

INTRODUÇÃO

O projeto de estruturas com comportamento otimizado com respeito a um critério específico tem sido constantemente investigado e aperfeiçoado. No caso de cascas, que são estruturas com ampla aplicação – indo desde silos metálicos e coberturas a fuselagens de aviões e submarinos – o comportamento estrutural é governado pela forma, isto é, a geometria da mesma, quando o material é uma constante. A otimização de forma de cascas requer a integração de diversas aplicações independentes, sendo elas: a análise estrutural, a otimização Matemática, a descrição geométrica e a análise de sensibilidade da estrutura.

OTIMIZAÇÃO ESTRUTURAL

- Otimizar significa maximizar ou minimizar uma função objetivo $f(x)$
- $f(x)$ = peso, deformações, flexões, energia de deformação ou outras
- x = variáveis de projeto (geometria)
- A otimização deve satisfazer restrições descritas por equações $c_i(x)$, as quais limitam as condições da solução ótima

METODOLOGIA

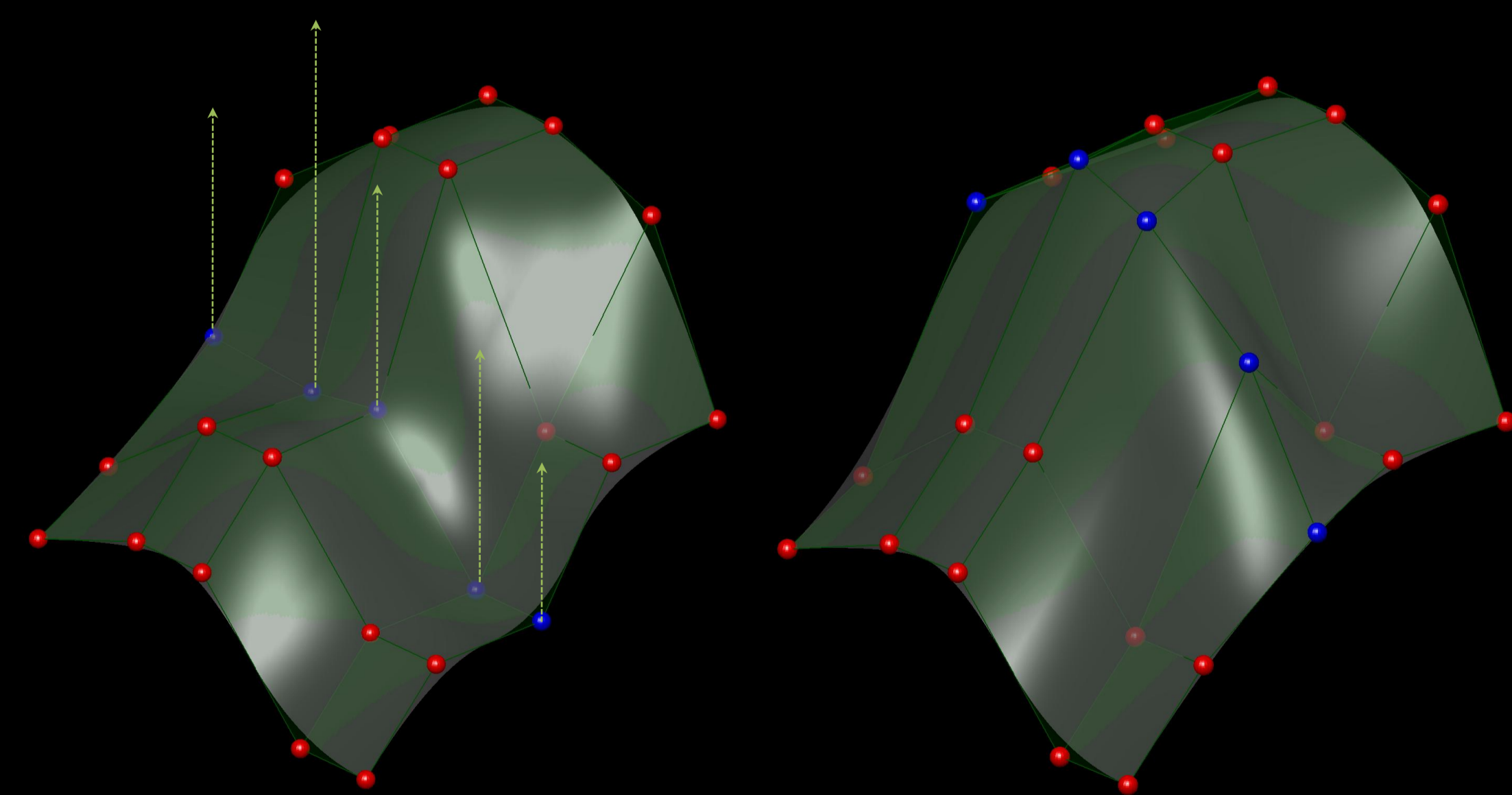
- Análise estrutural utilizando o Método dos Elementos Finitos (FEM)
- Descrição geométrica utilizando parametrização NURBS
- Otimização Matemática através de algoritmo de Programação Sequencial Quadrática (SQP)
- Análise de sensibilidade da estrutura através de Diferenciação Automática (AD)

ANÁLISE ESTRUTURAL

- Método dos Elementos Finitos é utilizado (FEM)
- Elemento isoparamétrico de 3 nós DKT combinado com CST
- Análise estática geometricamente linear e não-linear
- Material isotrópico homogêneo

NURBS (Non-Uniform Rational B-Spline)

- Padrão de modelagem geométrica
- Intuitiva para modelagem
- Matematicamente eficiente e estável
- Definida por pontos de controle e graus de interpolação
- Modifica a geometria mantendo a suavidade e continuidade geométrica

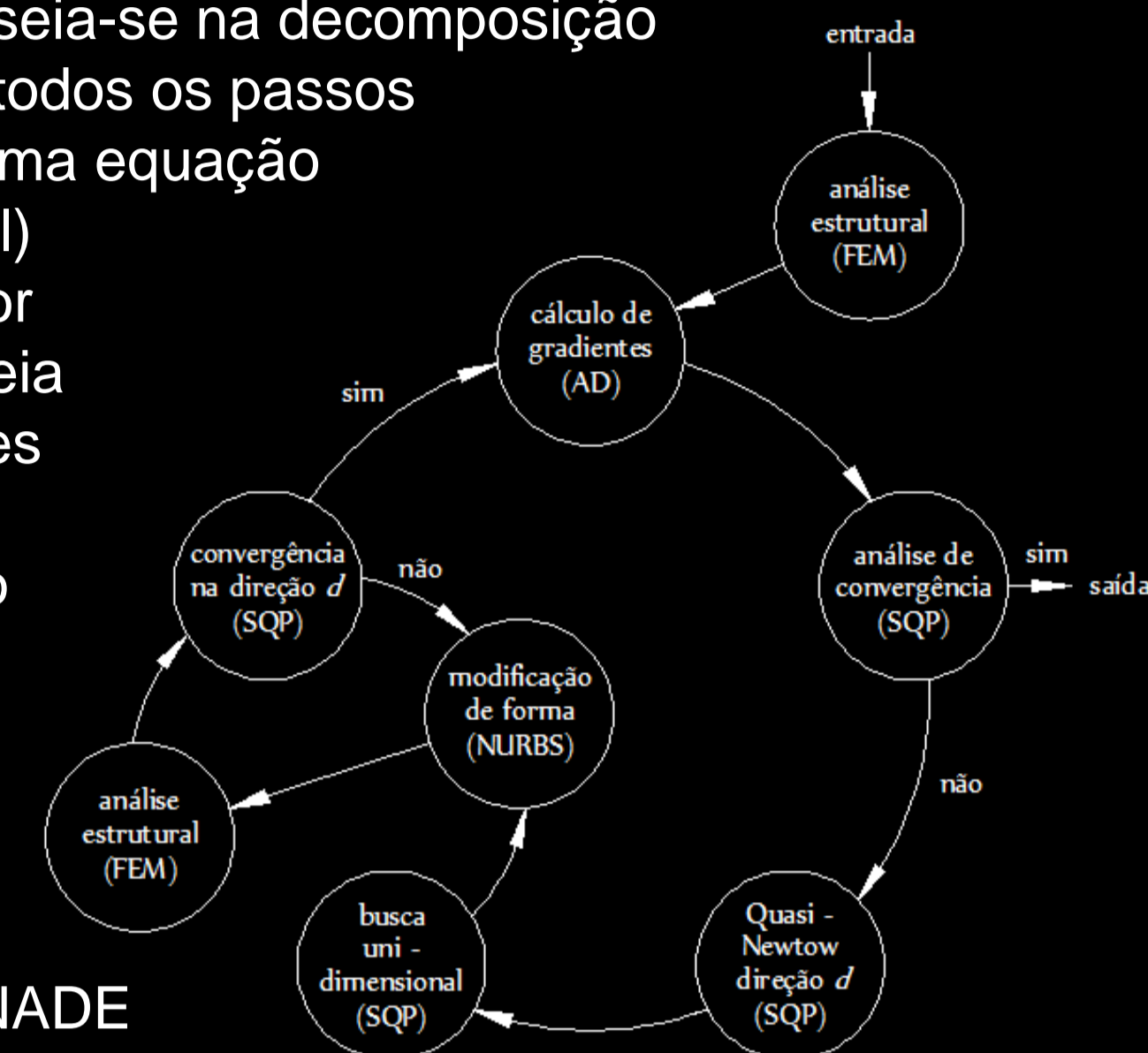


OTIMIZAÇÃO MATEMÁTICA

- Método da Programação Sequencial Quadrática (SQP)
- SQP resolve subproblemas quadráticos iterativamente (passos)
- Função objetivo aproximada por uma forma quadrática
- Restrições aproximadas por uma forma linear
- Requer informações dos gradientes de $f(x)$ e $c_i(x)$
- Utilizado algoritmo DONLP2

DIFERENCIAÇÃO AUTOMÁTICA (AD)

- Método SQP requer informações dos gradientes de $f(x)$ e $c_i(x)$
- AD é um método numérico computacional que calcula derivadas com precisão analítica e baseia-se na decomposição em formas elementares de todos os passos que compõe a solução de uma equação (ou algoritmo computacional)
- As derivadas são obtidas por aplicação da Regra da Cadeia sobre os passos elementares
- Método de propagação de derivadas pode ser Reverso ou Direto
- Método Reverso mais vantajoso computacionalmente para cálculo de gradientes
- Utilizado ferramenta TAPENADE



ALGORITMO

- O algoritmo desenvolvido e utilizado está esquematizado acima, mostrando cada uma das etapas envolvidas

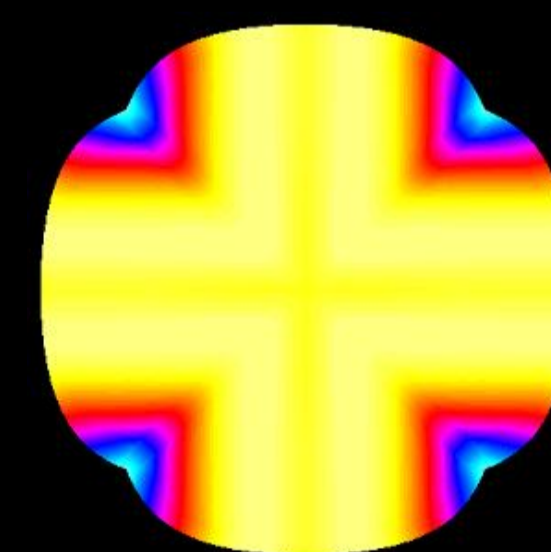
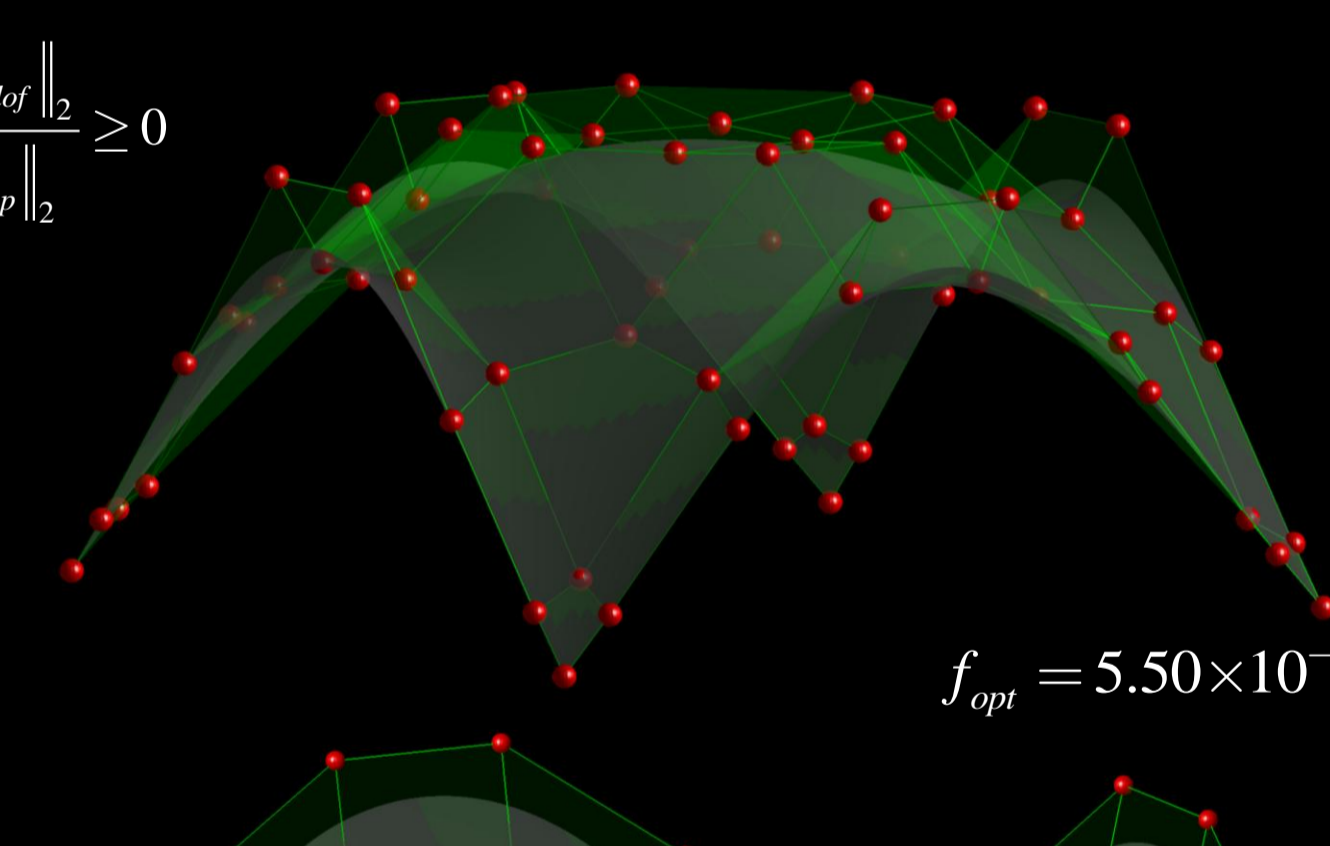
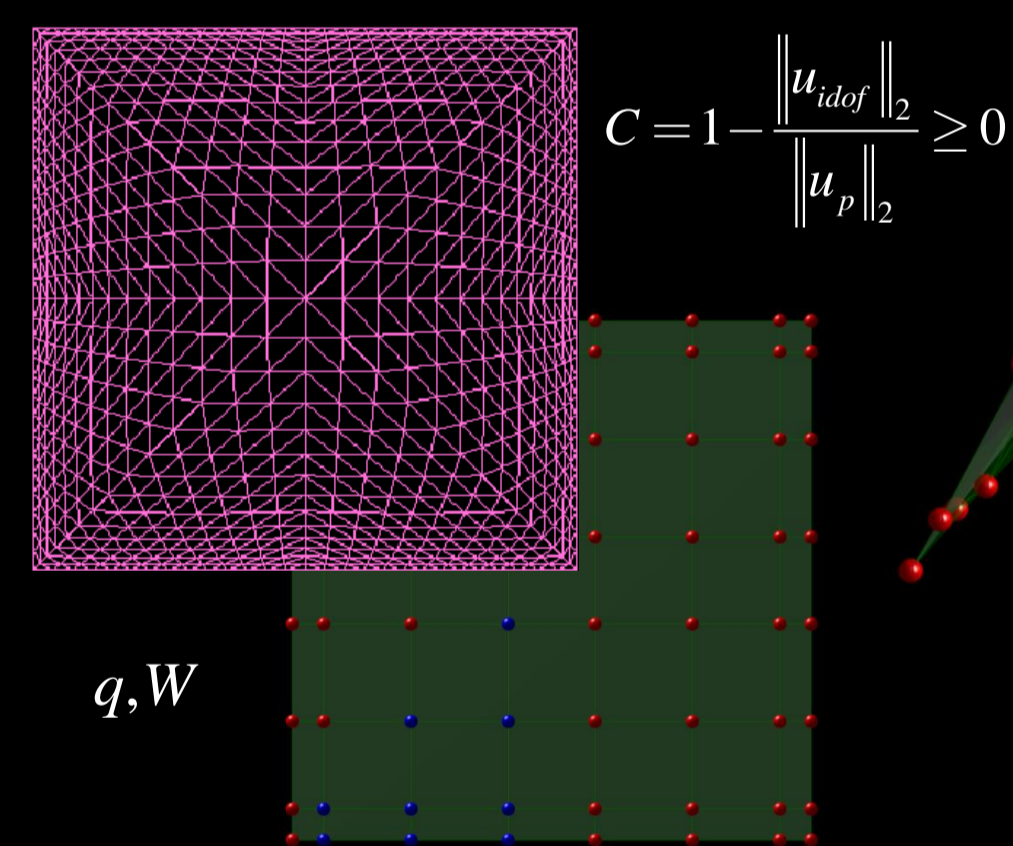
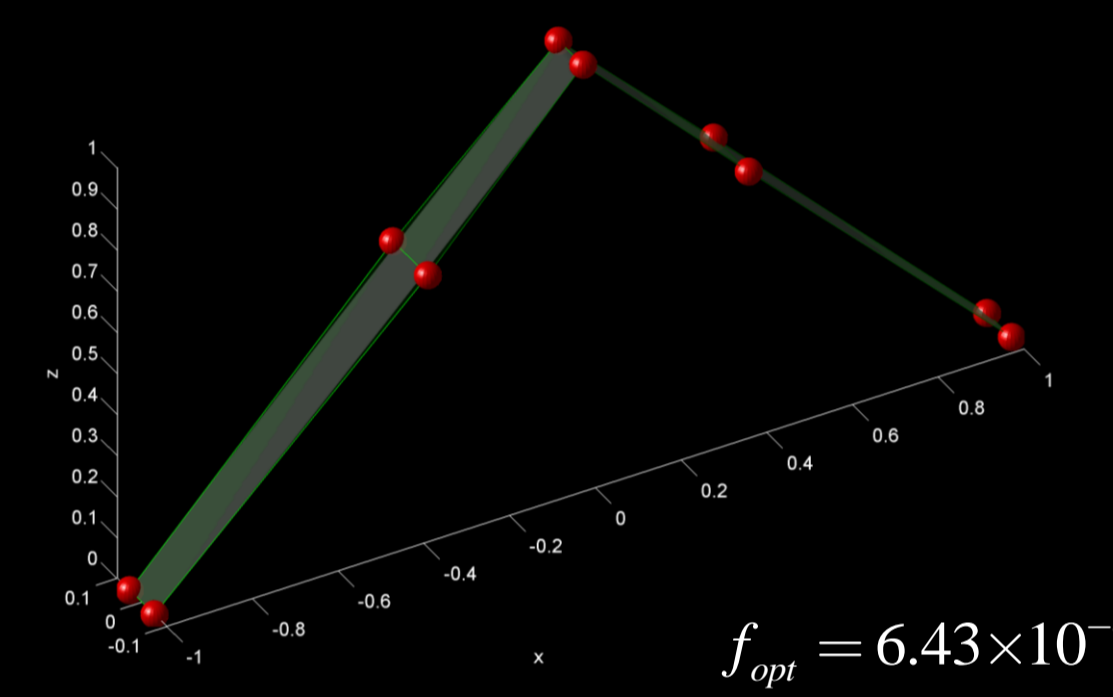
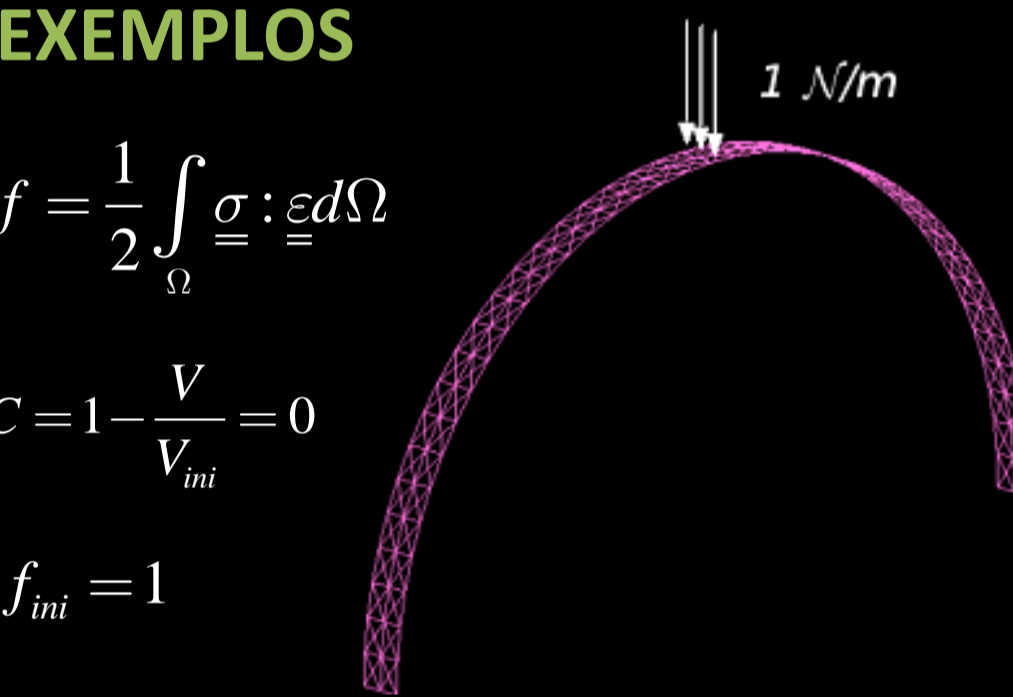
EXEMPLOS

$$f = \frac{1}{2} \int_{\Omega} \underline{\sigma} : \underline{\varepsilon} d\Omega$$

$$C = 1 - \frac{V}{V_{ini}} = 0$$

$$f_{ini} = 1$$

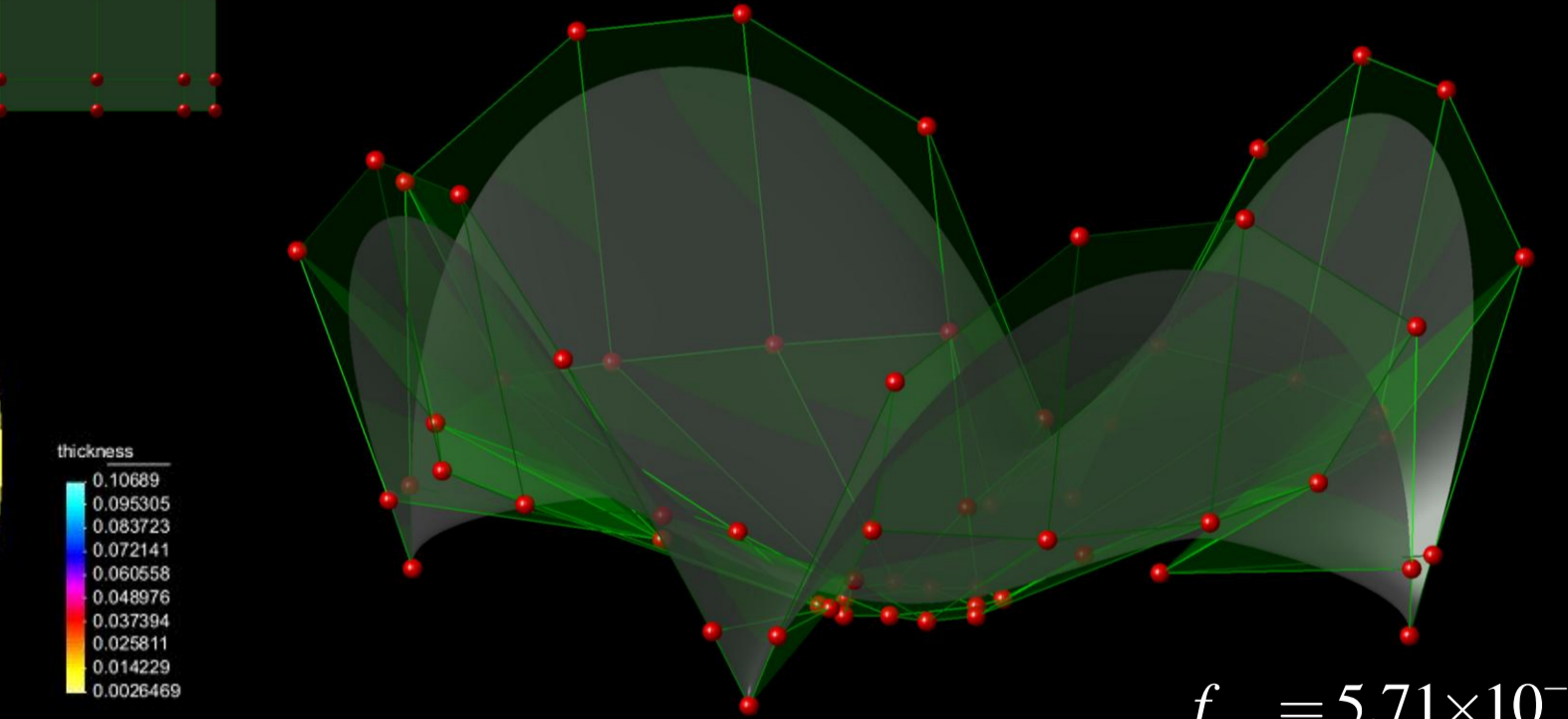
linear



$$f = \max \|U\|_2^2$$

$$f_{opt} = 9.00 \times 10^{-4}$$

não-linear



CONCLUSÕES

- Integração entre AD, NURBS, FEM e SQP apresenta excelente performance para otimização estrutural
- Implementação de AD em otimização estrutural se mostrou válida
- Necessidade de análise e estudo sobre o mínimo global

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao CNPq e a PROPESQ-UFRGS pelo suporte para os projetos de pesquisa e a Luis Felipe da Rosa Espath pela colaboração, sendo este trabalho parte de sua tese de mestrado