



## FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA ANÁLISE DE ACRÉSCIMO DE TENSÕES NO MACIÇO TERROSO, BASEADA NA TEORIA DA ELASTICIDADE, SEGUNDO NEWMARK E BOUSSINESQ

DOI: 10.37702/2175-957X.COBENGE.2024.5155

**Autores:** WILLIAM VITOR PINHEIRO DOS SANTOS MELO, DIÊGO PEREIRA LIMA, FELIPE PEREIRA CABRAL, JAILTON DE OLIVEIRA SILVA, MONAIRA CRISTIANE ALCIDES DA COSTA

**Resumo:** A Engenharia Civil possui diversas áreas de atuação, dentre elas, destaca-se a geotecnia, a qual possui entre os seus ramos a engenharia de fundações. Métodos teóricos importantes como os de Newmark e Boussinesq são abordados em sala de aula neste setor e trazem gargalos ao entendimento dos discentes, assim como dificuldades didáticas da contribuição destes assuntos no meio acadêmico. A partir disto, este trabalho visa a elaboração de uma calculadora utilizada para a determinação de acréscimos de tensões nos maciços terrosos, a partir dos métodos de Newmark e Boussinesq, facilitando a interação e entendimento destes assuntos. Por fim, destaca-se a importância de inserir modelos mais ativos de educação que contribuam para o desenvolvimento dos discentes e facilitem os meios de aprendizagem.

**Palavras-chave:** Ferramentas computacionais; Teoria da elasticidade; Geotecnia.

# FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA ANÁLISE DE ACRÉSCIMO DE TENSÕES NO MACIÇO TERROSO, BASEADA NA TEORIA DA ELASTICIDADE, SEGUNDO NEWMARK E BOUSSINESQ

## 1 INTRODUÇÃO

A Engenharia Civil é formada por diversas áreas, sejam elas relativas a projetos, gerenciamento de obras, geotecnia, estruturas dentre outras. Para que cada uma delas chegasse à excelência, ocorreram muitos estudos aprofundados em seus respectivos pontos, no qual, mesmo que a priori sejam distintos, se interligam.

Na engenharia de fundações e estruturas, embora tenham atuado em diferentes épocas, *Nathan M. Newmark* e *Joseph Valentin Boussinesq* se destacaram no ramo da pesquisa, em que Newmark foi o responsável por desenvolver métodos numéricos que modelam o comportamento dinâmico de estruturas através da solução de equações diferenciais, sendo um método de grande importância para a análise temporal de estruturas sujeitas a cargas dinâmicas, e aqui pode-se citar os terremotos. Já Boussinesq, em seus estudos, verificou melhorias e soluções para problemas na elasticidade, principalmente na distribuição de tensões em meios contínuos, como solos; através do método de Boussinesq é possível calcular a resposta do solo a cargas aplicadas, o que é de suma importância na análise de fundações.

A teoria de Boussinesq destaca-se para o estudo de tensões e deformações no solo, pois fornece uma base teórica que mostra, de forma bem explicativa, como os materiais elásticos respondem a diferentes tipos de cargas e de condições de contorno, e consegue resolver as questões das tensões geradas em qualquer local em um meio uniforme, elástico e isotrópico devido a uma carga puntiforme aplicada na superfície de um semiespaço de tamanho infinito. Para calcular as tensões causadas no meio espaço infinito da superfície, com uma carga horizontal uniformemente distribuída sobre uma superfície retangular, Newmark desenvolveu a integração da equação de Boussinesq.

De acordo com Velloso e Lopes (2010), o acréscimo de tensão pode ser determinado utilizando soluções baseadas na Teoria da Elasticidade, como por exemplo, o método de Boussinesq e Newmarq. Portanto, este trabalho visa a elaboração de uma ferramenta computacional utilizada para calcular o acréscimo de tensões no maciço terroso, tendo como referência de base estes métodos, os quais são métodos consagrados por anos e eficazes. Esta ferramenta computacional poderá ser utilizada e inserida tanto academicamente quanto profissionalmente.

## 2 METODOLOGIA

Para dar início a este trabalho foi necessária revisão bibliográfica acerca dos modelos de acréscimo de tensão mais utilizados. Portanto, foram estudadas cada uma das principais soluções e analisadas as suas características específicas as quais tornam os valores dos acréscimos distintos para cada um deles.

Além disso, foi estudado também sobre o *software* escolhido, sua funcionalidade e como poderia ser útil para o desenvolvimento deste trabalho. Foi observado que, para o bom funcionamento e acabamento das atividades possibilitadas pelo *software*, fez-se

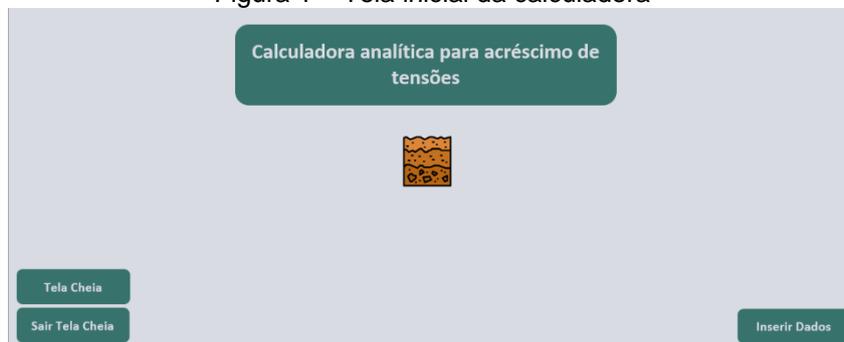
necessário estudar sobre as formulações que viriam a ser utilizadas na planilha, porém na linguagem do programa.

A fim de proporcionar facilidade em encontrar dados, e focar, principalmente, no aprendizado dos estudantes acerca do cálculo de acréscimo de tensões, foi pensado no desenvolvimento de uma interface gráfica, mais comumente conhecida por calculadora, em que mostrasse, de forma dinâmica e sucinta, os resultados a partir dos ensinamentos de Boussinesq e Newmark, interligando abas através de botões interativos.

Para que fosse realizado o desenvolvimento desta ferramenta, foi necessário que os autores analisassem qual o melhor *software* a ser utilizado, e, visando a facilidade de acesso, foi decidido utilizar o programa da *Microsoft Office*, conhecido como *Excel*.

Partindo para a interface em si, a primeira tela (Figura 1) apresentada permite que o usuário escolha se quer continuar com a calculadora em tela cheia ou se quer voltar para tela em janela, e se quer seguir para tela de dados.

Figura 1 – Tela inicial da calculadora



Fonte: Autores, 2024.

Ao clicar no botão “Inserir dados”, o usuário é direcionado para uma tela com locais próprios de adição dos dados iniciais (Figura 2).

Figura 2 – Tela de inserção de dados

Fonte: Autores, 2024.

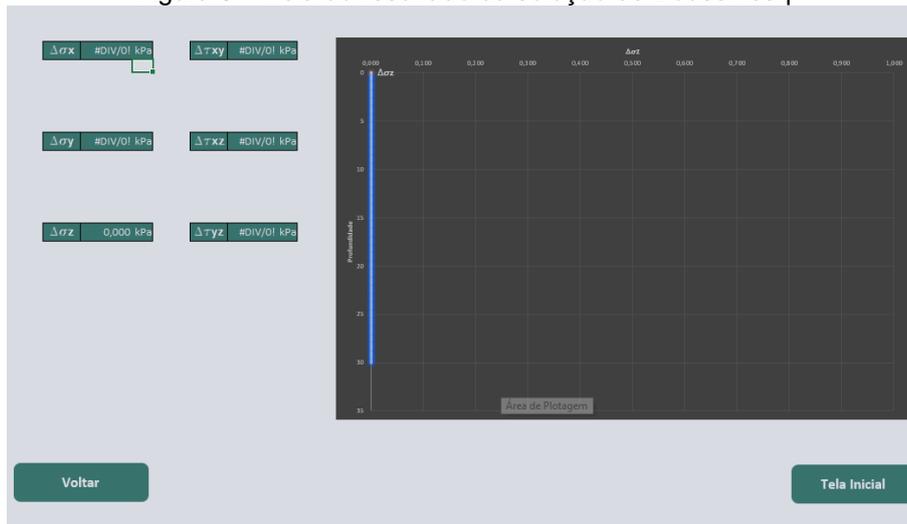
Nesta tela, estão presentes informações importantes para se obter os resultados esperados. Alguns dados são utilizados tanto na solução de Boussinesq, quanto na de Newmark, que são eles: Profundidade ( $z$ ) e a carga aplicada ( $P$ ). Já o restante dos dados é utilizado ou em uma solução ou em outra, separadamente. Um ponto importante a ser levado em consideração é que os dados colocados para utilização individual da solução de Boussinesq, por exemplo, não interferem no resultado da solução de Newmark.

Ainda na mesma tela, os usuários só podem colocar os dados nas células de cor cinza, como informado na legenda localizada no canto esquerdo da tela; as células amarelas fornecem dados obtidos a partir das informações fornecidas inicialmente pelo

usuário, os quais servirão como ferramenta para os cálculos finais. Na lateral inferior esquerda há o botão que direciona o usuário para a tela de resultado referente à solução de Boussinesq, já na lateral inferior direita o direciona para a tela de dados secundários, necessários para complementar a solução de Newmark.

Partindo para a tela de resultado de Boussinesq, Figura 3, a calculadora entrega as tensões, utilizando-se das equações (mostradas a partir da página 5), e, em conjunto, apresenta um gráfico de tensão normal resultante ( $\Delta\sigma_z$ ) por sua respectiva profundidade.

Figura 3 – Tela do resultado da solução de Boussinesq



Fonte: Autores, 2024.

Na tela de inserção de dados (Figura 2), ao clicar no botão de Newmark, a tela que aparece é onde o usuário irá colocar algumas informações secundárias, porém necessárias para chegar ao resultado esperado, ilustrada na Figura 4. Inicialmente deve ser selecionado a quantidade de retângulos da peça e quantos retângulos serão retirados; fazendo isso, serão disponibilizadas algumas células para inserção dos dados relacionados a estes.

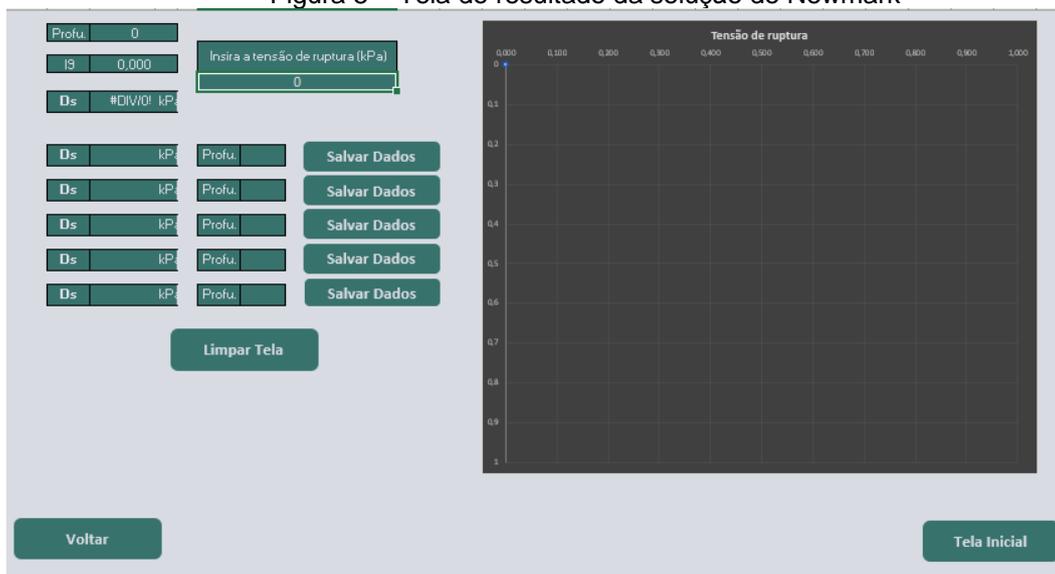
O dado “I9” é encontrado combinando as informações obtidas e buscando em um determinado gráfico, o qual é disponibilizado em livros sobre geotecnia, e é de suma importância para o resultado da solução de Newmark.

Ao clicar em “Ver Resultados”, segue-se para a tela de resultado da solução de Newmark (Figura 5), onde o usuário preenche somente a tensão de ruptura, e seleciona clicando nos botões “Salvar Dados”, para assim a calculadora mostrar o resultado graficamente.

Figura 4 – Tela do I9, para inserção dos dados secundários para Newmark

Fonte: Autores, 2024.

Figura 5 – Tela do resultado da solução de Newmark



Fonte: Autores, 2024.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 Panorama geral das soluções abordadas para as análises geotécnicas

##### ♦ Solução de Joseph Valentin Boussinesq

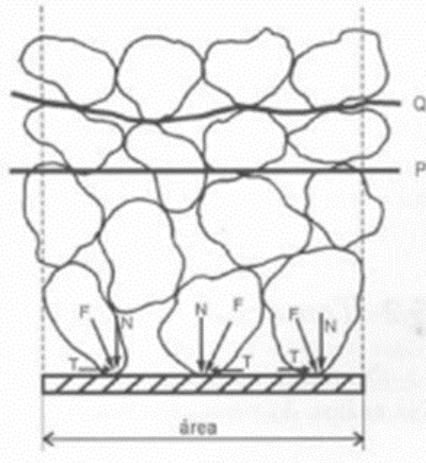
Boussinesq foi discípulo do Engenheiro Francês Saint-Venant, o qual trouxe grandes contribuições para a teoria da elasticidade, como o princípio de Saint-Venant. Foi ele que desenvolveu uma solução geral da teoria da elasticidade de meios semi-infinitos homogêneos.

Para melhor análise e entendimento dos acréscimos de tensões no solo, é de suma importância observar para o fenômeno físico das tensões no solo, e como o solo se comporta diante de uma alteração em sua constituição física sob uma carga externa a ele próprio.

Os solos são compostos por pequenas partículas, e as forças exercidas sobre elas são passadas de uma para outra, além das que são suportadas pela água presente nos vazios. A transmissão dessas forças entre as partículas é um processo bastante complexo e varia de acordo com o tipo de mineral presente. No caso das partículas maiores, como os grãos de silte e areia, em que as três dimensões são aproximadamente iguais, a transmissão das forças acontece por meio do contato direto entre os minerais. No caso das partículas de argila, as quais ficam em grande quantidade, as forças em cada contato são bastante reduzidas, o que permite a transmissão através da água quimicamente absorvida.

A comunicação ocorre nos pontos de contato e, conseqüentemente, em regiões muito limitadas em comparação com a área total relacionada. Se um corte plano fosse feito em um bloco de solo, ele cortaria grãos e espaços vazios e, apenas ocasionalmente, alguns contatos. Contudo, deve-se considerar uma possível viabilidade de inserir uma placa plana dentro do solo, como mostrado, de forma esquemática, na Figura 6.

Figura 6 – Vista, em corte, de um bloco de solo genérico.



Fonte: Pinto, 2006.

Diferentes grãos transferem energia para a placa, com isso, a energia que pode ser dividida em componentes normais e tangenciais à superfície da placa. Devido à complexidade de desenvolver modelos matemáticos com base nessas várias forças, sua interação é representada pelo conceito de tensões. A soma das componentes normais ao plano, dividida pela área total que abrange as partículas onde esses contatos acontecem, é conhecida como tensão Normal, mostrada na Equação (1):

$$\sigma = \frac{\sum N}{\text{Área}} \quad (1)$$

Além disso, tem-se, também, que com o somatório das forças tangenciais, dividido pela área, encontra-se a tensão cisalhante, como mostrada na Equação (2):

$$\tau = \frac{\sum T}{\text{Área}} \quad (2)$$

Para continuar com o entendimento da solução de Boussinesq, a análise de cada equação isoladamente, e, portanto, de suas respectivas aplicações, é indispensável, e para isso, Boussinesq analisou as cargas pontuais.

Sua solução para tensões normais resultantes da carga pontual P é dada pela Equação (3)

$$\Delta\sigma_z = \frac{3 * P}{2 * \pi} * \frac{Z^3}{L^5} \quad \text{em que} \quad L = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \quad (3)$$

Onde ( $\Delta\sigma_z$ ) é a tensão normal resultante, (P) é a carga pontual, (Z) é a profundidade a ser analisado o acréscimo de tensão vertical e (L) é a distância entre a carga pontual aplicada e um ponto específico escolhido para a análise, levando em consideração as 3 dimensões (x, y, z).

Para os demais acréscimos de tensões nos planos (x,y) e tensões cisalhantes, serão utilizadas as Equações (4), (5), (6), (7) e (8).

$$\Delta\sigma_x = \frac{3P}{2\pi} \left( \frac{x^2 z}{L^3} + \frac{1-2\nu}{3} \left[ \frac{1}{L(L+z)} - \frac{(2L+z)x^2}{L^3(L+z)^2} - \frac{z}{L^3} \right] \right) \quad (4)$$

$$\Delta\sigma_y = \frac{3P}{2\pi} \left( \frac{y^2 z}{L^3} + \frac{1-2\nu}{3} \left[ \frac{1}{L(L+z)} - \frac{(2L+z)y^2}{L^3(L+z)^2} - \frac{z}{L^3} \right] \right) \quad (5)$$

$$\Delta\tau_{xy} = \frac{3P}{2\pi} \left( \frac{xy z}{L^3} + \frac{1-2\nu}{3} \cdot \frac{(2L+z)xy}{L^3(L+z)^2} \right) \quad (6)$$

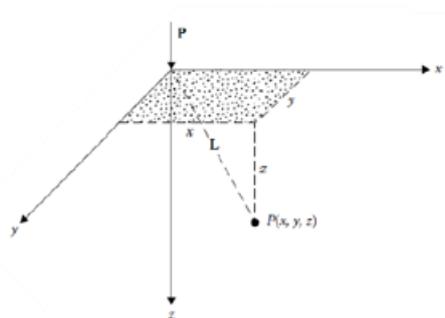
$$\Delta\tau_{xz} = \frac{3P}{2\pi} \cdot \frac{xz^2}{L^3} \quad (7)$$

$$\Delta\tau_{yz} = \frac{3P}{2\pi} \cdot \frac{yz^2}{L^3} \quad (8)$$

Onde ( $\Delta\sigma_x$ ) é o acréscimo de tensão no plano X do maciço terroso, ( $\Delta\sigma_y$ ) é o acréscimo de tensão no plano Y do maciço terroso, (P) é a carga pontual sendo aplicada externamente ao solo, ( $\Delta\tau_{xy}$ ) é o acréscimo de tensão cisalhante no plano X na direção plano Y devido ao carregamento P, ( $\Delta\tau_{xz}$ ) é o acréscimo de tensão cisalhante no plano X direção plano Z devido ao carregamento P, ( $\Delta\tau_{yz}$ ) é o acréscimo de tensão cisalhante no plano Y direção plano Z devido ao carregamento P, ( $\nu$ ) é o coeficiente de Poisson e (L) é a distância entre a carga pontual aplicada e um ponto específico escolhido para a análise, levando em consideração as 3 dimensões (x, y, z).

A Figura 7 mostra uma situação utilizada para uma melhor compreensão das equações.

Figura 7 - Situação para entendimento das equações



Fonte: Das, 2011

Com a utilização dessas equações, pode-se chegar ao valor modular (em kN) do acréscimo de tensão que a carga está causando em uma determinada profundidade Z e nas coordenadas (x,y), contanto que seja uma carga pontual P de valor fixo em kN e analisado de acordo com as exigências da teoria da elasticidade.

Porém, embora tenham sido de grande ajuda para a época em que foram formuladas, por volta de 1885, as equações não eram muito adequadas para o uso em

pavimentos. Isso por que não era possível considerar o efeito da rigidez de diferentes camadas e como seria a distribuição de tensões.

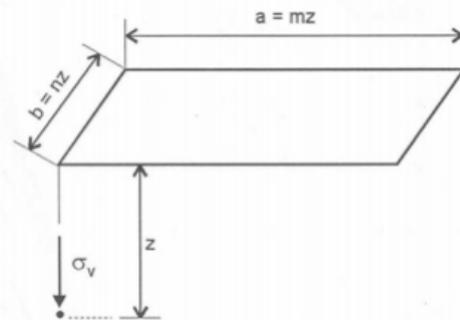
Dessa forma, as equações de Boussinesq só são aplicáveis para pavimentos em que todas as camadas tenham um módulo de elasticidade igual ou muito semelhante, portanto, suas equações são mais recomendadas para fins acadêmicos e científicos acerca do comportamento do solo sob carga vertical.

#### ♦ Solução de Nathan M. Newmark

Newmark foi um engenheiro civil e acadêmico americano com contribuição bastante relevante para os cálculos e aperfeiçoamento da parte da engenharia que estuda a dinâmica do solo e da estrutura.

Objetivando o cálculo das tensões causadas no meio espaço infinito da superfície, com uma carga horizontal uniformemente distribuída sobre uma superfície retangular, Newmark desenvolveu a integração da equação de Boussinesq. Ele determinou a tensão no ponto abaixo vertical passando pela borda da área retangular. Verificado que a solução era a mesma para as situações em que as relações entre os lados da área retangular e a profundidade eram iguais. Definiram então as seguintes relações com os parâmetros  $m$  e  $n$  conforme mostrado na Figura 8:

Figura 8 – Esquematização de Newmark



Fonte: Das, 2011

Em que:

$$m = \frac{a}{z} \quad (9)$$

$$n = \frac{b}{z} \quad (10)$$

$$\sigma_v = \frac{\sigma_0}{4 * \pi} * \left[ \frac{(2 * m * n * (m^2 + n^2 + 1)^{0,5}) * (m^2 + n^2 + 2)}{(m^2 + n^2 + 1 + m^2 * n^2) * (m^2 + n^2 + 1)} + \tan^{-1} * \frac{2 * m * n * (m^2 + n^2 + 1)^{0,5}}{m^2 + n^2 + 1 - m^2 * n^2} \right] \quad (11)$$

A equação (11) mostra como a solução da teoria de Newmark é extensa. Contudo, levando em consideração que a tensão em qualquer ponto é uma função, a expressão inteira (em colchetes) pode ser tabulada apenas com os argumentos  $m$  e  $n$ , de modo que se é mostrada pela Equação (12):

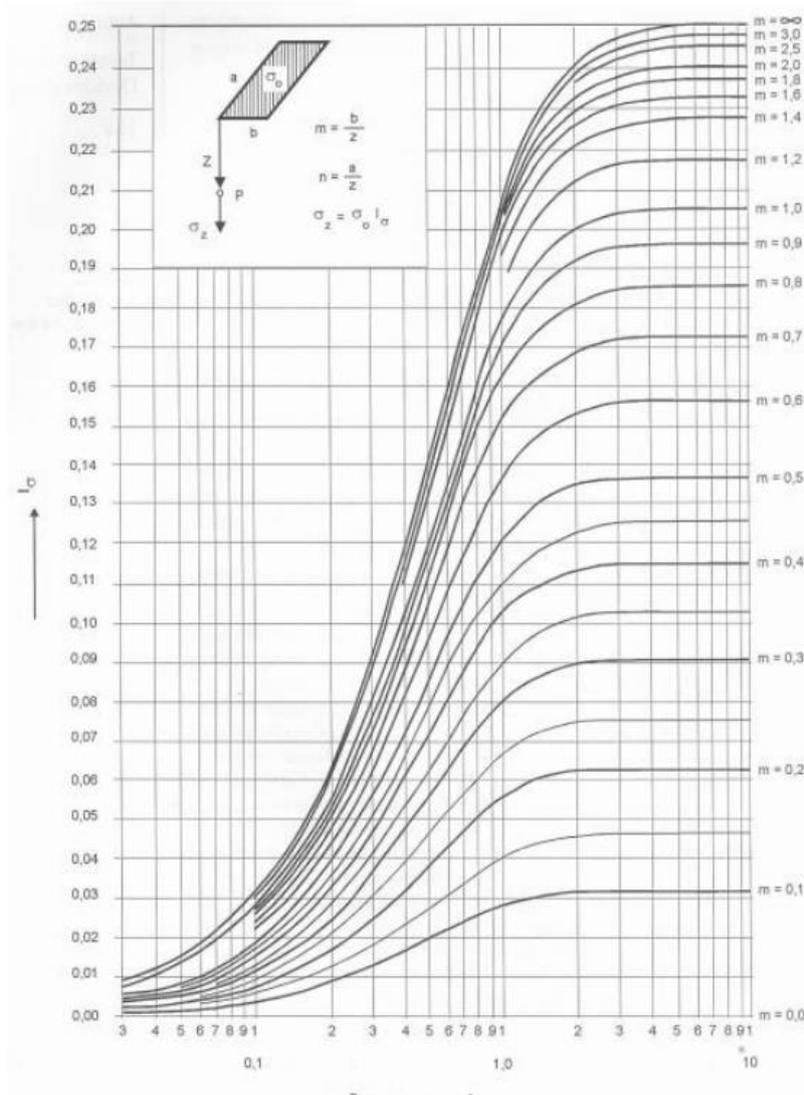
$$\sigma_v = I * \sigma_0 \quad (12)$$

Sendo  $I$  um coeficiente de influência que depende só de  $m$  e  $n$ , e que se encontra nas tabelas disponíveis em livros de geotecnia, em especial nos livros do autor Das (2011).

Através dessas tabelas, pode-se observar que o maior valor de  $I$  é 0,25, com o qual corresponde a valores de  $m$  e  $n$  muito elevados, ou seja, há situações em que as dimensões do retângulo de carregamento são muito grandes quando relacionadas com a profundidade em que se quer calcular o acréscimo da tensão, portanto, o valor 0,25 se justifica.

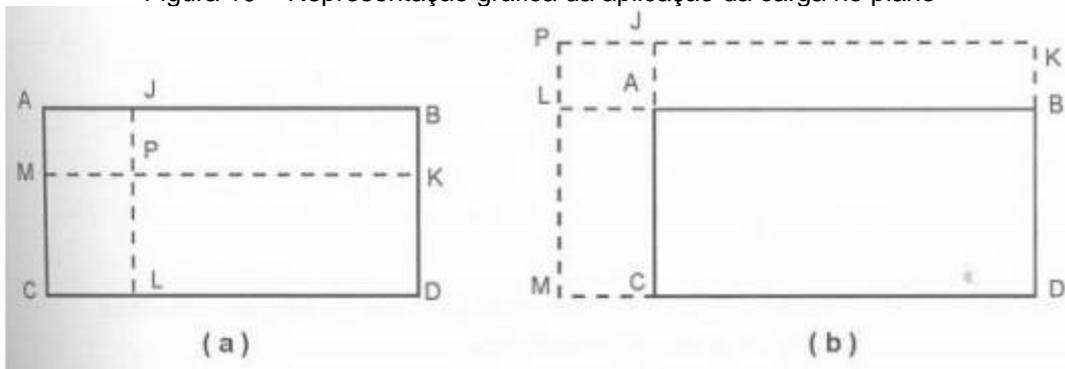
Se toda a superfície é carregada, o acréscimo de tensão em qualquer ponto é igual a tensão aplicada na superfície ( $I = 1$ ). Se o carregamento for feito em um só quadrante (um quarto da área total), o coeficiente de influência é, naturalmente, 0,25. Como a solução de Newmark se refere a um ponto na vertical pela aresta de um retângulo, nenhum carregamento isolado pode apresentar  $I > 0,25$ , o que pode ser observado pela Figura 9:

Figura 9 – Ábaco dos valores de  $I$



Fonte: Das, 2011

Figura 10 – Representação gráfica da aplicação da carga no plano



Fonte: Das, 2011

Para o cálculo do acréscimo de tensão em qualquer outro ponto, que não abaixo da aresta da área retangular, divide-se a área carregada em retângulos com uma aresta na posição do ponto considerado, e leva-se em conta, separadamente, o efeito de cada retângulo. No caso de um ponto no interior da área, como o ponto P, no caso (a) da Figura 10, a ação da área ABCD é a soma das ações de cada uma das áreas AJPM, BKPJ, DLPK e CMPL.

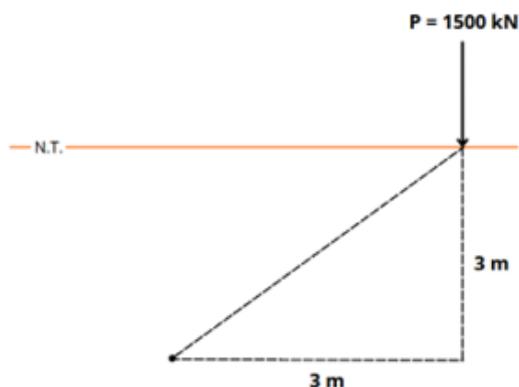
No caso de ponto externo, como o ponto P na situação (b) da Figura 10, considera-se a ação da área PKDM, subtraem-se os efeitos dos retângulos PKBL e PJCM e soma-se o efeito do retângulo PJAL, pois esta área foi subtraída duas vezes nos retângulos anteriores.

### 3.2 Aplicação da teoria na confecção da ferramenta computacional

Para um melhor entendimento da ferramenta computacional elaborada, faz-se necessária a utilização de dois exemplos, um analisando a solução de Boussinesq e outra analisando a solução de Newmark.

Para o exemplo em Boussinesq foi aplicada uma sobrecarga de 1500kN na superfície do terreno, com distância em  $x$  e  $z=3m$ , conforme Figura 11. Com essa informação, determinam-se os acréscimos de tensões devido à sobrecarga.

Figura 11 – Esquema do exemplo



Fonte: Autores, 2024.

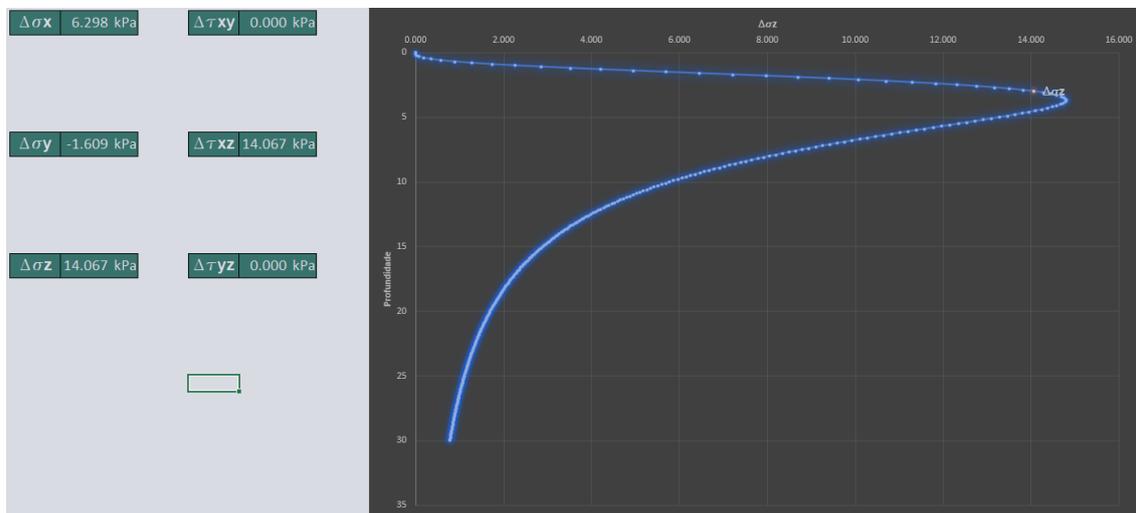
A Figura 12 mostra a interface da planilha com o preenchimento dos dados do exemplo e a Figura 13 mostra o resultado pela solução de Boussinesq,

Figura 12 –Tela de dados preenchida com as informações do exemplo

Distância da força até o ponto			Coefficiente de poisson	Força aplicada
x (m)	y (m)	z (m)	$\nu$	P (kN)
3	0	3	0	1500
Base da peça	Largura da peça	Distância de aplicação ao ponto de cálculo espacial	Distância de aplicação ao ponto de cálculo em planta	Tensão
B (m)	l (m)	L	r	q (kPa)
1	1	4,24	3,000	1500,00
<input type="button" value="Altera"/> <input type="button" value="Não altera"/>				

Fonte: Autores, 2024.

Figura 13 – Resultado da calculadora para o exemplo



Fonte: Autores, 2024.

No exemplo para a solução de Newmark, deve-se compreender um determinado terreno, onde será assentada uma placa flexível e retangular (10m x 20m) com carga de 100.000 kN. A partir disto, determina-se o acréscimo de tensão no ponto A a uma profundidade de 12 m, com dados e resultados mostrados nas Figuras 14, 15 e 16.

Figura 14 – Tela de dados preenchida com as informações do exemplo

Distância da força até o ponto			Coefficiente de poisson	Força aplicada
x (m)	y (m)	z (m)	$\nu$	P (kN)
3	0	12	0	100000
Base da peça	Largura da peça	Distância de aplicação ao ponto de cálculo espacial	Distância de aplicação ao ponto de cálculo em planta	Tensão
B (m)	l (m)	L	r	q (kPa)
10	20	12,37	3,000	500,00
<input type="button" value="Altera"/> <input type="button" value="Não altera"/>				

Fonte: Autores, 2024.

Figura 15 – Tela de dados secundários, já com as informações do exemplo

Quantidade de retângulos da peça 2	Quantidade de retângulos a retirar 2	Interação dos retângulos da peça	Interação dos retângulos a ser retirado																																
Dimensão da peça original	Dimensão da peça a retirar	<table border="1"> <tr><td>1</td><td>M</td><td>N</td><td>I9</td></tr> <tr><td></td><td>1</td><td>1,8333</td><td>0,198</td></tr> <tr><td>2</td><td>M</td><td>N</td><td>I9</td></tr> <tr><td></td><td></td><td>0,1667</td><td>0,1667</td></tr> </table>	1	M	N	I9		1	1,8333	0,198	2	M	N	I9			0,1667	0,1667	<table border="1"> <tr><td>1</td><td>M</td><td>N</td><td>I9</td></tr> <tr><td></td><td>0,1667</td><td>1,8333</td><td>0,051</td></tr> <tr><td>2</td><td>M</td><td>N</td><td>I9</td></tr> <tr><td></td><td>1</td><td>0,1667</td><td>0,046</td></tr> </table>	1	M	N	I9		0,1667	1,8333	0,051	2	M	N	I9		1	0,1667	0,046
1	M	N	I9																																
	1	1,8333	0,198																																
2	M	N	I9																																
		0,1667	0,1667																																
1	M	N	I9																																
	0,1667	1,8333	0,051																																
2	M	N	I9																																
	1	0,1667	0,046																																
<table border="1"> <tr><td>B (m)</td><td>L (m)</td></tr> <tr><td>1</td><td>12</td></tr> <tr><td>2</td><td>2</td></tr> </table>	B (m)	L (m)	1	12	2	2	<table border="1"> <tr><td>B (m)</td><td>L (m)</td></tr> <tr><td>1</td><td>2</td></tr> <tr><td>2</td><td>12</td></tr> </table>	B (m)	L (m)	1	2	2	12																						
B (m)	L (m)																																		
1	12																																		
2	2																																		
B (m)	L (m)																																		
1	2																																		
2	12																																		
I9    0,114																																			
Limpar																																			

Fonte: Autores, 2024.

Figura 16 – Resultado da calculadora para o exemplo

Profu.	12	Insira a tensão de ruptura (kPa)
I9	0.114	
$\Delta\sigma$	57.115 kPa	
		10

Fonte: Autores, 2024.

Ressalta-se que a partir deste exemplo, só foi analisado os dados referentes a um ponto, não mostrando assim a comparação e destaca-se que para determinação do resultado em gráfico, da solução de Newmark, seria preciso vários pontos e dados para que haja a comparação dessas informações.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante da grande dificuldade de visualização e interpretação de análises de tensões no solo por parte de alunos de engenharia civil, juntamente com o comportamento do solo sob cargas externas a ele, foi possível, através da elaboração dessa calculadora, auxiliar na compreensão desses conteúdos acadêmicos, e auxiliar, ainda, professores da área geotécnica a passar tais conteúdos de forma mais clara e forma didática.

Deve-se dar o devido mérito aos métodos teóricos oriundos das pesquisas de *Nathan M. Newmark* e *Joseph Valentin Boussinesq* e a contribuição de ambos para o ramo da geotecnia, principalmente visto que estes métodos ainda se aplicam nos dias atuais. Por fim, destaca-se a importância do uso de ferramentas que desenvolvam a praticidade no meio acadêmico, inserindo outras formas de interação com o conteúdo abordado, principalmente com assuntos mais teóricos em que os discentes possuem certa limitação em unir com a prática.

## REFERÊNCIAS

ESTRUTURAS I: Conceitos básicos da teoria da elasticidade. *In*: BARROS, Joaquim. **CONCEITOS FUNDAMENTAIS DA TEORIA DA ELASTICIDADE**. [S. l.: s. n.], cap. 2.

Das, Braja M. Fundamentos de engenharia geotécnica / Braja M. Das tradução EZ2Translate revisão técnica Leonardo R. Miranda. -- São Paulo : Cengage Learning, 2011. Título original: Principles of geotechnical engineering. Tradução da 7. ed. americana. Bibliografia. ISBN 978-85-221-1112-1.

GERSCOVICH , Denise. **Tensões em solos**. PGECIV: [s. n.], 2008. 83 p.

NOTAS de Aula de Geotecnia I. *In*: CAPOS, Marco. **TENSOES VERTICAIS DEVIDAS A CARGAS APLICADAS NA SUPERFÍCIE DO TERRENO**. [S. l.: s. n.], cap. VI.

PINTO, C. S. Curso básico de mecânica dos solos. 3. ed. São Paulo - SP: Oficina de Textos, 2006. 355p.

VELLOSO, D. A.; LOPES, F. R. Fundações. Rio de Janeiro: Oficina de Textos, 2010. 226 p.

VIANA, Helio. **Notas de aulas de Mecânica dos Solos II (parte 2)**, PGECIV, p. 1-40, 28 maio 2010. Disponível em: <<https://engcivil20142.wordpress.com/wp-content/uploads/2017/02/notas-de-aulas-parte-2-mec-solos-ii.pdf>>. Acesso em: 10 maio 2024.

## COMPUTATIONAL TOOL FOR ANALYSIS OF STRESS ADDITION IN THE EARTH MASS, BASED ON THE THEORY OF ELASTICITY THROUGH NEWMARK AND BOUSSINESQ SOLUTIONS

**Abstract:** Civil Engineering has several areas of activity, among which geotechnics stands out, which includes foundation engineering among its branches. Important theoretical methods such as those of Newmark and Boussinesq are addressed in the classroom in this sector and bring bottlenecks to students' understanding, as well as didactic difficulties in the contribution of these subjects in the academic environment. Based on this, this work aims to develop a calculator used to determine increases in tension in earth masses, based on the methods of Newmark and Boussinesq, facilitating the interaction and understanding of these matters. Finally, the importance of including more active models of education that contribute to the development of students and facilitate the means of learning is highlighted.

**Keywords:** Computational tools; Elasticity theory; Geotechnics.

