

ANÁLISE VIA ELEMENTOS FINITOS DE UMA COBERTURA DO TIPO PARABOLOIDE HIPERBÓLICO LIMITADO POR LINHAS RETAS

Vitor Rigueira de Godoy, Universidade Federal de Ouro Preto, UFOP

rigueira.vitor@gmail.com

Geraldo Donizetti de Paula, Universidade Federal de Ouro Preto, UFOP

geraldo.paula@ufop.edu.br

Flávio Teixeira de Souza, IFMG Campus Ouro Preto

flavio.souza@ifmg.edu.br

RESUMO

As coberturas do tipo parabolóide hiperbólico apresentam grande versatilidade, uma vez que superam grandes vãos com uma quantidade pequena de material. Devido à sua forma, possuem ainda forte apelo estético, e permitem a utilização de diferentes materiais, como concreto, aço e madeira em sua execução. A análise estrutural e o dimensionamento podem ser feitas seguindo um procedimento analítico em que na cobertura são considerados apenas os efeitos de membrana, ou seja, tensões tangenciais de tração e compressão. No entanto, a disseminação de ferramentas numéricas permite a consideração de todos os esforços atuantes na cobertura quando ela é simulada como casca. O objetivo deste trabalho é avaliar as diferenças nas considerações de um parabolóide hiperbólico limitado por linhas retas como membrana e como casca. Para isto, foi feita a simulação de membrana e sua validação a partir da comparação com resultados analíticos. Foi feita ainda a simulação da mesma cobertura considerando os efeitos de casca, ou seja, a flexão, o cisalhamento e a torção além das tensões tangenciais. Foi observado que a consideração da casca leva a uma redução dos esforços nas vigas que sustentam a cobertura, uma vez que esta passa a contribuir ativamente na absorção destes esforços. Além disto, existem regiões na cobertura em que ocorrem concentrações de tensões que devem ser consideradas no dimensionamento destas estruturas. De forma geral, pode-se recomendar a substituição do método analítico da membrana por métodos computacionais que consideram o comportamento de casca, uma vez que esta abordagem leva a estruturas mais seguras e econômicas e atualmente existem diversas ferramentas computacionais para este fim.

Palavras-chave: Parabolóide hiperbólico. Método dos Elementos Finitos. Membrana. Casca.

Data de recebimento: 21/05/2026

Data do aceite de publicação: 30/07/2026

Data da publicação: 31/08/2026

FINITE ELEMENT ANALYSIS OF A HYPERBOLIC PARABOLOID BOUNDED BY STRAIGHT LINES

ABSTRACT

Hyperbolic paraboloid roofs exhibit great versatility, as they can span large distances using a relatively small amount of material. Due to their shape, they also have a strong aesthetic appeal and allow the use of different materials, such as concrete, steel, and wood, in their construction. Structural analysis and design can be carried out using an analytical procedure in which only membrane effects are considered in the roof, that is, tangential stresses. However, the widespread use of numerical tools allows for the consideration of all forces acting on the roof when it is modeled as a shell. The objective of this work is to evaluate the differences in the analysis of a hyperbolic paraboloid bounded by straight lines when treated as a membrane and as a shell. To this end, a membrane simulation was performed and validated through comparison with analytical results. The same roof was also simulated considering shell effects, that is, bending, shear, and torsion in addition to tangential stresses. It was observed that considering shell behavior leads to a reduction in the forces in the beams supporting the roof, since the roof itself begins to actively contribute to absorbing these forces. Moreover, there are regions in the roof where stress concentrations occur and must be taken into account in the design of these structures. In general, replacing the analytical membrane method with computational methods that consider shell behavior can be recommended, as this approach results in safer and more economical structures, and there are currently various computational tools available for this purpose.

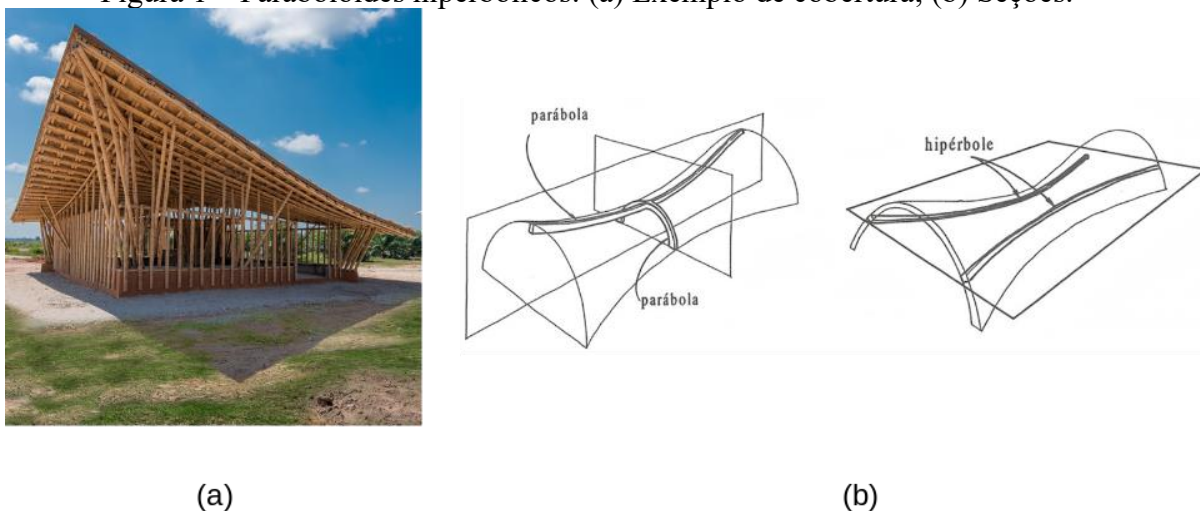
Keywords: Hyperbolic Paraboloid; Finite Element Analysis, Membrane, Shell.

1 INTRODUÇÃO

Paraboloides hiperbólicos, também chamados de selas, são superfícies infinitas em três dimensões cujas seções transversais definem parábolas nos cortes verticais e hipérboles nos cortes horizontais (FIRMO, 2003). A Figura 1 apresenta uma cobertura do tipo paraboloides hiperbólico e as parábolas e hipérboles geradas em seus cortes.

ANÁLISE VIA ELEMENTOS FINITOS DE UMA COBERTURA DO TIPO PARABOLOIDE HIPERBÓLICO LIMITADO POR LINHAS RETAS

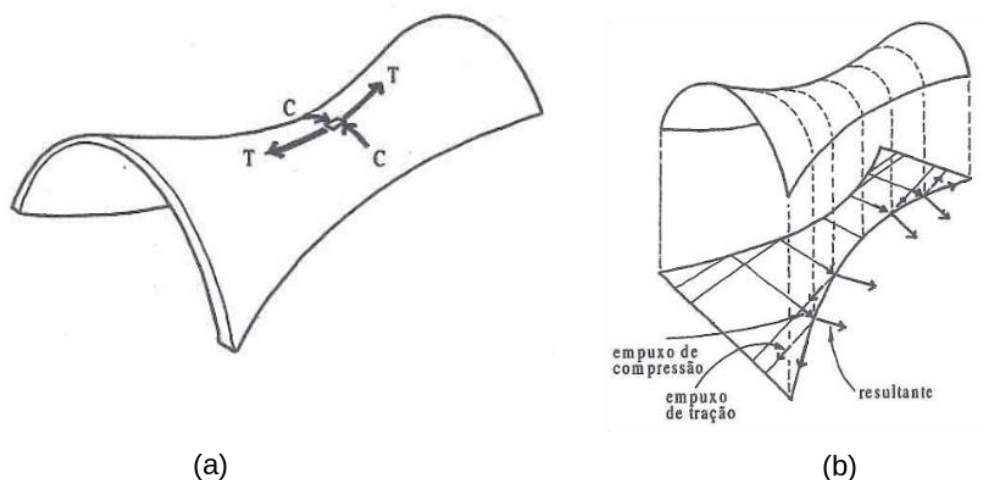
Figura 1 – Paraboloides hiperbólicos: (a) Exemplo de cobertura; (b) Seções.



Fontes: (a) Archdaily (2026), (b) Rebello (2000).

Segundo Rebello (2000), o comportamento dos paraboloides hiperbólicos pode ser entendido como “arcos” à compressão em uma direção e “cabos” à tração na outra. Os empuxos dos “arcos” e “cabos” são transmitidos às bordas como forças de tração e compressão, como apresenta a Figura 2.

Figura 2 – Comportamento estrutural dos paraboloides hiperbólicos.

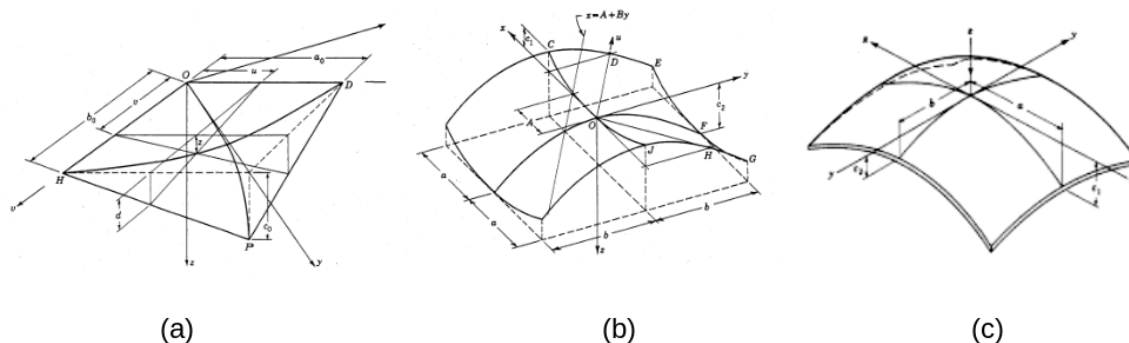


Fonte: Adaptado de Rebello (2000).

Segundo Billington (1982), existem três tipos de paraboloides hiperbólicos, apresentados na Figura 3. Independentemente do tipo, eles são eficientes em termos construtivos, uma vez que cortes lineares permitem sua execução com formas planas ou barras retas (ISKHAROV e RIBAKOV, 2016).

Figura 3. Tipos de paraboloides hiperbólicos: (a) Paraboloide limitado por linhas retas; (b) Paraboloide simples; (c) Paraboloide elíptico.

ANÁLISE VIA ELEMENTOS FINITOS DE UMA COBERTURA DO TIPO PARABOLOIDE HIPERBÓLICO LIMITADO POR LINHAS RETAS



Fonte: Billington (1982).

As coberturas construídas com a forma de paraboloides hiperbólicos possuem grande versatilidade, permitindo o vencimento de grandes vãos com a utilização de quantidades relativamente pequenas de material, uma vez que possuem espessura reduzida em relação à sua largura e ao seu comprimento (ORTEGA E ROBLES, 2003). Estas coberturas podem ser construídas com a utilização de diferentes materiais estruturais, tais como o concreto, o aço e até mesmo a madeira ou o bambu. Além disto, a elegância de suas formas leva à percepção de estruturas que aliam a leveza e a beleza, além de apresentar bom desempenho estrutural (SPRAGUE, 2013).

No entanto, a avaliação de seu comportamento estrutural para fins de análise e dimensionamento traz particularidades, devido aos esforços solicitantes atuantes no paraboloides hiperbólico. Em casos extremos, podem ocorrer acidentes como o apresentado na Figura 4.

Figura 4 – Colapso da Cobertura da Co-Catedral de Coronel Fabriciano.



Fonte: Diário do Aço (2022).

Eventos como este indicam a necessidade de aprofundamento na avaliação do comportamento estrutural dos paraboloides hiperbólicos, bem como da definição de procedimentos para a utilização de recursos computacionais, como o Método dos Elementos Finitos nesta análise.

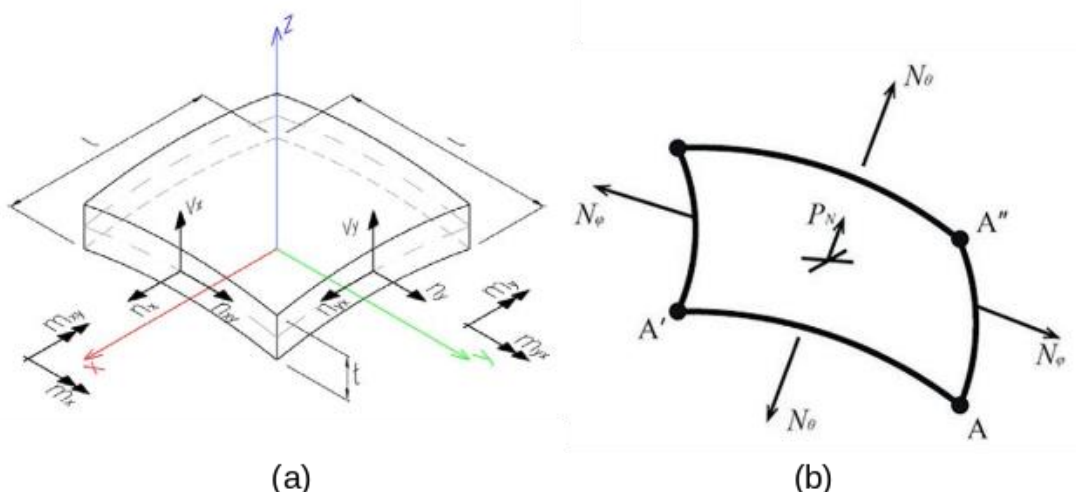
Assim, o objetivo deste trabalho é avaliar, via Método dos Elementos Finitos no programa comercial SAP2000 (CSI, 2016), uma cobertura em formato paraboloides hiperbólico limitado por linhas retas. Nesta avaliação, são consideradas duas hipóteses: a estrutura se comportando como membrana e como casca, e são feitas avaliações do comportamento da cobertura e de seus elementos de suporte para cada tipo de análise.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Cascas são elementos estruturais em que uma dimensão, a espessura, é significativamente menor que as outras duas (largura e comprimento). Não são necessariamente planas e os carregamentos podem ser tangenciais ou normais à sua superfície (BRASIL, 2020). As cascas têm, na teoria geral de flexão, forças de membrana, forças cortantes e momentos fletores, conforme é representado na Figura 5 (a), em que n_x e n_y são as forças de membrana, V_x e V_y são as forças cortantes, m_x e m_y são os momentos fletores e m_{xy} e m_{yx} os momentos de torção.

Para determinados carregamentos e condições de contorno, pode-se utilizar a Teoria de Membrana, na qual apenas tensões tangenciais atuam na casca, ou seja, são desconsiderados os efeitos da flexão. Com base na Teoria de Membrana, no elemento de casca mostrado na Figura 5 (b), atuam apenas as forças N_θ , na direção dos paralelos e N_ϕ na direção dos meridianos. Essas forças têm unidades N/m e o carregamento P_N , que não necessariamente é normal ao elemento, em N/m² (BRASIL, 2020).

Figura 5 – (a) Comportamento de casca; (b) Comportamento de membrana.

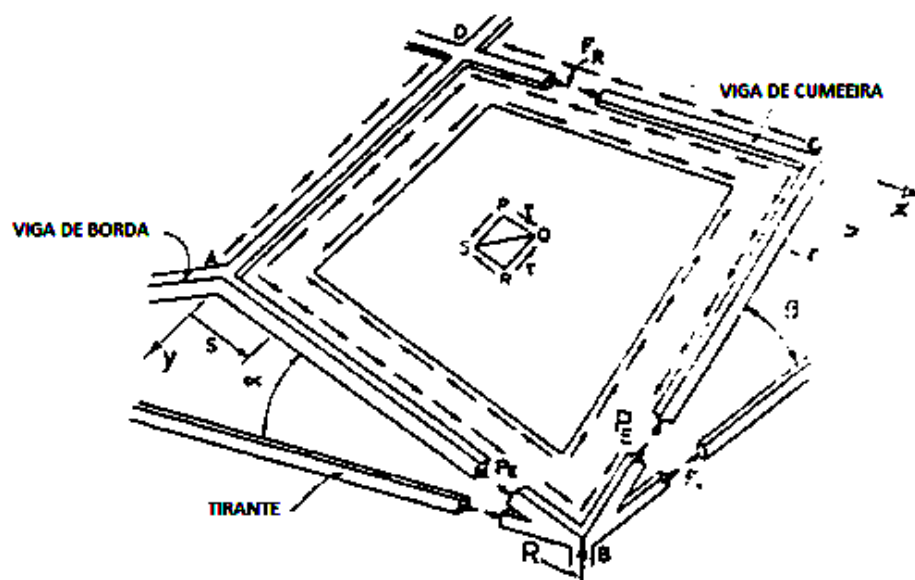


Fontes: (a) Fontes (2005); (b) Brasil (2020).

Ao se considerar um parabolóide hiperbólico se comportando como membrana, as forças internas devem ser absorvidas por elementos posicionados em seu perímetro: as vigas de cumeeira e de borda, nas quais são gerados esforços axiais de compressão ou de tração (FARSHAD, 1992), conforme apresentado na Figura 6.

Ao se considerar o comportamento de casca, esta passa a absorver os efeitos da flexão. Assim, está submetida a momentos fletores e esforços cortantes, e transmite estes esforços para as vigas de cumeeira e de borda. Esta consideração leva a análises mais complexas, no entanto a consideração da interação entre os diversos componentes da cobertura pode levar à economia nas vigas de borda e de cumeeira (FISCHER, 1968).

Figura 6 – Distribuição de forças em parabolóides hiperbólicos considerados como membrana.



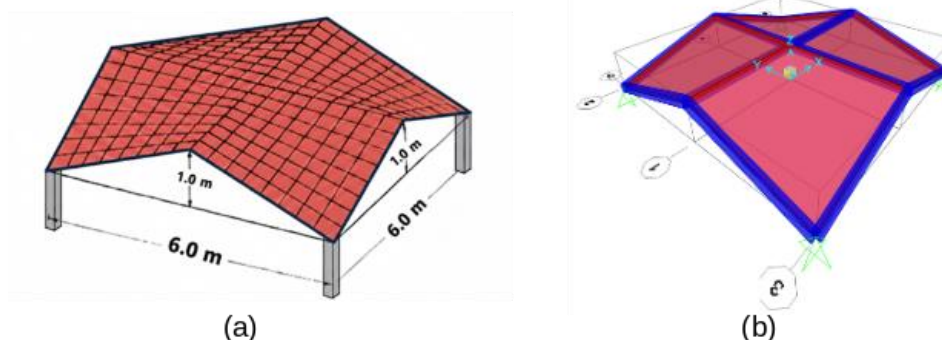
Fonte: adaptado de Farshad (1992).

A utilização de métodos numéricos, como o Método dos Elementos Finitos, é uma ferramenta importante na previsão do comportamento estrutural e da resistência dos parabolóides hiperbólicos. Para que este objetivo seja atingido, é fundamental a atenção na definição das condições de contorno e na vinculação entre os diversos componentes da estrutura (JADIK E BILLINGTON, 1995; KIM, YU E RHA, 2012).

3 METODOLOGIA

Neste trabalho foi analisado numericamente um parabolóide hiperbólico limitado por linhas retas no programa comercial SAP2000. As dimensões do modelo e a geometria gerada são apresentados na Figura 7. O material considerado em toda a estrutura foi o concreto armado, com peso específico de 25 kN/m^3 , Módulo de Elasticidade $E = 30 \text{ GPa}$ e Coeficiente de Poisson $\nu = 0,2$.

Figura 7 – Parabolóide hiperbólico analisado: (a) Dimensões; (b) Geometria.



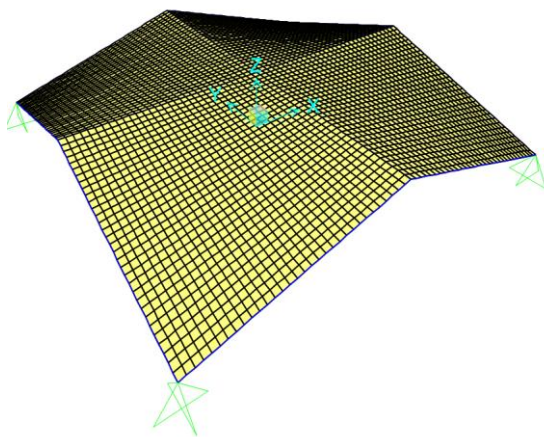
Fonte: elaboração própria.

As vigas de borda e de cumeeira foram simuladas como elementos “Frame”, de seção (15 x 20) cm, engastadas entre si. A espessura da cobertura foi considerada igual a 10 cm. Foram considerados apoios fixos de segundo gênero, conforme indicado na Figura 7 (b).

ANÁLISE VIA ELEMENTOS FINITOS DE UMA COBERTURA DO TIPO PARABOLOIDE HIPERBÓLICO LIMITADO POR LINHAS RETAS

Foi gerada uma malha de elementos finitos quadrilaterais de lado 100 mm, apresentada na Figura 8. Este nível de refinamento mostrou-se eficiente computacionalmente, com tempo médio de processamento igual a 8 segundos, e levou a resultados adequados a partir da comparação com resultados analíticos que serão apresentados posteriormente.

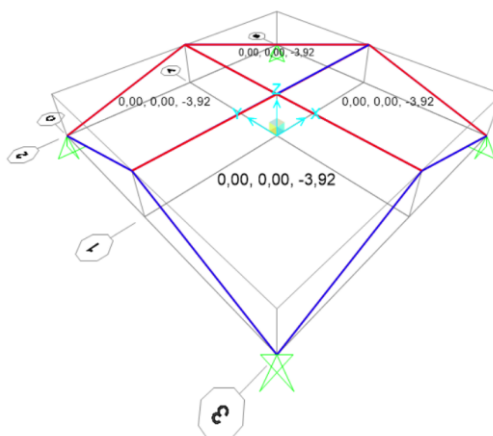
Figura 8 – Malha de Elementos Finitos.



Fonte: elaboração própria.

Em todos os modelos foram aplicados os carregamentos correspondentes ao peso próprio acrescido do revestimento, por meio de uma carga estática, vertical e uniformemente distribuída igual a $3,92 \text{ kN/m}^2$, conforme mostra a Figura 9. A análise realizada foi do tipo linear-elástica.

Figura 9 – Carregamentos aplicados.



Fonte: elaboração própria.

O primeiro modelo considerou a cobertura com o funcionamento de membrana, ou seja, submetidas apenas a esforços normais, conforme indicado na Figura 5 (b). Assim, a opção “membrane” foi escolhida na definição da seção da cobertura. Neste caso, a cobertura transmite apenas forças de cisalhamento no plano para as vigas, sendo os momentos fletores e momentos de torção iguais a zero. Além disto, o cisalhamento fora do plano da cobertura e as forças normais no plano da cobertura são nulos. Assim, na definição das bordas da cobertura todos os graus de liberdade foram liberados, exceto as forças de cisalhamento no plano da cobertura. Na

definição das vigas de borda e de cumeeira, foi retirada a constante de torção, uma vez que estes elementos não absorvem estes esforços quando a cobertura se comporta como uma membrana.

A segunda hipótese considerou a cobertura com o comportamento de casca, conforme indicado na Figura 5 (a). Neste caso a opção “Shell-thin” foi escolhida na definição da seção da cobertura. Como casca, a cobertura transmite esforços axiais, esforços de cisalhamento, momento fletor e momento de torção para a viga (Kim, Yu e Rha, 2012). Por isso, nenhum grau de liberdade é liberado na definição das bordas da cobertura. As vigas de borda e de cumeeira absorvem todos os esforços solicitantes do elemento da cobertura. Assim, nenhuma propriedade é alterada nestes elementos.

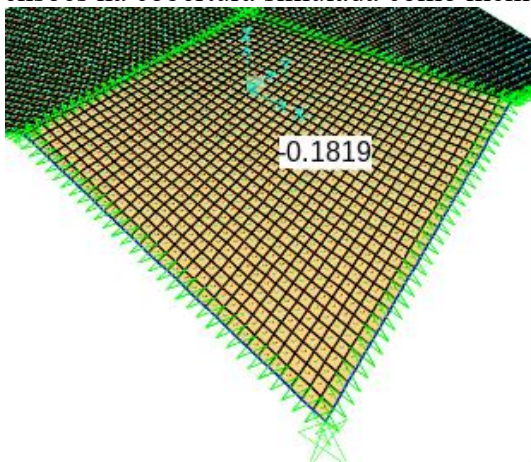
4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS DADOS

4.1. Cobertura considerada como membrana

Para a avaliação do comportamento do parabolóide hiperbólico limitado por linhas reta com comportamento de membrana, foram analisadas as tensões na cobertura, os esforços normais na vigas de borda e de cumeeira e as reações de apoio. Estes valores foram comparados com resultados teóricos (FARSHAD, 1992) para validar o modelo numérico.

Conforme mostra a Figura 10, existe uma uniformidade nas tensões atuantes na membrana, predominando tensões de compressão.

Figura 10. Tensões na cobertura simulada como membrana (MPa).



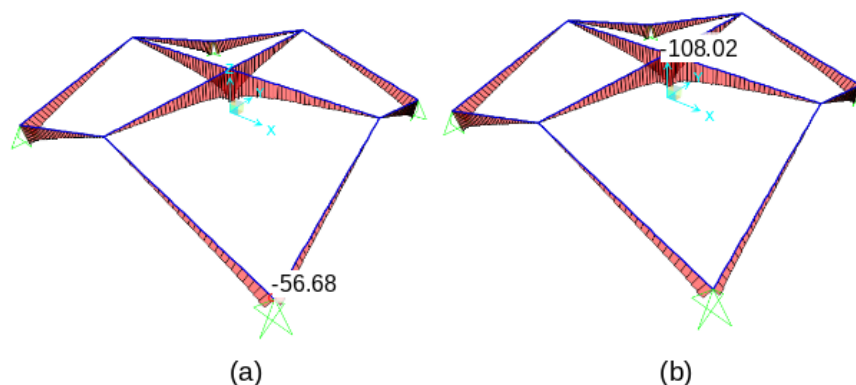
Fonte: elaboração própria.

A Figura 11 apresenta os esforços normais nas vigas de borda e de cumeeira. Observa-se que nas vigas de borda os maiores valores ocorrem próximo aos apoios, enquanto na viga de cumeeira os máximos ocorrem no encontro entre elas. Observam-se em todas as vigas esforços normais de compressão.

A Figura 12 apresenta as reações de apoio no parabolóide hiperbólico. Podem ser observados elevados empuxos, da ordem de 54,63 kN, o que poderia dificultar a execução dos pilares e exigir fundações profundas (NICOLETTI, OLIVEIRA E TEIXEIRA, 2023). A fim de se evitar isto, podem ser empregados tirantes.

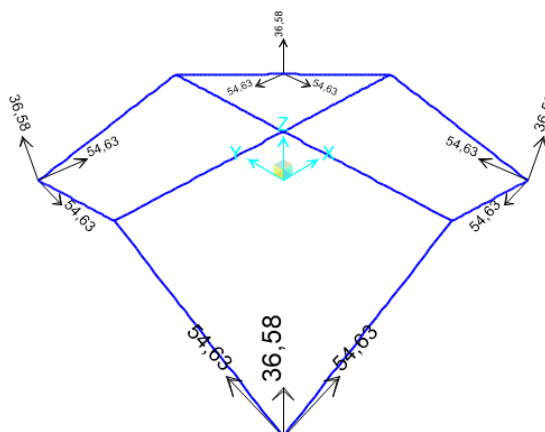
Figura 11. Esforços normais nas vigas (kN): (a) vigas de borda; (b) vigas de cumeeira.

ANÁLISE VIA ELEMENTOS FINITOS DE UMA COBERTURA DO TIPO PARABOLOIDE HIPERBÓLICO LIMITADO POR LINHAS RETAS



Fonte: elaboração própria.

Figura 12. Reações de apoio (kN).



Fonte: elaboração própria.

A Tabela 1 apresenta os valores comparativos entre os resultados analíticos e numéricos. Observa-se, em geral uma boa correlação entre os valores observados. Isto indica a validação do modelo, e a possibilidade da utilização do procedimento adotado. Indica ainda que o modelo analítico é eficiente na consideração do parabolóide hiperbólico se comportando como Membrana.

Tabela 1 – Comparação Entre resultados analíticos e numéricos.

Descrição	Método Analítico	Método Numérico	Variação (%)
Casca - Tensão de Cisalhamento	0,18 MPa	0,18 MPa	-3%
Viga de Cumeeira - Esforço Axial	105,95 kN	108,02 kN	-2%
Viga de Borda - Esforço Axial	55,84 kN	56,68 kN	-2%
Tirante - Força Horizontal	52,97 kN	54,63 kN	-3%
Coluna - Esforço Axial	35,32 kN	36,58 kN	-4%

Fonte: elaboração própria.

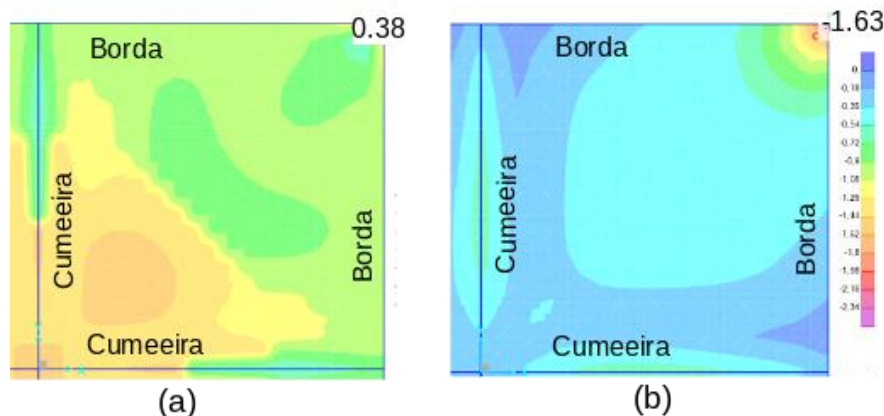
4.2. Cobertura considerada como casca

ANÁLISE VIA ELEMENTOS FINITOS DE UMA COBERTURA DO TIPO PARABOLOIDE HIPERBÓLICO LIMITADO POR LINHAS RETAS

Para a cobertura simulada como casca, foram avaliados os esforços normais e momentos fletores nas vigas de borda e de cumeeira, as reações de apoio e as tensões atuantes na casca.

A Figura 13 apresenta as tensões atuantes na cobertura. Diferentemente da simulação considerando os efeitos de membrana, ocorre variação de tensões, destacando-se uma região com valores médios e também regiões com concentrações, ou picos, de tensões, que geralmente ocorrem nas proximidades do apoio.

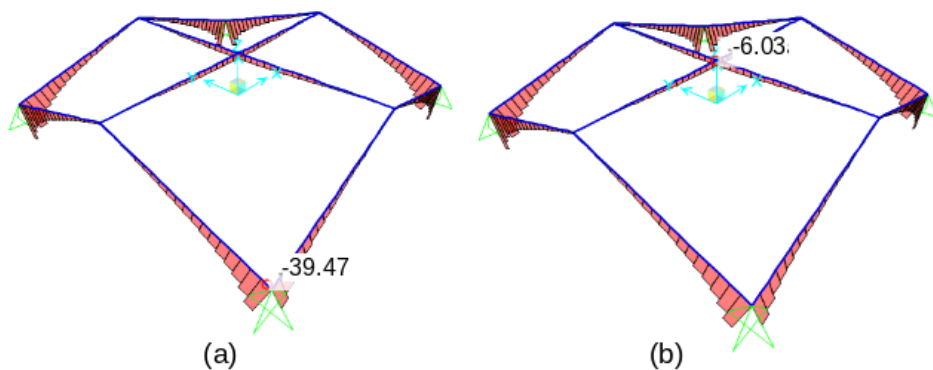
Figura 13. Tensões atuantes na cobertura (MPa): (a) Tração; (b) Compressão.



Fonte: elaboração própria.

A Figura 14 apresenta os esforços normais na viga de borda e na viga de cumeeira. Observa-se comportamento similar ao da simulação considerando a membrana. No entanto, os valores observados são menores, uma vez que quando são considerados os efeitos de casca a cobertura contribui na absorção de esforços, aliviando as solicitações nas vigas.

Figura 14. Esforços normais (kN): (a) Viga de borda; (b) Viga de cumeeira.



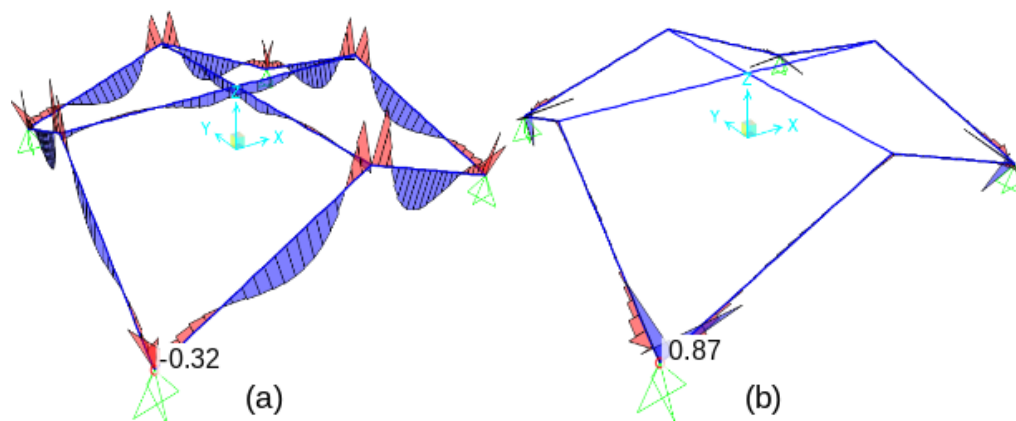
Fonte: elaboração própria.

A Figura 15 apresenta os momentos fletores atuantes nas vigas. Observa-se, nas direções de ambos os eixos, a concentração de momentos fletores na região próxima aos apoios, o que indica a necessidade de especial atenção no dimensionamento destas estruturas.

A Figura 16 apresenta as reações de apoio, com valores e comportamentos similares aos obtidos na simulação considerando os efeitos de membrana.

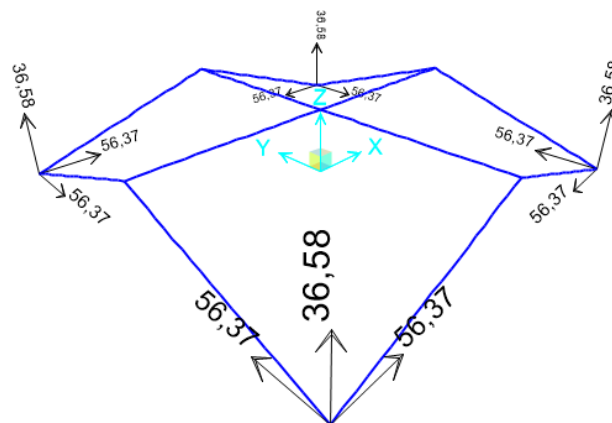
Figura 15. Momentos Fletores (kN.m): (a) eixo XX; (b) eixo YY.

ANÁLISE VIA ELEMENTOS FINITOS DE UMA COBERTURA DO TIPO PARABOLOIDE HIPERBÓLICO LIMITADO POR LINHAS RETAS



Fonte: elaboração própria.

Figura 16: Reações de apoio (kN)



Fonte: elaboração própria.

A Tabela 2 apresenta os valores comparativos entre os resultados dos modelos Membrana e Casca. Comparando-se os dois modelos, podem-se observar, no modelo Casca, reduções nos esforços nas vigas de borda e de cumeeira. Isto se deve aos efeitos da casca na absorção e distribuição de esforços, que aliviam os elementos adjacentes.

Observa-se ainda que no modelo de casca ocorrem regiões de concentração de tensões, inexistentes na membrana, pela incapacidade desta em absorver esforços de cisalhamento e flexão. No entanto, nas regiões uniformes da casca, os valores das tensões médias nas cascas aproximam-se daqueles obtidos nas membranas.

Este estudo mostra que a consideração do parabolóide hiperbólico como membrana pode ser insuficiente para fins de análise e dimensionamento. Observação similar foi feita por Jadik e Billington (1995), o que indica a necessidade da consideração dos efeitos de cisalhamento e flexão de forma cuidadosa no dimensionamento destas estruturas.

ANÁLISE VIA ELEMENTOS FINITOS DE UMA COBERTURA DO TIPO PARABOLOIDE HIPERBÓLICO LIMITADO POR LINHAS RETAS

Tabela 2 – Comparação entre resultados dos modelos de Membrana e Casca.

Descrição	Membrana	Casca
Flecha Máxima Viga de Cumeeira	-	0,20 mm
Flecha Máxima Viga de Borda	-	0,15 mm
Esforço Axial Viga de Cumeeira	108,02 kN	6,03 kN
Esforço Axial Viga de Borda	56,68 kN	39,47 kN
Tirante - Força Horizontal	54,63 kN	56,37 kN
Coluna - Esforço Axial	36,58 kN	36,58 kN
Momento Fletor Máximo Viga de Borda - Eixo X-X	-	-0,32 kN.m
Momento Fletor Máximo Viga de Borda - Eixo Y-Y	-	0,87 kN.m
Momento Fletor Máximo Viga de Cumeeira	-	0,09 kN.m
Pico de tensões de tração	0,18 MPa	0,38 MPa
Tensões de tração médias	0,18 MPa	0,12 MPa
Pico de tensões de compressão	-0,18 MPa	-1,63 MPa
Tensões de compressão médias	-0,18 MPa	-0,54 MPa

Fonte: elaboração própria.

5 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo avaliou numericamente uma cobertura do tipo parabolóide hiperbólico. Foram consideradas coberturas com o comportamento de membrana, em que a mesma encontra-se sujeita apenas a tensões tangenciais e também com o comportamento de casca, onde além das tensões tangenciais são considerados os efeitos do cisalhamento e da flexão. Ressalta-se que é comum o emprego de métodos analíticos simplificados considerando o comportamento de membrana para fins de projeto e dimensionamento.

Foi observado que a consideração dos efeitos de casca levou a uma melhor distribuição e absorção dos esforços, levando a considerável redução de esforços nas vigas, o que indica a possibilidade de economia nestas estruturas. Além disto, observaram-se regiões de concentração de tensões na cobertura quando são considerados os efeitos de casca, com aumento considerável em regiões próximas aos apoios. O mesmo ocorreu com os momentos fletores atuantes nas vigas, o que indica a possibilidade de risco estrutural caso estas tensões e esforços não sejam considerados.

Assim, devido à disponibilidade de ferramentas computacionais que facilitam a análise da estrutura considerando o comportamento do parabolóide hiperbólico como casca, o que representa melhor a interação entre os diferentes componentes deste sistema estrutural, recomenda-se a análise da estrutura por ferramentas numéricas, o que pode levar a projetos mais econômicos e seguros.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES, à Universidade Federal de Ouro Preto e ao IFMG Campus Ouro Preto pelo suporte a esta pesquisa.

REFERÊNCIAS

ARCHDAILY. **Aprenda a projetar um parabolóide hiperbólico de bambu**. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/921845/aprenda-a-projetar-um-parabolóide-hiperbólico-de-bambu>. Consulta em 04/03/2026.

BILLINGTON, D. P. **Thin Shell Concrete Structures – Second Edition**. United States of America: McGraw-Hill Book Company, Inc. 1982 (Reimpresso: 1990).

BRASIL, R. M. L. R. F. **Chapas, placas e cascas na engenharia aeroespacial**. São Paulo: Blucher Open Access, 2020.

COMPUTERS AND STRUCTURES, INC. (CSI). **SAP2000: Analysis Reference Manual**. Berkeley: Computers and Structures, Inc., 2016.

DIÁRIO DO AÇO. **Co-catedral de Coronel Fabriciano é interditada depois de queda de parte do teto**. Diário do Aço, 13 de maio 2022. Cidade. Disponível em: <https://diariodoaco.com.br/noticia/0097158-cocatedral-de-coronel-fabriciano-e-interditada-depois-de-queda-de-parte-do-teto>. Consulta em 04/03/2026.

FARSHAD, M. **Design and Analysis of Shell Structures**. Dordrecht: Springer-Science+Business Media, B.V., 1992.

FIRMO, C. S. **Estruturas Tubulares enrijecidas por superfícies de dupla curvatura (hiperbólicas)**. 2003. 210f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2003.

FISCHER, L. **Theory and Practice of Shell Structure**. Berlin: William Ernst and Sons, 1968.

FONTES, R. **Análise de casca de alvenaria cerâmica armada – tipo parabolóide hiperbólico**. 2005. 121f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.

ISKHAROV, I.; RIBAKOV, Y. **Design Principles and Analysis of Thin Concrete Shells, Domes and Folders**. Boca Raton: Taylor & Francis Group, 2016.

JADIK, T.; BILLINGTON, D.P. **Gabled Hyperbolic Paraboloid Roofs Without Edge Beams**. Journal of Structural Engineering, 121, 1995, pp.328-335

KIM, S.N.; YU, E.J.; RHA, C.S. **Finite Element Analysis of Gabled Hyperbolic Paraboloid Shells**. Journal of the Korean Association for Spatial Structures, 12 (1), 2012, pp.87-98.

NICOLETTI, R. S., OLIVEIRA, D. C. A. DE, & TEIXEIRA, V. R. **Análise comparativa de métodos semiempíricos destinados ao cálculo da capacidade de carga de estacas**. REPAE - Revista De Ensino E Pesquisa Em Administração E Engenharia, 9(3), 51–70, 2023. <https://doi.org/10.51923/repae.v9i3.339>

ORTEGA, N. F., ROBLES, S. I. **The design of hyperbolic paraboloids on the basis of their mechanical behaviour.** Thin-Walled Structures, Volume 41, Issue 8, P. 769-784, 2003.
[https://doi.org/10.1016/S0263-8231\(03\)00025-9](https://doi.org/10.1016/S0263-8231(03)00025-9).

REBELLO, Y. C. P. **A concepção estrutural e a arquitetura.** São Paulo: Ziguarte, 2000.

SPRAGUE, T. S. **“Beauty, Versatility, Practicality”: the Rise of Hyperbolic Paraboloids in post-war America (1950-1962).** Construction History, 28(1), 165–184, 2013.
<http://www.jstor.org/stable/43856033>