

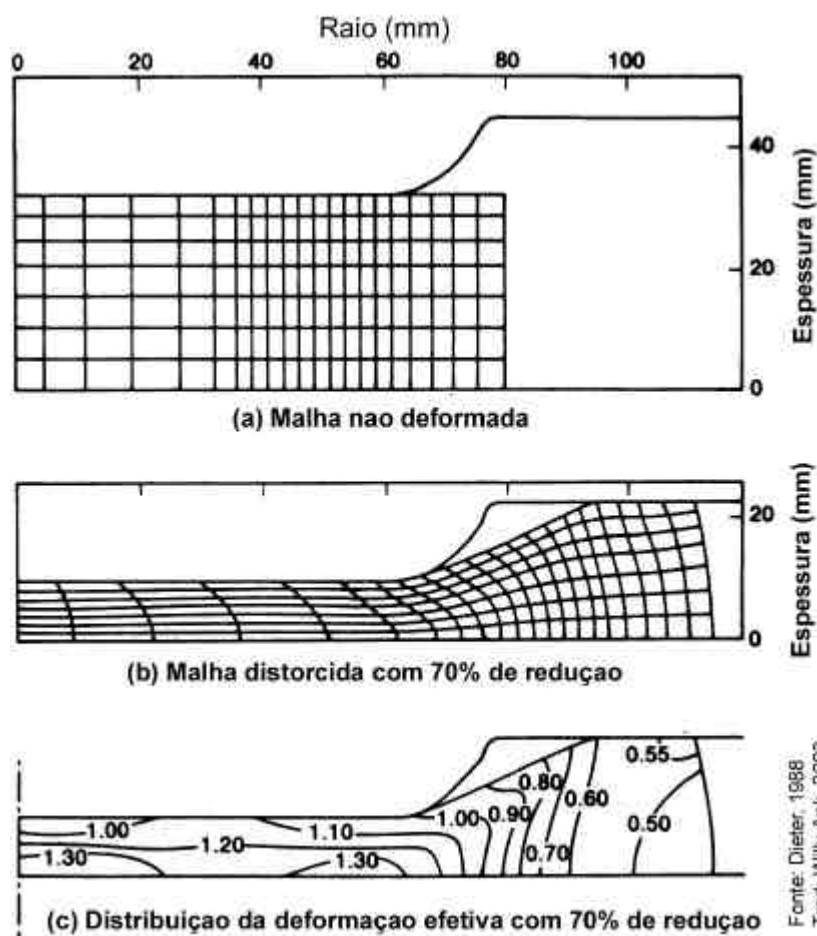


Figura 3.18 – Determinação das deformações de um disco sob compressão, adaptação da citação de Dieter (1988).

Atualmente programas de computador extremamente sofisticados e equipamentos poderosos permitem fazer simulações de conformação mecânica tão precisas e reais que estão tomando o lugar dos testes de desempenho do material em processamento e mesmo dos ensaios mecânicos.

No processo de estampagem de chapas de aço estão concentrados os maiores avanços desta técnica. Já estão disponíveis diversos softwares para a simulação do processo, tais como:

- Optris[®]
- Autoform[®] (analisa se é possível ou não obter uma forma final a partir de um blank)
- Pam-stamp[®] (simula passo-a-passo)
- Isoform[®]
- MSC Patran[®]

As figuras 3.19 a 3.21 apresentam exemplos de simulação do processo de estampagem através de programas (softwares) comerciais.

3.7 – Redes Neurais

As redes neurais, também conhecidas como sistemas de processamento paralelo e distribuído, tiveram grande impulso no final de década de 1980. Trata-se de uma forma de computação não algorítmica cuja arquitetura de funcionamento se assemelha, de certa forma à estrutura do cérebro humano, conforme ilustra a figura 3.22.

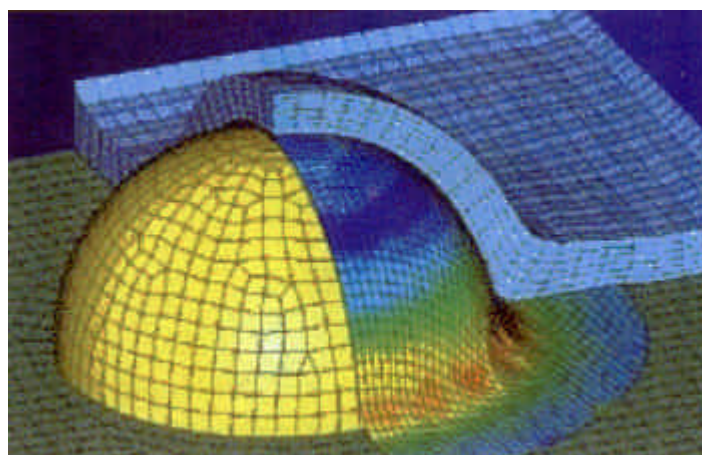


Figura 3.19 –
Exemplo da simulação
de um ensaio de
embutimento simples,
Plaut e Silva (2003).



Figura 3.20 –
Exemplo da simulação
de um processo de
hidroconformação de
tubos através do
programa Isopunch®,
Plaut e Silva (2003).

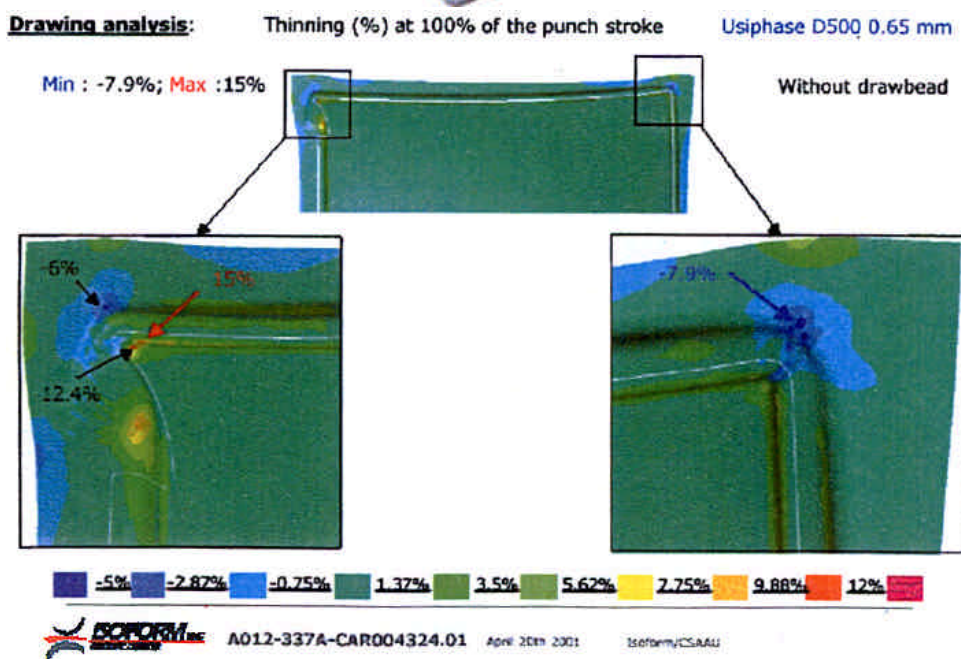


Figura 3.21 –
Exemplo da simulação da
estampagem de
uma peça de aço
plano através do
programa
Isoform®, Plaut e
Silva (2003).

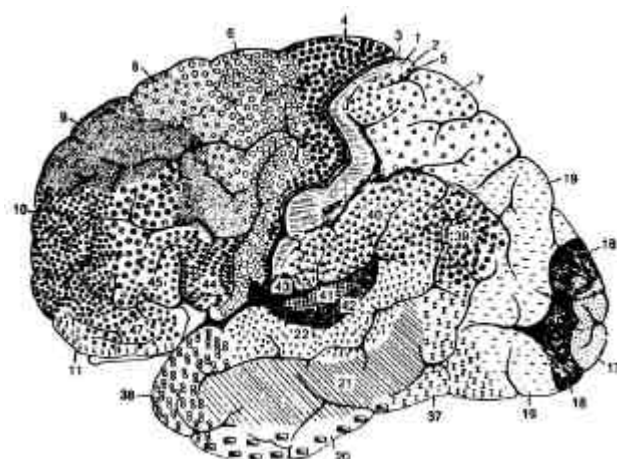
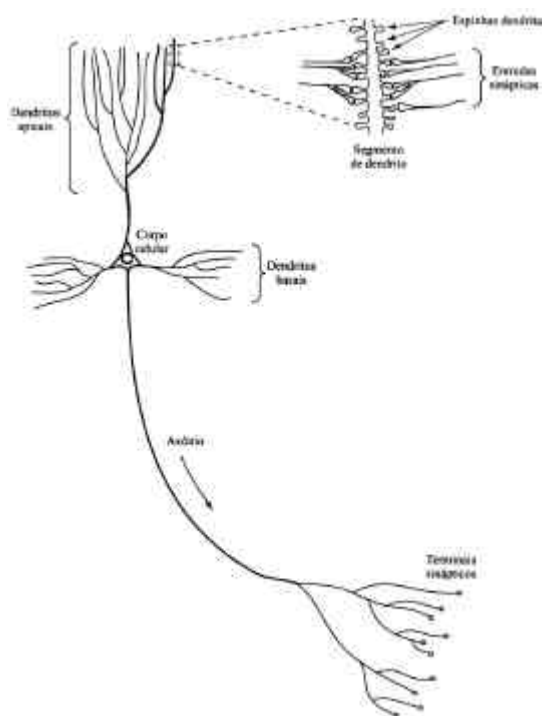


Figura 3.22 – Cérebro humano (acima) e um neurônio deste, Haykin (2002).

Por não ser baseadas em regras ou programas, a computação neural se constitui em uma alternativa à computação convencional (por exemplo elementos finitos) na resolução de problemas complexos. Nas redes neurais, sistemas de processamento simples que funcionam em paralelo calculam determinadas funções matemáticas. Tais unidades são dispostas em uma ou mais camadas e interligadas por um grande número de conexões, tal como os neurônios do cérebro humano (figura 3.22). A figura 3.23 ilustra algumas estruturas ou arquiteturas possíveis.

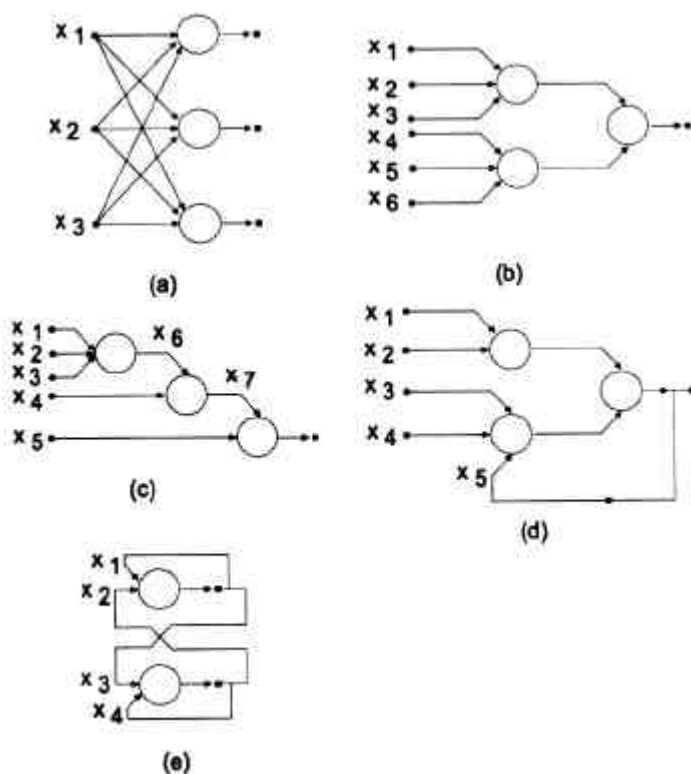


Figura 3.23 – Exemplos de arquiteturas de redes neurais, compare estas arquiteturas com o neurônio mostrado na figura 3.22; Braga, Carvalho e Ludermir (2000).

The diagram illustrates a neural network with three layers of nodes. The top layer has 4 nodes, the middle layer has 4 nodes, and the bottom layer has 4 nodes. The forward pass is indicated by a large arrow at the top labeled "Fase forward". The backward pass is indicated by a large arrow at the bottom labeled "Fase backward". The network is fully connected between adjacent layers.

Diagrama de um mecanismo de transmissão de potência, provavelmente um tipo de transmissão de potência por engrenagens e cilindros. O diagrama mostra uma série de engrenagens e cilindros dispostos em uma configuração simétrica. As engrenagens são rotuladas com letras A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, O, P, Q, R, S, T, U, V, W, X, Y, Z. Os cilindros são rotulados com letras A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, O, P, Q, R, S, T, U, V, W, X, Y, Z. O mecanismo é alimentado por uma engrenagem de entrada (rotulada 'engrenagem de entrada superior') e uma engrenagem de saída (rotulada 'engrenagem de saída inferior'). O diagrama também mostra um 'cilindro primeiro intermediário' e um 'cilindro segundo intermediário'. O mecanismo é montado sobre um 'rolamento de encosto'.

99

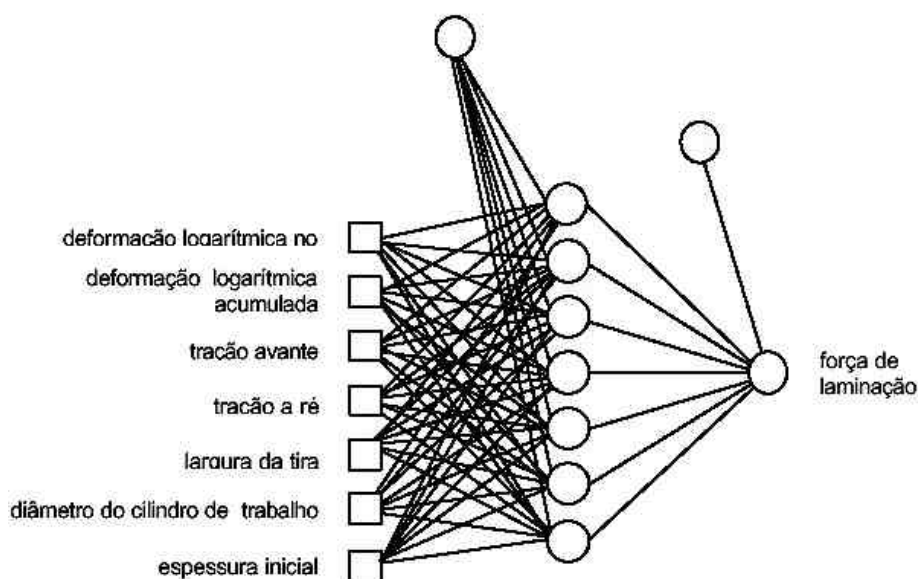


Figura 3.26 – Arquitetura utilizada para a análise do laminador Sendzmir por redes neurais; Bardy e Caccioppoli (2003).

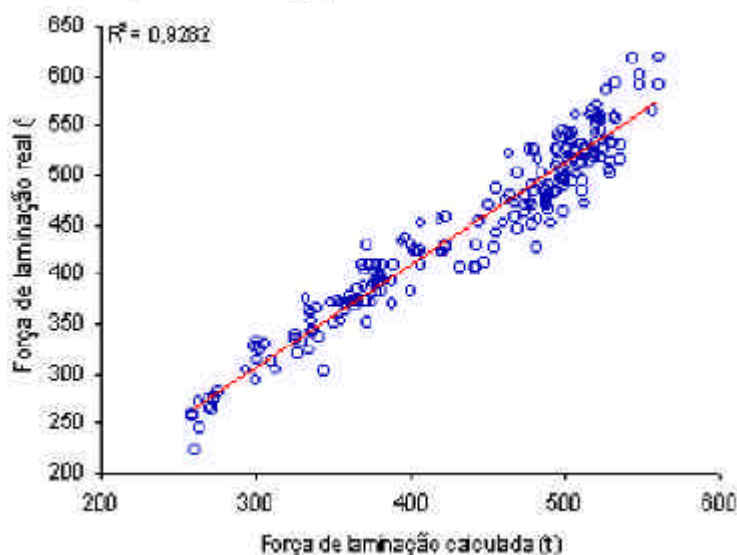


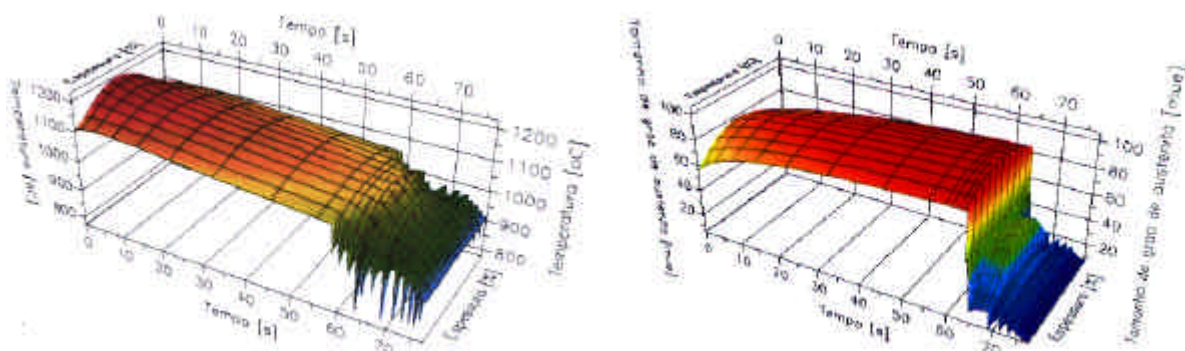
Figura 3.27 – Resultados obtidos em termos de cálculo da carga de laminação; Bardy e Caccioppoli (2003).

3.8 – Outros métodos

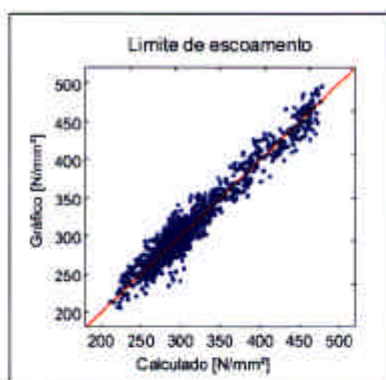
Atualmente a automatização de equipamentos de conformação mecânica de grande porte utiliza os conceitos das redes neurais conjulados com equacionamentos básicos de conformação mecânica e de dependência entre microestrutura e propriedades para a definição, estabilização, controle e predição dos processos. Este tipo de desenvolvimento está relativamente adiantando para as laminações a quente de aços, inclusive sendo o processo sobre o qual se iniciou os métodos de estudo analíticos mostrados anteriormente.

Atualmente os laminadores de tiras a quente no mundo possuem algum tipo de controle por modelos matemáticos, provavelmente com a utilização de redes neurais, que atuam efetivamente sobre o processo de conformação do material.

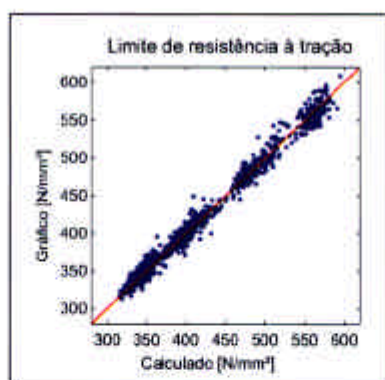
A empresa Vöest-Alpine introduziu recentemente no mercado um sistema integrado de automatização de linhas de laminação a quente na qual modelos matemáticos calculam não só as cargas de laminação, mas também as espessuras obtidas, microestruturas e propriedades mecânicas. A figura 3.28 ilustra alguns dos resultados obtidos pelo sistema desta empresa.



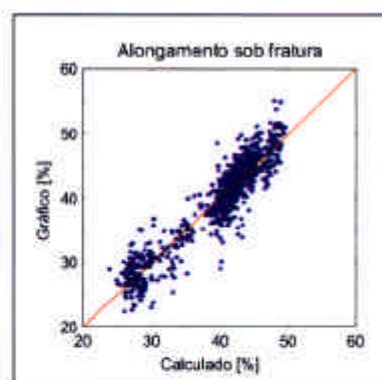
AÇOS BAIXO CARBONO E AÇOS ESTRUTURAIS



$$\sigma = 13.7 \text{ N/mm}^2$$

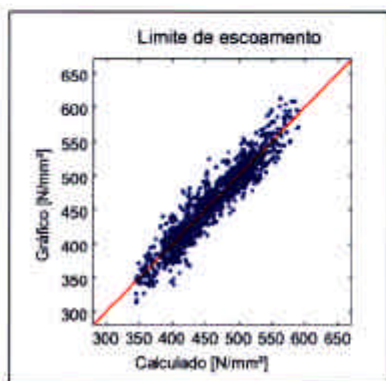


$$\sigma = 8.5 \text{ N/mm}^2$$

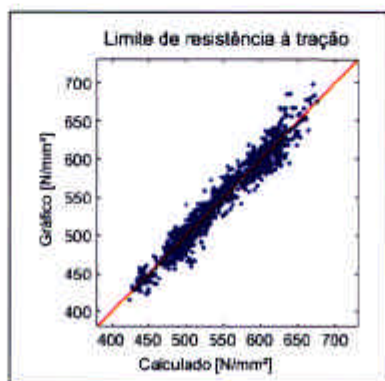


$$\sigma = 2.2 \%$$

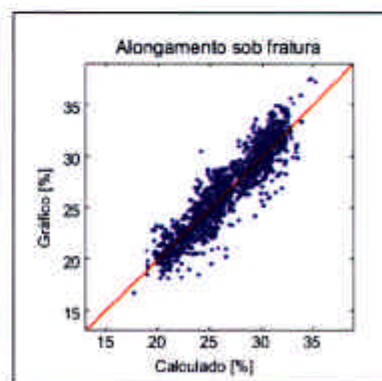
Aços Baixa Liga de Alta Resistência



$$\sigma = 17.5 \text{ N/mm}^2$$



$$\sigma = 12.9 \text{ N/mm}^2$$



$$\sigma = 1.7 \%$$

Figura 3.28 – Alguns resultados do sistema de automatização de laminções de tiras a quente implementado pela Voest-Alpine Industries, VATech (2002).



3.9 – Bibliografia

As referências destacadas com um ponto (•) são recomendados como livros-texto deste capítulo da disciplina.

- BARDY, P.B.; CACCIOPPOLI, J.M.R.; **Utilização de redes neurais artificiais no processo de laminação a frio de aços inoxidáveis**. 40^o Seminário de Laminação da ABM, Vitória, 2003.
- BRAGA, A.P.; CARVALHO, A.C.P.L.F.; LUDERMIR, T.B.; **Redes neurais artificiais: teoria e aplicações**. Livros Técnicos e Científicos Editora, Rio de Janeiro, 2000.
- BUTTON, S.T.; **Curso: Trefilação**. Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, São Paulo, 2002.
- DIETER, G. E.; **Mechanical Metallurgy**. SI Metric edition. McGraw Hill, Singapore, 1988 (existe uma versão anterior que foi traduzida para o português).
 - DOWLING, N.E.; **Mechanical Behavior of Materials**. Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, 1993.
 - HAYKIN, S.; **Redes Neurais: princípios e prática**. Bookman, 2^a edição, Porto Alegre, 2001.
 - HELMAN, H.; CETLIN, P.R.; **Fundamentos da Conformação Mecânica dos Metais**. Editora Guanabara Dois, 1983.
 - HELMAN, H.; **Curso: Fundamentos da Laminação - Produtos Planos**, ABM, 1988.
 - MEYERS, M.A.; CHAWLA, K.K.; **Principles of Mechanical Metallurgy**. Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, 1984.
 - PLAUT, R.L.; **Curso: Laminação dos aços: tópicos avançados**. Associação Brasileira de Metais, São Paulo, 1984.
 - PLAUT, R.L.; SILVA, A.T.; **Curso: Estampagem dos aços ao carbono**. Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, São Paulo, 2003.
 - SCHAEFFER, L.; **Conformação Mecânica**. Imprensa Livre Editora, Porto Alegre, 1999.