

# GERAÇÃO COMPUTACIONAL E ANÁLISE ESTRUTURAL DE CASCAS DE FORMAS LIVRES – PLANTA TRAPEZOIDAL COM APOIOS NOS QUATRO VÉRTICES



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS - UNICAMP  
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO - FEC  
DEPARTAMENTO DE ESTRUTURAS – DES  
Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica - CNPq  
Bolsista : Mariana Ferrini Giacon - [giacon.mariana@yahoo.com](mailto:giacon.mariana@yahoo.com)  
Orientador: Prof. Dr. Isaias Vizotto - [vizotto@fec.unicamp.br](mailto:vizotto@fec.unicamp.br)



Palavras-Chave: Estruturas em Casca - Método dos Elementos Finitos – Cascas de Formas Livres

## INTRODUÇÃO

Folha é um sólido com uma das dimensões muito menor do que as outras. Estas estruturas dividem-se em chapas, placas e cascas. A expressão "casca" é geralmente reservada para estruturas formadas somente por superfícies curvas.

O estado de tensão ideal para as estruturas em casca de concreto é o de compressão pura. Como o estado de tensões de uma estrutura deste tipo decorre de sua forma geométrica, estas são muito importantes para se obter comportamentos estruturais adequados.

Os principais grupos de estruturas em casca são de Revolução, Translação e Forma Livre (que foi estudada no trabalho apresentado). Esta não pode ser definida geometricamente por equações matemáticas analíticas e pode ter sua superfície selecionada diversos critérios como princípios de otimização e requisitos artísticos, entre outros. No caso do exemplo estudado, a forma livre foi gerada buscando uma maior eficiência estrutural.

## EXEMPLO ESTUDADO

### Geração da Forma Livre pelo Programa ANSYS

A geração foi feita a partir da simulação da membrana sob efeito de pressão, pelo software ANSYS.

Densidade =  $2 \times 10^{-5}$  kg/cm<sup>3</sup>  
Módulo de Elasticidade =  $2 \times 10^2$  N/cm<sup>2</sup>  
Pressão =  $2 \times 10^{-2}$  N/cm<sup>2</sup>

Vinculação: x, y e z impedidos nas quatro bordas arredondadas e nas laterais do trapézio

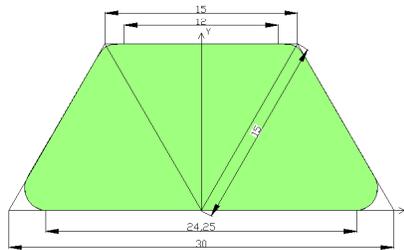


Figura 1: Dimensões em planta.

### Análise Estrutural da Forma Livre Gerada

A forma gerada foi utilizada para a análise estrutural da forma livre. As características do material (concreto) utilizado são:

Densidade =  $2,5 \times 10^{-3}$  kg/cm<sup>3</sup>  
Módulo de Elasticidade =  $2,1 \times 10^6$  N/cm<sup>2</sup>  
Espessura variável:  $t = 55 + 0,04Z - 0,01Y$   
Poisson = 0.2

Observação: Para a análise estrutural foi considerado somente o peso próprio.

## METODOLOGIA

O estudo foi iniciado por pesquisa bibliográfica e seminários ministrados pelo orientador sobre estruturas em casca.

O MEF é um método numérico para a obtenção de soluções aproximadas para problemas de engenharia e ciências aplicadas que tem por base teorias estabelecidas e aplicadas pelo surgimento dos computadores digitais. O método é implementado ao exemplo através do software ANSYS.

## REFERÊNCIAS

1. Billington, D.P., Thin Shell Concrete Structures, Mc-Graw Hill-Book Company, EUA, 1965.
2. <http://www.ketchum.org/shells.html> (Acesso em: 7 out. 2010)

Primeiramente foi definida a malha triangular para a planta trapezoidal proposta e em seguida foram atribuídas as propriedades dos elementos e vinculações. Então a estrutura foi submetida a variadas pressões até que atingisse a melhor forma. O próximo passo foi modificar a vinculação e propriedades dos elementos para que a casca na forma gerada, agora em concreto fosse analisada estruturalmente. Por fim, foi feita a análise através de resultados numéricos e mapas de contorno.

## RESULTADOS

### Geração da Forma Livre pelo Programa ANSYS

As figuras 2 e 3 mostram o deslocamento da membrana submetida a pressão.

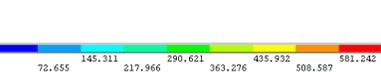
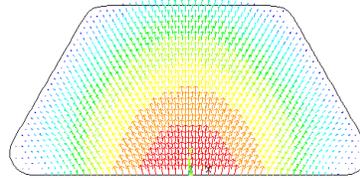


Figura 2: Deslocamentos gerados pela aplicação de pressão à membrana - vista em planta.

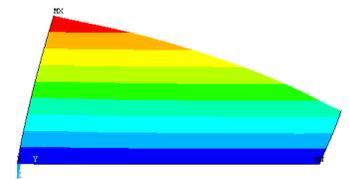


Figura 3: Deslocamentos gerados pela aplicação de pressão à membrana - vista lateral (plano YZ).

A altura do ponto mais alto do lado maior é de 6,35m, e no lado oposto menor a altura é de 2,29m.

### Análise Estrutural da Forma Livre Gerada

As figuras 3 e 4 mostram as tensões principais na casca gerada devido ao peso próprio do concreto.

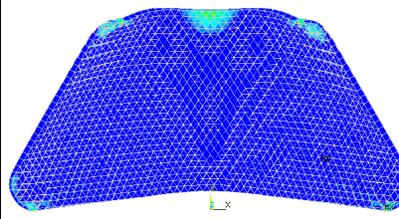


Figura 3: Tensões Principais (plano yz).

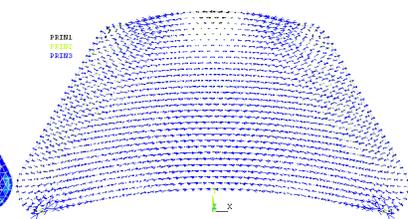


Figura 4: Tensões Principais (plano xy).

A estrutura é comprimida em sua maior parte, porém sofre uma pequena flexão indesejada próxima a borda da menor abertura.

## CONCLUSÕES

De um modo geral os resultados para os esforços são de membrana para a maior parte da casca. A geometria trapezoidal em planta propiciou o surgimento de uma pequena flexão no lado da menor abertura da estrutura, mas que é mínima e pode ser resistida pelo concreto e armadura mínima.

3. Vizotto, I. Geração Computacional de Formas Livres de Estrutura em Casca, Tese de Doutorado, UNICAMP, 1993.
4. Popov, E. P., Progress in analysis and design of RC shells, Engineering Structures, v. 13, abril, pp. 128-143, 1991.