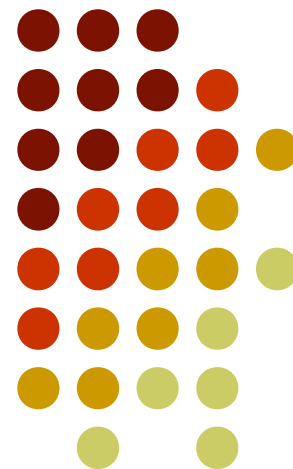


# PGCA009 – Inteligência Computacional

## Aula 4 Redes de Kohonen

---

Prof. Angelo Loula  
Mestrado em  
Computação Aplicada (UEFS)



# Redes Neurais de Kohonen



- Redes Neurais de Kohonen
  - Teuvo Kohonen (1982)

Ou

- Mapas Auto-Organizáveis (Self-Organizing Maps – SOM)

# Sistemas Auto-Organizáveis

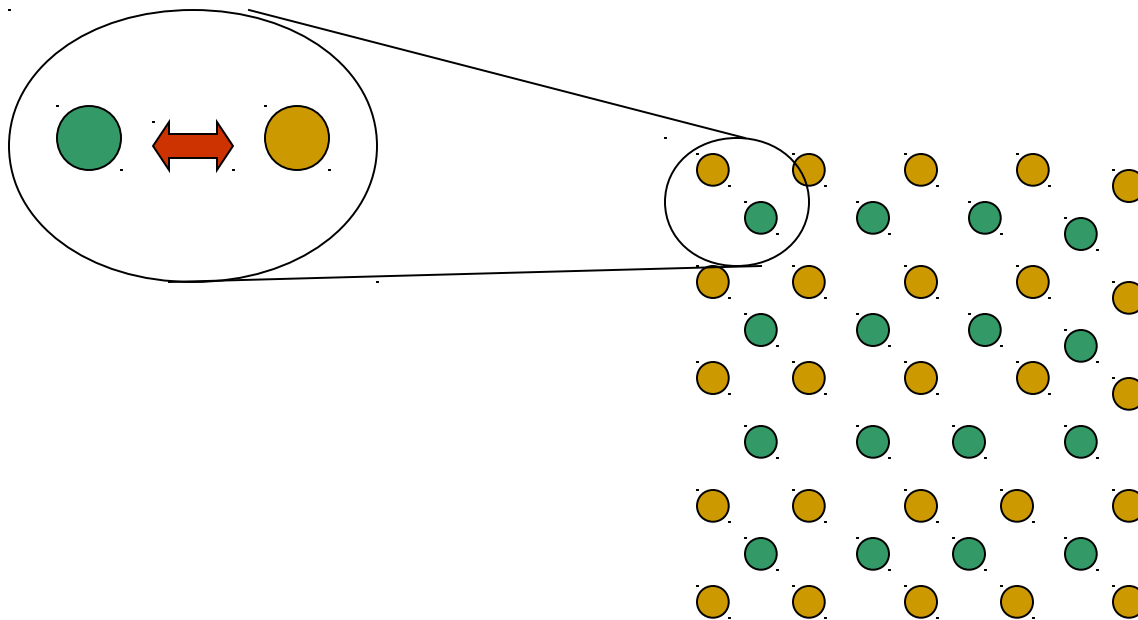


- Sistemas Auto-Organizáveis
  - padrões globais são produzidos por meio de interações locais
  - sem controle central ou externo
  - adaptação constante ao ambiente
  - informações globais
    - restrições globais
    - sem impor controle direto

# Sistemas Auto-Organizáveis



- Características
  - ordem global e interações locais



# Sistemas Auto-Organizáveis



- Características
  - controle distribuído
    - sem controle central
  - realimentações positivas e negativas
    - reforça certos padrões
    - enfraquecem outros padrões

# Sistemas Auto-Organizáveis



- Características
  - emergência
    - surgimento de novas propriedades globalmente
    - todo é maior que a soma das partes
  - ordem/organização
    - redundância, coerência
    - espaço e/ou tempo

# Redes Neurais de Kohonen



- Redes Neurais de Kohonen
  - Inspiração biológica: neurônios topologicamente próximos respondem de forma similar a estímulos
- Mapas Auto-Organizáveis
  - Auto-organização topológica ao conjunto de dados
- Aprendizado não-supervisionado
  - Adaptação aos dados de entrada

# Redes Neurais de Kohonen



- Define uma projeção dos dados em um mapa topográfico
  - Dados dimensão  $N \rightarrow$  Mapa 2D (usual)
  - Dados de entrada próximos são projetados próximos no mapa
  - Reduz dimensão dos dados e evidencia similaridades nos dados

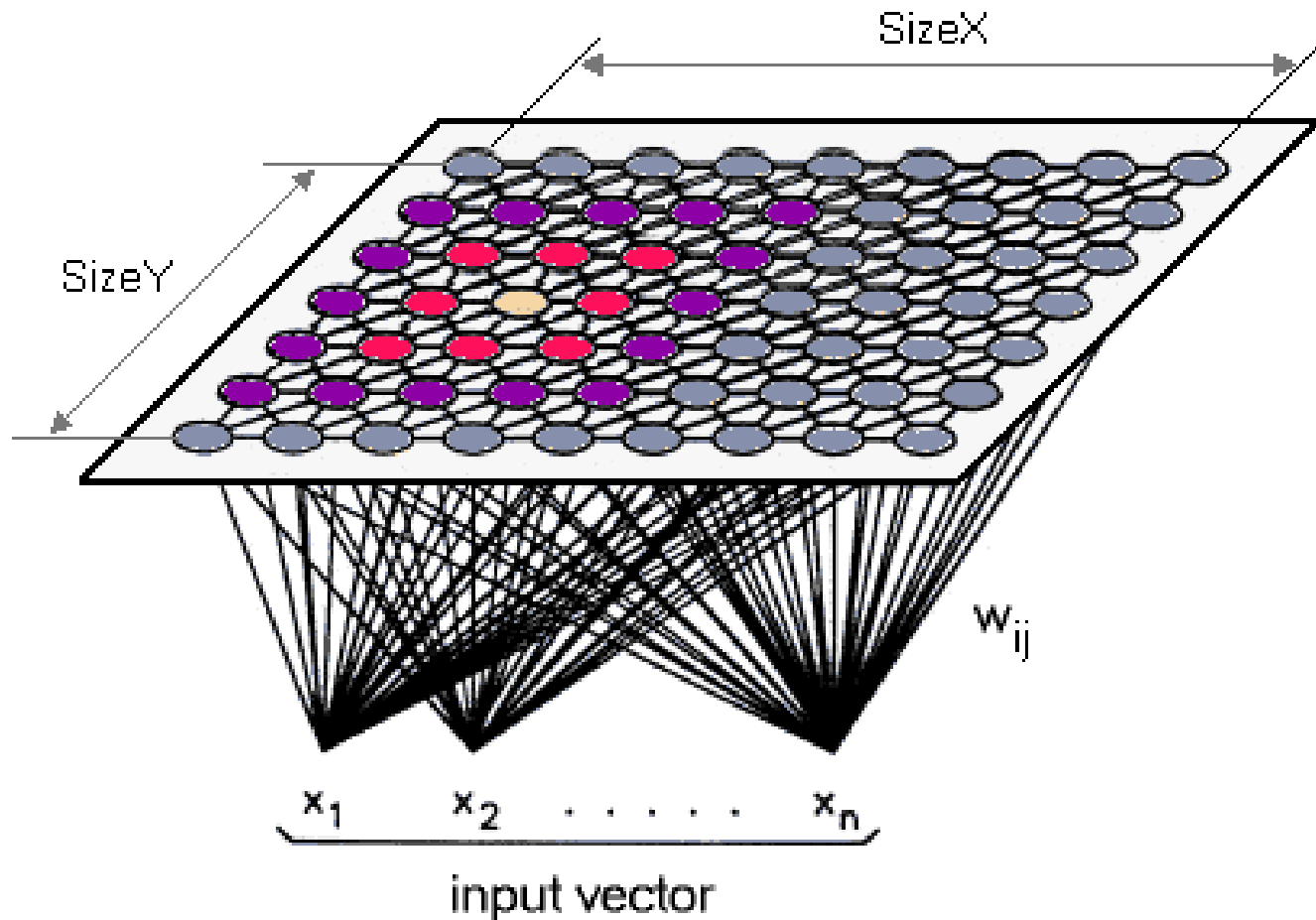


# Redes Neurais de Kohonen



- Neurônios são vetores de pesos
  - $\mathbf{w} = [w_1, w_2, \dots, w_m]$ ,  $m$ : dimensão do espaço de entrada
  - arranjo 2D (usual): vizinhança entre eles
  - competição por ativação
    - cada entrada  $\rightarrow$  um neurônio ativo
  - ajuste dos pesos à entrada conforme ativação

# Redes Neurais de Kohonen



# Redes Neurais de Kohonen



- inicialize os pesos de cada neurônio
- repita até não haver mudança nos pesos
  - para cada padrão de entrada
    - apresente o padrão
    - determine o neurônio mais ativo
    - determine os vizinhos do neurônio mais ativo
    - ajuste os pesos destes neurônios

# Redes Neurais de Kohonen



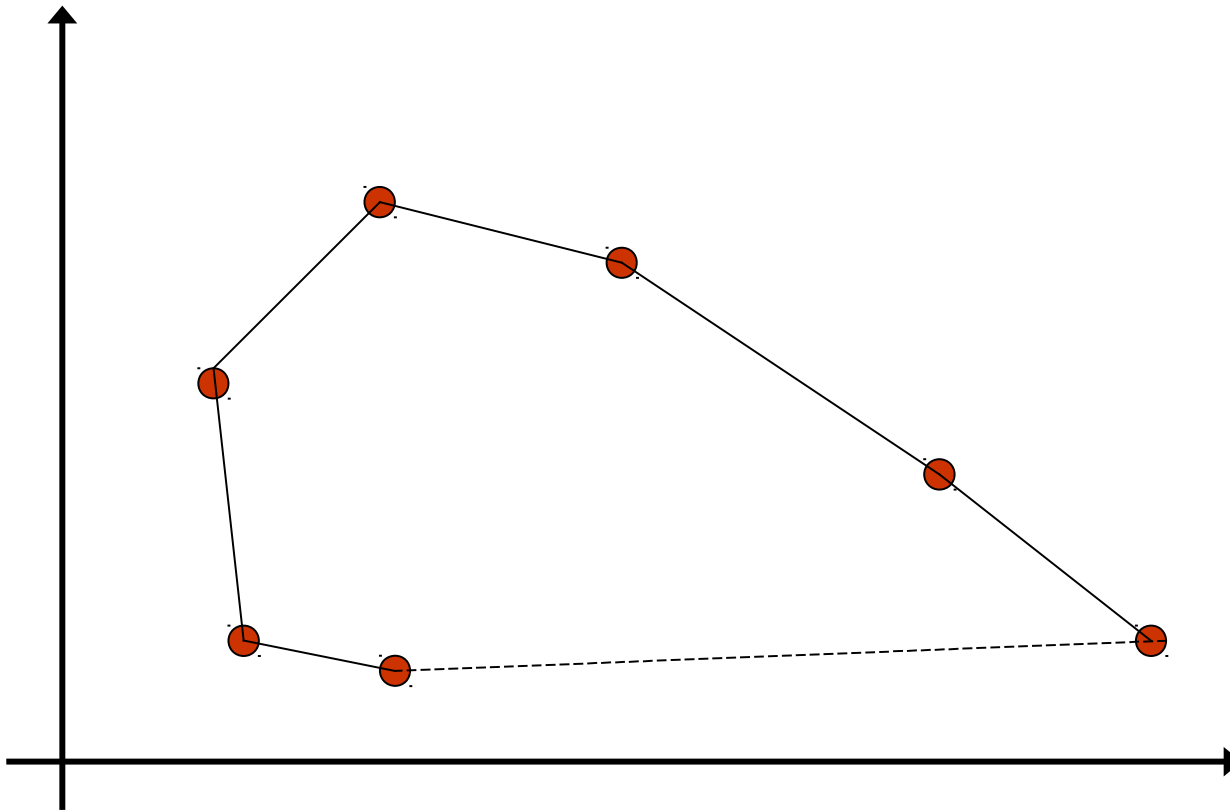
- inicialize os pesos de cada neurônio
- repita até não haver mudança nos pesos
  - para cada padrão de entrada
    - apresente o padrão
    - determine o neurônio mais ativo
    - determine os vizinhos do neurônio mais ativo
    - ajuste os pesos destes neurônios

# Redes Neurais de Kohonen



- Arranjos e Vizinhanças
  - Arranjo unidimensional
    - Sequência linear de neurônios
    - Vizinhança do neurônio com o anterior e próximo
    - O último/primeiro neurônio pode ter ou não vizinhança com o primeiro/último neurônio

# Redes Neurais de Kohonen

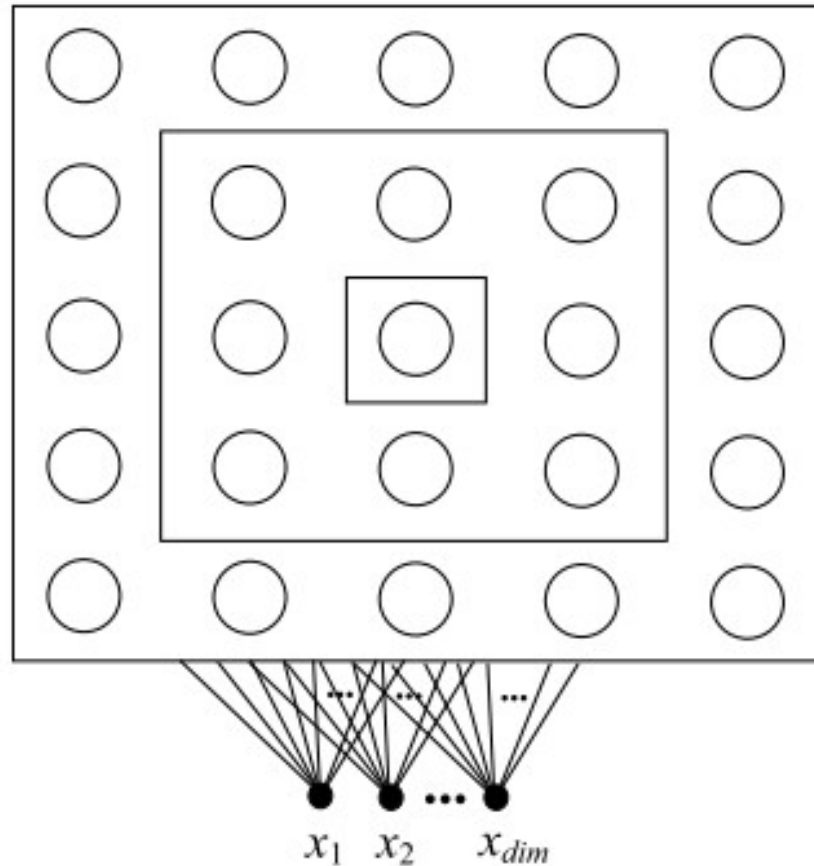


# Redes Neurais de Kohonen



- Arranjos e Vizinhanças
  - Arranjo bidimensional
    - Disposição bidimensional de neurônios
    - Vizinhança do neurônio outros próximos no espaço 2D
      - Vários formatos possíveis: quadrada, hexagonal, etc

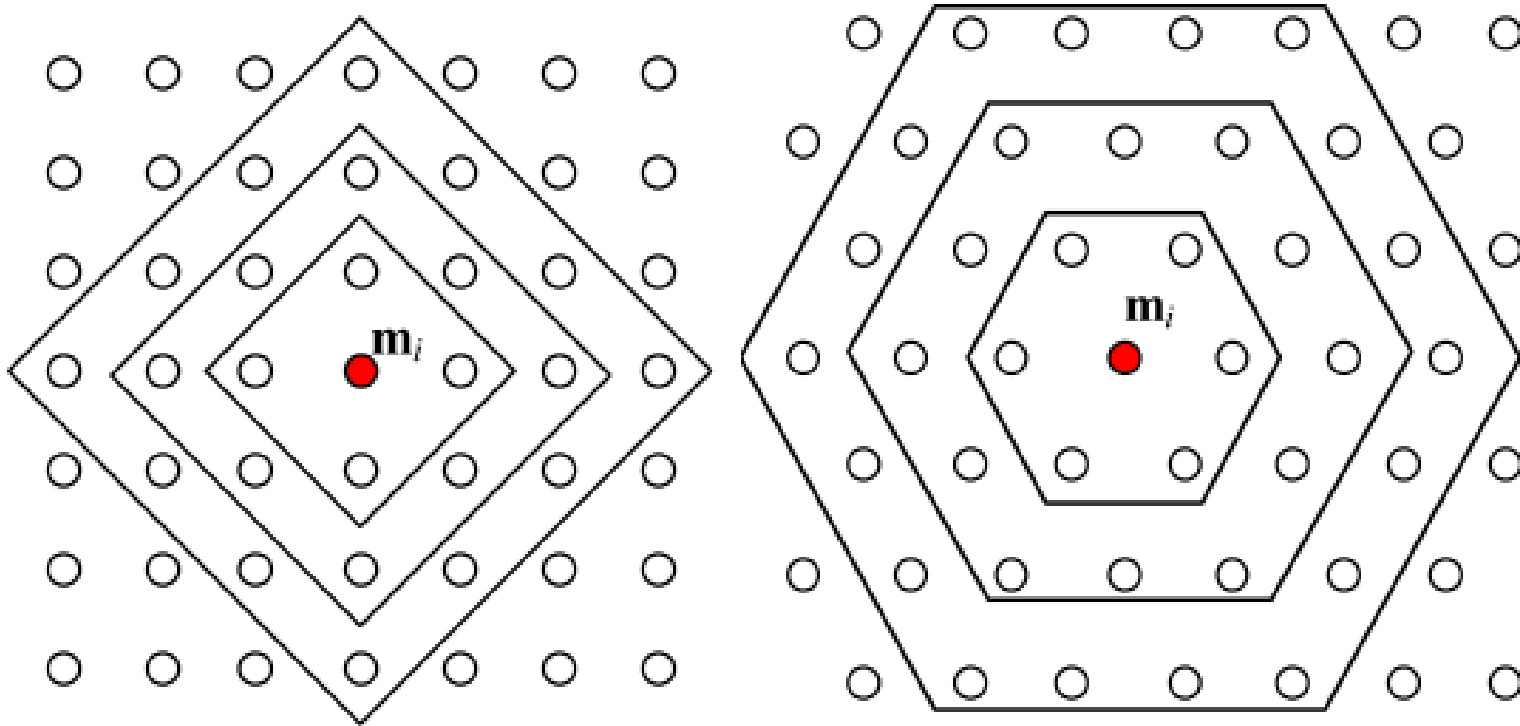
# Redes Neurais de Kohonen



baseado em slides do prof Fernando von Zuben (Unicamp)



# Redes Neurais de Kohonen



# Redes Neurais de Kohonen



- Inicialização dos pesos
  - Valores pequenos aleatórios
    - Pequenos em relação aos dados de entrada
  - Linearmente distribuídos (dimensões de maior variância)
  - Usando dados de entrada

# Redes Neurais de Kohonen



- O neurônio mais ativo
  - Competição, WTA(winner-takes-all)
- BMU (Best Matching Unit)
  - Menor distância euclidiana da entrada

# Redes Neurais de Kohonen



- Os vizinhos do neurônio mais ativo
  - Cooperação
    - O BMU influencia seus vizinhos a cooperarem no mesmo sentido
    - Mas com menor intensidade
    - Busca manter projeção topológica
    - É preciso definir vizinhança

# Redes Neurais de Kohonen



- Ajustes os pesos dos neurônios
  - Adaptação
  - Online ou Batch
    - Online: ordem aleatória de apresentação das entradas
  - Taxa de aprendizado decrescente no tempo
  - Ajustes dos vizinhos além do BMU
    - Influência na vizinhança deve decrescer no tempo

# Redes Neurais de Kohonen



- Ajustes os pesos dos neurônios
  - Ajuste de pesos

$$w_i(t+1) = w_i(t) - \alpha(t) \cdot h_{BMU,i}(t) \cdot (x_k(t) - w_i(t))$$

$x_k$ : entrada k

$h_{BMU,i}$ : função de ativação de vizinhança

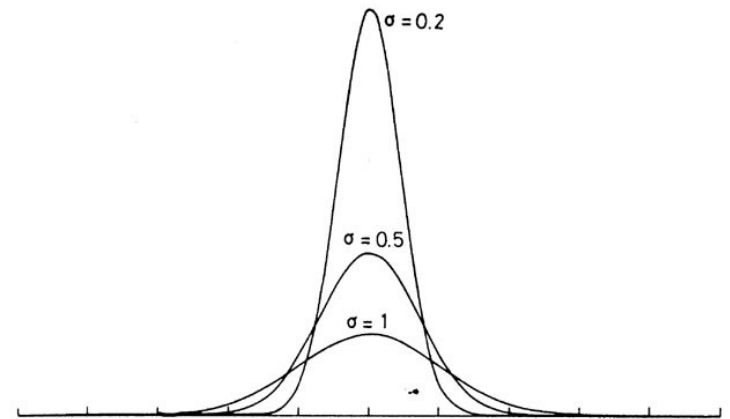


# Redes Neurais de Kohonen

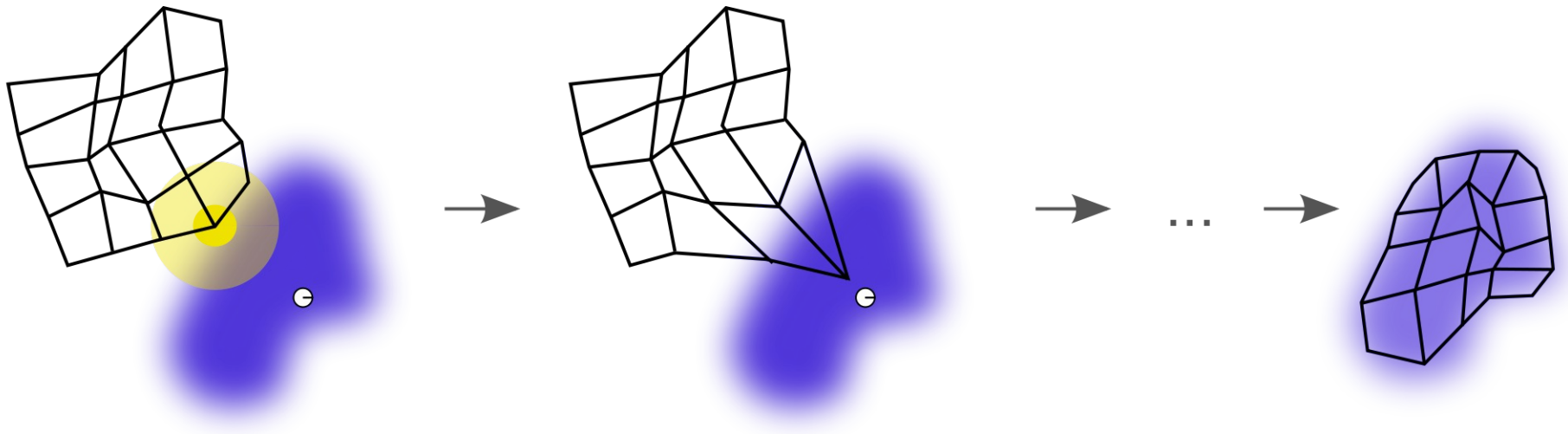
- Ajustes os pesos dos neurônios
  - $h_{BMU,i}(t)$ 
    - simples: dentro da vizinhança = 1 e fora = 0
    - mais adequado: função gaussiana

$$h_{BMU,i}(t) = e^{-\frac{dist(BMU,i)^2}{2\sigma(t)}}$$

$dist(BMU,i)$ : distância do BMU ao neurônio  $i$  na grade conforme arranjo de vizinhança

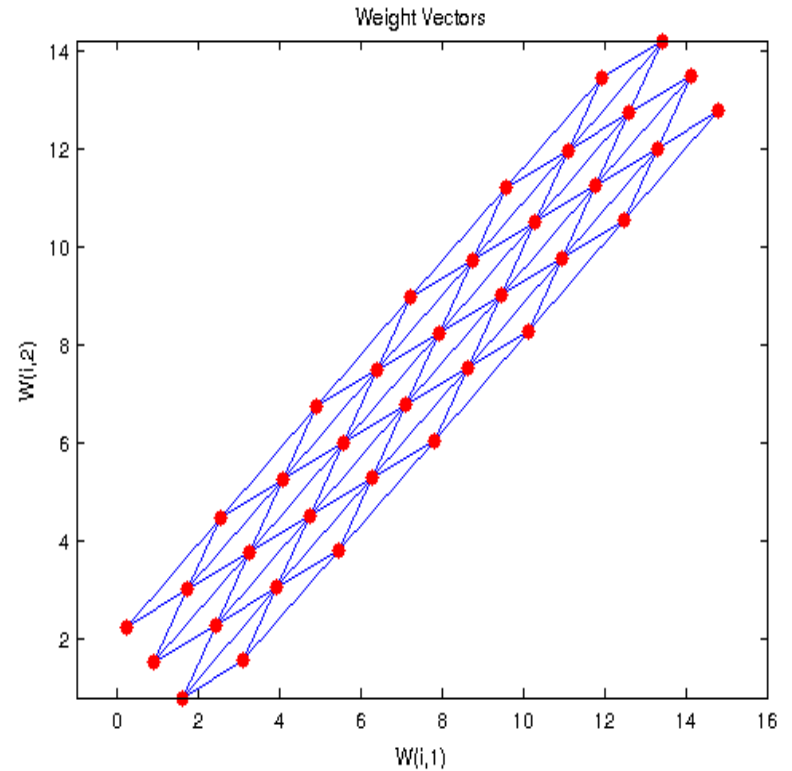
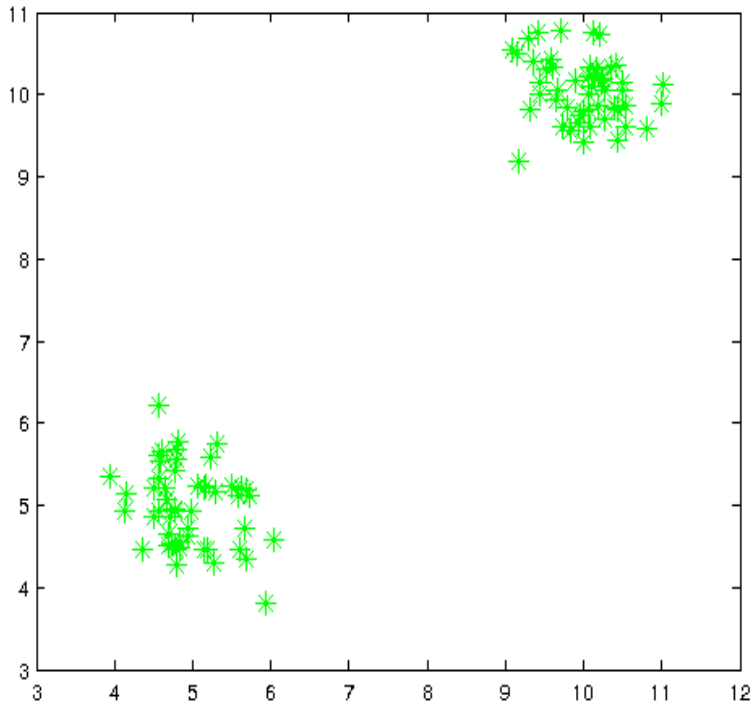


# Redes Neurais de Kohonen

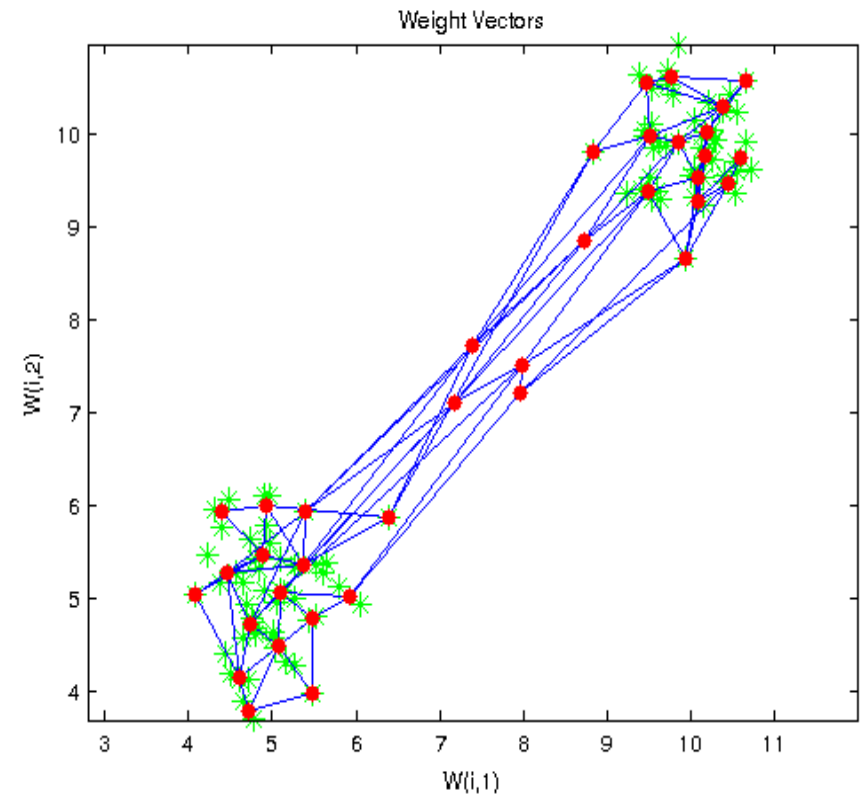
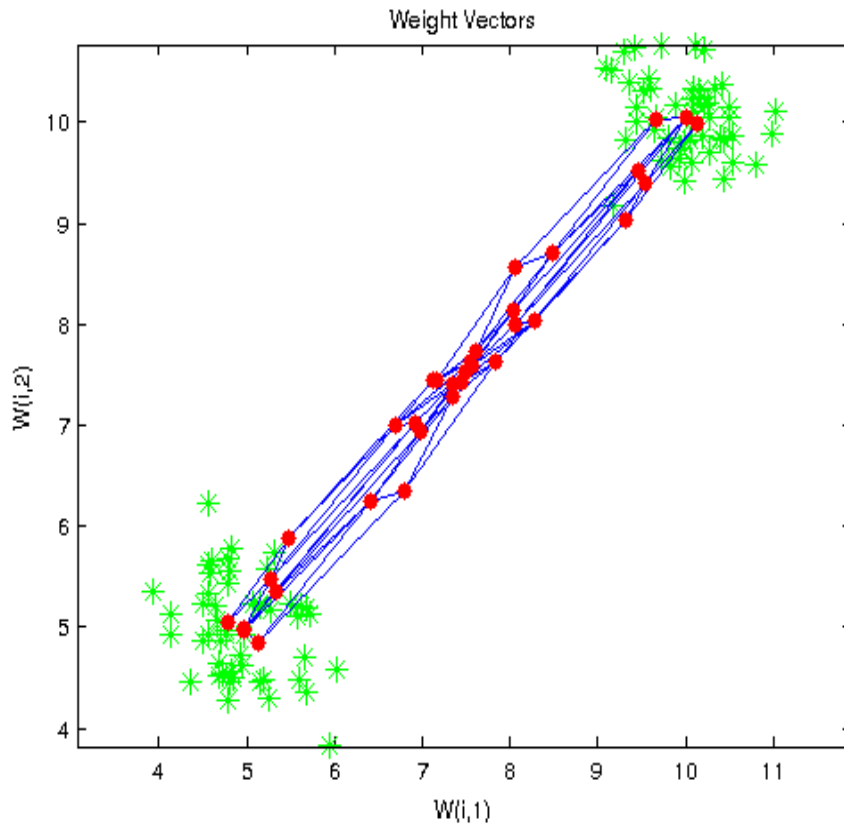




# Redes Neurais de Kohonen



# Redes Neurais de Kohonen

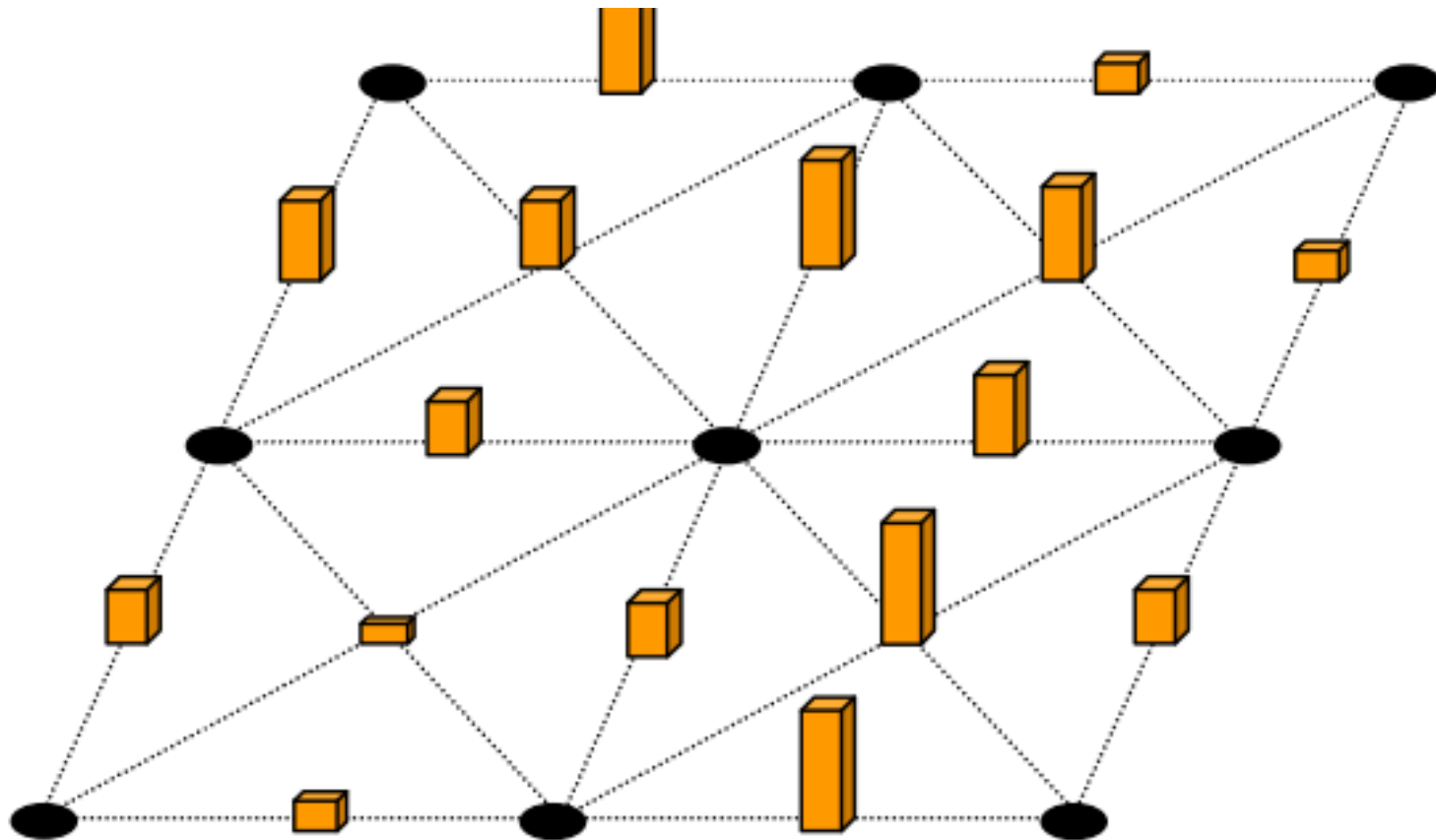


# Redes Neurais de Kohonen



- Interpretação da rede
  - Matriz U (vetor U se 1D)
    - distância entre neurônios conforme arranjo de vizinhança
    - inspeção visual para encontrar vales e picos (valores baixos e altos de distância)
    - projeção topográfica dos dados: a matriz U preserva a distância entre os dados

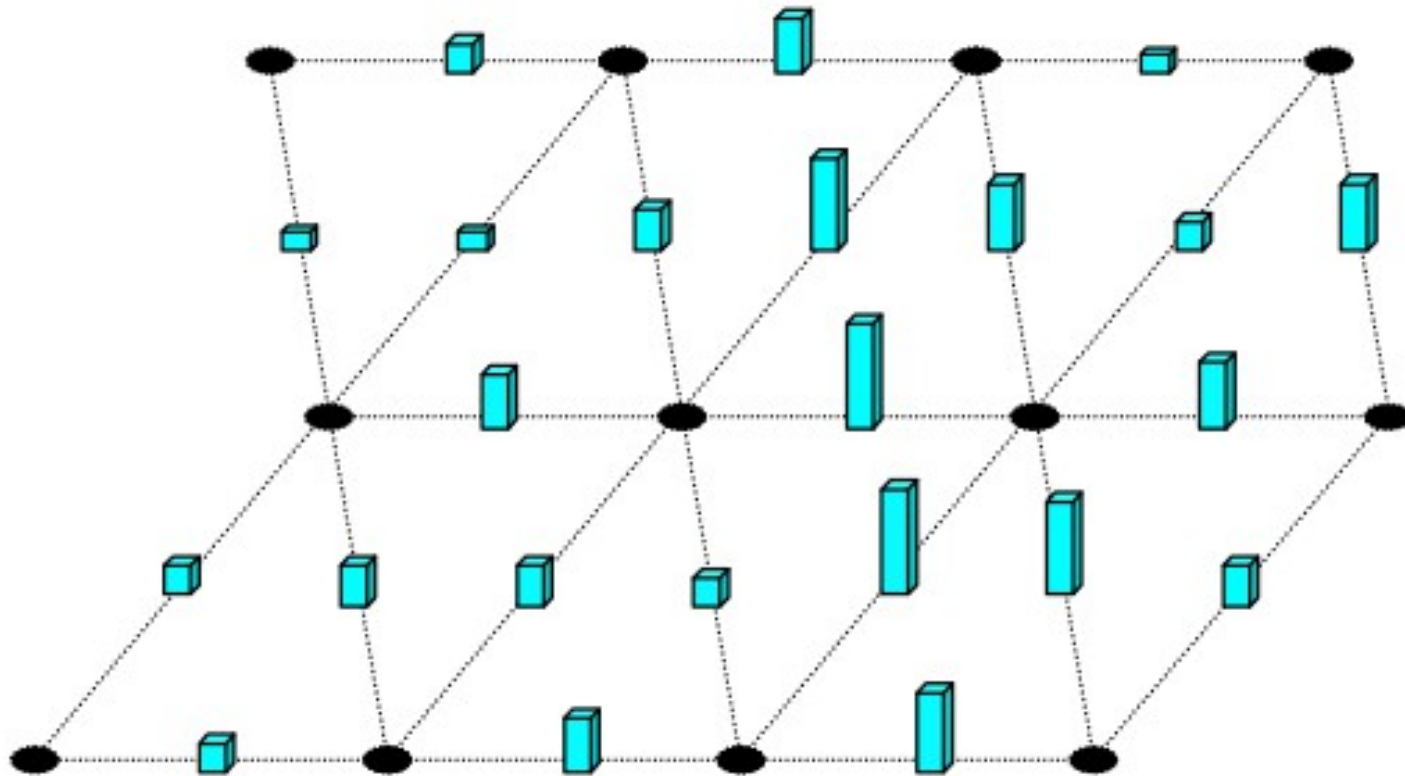
# Redes Neurais de Kohonen



Exemplo de matriz-U para arranjo retangular (figura extraída de ZUCHINI, 2003)

baseado em slides do prof Fernando von Zuben (Unicamp)

# Redes Neurais de Kohonen



Exemplo de matriz-U para arranjo hexagonal (figura extraída de ZUCHINI, 2003)

# Redes Neurais de Kohonen



- Critérios de parada
  - Erro de Quantização

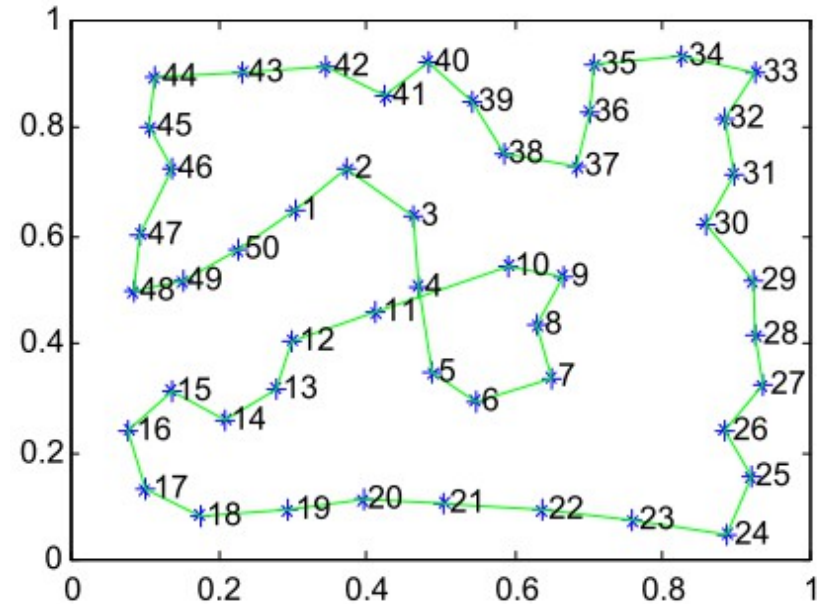
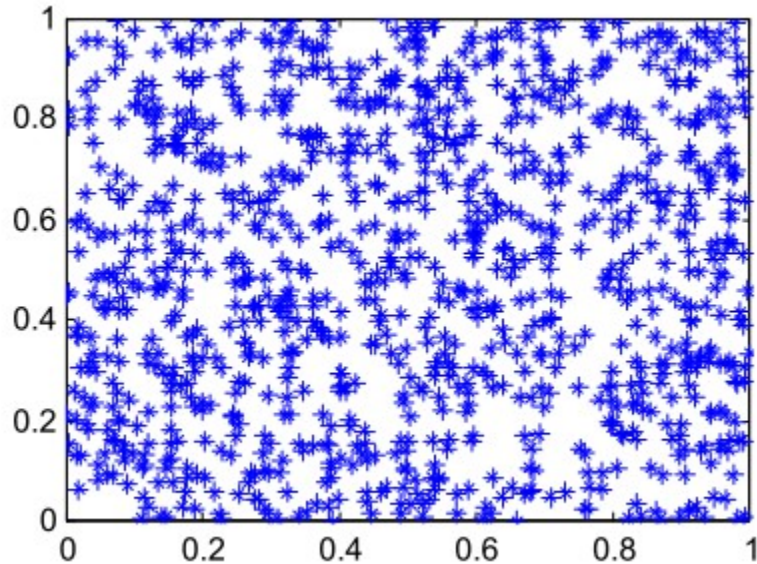
$$E_q = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \|x_k - w_{BMU(x_k)}\|$$

- Erro Topográfico

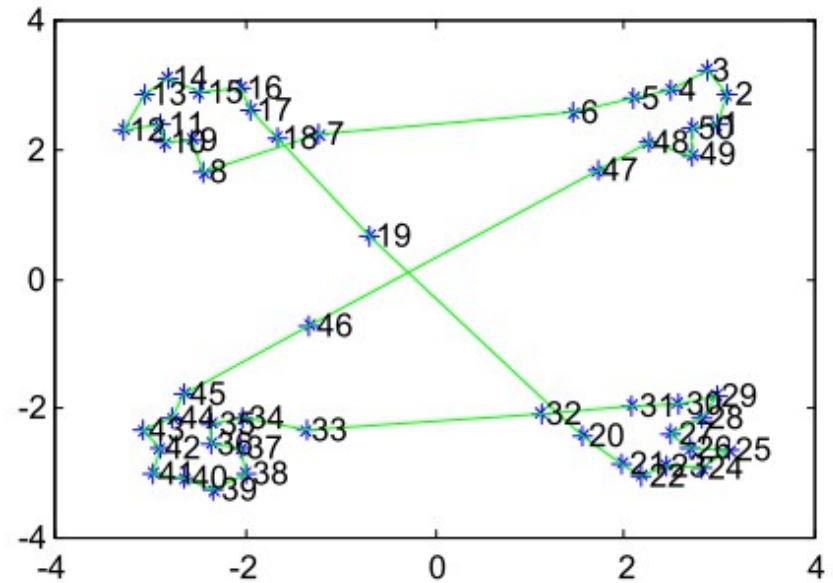
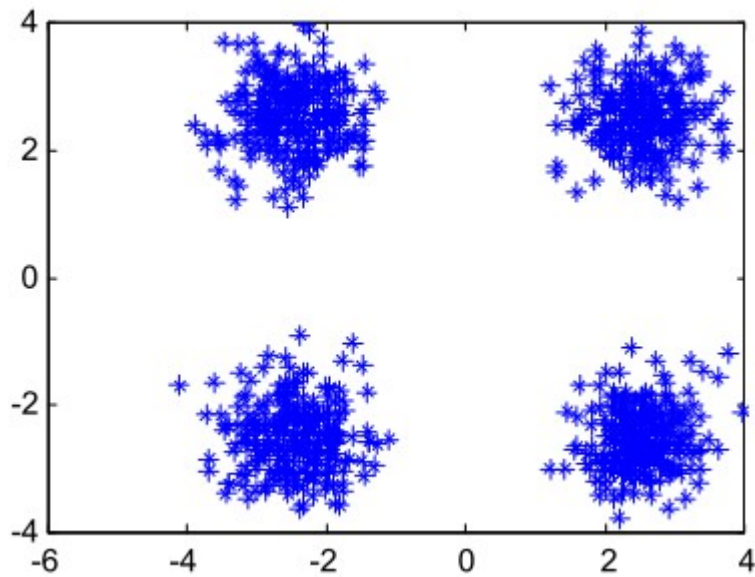
$$E_t = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n b(x_k)$$

$b(x)=1$  se 2º BMU for vizinho de BMU  
 $b(x)=0$  senão

# Redes Neurais de Kohonen

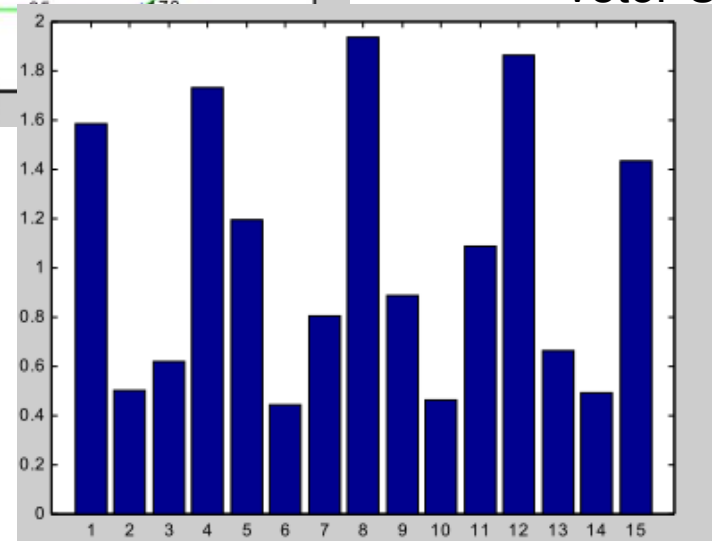
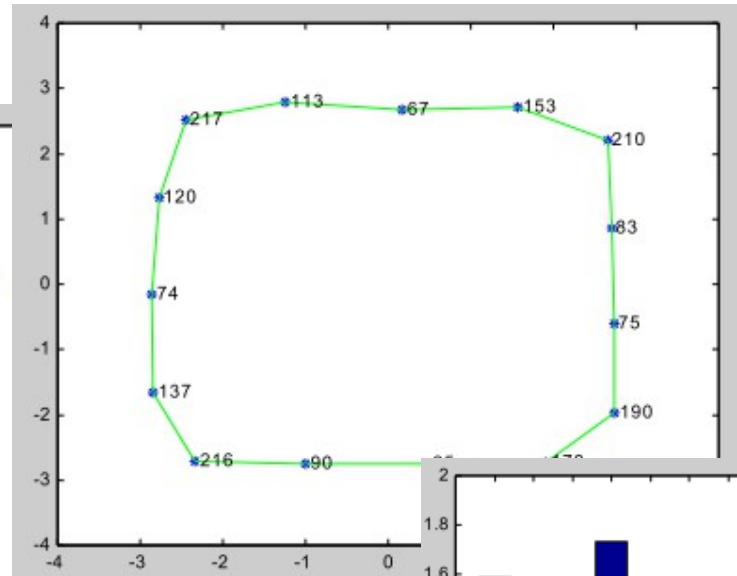
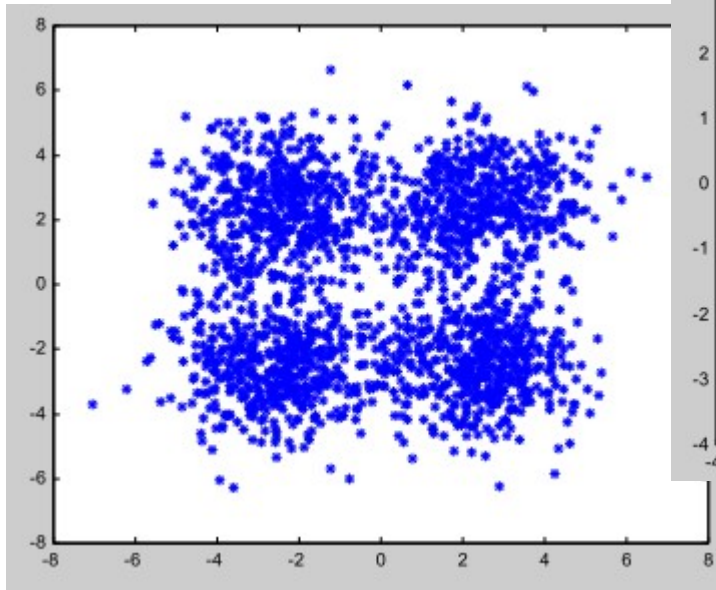


# Redes Neurais de Kohonen



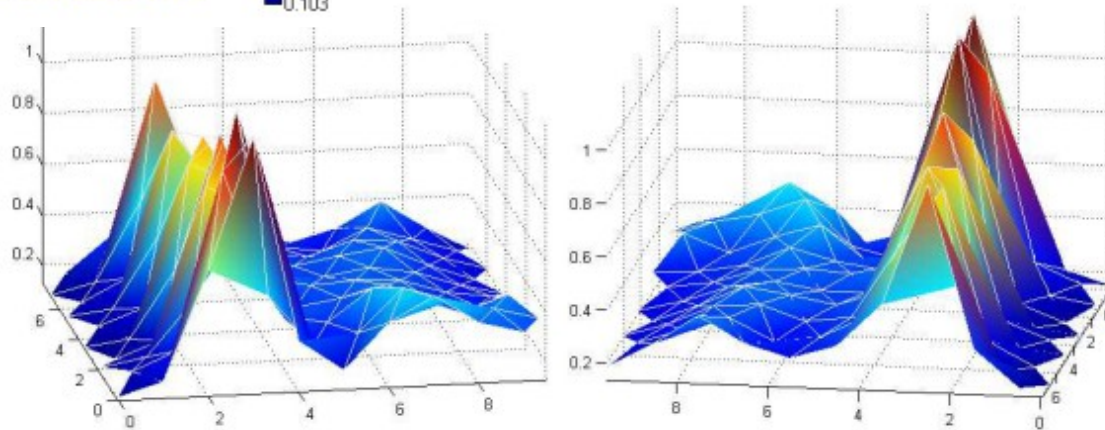
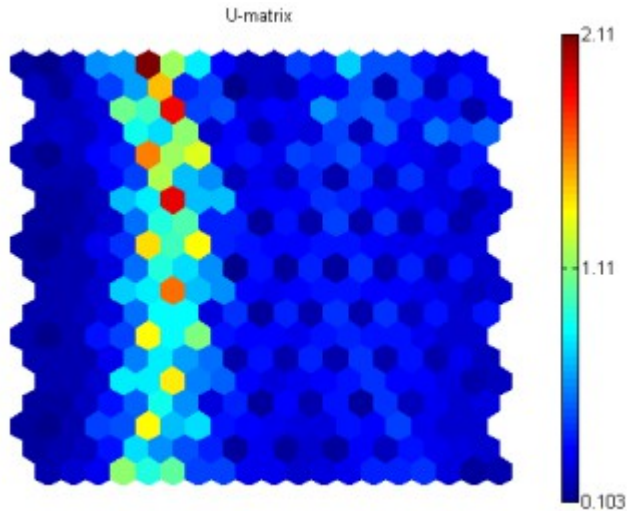


# Redes Neurais de Kohonen

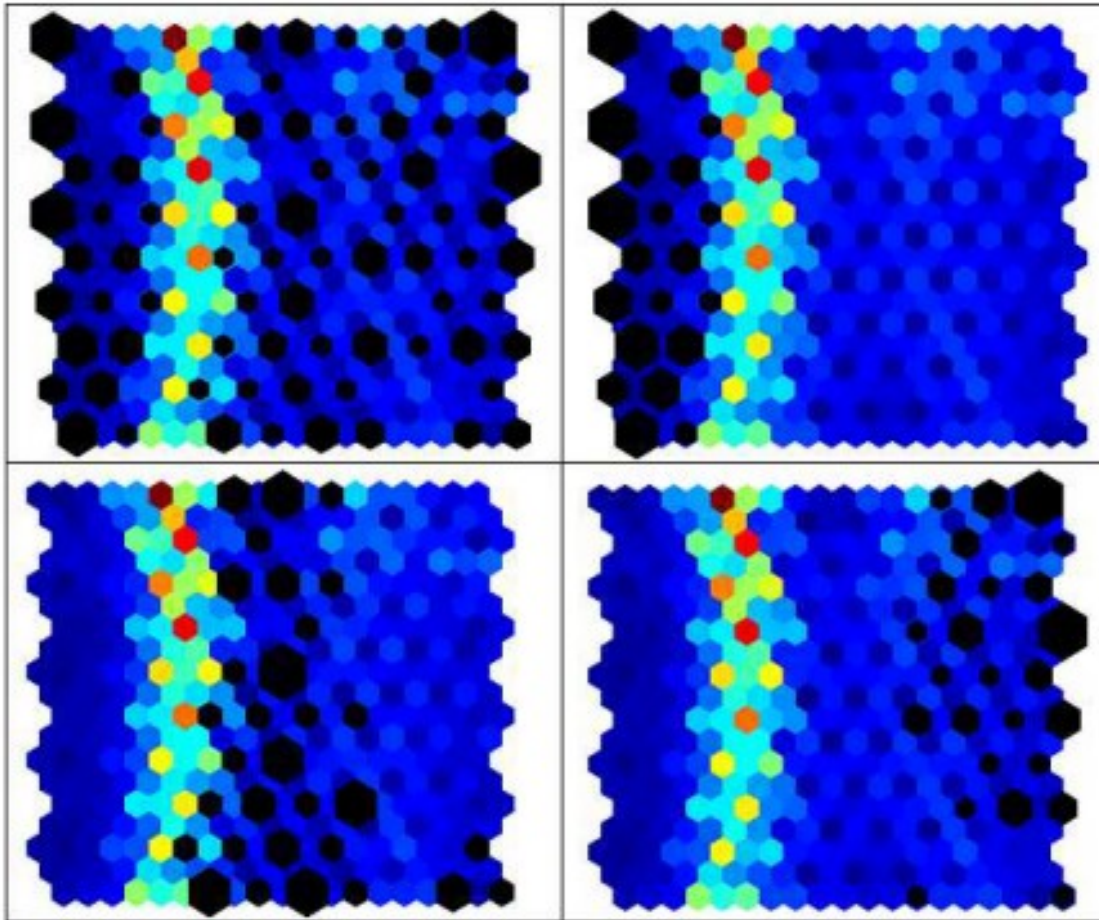


baseado em slides do prof Fernando von Zuben (Unicamp)

# Redes Neurais de Kohonen

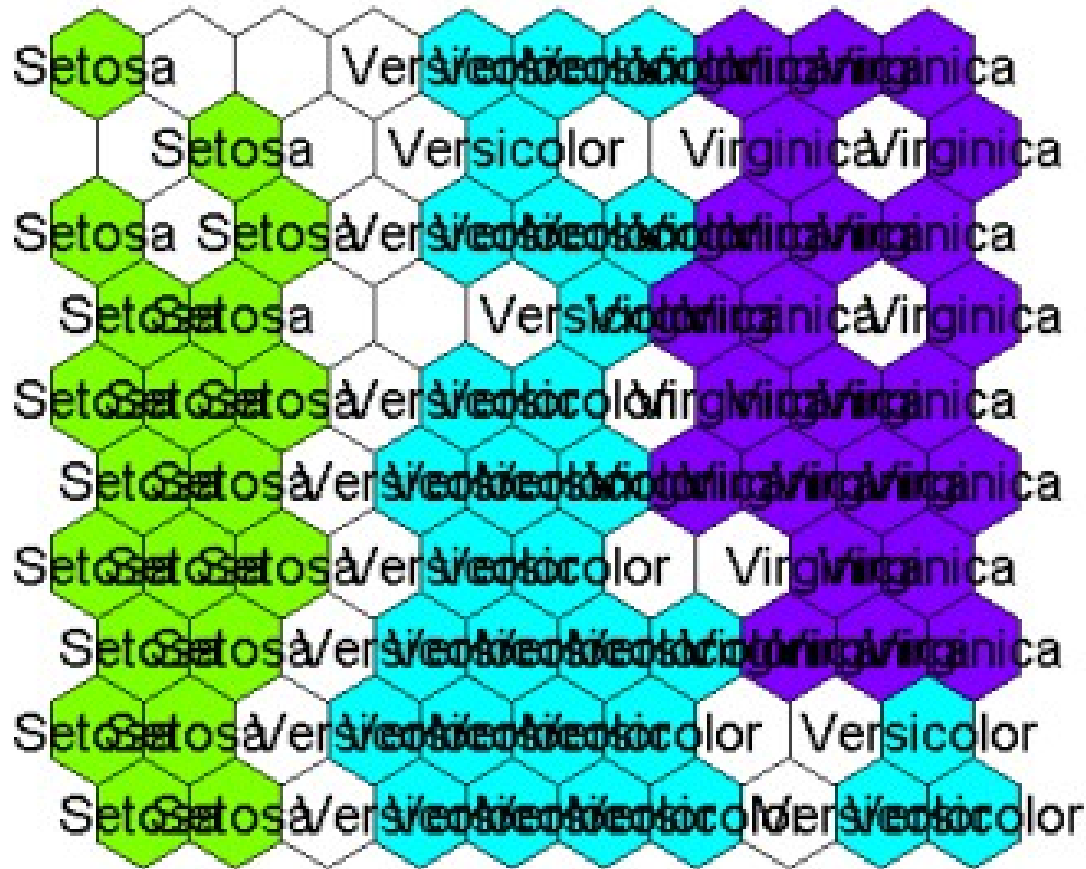


# Redes Neurais de Kohonen



Obtido de Dourado, Ícaro C. (2009)

# Redes Neurais de Kohonen



# Redes Neurais de Kohonen



- Aprendizado supervisionado da rede de Kohonen
  - Acrescentar classe que representa a entrada na própria entrada
    - Neurônio com classificação correta é aproximado
    - Neurônio com classificação incorreta é afastado
  - Similar a LVQ (Learning Vector Quantization)