

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ESTRUTURAS  
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS

**ESTUDO DE UM PISO SOBRE FLUTUADORES  
USANDO APOIOS ELÁSTICOS**

TÚLIO HENRIQUE COSTA SOARES

## ÍNDICE

| <u>ITEM</u> | <u>DESCRIÇÃO</u>      | <u>FOLHA</u> |
|-------------|-----------------------|--------------|
| 1           | OBJETIVO              | 3            |
| 2           | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 3            |
| 3           | DESENVOLVIMENTO       | 8            |
| 4           | CONCLUSÃO             | 19           |
| 5           | BIBLIOGRAFIA ADOTADA  | 21           |

## 1 OBJETIVO

Esse trabalho tem como objetivo comparar os esforços e deslocamentos nas barras de uma passarela apoiada em flutuadores, de acesso a uma balsa. O estudo considerará que a estrutura, apoiada junto aos flutuadores através de ligações aparafusadas, foi simulada com apoios rígidos em uma primeira simulação. Em uma segunda análise estas ligações serão substituídas por apoios de mola. O valor da constante de mola será função das dimensões e do material utilizado nos flutuadores.

Para isso será utilizado o programa de análise em elementos finitos SAP2000, onde a estrutura da passarela será modelada e os carregamentos apropriados e condições de contorno serão aplicados.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Elemento de Mola

Um tipo de elemento que relaciona força com deformação recebe a denominação de mola. Dentro dos estudos que envolvem o método dos elementos finitos este é o elemento de formulação mais simples. Porém, ele traz consigo os fundamentos que constituem a base das análises matriciais das estruturas e suas rotinas para a implementação de um método computacional de resolução envolvendo elementos finitos.

Uma mola linear unidirecional é aquela que obedece à Lei de Hooke e resiste às forças em sua direção, conforme mostrado na Figura 1. Os pontos 1 e 2 estão localizados nos extremos do elemento e são chamados de nós. As forças nodais locais são  $f_1$  e  $f_2$  e atuam na direção do eixo  $x$ . Esse eixo permite que se determinem os valores das forças e deslocamentos dos nós de forma direta. Os deslocamentos nodais são  $u_1$  e  $u_2$  e também são referenciados pelo eixo  $x$ . O símbolo  $k$  é chamado de constante de mola ou de rigidez da mola. Sua variação de acordo com a força aplicada sobre a barra e a deformação ocorrida é visualizada na Figura 2.

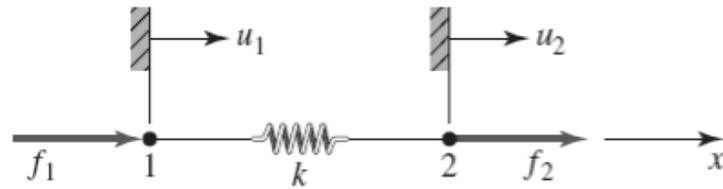


Figura 1: Representação vetorial de forças e deslocamentos de uma mola

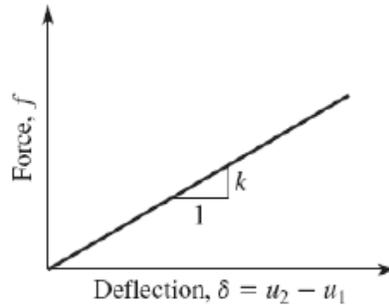


Figura 2: Variação da constante de uma mola

Quando a mola é usada para representar uma barra que sofre uma pequena deformação podemos considerar a relação força-deformação como sendo linear  $f = k \cdot u$ , onde  $k$  é a rigidez da mola na direção da força aplicada nesse ponto.

Segundo Logan (2007), dentro do conceito de relacionar força com deformação, a mola pode assumir comportamentos de:

- Barra uniaxial: onde a constante de mola é dada por  $k = \frac{EA}{L}$ , onde  $E$  é o módulo de elasticidade do material da barra,  $A$  representa a seção transversal da barra e  $L$  o seu comprimento.
- Barra de torção: onde a constante de mola é dada por  $k = \frac{GJ}{L}$ , onde  $G$  é o módulo de cisalhamento do material,  $J$  o momento polar de inércia da barra e  $L$  o seu comprimento.

- Viga engastada em uma extremidade: onde a constante de mola é dada por  $k = \frac{3EI}{L^3}$ , onde E é o módulo de elasticidade do material da viga, I é o momento de inércia da seção transversal do elemento e L seu comprimento.
- Viga simplesmente apoiada: onde a constante de mola é dada por  $k = \frac{48EI}{L^3}$ .

Além destes exemplos, o conceito de mola pode ser aplicado na transferência de calor unidirecional, onde k representa a condutividade térmica do material, assim como no estudo do fluxo de fluidos unidimensionais através de poros, sendo k neste caso a representação do coeficiente de permeabilidade do material.

No estudo de estruturas apoiadas sobre apoios flexíveis, pode-se relacionar a força com o deslocamento medido na direção da força e estabelecer a rigidez deste apoio. É o caso de vigas apoiadas diretamente no solo, onde o solo que se deforma por ações de cargas podendo ser substituído por molas elásticas com rigidez adequada. O caso de passarelas apoiadas sobre flutuadores também pode ser modelado como uma estrutura apoiada sobre molas. Neste caso, a rigidez da mola estará relacionada ao empuxo exercido sobre os flutuadores em função do seu afundamento.

No estudo da matriz de rigidez de uma mola, o componente elástico pode ser isolado da estrutura a qual ele está inserido e ter seu comportamento físico estudado através do diagrama de corpo livre. Para o elemento de mola são identificados dois componentes de força e dois de deslocamento.

De acordo com Avelino (2012), após a determinação da condição de equilíbrio para o elemento, obtido através do diagrama de corpo livre (ver Fig. 1), pode-se dar um tratamento matricial à força e aos deslocamentos que compõem o mesmo, determinando assim sua matriz de rigidez:

$$\begin{bmatrix} k & -k \\ -k & k \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} f_1 \\ f_2 \end{Bmatrix}$$

Na matriz de rigidez do elemento finito, o coeficiente  $k$  representa as forças associadas a um deslocamento unitário imposto em um nó, mantendo o outro nó com deslocamento nulo (bloqueado). Dessa forma pode-se generalizar a partir do elemento de mola o significado físico da matriz de rigidez de qualquer elemento finito.

O entendimento à fundo de como trabalha o elemento de mola é importante no desenvolvimento dos estudos dos elementos finitos, pois os conceitos aplicados a ele são usados em outros tipos de elementos mais complexos.

## 2.2 Elemento de Grelha

Um dos elementos bidimensionais mais usados em análises que envolvem a aplicação do método dos elementos finitos é o elemento do tipo grelha. Logan (2007), caracteriza a grelha como um sistema estrutural reticulado composto por barras e que possui carregamento(s) perpendicular(es) ao seu plano, incluindo momentos em torno dos eixos dos planos.

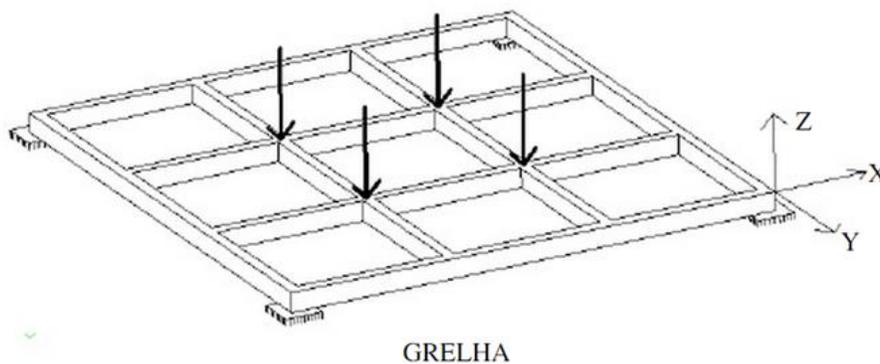


Figura 3: Exemplo de uma estrutura de grelha

Os apoios de uma grelha apresentam apenas uma componente de força (perpendicular ao reticulado de barras) e duas componentes de momento. Na Figura 4 pode-se observar os eixos globais, cargas, reações e deslocamentos de uma grelha qualquer.

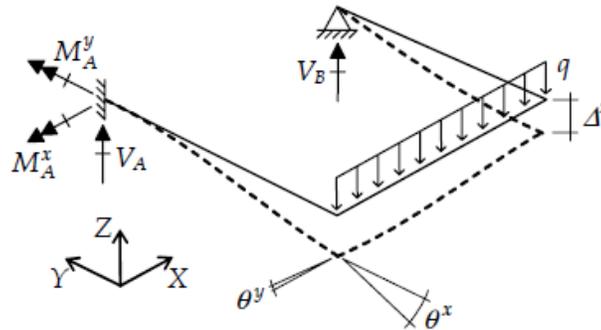


Figura 4: Representação vetorial de forças e deslocamentos de uma grelha

Por hipótese, uma grelha não apresenta deslocamentos dentro do seu plano. A Figura 4 indica a configuração deformada da grelha (de forma exagerada), que apresenta as seguintes componentes de deslocamento e rotações:

$\Delta^z$  : deslocamento na direção do eixo global Z;

$\theta^x$ : rotação em torno do eixo global X;

$\theta^y$ : rotação em torno do eixo global Y.

Em geral, as ligações entre as barras de uma grelha são rígidas, mas é possível que ocorram articulações. Uma ligação articulada de barras de grelha pode liberar apenas uma componente de rotação ou as duas componentes.

Os esforços internos de uma barra de grelha são exibidos na Figura 5, juntamente com a convenção adotada para os eixos locais de uma barra de grelha. São três os esforços internos:

$Q = Q_z$  : esforço cortante (esforço interno transversal) na direção do eixo local z;

$M = M_y$  : momento fletor (esforço interno de flexão) em torno do eixo local y;

$T = T_x$  : momento de torção (esforço interno de torção) em torno do eixo local x.

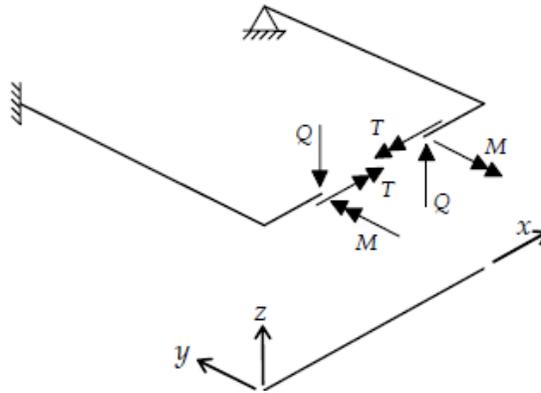


Figura 5: Esforços internos do elemento de grelha

Com a verificação das reações nos apoios e momentos fletores nas extremidades de uma grelha é possível formar a matriz de rigidez de uma grelha, que é dada por:

$$K_M = \begin{bmatrix} \frac{GJ_p}{L} & 0 & 0 & -\frac{GJ_p}{L} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{4Ey}{L} & -\frac{6Ey}{L^2} & 0 & \frac{2Ey}{L} & \frac{6Ey}{L^2} \\ 0 & -\frac{6Ey}{L^2} & \frac{12Ey}{L^3} & 0 & -\frac{6Ey}{L^2} & -\frac{12Ey}{L^3} \\ -\frac{GJ_p}{L} & 0 & 0 & \frac{GJ_p}{L} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{2Ey}{L} & -\frac{6Ey}{L^2} & 0 & \frac{4Ey}{L} & \frac{6Ey}{L^2} \\ 0 & \frac{6Ey}{L^2} & -\frac{12Ey}{L^3} & 0 & \frac{6Ey}{L^2} & \frac{12Ey}{L^3} \end{bmatrix}$$

Os termos com  $GJ_p$  são os termos que representam a rigidez à torção das barras de grelha. Os demais termos referem-se à rigidez à flexão da barra.

### 3 DESENVOLVIMENTO

Para este trabalho a passarela foi modelada no programa SAP2000, onde foram definidos os perfis que a compõe, aplicadas as condições de contorno e carregamentos adequados. O cálculo da constante de mola usada nos apoios foi feita de forma manual e será demonstrado adiante.

A estrutura da passarela tem como funções permitir o acesso à uma balsa de dragagem em uma bacia de sedimentos e também serve como anteparo da tubulação da água dragada pela balsa. A estrutura completa da passarela possui vários módulos idênticos montados em sequência. Usualmente os módulos são constituídos por apenas um vão, apoiado nas extremidades em flutuadores. Alternativamente, pode-se usar passarela de dois vãos definindo um apoio central, ficando a estrutura hiperestática. Neste caso, a utilização de apoios elásticos altera os resultados da análise quando comparados com os obtidos com apoios rígidos. Este será o caso avaliado neste trabalho.

### 3.1 Modelo Computacional

O módulo típico da passarela tem vinte metros de comprimento por um metro de largura e é formado por dois tipos de perfis de aço:

- Duplo U 203,2 x 111,2 x 9,6 x 6,35 mm dispostos longitudinal e transversalmente na estrutura.
- Cantoneira de abas iguais L 63,5 x 6,35 mm posicionadas nas diagonais dos vãos.

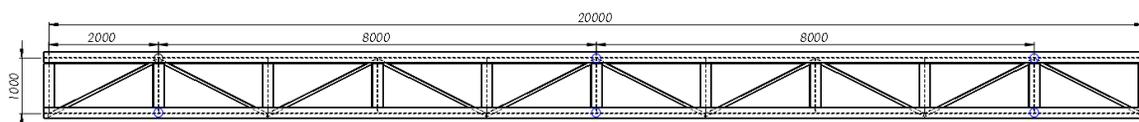


Figura 6: Dimensões básicas da passarela em planta

Cada módulo possui três pares de apoios, um no centro da estrutura e os outros a dois metros das extremidades. Para cada um destes há um flutuador para que a estrutura se apoie neles. A ligação entre passarela e flutuadores restringe apenas o movimento na vertical, ficando a estrutura livre quanto aos deslocamentos horizontais e rotações que possam surgir devido aos carregamentos.

Na Figura 7, em vermelho, estão destacados os pontos em que a passarela se apoiará sobre os flutuadores.

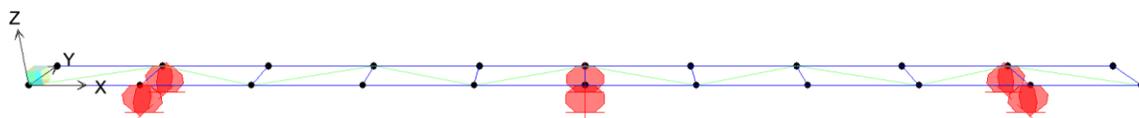


Figura 7: Passarela modelada no programa SAP2000

Após a determinação dos perfis a serem utilizados na passarela e estabelecimento das condições de contorno previstas, foram aplicados os carregamentos sobre os nós :

- Sobrecarga de piso: carregamento de 300 kgf/m<sup>2</sup> sobre a estrutura. Este valor garante que durante a passagem de pessoas e em caso de acúmulo de material a passarela não entre em colapso. Este carregamento resulta nas cargas nodais indicadas na Fig. 8.

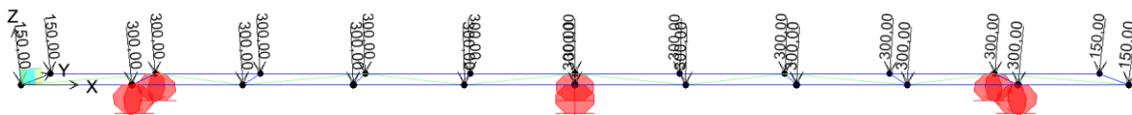


Figura 8: Carga de piso aplicada sobre a estrutura

- Tubulação: está previsto que duas tubulações de diâmetro nominal de 150 mm sejam apoiadas na passarela. O peso de cada um dos tubos cheios de água é de 137 kgf/m, resultando no carregamento nodal indicado na Fig. 9.

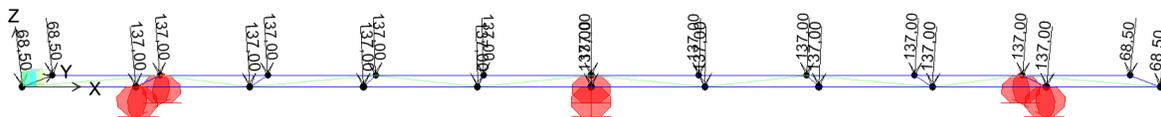


Figura 9: Carga da tubulação aplicada sobre a estrutura

- Peso próprio do piso e de guarda-corpos: o piso será de chapa expandida que possui peso próprio de 23 kgf/m<sup>2</sup> e os guarda corpos pesam 23 kgf/m, cujas cargas nodais são representadas na Fig. 10.

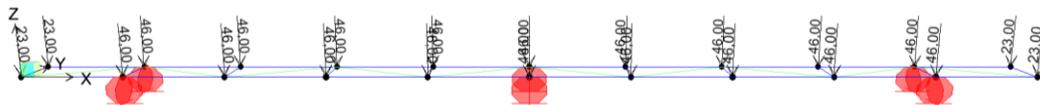


Figura 10: Carga dos guarda corpos aplicada sobre a estrutura

Além destes carregamentos foi considerado automaticamente o peso próprio da estrutura, que representa uma carga de 1.469 kgf.

Os flutuadores foram modelados à parte utilizando o programa Ansys. Tratam-se de corpos cilíndricos feitos em aço, com parede do costado de espessura de 4,76 mm e as tampas com espessura de 6,35 mm. Possuem diâmetro de 1,860 m e comprimento de 4,287 m. Seu peso estimado é de 1.532 kgf.

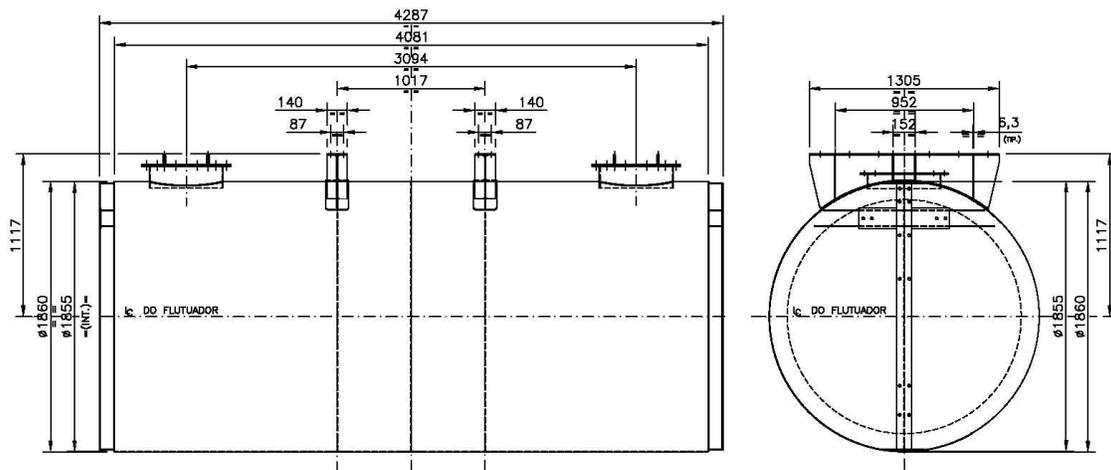


Figura 11: Dimensões básicas do flutuador

Em sua construção o flutuador terá câmaras internas que permitirão a adição ou remoção de lastro conforme a necessidade durante sua utilização. Essa medida visa manter o flutuador em equilíbrio estável. Neste estudo, como simplificação, os equilíbrios dos flutuadores serão considerados sempre estáveis, não sendo considerada a utilização de lastro.

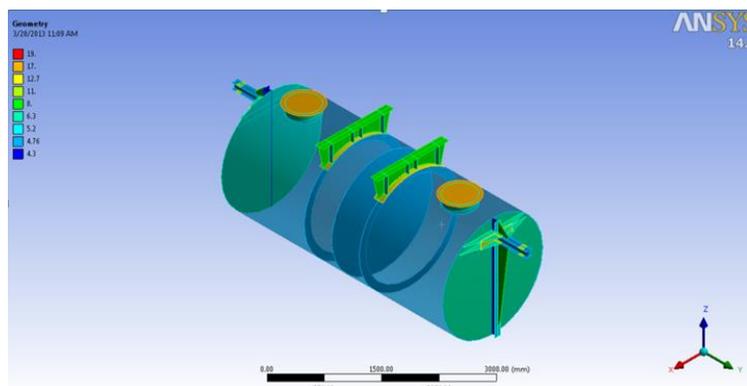


Figura 12: Modelo do flutuador

### 3.2 Cálculo da Constante de Mola

Para determinação da constante de mola a ser usada na simulação no programa SAP2000 foram feitas algumas considerações. São essas:

- Serão utilizadas duas constantes de mola: uma para os apoios no flutuador central e outra para as molas apoiadas nos flutuadores nas extremidades. Isso se deve ao fato de haver diferença entre a carga sustentada pelos apoios. Os do centro suportam mais peso em função da distribuição dos apoios, que se fez de acordo com a área de influência de cada apoio sobre a estrutura. O valor da constante de mola será definido em função do afundamento do flutuador.
- Serão consideradas como cargas para a determinação das constantes de molas – ou seja, cargas para definir o afundamento do flutuador - o peso próprio da estrutura, o peso dos guarda-corpos, o peso das chapas de piso e o peso próprio do flutuador.
- A carga relativa à tubulação e à sobrecarga de piso serão aplicadas para determinar o deslocamento da estrutura apoiada em molas.
- Na determinação da constante de mola será calculado o valor da corda ( $c$ ) que representará a largura da seção do flutuador a ser afundada quando carregado com o peso próprio da estrutura. Esse valor será calculado através da área do segmento circular visto na Figura 13. Simplificadamente, a constante de mola será calculada considerando-se que, para cargas adicionais (sobrecargas de serviço), o flutuador mobilizará empuxo com afundamento de uma seção constante de largura igual à corda ( $c$ ) calculada e seu comprimento.
- Devido à diferença entre a geometria do volume calculado e o volume real do flutuador, a constante de mola será majorada em 20% do seu valor estabelecido. Essa diferença pode ser visualizada na Figura 14.

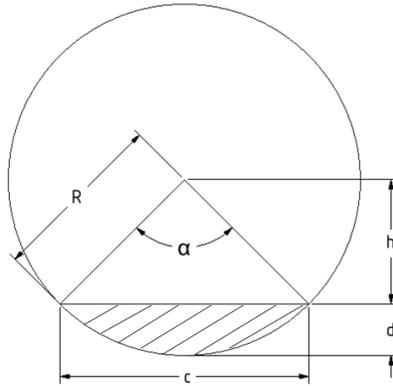


Figura 13: Setor circular

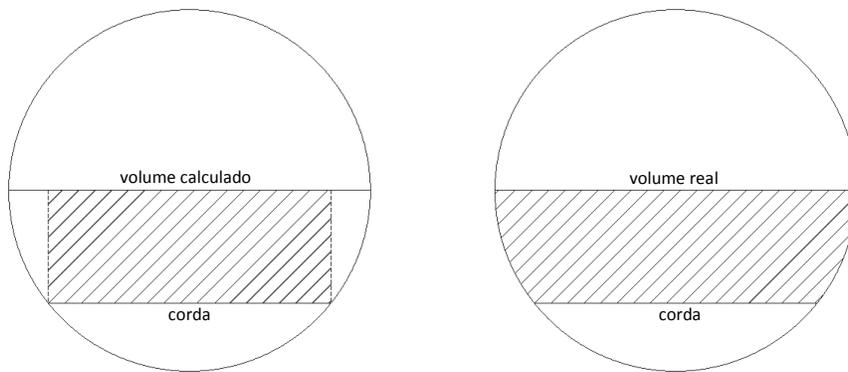


Figura 14: Volumes calculado e real

Área do setor circular:

$$A_{set} = R^2 \frac{\alpha}{2}$$

Área da porção triangular do setor circular:

$$A_{triang} = R \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) R \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) = R^2 \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)$$

Área do segmento circular dada pela subtração da área do setor circular pela porção triangular:

$$A_{seg} = R^2 \left[ \left(\frac{\alpha}{2}\right) - \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) \right]$$

- Para a constante de mola do apoio central:

Considerando o peso próprio do flutuador mais a carga obtida pela área de influência da passarela na região central temos:

$$(1.532 + 1.280) = A_{seg} \cdot 4,287 \cdot 1.000$$

$$\frac{2.812}{4,287 \cdot 1.000 \cdot 0,93^2} = \left[ \left( \frac{\alpha}{2} \right) - \text{sen} \left( \frac{\alpha}{2} \right) \cdot \text{cos} \left( \frac{\alpha}{2} \right) \right]$$

$$\left[ \left( \frac{\alpha}{2} \right) - \text{sen} \left( \frac{\alpha}{2} \right) \text{cos} \left( \frac{\alpha}{2} \right) \right] = 1,517$$

O valor do ângulo  $\alpha$  em graus que iguala a expressão foi encontrado através de planilha eletrônica e é de  $130,490^\circ$ .

Tendo o valor do ângulo pode-se encontrar o valor da corda (c):

$$c = R\sqrt{2 - 2\cos\alpha} \qquad c = 0,930\sqrt{2 - 2\cos(130,490^\circ)} = 1,689$$

A constante de mola ( $k_1$ ) para o apoio central é obtida através da expressão:

$$k_1 = c \cdot L_{flut} \cdot \gamma_{\acute{a}gua} \qquad k_1 = 1,689 \cdot 4,287 \cdot 1.000 = 7.240 \text{ kgf/m}$$

Majorando esta constante em 20%, temos que  $k_1$  é 8.688 kgf/m. Porém como são utilizadas duas molas em paralelo por flutuador, esse valor deverá ser dividido pela metade ficando o valor da constante  $k_1$  em 4.344 kgf/m para cada mola.

- Para a constante de mola dos apoios das extremidades:

Considerando o peso próprio do flutuador mais a carga obtida pela área de influência da passarela na região das extremidades temos:

$$(1.532 + 684) = A_{seg} \cdot 4,287 \cdot 1000$$

$$\frac{2.216}{4,287 \cdot 1.000 \cdot 0,93^2} = \left[ \left( \frac{\alpha}{2} \right) - \text{sen} \left( \frac{\alpha}{2} \right) \cos \left( \frac{\alpha}{2} \right) \right]$$

$$\left[ \left( \frac{\alpha}{2} \right) - \text{sen} \left( \frac{\alpha}{2} \right) \cos \left( \frac{\alpha}{2} \right) \right] = 1,196$$

O valor do ângulo  $\alpha$  em graus que iguala a expressão foi encontrado através de planilha eletrônica e é de  $118,812^\circ$ .

Tendo o valor do ângulo pode-se encontrar o valor da corda (c):

$$c = R\sqrt{2 - 2\cos\alpha} \qquad c = 0,930\sqrt{2 - 2\cos(118,812^\circ)} = 1,601$$

A constante de mola ( $k_2$ ) para os apoios das extremidades é obtida através da expressão:

$$k_2 = c \cdot L_{flut} \cdot \gamma_{\text{água}} \qquad k_2 = 1,601 \cdot 4,287 \cdot 1.000 = 6.864 \text{ kgf/m}$$

Majorando esta constante em 20%, temos que  $k_1$  é 8.237 kgf/m. Porém como são utilizadas duas molas em paralelo por flutuador, esse valor deverá ser dividido pela metade ficando o valor da constante  $k_2$  em 4.118 kgf/m para cada mola.

### 3.3 Apresentação dos Resultados

Com os carregamentos e condições de contorno aplicadas foram realizadas as simulações no programa SAP2000. Os resultados estão descritos a seguir:

- Deformação:

A estrutura que possui apoios rígidos, como era de se esperar, apresentou deslocamento zero nos pontos de apoio e nas extremidades a deformação foi de 0,372 cm na direção do eixo Z. No meio do vão entre os apoios o valor foi de -0,678 cm na mesma direção.

Quando analisada a passarela sobre apoios de molas, os valores encontrados foram bem diferentes. O deslocamento relativo entre o centro da estrutura e sua extremidade foi de 7,564 cm e entre o centro e os demais apoios de mola foi de 5,230 cm, sendo o centro o ponto com o maior deslocamento na passarela. A diferença entre os apoios das laterais da passarela e as extremidades foi de 2,334 cm.

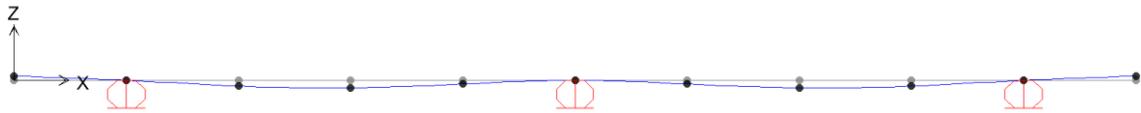


Figura 15: Passarela com apoios rígidos deformada

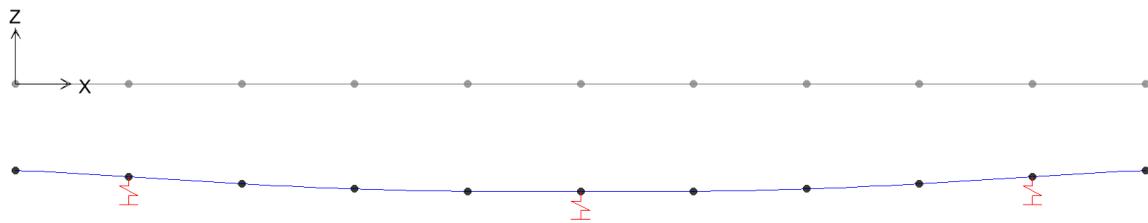


Figura 16: Passarela apoiada em molas deformada

- Reações de Apoio:

As reações de apoio possuem resultados diferentes entre as estruturas simuladas. Os valores das reações de apoio nas molas são mais próximas entre si, uma vez que no centro são de 1.658 kgf e nos demais 1.356 kgf, quando comparados com os apoios rígidos, onde no centro é de 1.994 kgf e nos demais de 1.188 kgf.

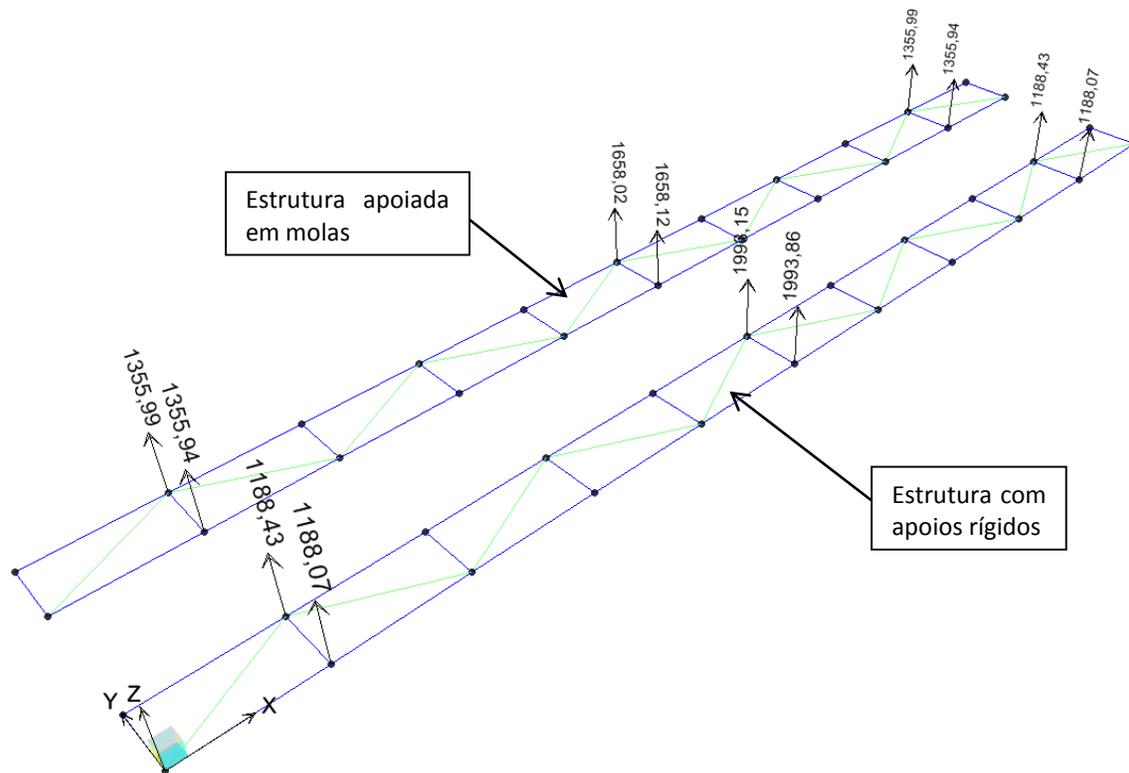


Figura 17: Reações de apoio

- Momento Fletor: os momentos fletores atuantes nas estruturas possuem variação em seus valores máximos e mínimos. O momento negativo máximo (em vermelho nas Figuras 18 e 19) que ocorre no apoio central da estrutura com apoios rígidos apresenta o valor de  $-1.417$  kgf·m enquanto nos outros apoios é de  $-436$  kgf·m. Já na passarela apoiada por molas o valor é de  $-76$  kgf·m no centro e de  $-436$  kgf·m nos demais.

Já os valores dos momentos positivos (em azul nas Figuras 18 e 19) apresentam o valor máximo de  $820$  kgf·m na estrutura com ligação rígida. Na estrutura apoiada por molas o maior valor é de  $1.490$  kgf·m.

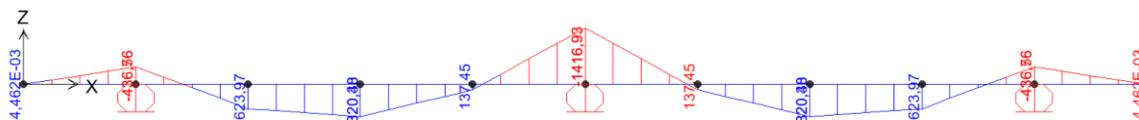


Figura 18: Momentos fletores na passarela com apoios rígidos

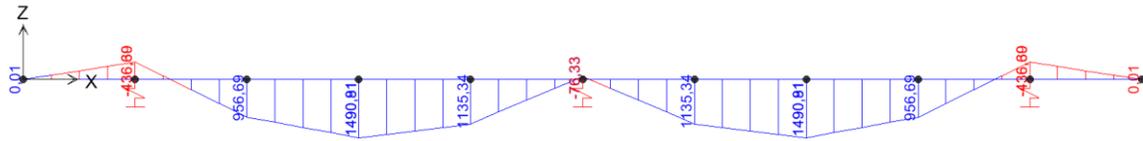


Figura 19: Momentos fletores na passarela apoiada em molas

Para verificar se o valor da constante de mola está coerente com a realidade, pode-se comparar o valor do deslocamento obtido através do programa SAP2000, que utilizou-se do volume do flutuador com largura fixa, com o deslocamento real obtido através da altura da seção circular submersa do flutuador. Para isso deve-se calcular inicialmente o valor da altura afundada causada apenas pelos pesos próprios do flutuador e da passarela. Será usado o flutuador com o maior carregamento, que no caso deste trabalho é o central.

A altura afundada inicial é dada pela expressão abaixo. Como já sabe-se que o raio do flutuador é de 0,930 m e a corda inicial é de 1,689 m, tem-se:

$$h = \sqrt{R^2 - \left(\frac{c}{2}\right)^2} \quad h = \sqrt{0,930^2 - \left(\frac{1,689}{2}\right)^2} = 0,389 \text{ m}$$

Como  $d = R - h$ , temos que  $d = 0,930 - 0,389 = 0,541$  m, que é o valor correspondente à altura afundada submersa causada pelos pesos próprios

Este valor somado à deformação causada pelas sobrecargas que é de 0,382 m resulta em um afundamento total de 0,923 m.

Para calcular o deslocamento real pode-se repetir o procedimento adotado para estabelecer a corda inicial que foi usada para determinação das constantes de mola. A diferença é que será adicionada a sobrecarga que foi utilizada nas simulações. Para determinação dessa sobrecarga foi utilizada a largura de influência e o valor é de 3.986 kgf.

$$(1.532 + 1.280 + 3.986) = A_{seg} \cdot 4,287 \cdot 1.000$$

$$\frac{6798}{4,287 \cdot 1.000 \cdot 0,93^2} = \left[ \left( \frac{\alpha}{2} \right) - \operatorname{sen} \left( \frac{\alpha}{2} \right) \cdot \cos \left( \frac{\alpha}{2} \right) \right]$$

$$\left[ \left( \frac{\alpha}{2} \right) - \operatorname{sen} \left( \frac{\alpha}{2} \right) \cos \left( \frac{\alpha}{2} \right) \right] = 1,833$$

O valor do ângulo  $\alpha$  em graus que iguala a expressão foi encontrado através de planilha eletrônica e é de  $141,045^\circ$ .

Tendo o valor do ângulo, pode-se encontrar o valor da corda (c):

$$c = R\sqrt{2 - 2\cos\alpha}$$

$$c = 0,930\sqrt{2 - 2\cos(141,045^\circ)} = 1,754$$

$$h = \sqrt{R^2 - \left( \frac{c}{2} \right)^2}$$

$$h = \sqrt{0,930^2 - \left( \frac{1,754}{2} \right)^2} = 0,309 \text{ m}$$

Como  $d = R - h$ , temos que  $d = 0,930 - 0,309 = 0,621$  m, que é o valor correspondente à altura afundada real.

#### 4 CONCLUSÃO

Observando o comportamento das estruturas apoiadas em molas e apoios rígidos pode-se perceber que o comportamento destas variam quanto às deformações, forças reativas e distribuição dos esforços solicitantes. Uma explicação para essa diferença é o fato da estrutura que utiliza apoios rígidos não apresentar deslocamentos diferenciais entre os apoios como os observados na estrutura com molas.

Na passarela que possui apoios rígidos o valor máximo de deslocamento é de 0,678 cm e se encontra entre os vãos dos apoios e a passarela apoiada em molas apresenta deslocamento máximo de 5,230 cm localizado no apoio central da estrutura.

Quanto aos momentos presentes, pode-se observar que devido a distribuição dos apoios sobre a estrutura, naquela que há apoios rígidos os momentos negativos são grandes no centro. Já na passarela apoiada em molas estes momentos são menores na região central, porém os momentos positivos crescem no meio dos vãos existentes entre os apoios. Nota-se então, que na estrutura que utiliza apoios rígidos subestima-se os momentos positivos e superestima-se os negativos quando comparados com a passarela apoiada em molas. Um dimensionamento conservador da estrutura poderia ser feito tomando como base para os momentos negativos a passarela com apoios rígidos e para os momentos positivos a passarela com os apoios em molas.

Comparando a altura submersa calculada com a real, verifica-se que mesmo majorando em 20% o valor das constantes de mola, a estrutura simulada apresenta maior afundamento: 0,923 m contra 0,621 m. Isso significa que para aproximar a estrutura simulada a uma situação real a constante de mola calculada pode receber uma majoração ainda maior.

Como as passarelas possuem simetria na sua geometria e os carregamentos também são simétricos, elas poderiam ter sido modeladas apenas em sua metade modificando a condição de contorno nos centros. Em ambos os casos não há rotação em torno do eixo Y. A diferença entre elas, seria que durante a aplicação das condições de contorno na estrutura apoiada em molas o deslocamento na direção do eixo Z seria possível, enquanto na estrutura com apoios rígidos seria impossibilitado através da aplicação de um apoio que restrinja os deslocamentos verticais. Para casos de estruturas mais complexas esse é um recurso válido, uma vez que diminui tempo de modelagem e de processamento durante as simulações.

## 5 BIBLIOGRAFIA ADOTADA

- ALVES FILHO, A.; *Elementos Finitos: A Base da Tecnologia CAE*, Ed Érica, 5ª. Ed.; São Paulo, 2012.
  
- CARELLI, J. A.; *Apostila Análise Matricial de Estruturas*, Universidade do Oeste de Santa Catarina – UNOESC.
  
- FRANCO, V.; *Órgãos de Máquinas: Fundamentos do Método de Elementos Finitos*, ENIDH, 2011-2012.
  
- MARTHA, L. F.; *Análise de Estruturas – Conceitos Básicos de Análise Estrutural*, Ed. Campus Elsevier, 1ª Ed.; São Paulo, 2010.
  
- QUEIROZ, P. C. O.; *Análise Estática e Dinâmica de Estruturas Reticuladas: Ambiente de Simulação em Java*, Universidade Federal da Paraíba, 2010.
  
- LOGAN, D. L.; *A First Course in the Finite Element Method*, Ed. Cengage Learning, 5ª Ed.; Stamford, 2011.