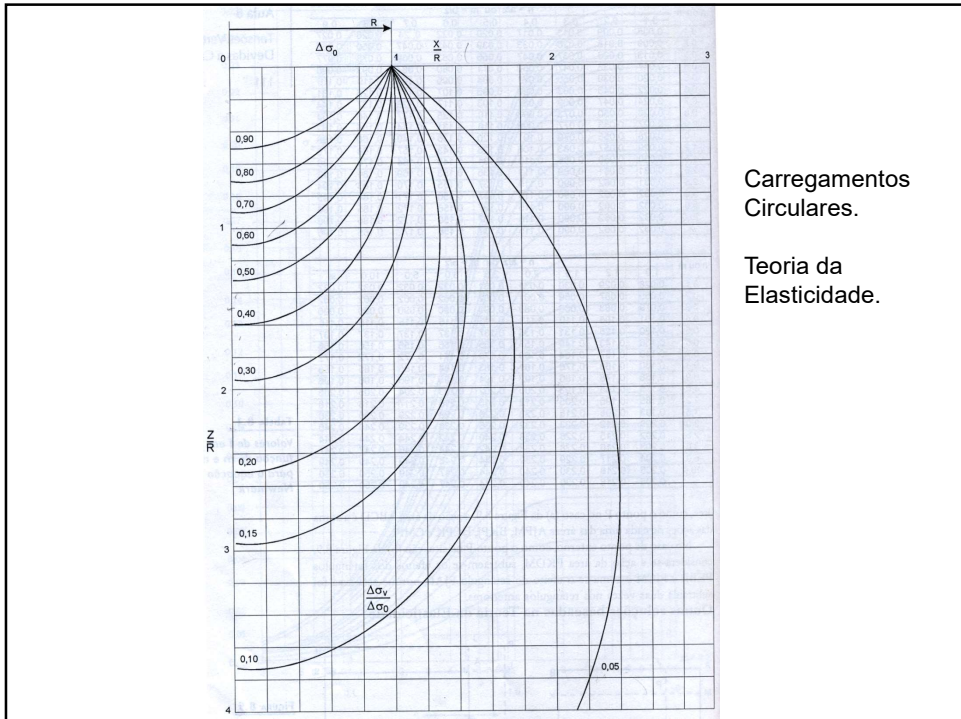
4. A escala do desenho deverá ser a mesma da planta de projeção das áreas efetivamente carregadas;
5. Cada anel é dividido em 20 setores iguais, o que produzirá um ábaco com 200 setores, cada um deles responsável por 0,5% do acréscimo de tensão no ponto situado a uma profundidade z sob o centro do ábaco..
6. Para aplicar o ábaco, sobrepõem-se os desenhos da área efetivamente carregada e do ábaco de forma a que o ponto considerado coincida com o centro do ábaco;
7. O acréscimo de tensão vertical é dado pelo produto entre a pressão aplicada, o número de setores abrangidos e o fator de influência de cada setor.

17

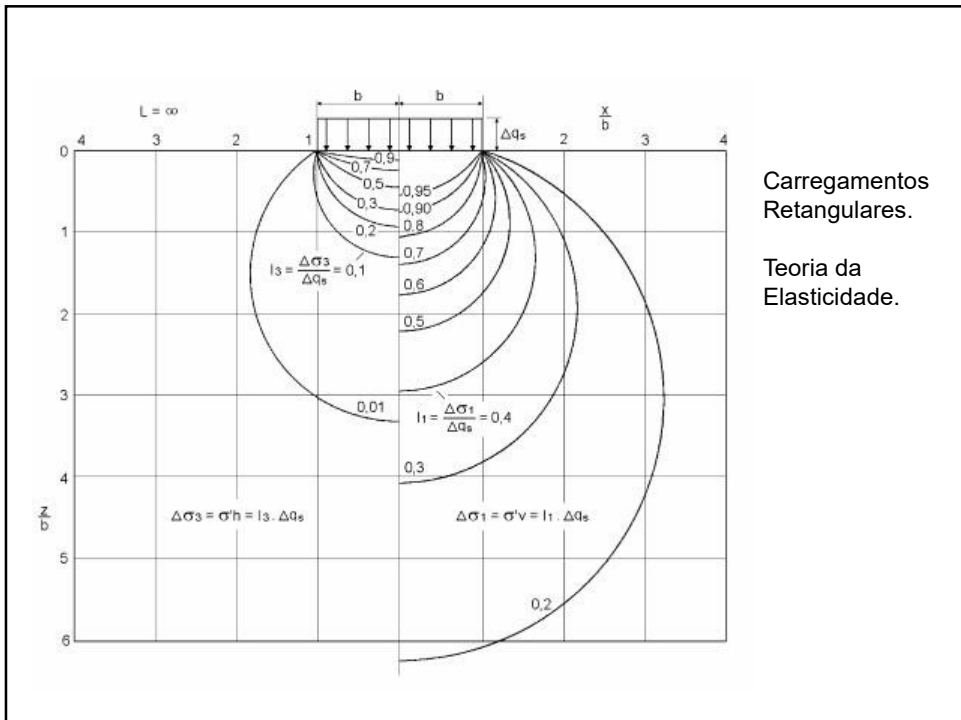
OUTRAS SOLUÇÕES ELÁSTICAS

- Carga concentrada em profundidade: Soluções de Mindlin (1936) e Antunes Martins (1945);
- Carga uniforme distribuída ao longo de uma linha horizontal de comprimento infinito: Solução de Melan (1932);
- Carga uniforme distribuída em uma faixa horizontal de comprimento infinito: Solução de Carothers-Terzaghi;
- Carga sob aterro com distribuição trapezoidal: Solução de Osterberg;
- Carga sob aterro com distribuição triangular: Solução de Carthers;
- Outras soluções: Poulos & Davis. *Elastic Solutions for Soil and Rock Mechanics*, John Wiley, 1974.

18



19



20