

MODELO MATEMÁTICO DO PROGRAMA

O programa divide uma barra de seção retangular e comprimento igual ao arco de contato (calculado a partir do diâmetro do cilindro e da redução), em uma malha de elementos finitos. Os elementos são cúbicos com nós nos vértices e no meio das arestas, somando assim 20 nós por elemento. Aproveitando a simetria da situação (passe chato oval), somente é calculada a porção inferior esquerda. Os nós pertencentes ao plano vertical do corte longitudinal dividindo a barra em duas partes são então fixados quanto ao deslocamento na direção da largura. Os nós pertencentes ao plano horizontal do corte longitudinal passando pelo centro da barra são fixados quanto ao deslocamento vertical (fig 1).

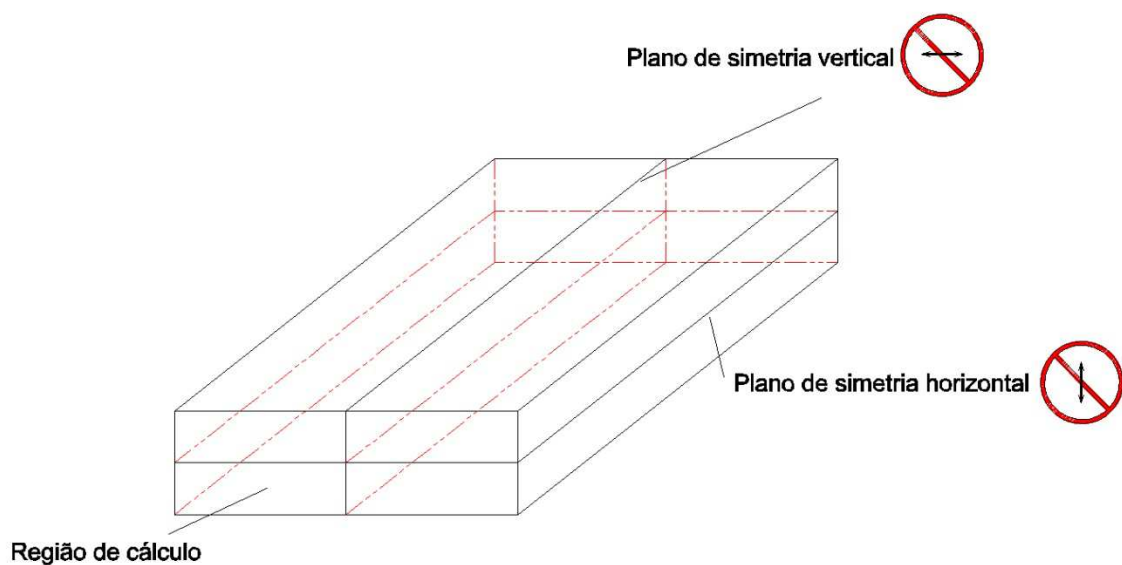


Fig1

Com os dados geométricos da barra chata e do canal oval, o programa calcula os deslocamentos dos nós para um passo, correspondente a um intervalo de tempo logo após a mordida nos cilindros. Após a determinação da nova posição dos nós nesse passo, passa-se ao passo seguinte e assim por diante até a redução total de espessura. Os parâmetros do material (módulo de elasticidade, coeficiente linear de encruamento e limite de escoamento, além do coeficiente de Poisson – fig 2) são variáveis internas, mas podem ser consultadas e alteradas para cada execução, na opção *config* do *menu*. Outros parâmetros que podem ser modificados em *config* são o coeficiente de atrito, o passo de cada etapa de deformação e a configuração da malha, ou seja: o número de camadas na largura, espessura e profundidade. O detalhamento do modelo de cálculo por elementos finitos no regime elástico está no arquivo *feaDescricao.pdf*.

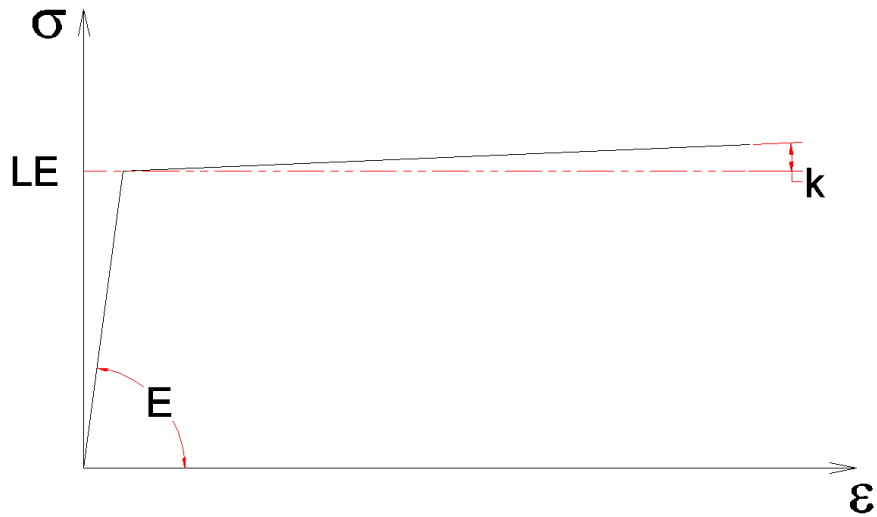


Fig 2

A partir dos deslocamentos em x , y e z de cada um dos nós, calculados inicialmente supondo regime elástico, são calculadas as tensões no interior de cada elemento. Os componentes do tensor de tensões são comparados com o limite de escoamento através da fórmula de Von Mises. Caso ultrapassem a superfície de escoamento, o tensor é corrigido por um algoritmo, conforme mostra a fig 3 para o caso de duas dimensões. Os componentes do tensor correspondentes ao ponto S são transformados para o ponto S' . Como há encruamento, o algoritmo leva em conta que ao final do passo, o limite de escoamento é um pouco maior.

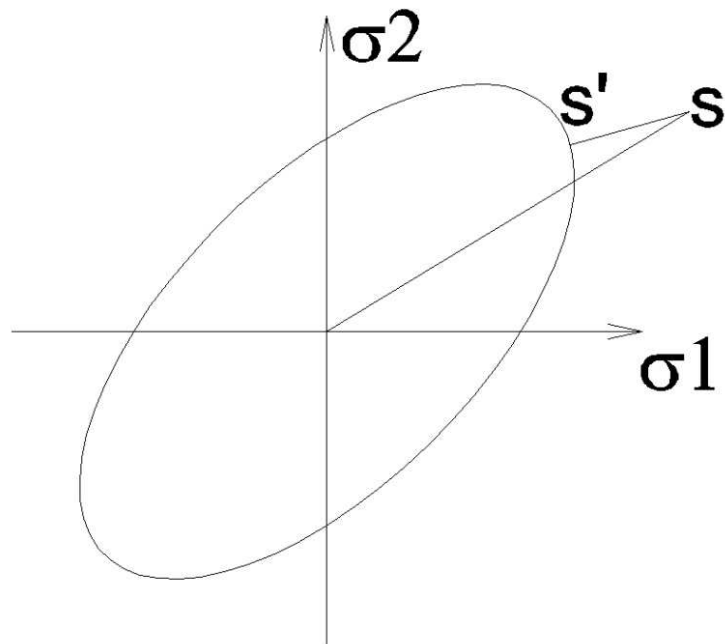


Fig 3

Outra consideração para definir essa correção da tensão é o critério, considerado bem preciso para metais, de proporcionalidade entre o tensor plástico de deformações e o tensor deformante de tensões (deviatoric tensor). Esse último é obtido da subtração de σ_{xx} , σ_{yy} e σ_{zz} pela média desses valores. Para o caso de tensão uniaxial numa barra de seção quadrada na direção z, σ_{xx} e σ_{yy} são iguais a zero $\Rightarrow \sigma_{dev} = [-\sigma_{zz}/3, -\sigma_{zz}/3, 2 \cdot \sigma_{zz}/3, 0, 0, 0] = 1/3 \cdot \sigma_{zz} \cdot [-1, -1, 2, 0, 0, 0]$. A figura 4 mostra como os componentes do tensor de deformações são proporcionais a σ_{dev} , com a deformação na direção da aplicação da força sendo o dobro e sinal oposto às deformações laterais.

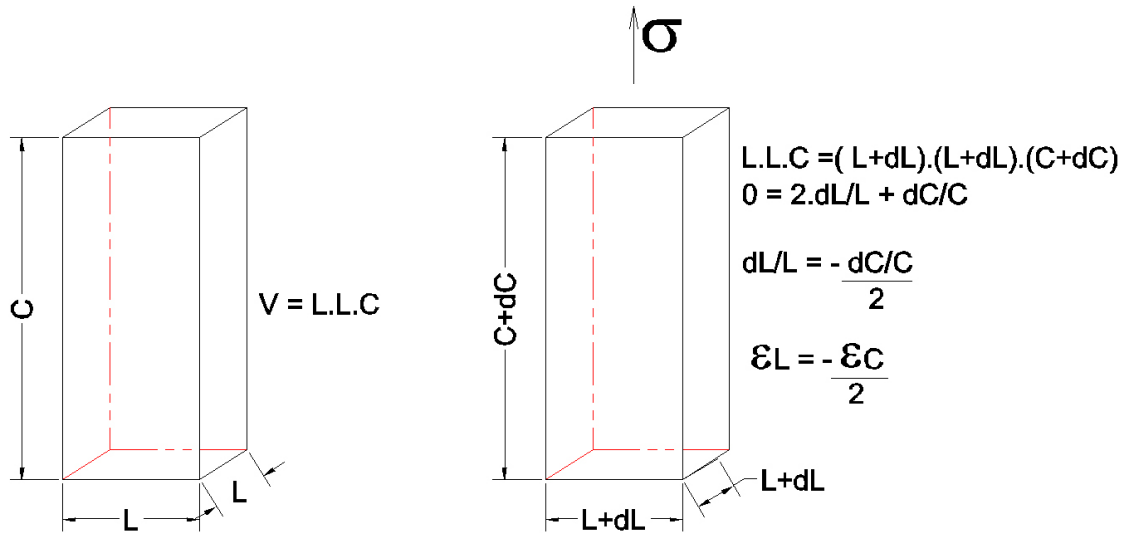


Fig 4

Todos os deslocamentos dos nós tinham sido calculados considerando um determinado passo de deformação. No modelo, isso se traduz em forças nodais nos pontos que são obrigados a se mover com os cilindros. Como as tensões foram corrigidas para se adequar ao critério de Von Mises, as forças nodais compatíveis com essas tensões corrigidas são diferentes das originais (fig 5).

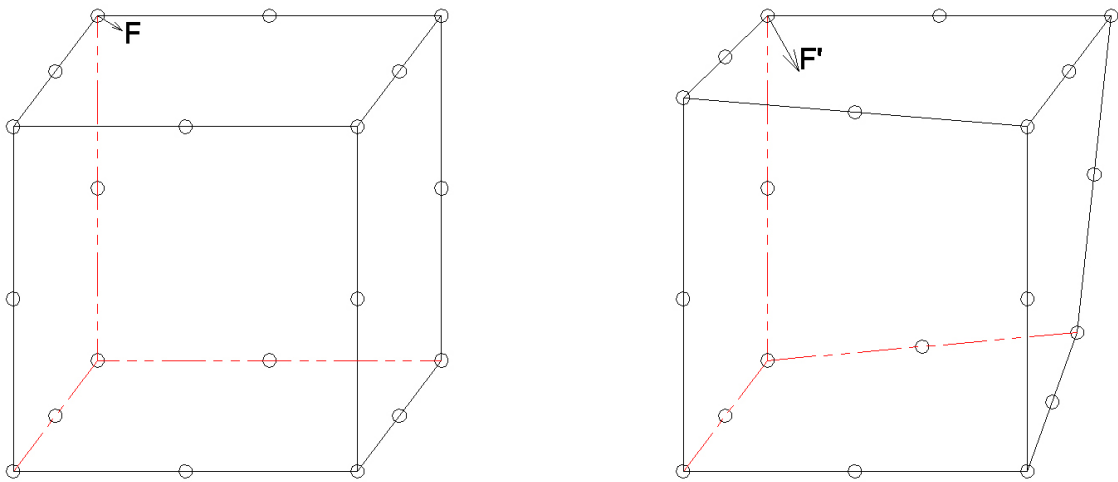
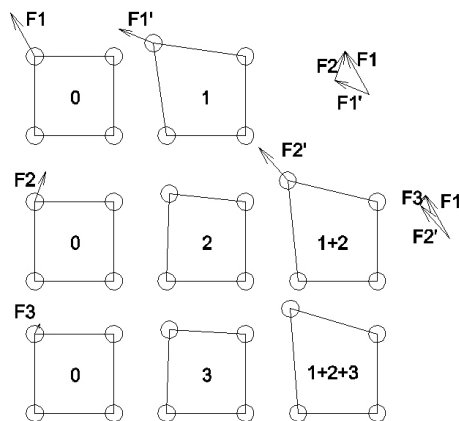


Fig 5

O programa calcula então novamente os deslocamentos dos nós para regime elástico, mas agora as forças nodais são a diferença entre as forças originais e as recalculadas. Devido à suposição de regime elástico, os deslocamentos calculados tendem sempre a ser bem menores que os reais para as forças aplicadas. Cada nó tem seu deslocamento, em cada direção coordenada, nessa segunda etapa, adicionado ao deslocamento anterior. A partir desses novos deslocamentos, resultantes da soma das duas etapas, são calculadas novamente as tensões e as forças nodais (a figura 6 ilustra o esquema para 2 dimensões). Com a repetição do processo, a diferença entre as forças (força residual) fica progressivamente menor. E o acréscimo de deslocamento a ser adicionado aos anteriores também. Quando essa diferença for menor que um valor estabelecido, toma-se os deslocamentos como reais, e parte-se para mais um passo do cilindro onde o processo recomeça até o final da deformação.



A cada etapa, a força residual aplicada aos nós e o acréscimo na deformação em relação à etapa anterior, ficam menores, assegurando a convergência do cálculo.

Fig 6

