

## Disciplina PSI 3471 – Profs. Emilio e Hae - 2017

- Fundamentos de Sistemas Eletrônicos Inteligentes
- Segundas (11:10) e Quartas feiras (7:30)
- Sala B2-09
  
- Prof. Emilio Del Moral Hernandez
- emilio@lsi.usp.br
- Prof. Hae Y. Kim
- hae@lps.usp.br

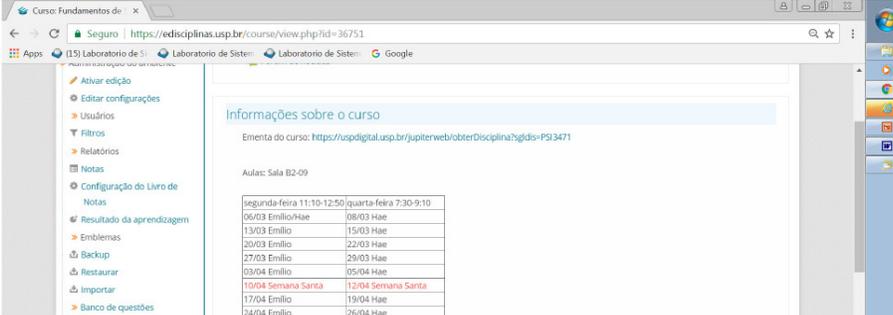
© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

*Extratos do Jupiter e STOA ...*

### **Programa – PSI 3471 – Fundamentos de Sistemas Eletrônicos Inteligentes**

Aprendizagem de máquina supervisionada, reconhecimento de padrões, classificação e regressão não linear multivariada, com aplicações em voz, imagens e fusão de informação em matrizes de sensores; Conceitos em imagens; Operações com pixels; operações de vizinhança; Transformações geométricas, multiresolução e casamento de padrões; Aplicações de aprendizagem de máquina em visão computacional.

### **STOA ....**



Curso: Fundamentos de ...

Seguro | <https://disciplinas.usp.br/course/view.php?id=36751>

Apps (15) Laboratório de S... Laboratório de Sist... Laboratório de Sist... Google

Ativar edição  
Editar configurações  
Usuários  
Filtros  
Relatórios  
Notas  
Configuração do Livro de  
Notas  
Resultado da aprendizagem  
Emblemas  
Backup  
Restaurar  
Importar  
Banco de questões

#### Informações sobre o curso

EMENTA do curso: <https://uspdigital.usp.br/jupiterweb/obterDisciplina?gds=PSI3471>

Aulas: Sala B2-09

segunda-feira 11:10-12:50	quarta-feira 7:30-9:10
06/03 Emilio/Hae	08/03 Hae
13/03 Emilio	15/03 Hae
20/03 Emilio	22/03 Hae
27/03 Emilio	29/03 Hae
03/04 Emilio	05/04 Hae
10/04 Semana Santa	12/04 Semana Santa
17/04 Emilio	19/04 Hae
24/04 Emilio	26/04 Hae

edisciplinas.usp.br/course/view.php?id=36751

Laboratorio de Sistem Laboratorio de Sistem Google

### Informações sobre o curso

Ementa do curso: <https://uspdigital.usp.br/jupiterweb/obterDisciplina?sgldis=PSI3471>

Aulas: Sala B2-09

segunda-feira 11:10-12:50	quarta-feira 7:30-9:10
06/03 Emilio/Hae	08/03 Hae
13/03 Emilio	15/03 Hae
20/03 Emilio	22/03 Hae
27/03 Emilio	29/03 Hae
03/04 Emilio	05/04 Hae
10/04 Semana Santa	12/04 Semana Santa
17/04 Emilio	19/04 Hae
24/04 Emilio	26/04 Hae
01/05 Dia do Trabalho	03/05 Semana de Provas
08/05 Semana de Provas	10/05 Emilio
15/05 Hae	17/05 Emilio
22/05 Hae	24/05 Emilio
29/05 Hae	31/05 Emilio
05/06 Hae	07/06 Emilio
12/06 Hae	14/06 Emilio
19/06 Hae	21/06 Emilio
26/06 Semana de Provas	28/06 Semana de Provas

Critério de nota:  
MFinal = (MP+MEx)/2  
Média das Provas: MP=(P1+P2)/2  
Média dos Exercícios: MEx

PSub somente em caráter excepcional para quem justificar a falta numa das duas provas (doença, luto, etc). No dia a combinar.

### Tópicos:

- Aprendizagem de máquina supervisionada: redes neurais, classificação por vizinhos mais próximos e técnicas supervisionadas similares.
- Reconhecimento de padrões,
  - classificação e
  - regressão não linear multivariada,
  - com aplicações em voz,
  - imagens e
  - fusão de informação em matrizes de sensores.
- Extração de características de informações complexas (imagens, vídeo, voz, sistemas multissensores, sinais biológicos)
- técnicas de redução de dimensionalidade: análise de componentes principais;
- análise harmônica; análise wavelet;
- ganho de informação.
- Técnicas de avaliação de qualidade:
  - validação cruzada;
  - k-fold cross validation;
  - curvas ROC em sistemas com limiar de decisão variável;
  - matrizes de confusão; sensibilidade e especificidade;
  - medidas de qualidade em regressão não linear multivariada.

## ICONE – EPUSP: Grupo de Inteligência Computacional, Modelagem e Neurocomputação Eletrônica

Prof. Dr. Emilio Del Moral Hernandez

Graduação em Engenharia Elétrica na EPUSP

Doutorado em Engenharia Elétrica pela  
University of Pennsylvania (Upenn – Philadelphia)



Livre Docente da EPUSP, na área de  
Neurocomputação Eletrônica e Sistemas Adaptativos

Atuante no IEEE e nas atividades técnicas da IEEE - CIS

Contato: [emilio.delmoral@usp.br](mailto:emilio.delmoral@usp.br) / [emilio@lsi.usp.br](mailto:emilio@lsi.usp.br)

*Website do Grupo: [www.lsi.usp.br/ICONE](http://www.lsi.usp.br/ICONE)*



© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

### ... seguindo (+ tópicos):

- Seleção de características e dimensionamento de reconhededores e regressores para limitação do sobreaprendizado (overfitting).
- Operações com pixels: sistemas de cores; histograma; limiarização.
- Operações de vizinhança: filtro linear; convolução; derivadas; Fourier; correlação cruzada normalizada; "template matching"; morfologia; filtro mediana.
- Transformações geométricas. Multi-resolução; pirâmide e espaço de escala; detecção de objetos robusta a mudança de escala.
- Uso de aprendizagem de máquina em visão computacional (ex: reconhecimento de dígitos manuscritos, projeto automático de filtros).

### **Bibliografia**

[1] Simon Haykin, "Redes Neurais: Princípios e Práticas", Bookman, 2001. [2] Simon Haykin, "Neural Networks and Learning Machines," Prentice Hall 2008. [3] R. O. Duda, P. E. Hart and D. G. Stork. "Pattern Classification", Wiley, 2001. [4] Cesare Alippi, "Intelligence for Embedded Systems, a Methodological Approach", Springer 2014. [5] André Fábio Kohn, "Reconhecimento de Padrões: uma Abordagem Estatística", Edição PEE/USP, 1998. [6] R. C. Gonzalez, R. E. Woods, "Digital Image Processing, Second Edition," Prentice-Hall, 2002. [7] G. Bradski and A. Kaehler, "Learning OpenCV - Computer Vision with the OpenCV Library," O'Reilly, 2008. [8] Richard Szeliski, "Computer Vision: Algorithms and Applications," (Texts in Computer Science), Springer, 2010.

© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

## Alguns dos focos / classes específicas de aplicação que são alvos do curso

21

- Modelagem envolvendo sistemas com múltiplas variáveis
- Uso de ferramentas que possibilitem representação de fenômenos não lineares ( *além* dos lineares )
- Reconhecimento / Identificação / Classificação de “objetos” a partir de medidas múltiplas (vindas de múltiplos sensores, por exemplo)
- Regressão / previsão / estimação de grandezas analógicas a partir de medidas correlacionadas com tal grandeza
- Exploração de elementos para “automação parcial” da modelagem, via aprendizado de máquina

© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

22

## Um hipotético universo de variáveis interdependentes, passível de modelagem/ens

21



© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

22

## Um hipotético universo de variáveis interdependentes, passível de modelagem/ens



© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

## Um hipotético universo de variáveis interdependentes, passível de modelagem/ens



© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

## Regressor multivariado (em sw, fw ou hw)

26



© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

26

## Algumas possibilidades para regressão linear sobre dados empíricos do universo de valores $(x_1, x_2, x_3, y) \dots$

27

- Modelagem por reta média (considerando por exemplo unicamente a variável  $x_1$  como impactante significativo em  $y$ )
- Modelagem por plano médio (considerando  $x_1$  e  $x_2$ )
- Modelagem por hiperplano médio ( $x_1, x_2$  e  $x_3$ )

*Discutamos em lousa alguma formulação matemática ...*

© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

27

## Relembrando as duas classes de aplicação alvo a serem abordadas no curso

28

- Regressão multivariada (linear e não linear)
- Reconhecimento automático de padrões ...

© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

28

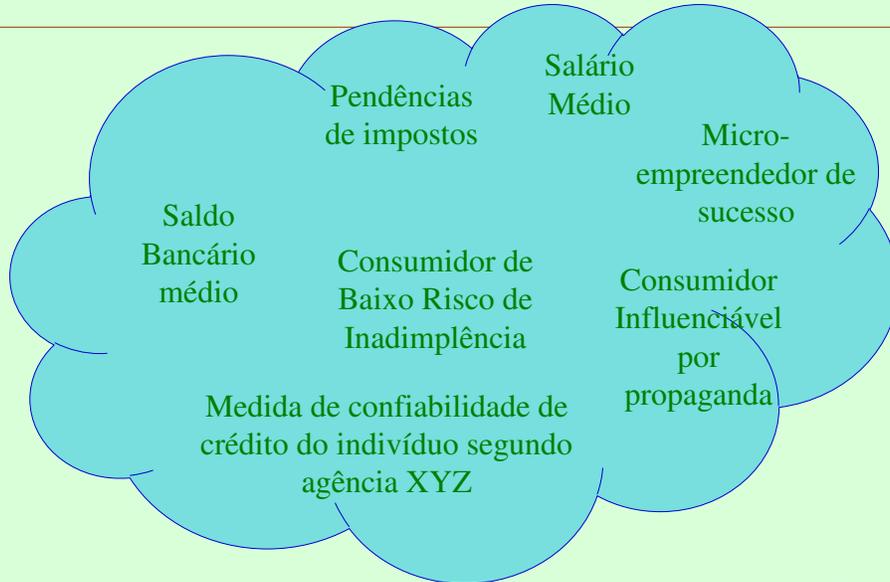
Passemos a elaborar agora uma situação hipotética de **reconhecimento de padrões (y discreto)**, em lugar de regressão multivariada (y contínuo) ...

29

© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

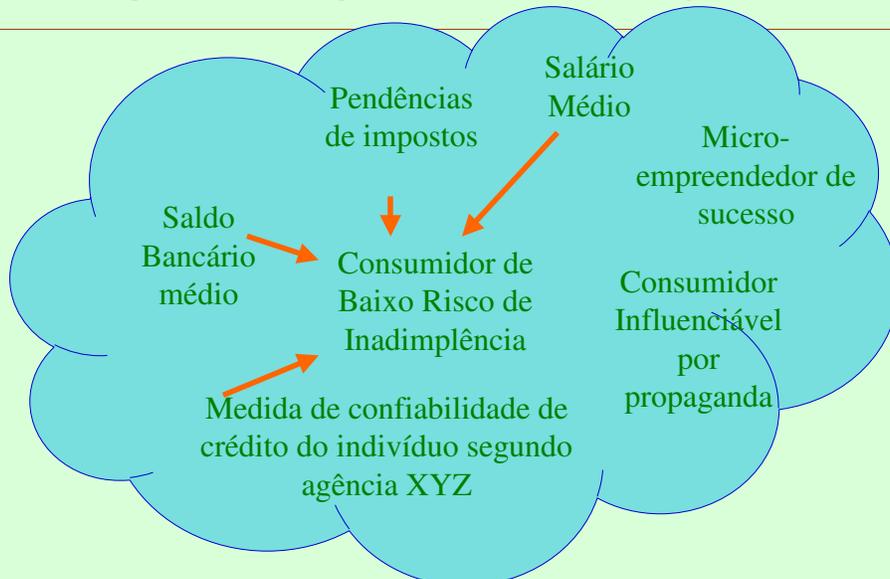
29

## Um hipotético universo de variáveis interdependentes, passível de modelagem/ens



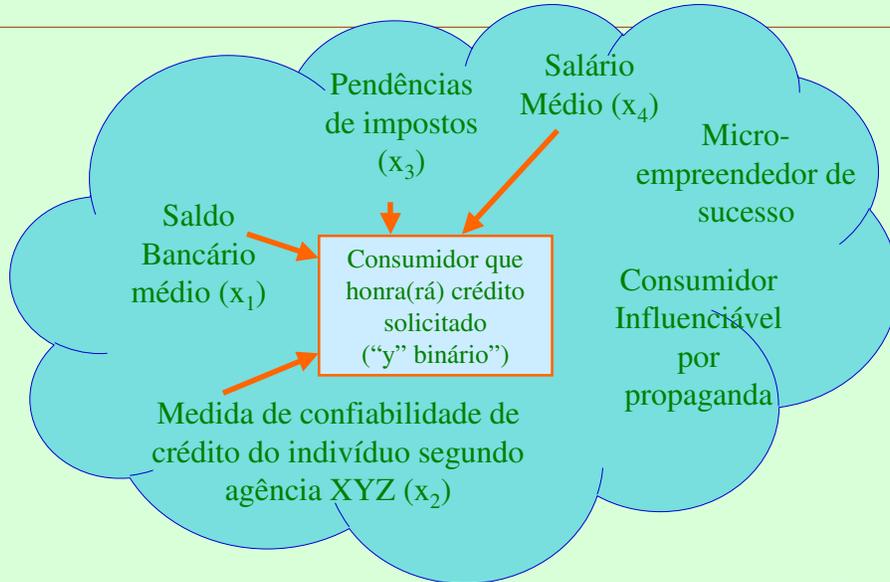
© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

## Um hipotético universo de variáveis interdependentes, passível de modelagem/ens



© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

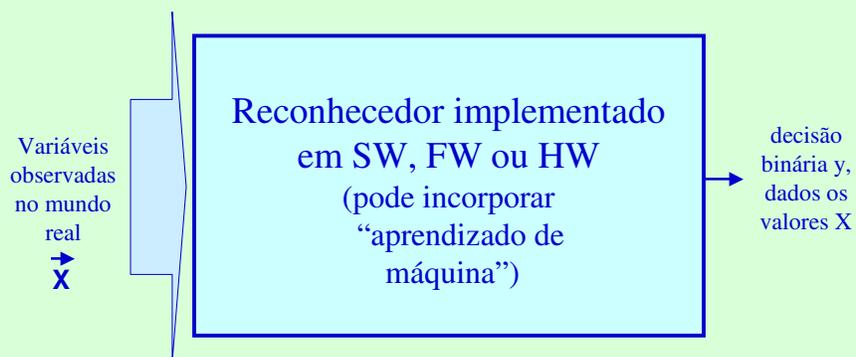
## Um hipotético universo de variáveis interdependentes, passível de modelagem/ens



© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

22

## Detector / reconhecedor multivariado (em sw, fw ou hw)



© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

23

## Abrindo o leque de aplicações alvo a serem abordadas no curso

34

- Regressão multivariada (linear e não linear)
- Reconhecimento automático de padrões ...
  - Detecção de padrões relevantes: reconhecimento binário
  - Reconhecimento multiclass

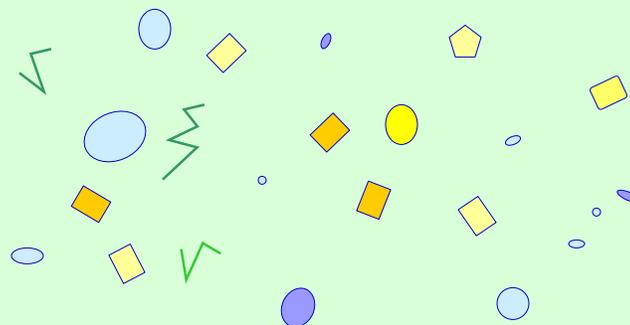
© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

34

## Uma metáfora para a tarefa de classificação de padrões genérica ou multiclass (classificação não binária)...

35

Universo de objetos observados ...



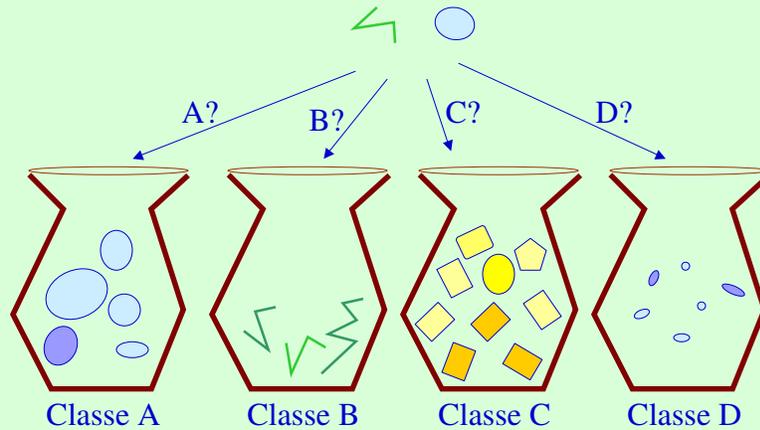
© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

35

Uma metáfora para a tarefa de classificação de padrões genérica ou multiclases (classificação não binária)...

37

Um dado objeto específico observado é de que tipo ?

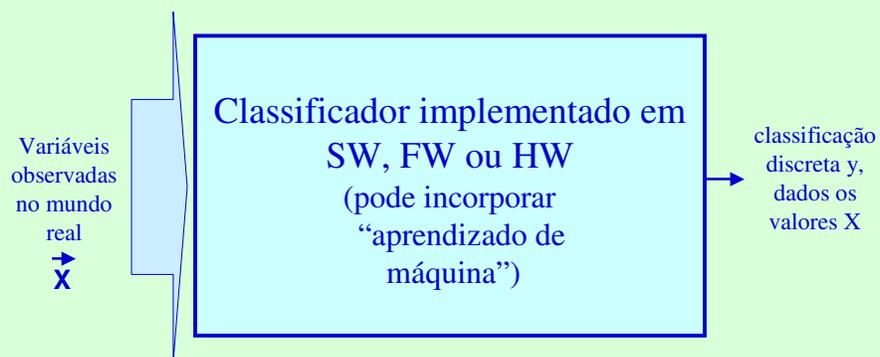


© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

37

Classificador multivariado (em sw, fw ou hw)

38



© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

38

*Alguns exemplos de sistemas de reconhecimento e de regressão multivariada, com os quais tive contato e que empregaram redes neurais e técnicas relacionadas*

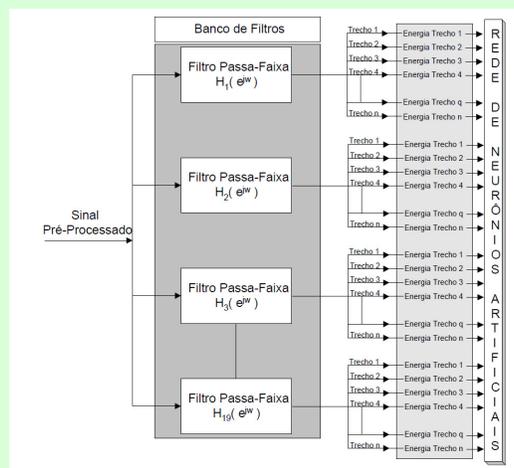
19

PSI2672 – Rec Padrões, Modelagem, Redes Neurais – Prof. Emilio Del Moral Hernandez – © 2016

41

TCC em Reconhecimento de comandos de voz (Daniel e Gabriel) – sobe, desce, esquerda, direita

42



© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

42

## Medida de qualidade do reconhecedor de comandos de voz ensaiado ...

43

amostra \ resultado	SOBE	DESCE	ESQUERDA	DIREITA
SOBE	85%	0%	15%	0%
DESCE	0%	100%	0%	0%
ESQUERDA	0%	0%	80%	20%
DIREITA	0%	0%	10%	90%

© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

43

## Exemplo de modelagem / reconhecimento automático de padrões ... (tese de Liselene / Prof Miguel)

45

### O procedimento de detecção do Vazamento

- \* Haste de escuta
- \* Correlacionador de ruído
- \* Geofone



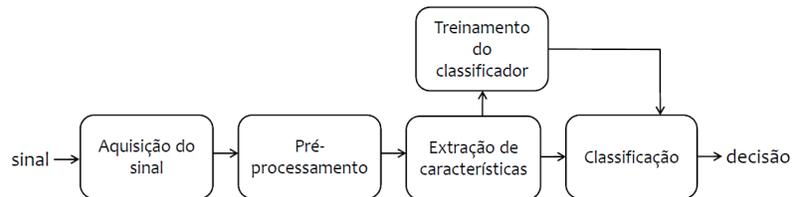
© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

45

## Exemplo de modelagem / reconhecimento automático de padrões ... (tese de Liselene / Prof Miguel)

46

### Sistema de Detecção de Vazamento

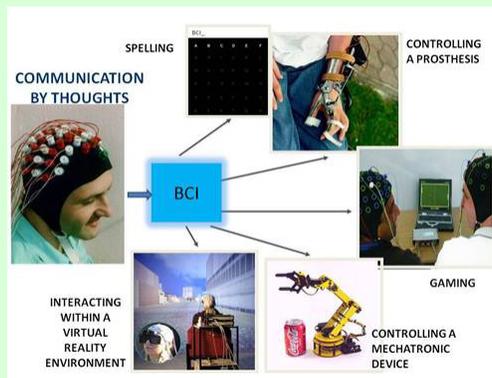


© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

46

## Brain Computer Interfaces ... “um amplo parênteses” ...

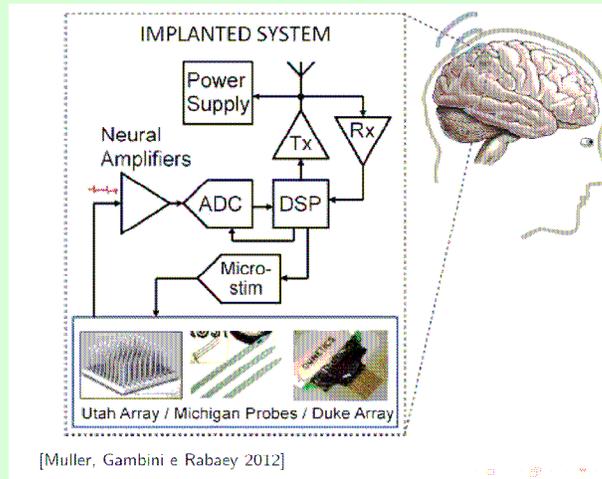
47



© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

47

## Brain Computer Interfaces – área do trabalho do doutorando Julio Cesar Saldaña



Slide - Contribuição de Julio Cesar Saldaña - EPUSP

© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

## Sistemas Implantáveis de Registro Neural e BCIs

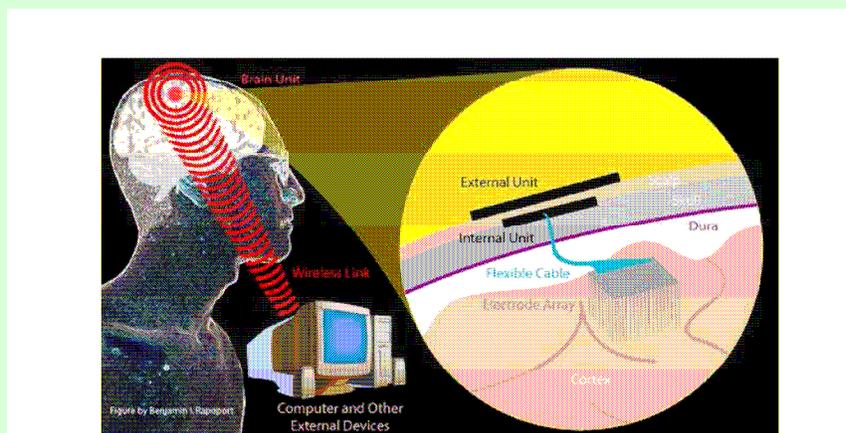


Figura 1: Imagem extraída do site do pesquisador Benjamin I. Rapoport

Slide - Contribuição de Julio Cesar Saldaña - EPUSP

© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

# Sistemas Implantáveis de Registro Neural e BCIs

51

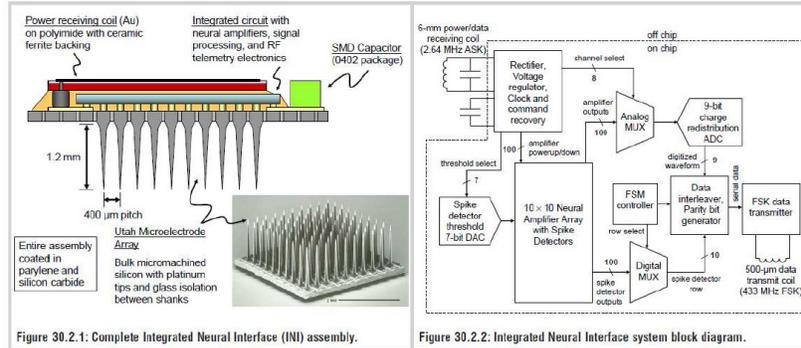


Figure 30.2.1: Complete Integrated Neural Interface (INI) assembly.

Figure 30.2.2: Integrated Neural Interface system block diagram.

[Harrison et al. 2006], [Harrison et al. 2007]

Slide - Contribuição de Julio Cesar Saldaña - EPUSP

© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

51

# Brain Computer Interfaces

52

## Separação de impulsos elétricos ou Spike Sorting

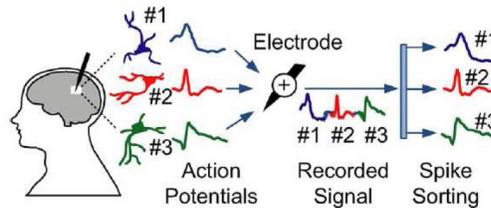


Figura 6: Extraída do artigo [Karkare, Gibson e Markovic 2013] (JSSC, Set. 2013)

Slide - Contribuição de Julio Cesar Saldaña - EPUSP

© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

52

*Alguns exemplos de projetos de PSI 2672-EC2 em anos anteriores (2011 a 2016); Na EC3 no 5o ano temos uma disciplina similar, a PSI 3571-EC3.*

## Exemplos de projetos concebidos e realizados por alunos da disciplina PSI-2672

material  
bibliografia  
exemplos

2011

**Projetos finais:**

1. Classificação em gêneros musicais ([gr\\_I\\_apresentacao\\_Musicas.pdf](#))
2. Implementação de um sistema para correção da medida de um sensor de pressão diferencial ([gr\\_II\\_Apresentacao\\_ma\\_sensor\\_pressao\\_03\\_01.pdf](#))
3. Análise da qualidade dos vinhos a partir de testes físico-químicos ([gr\\_III\\_apresentacao\\_PSI2672 - Análise de vinhos.pdf](#))
4. Reconhecimento de placas de trânsito ([gr\\_IV\\_apresentacao\\_Reconhecimento\\_de\\_placas.pdf](#))
5. Reconhecedor de alcoolismo ([gr\\_V\\_apresentacao\\_Reconhecedor Alcoolismo.pdf](#))
6. Língua eletrônica ([gr\\_VI\\_apresentação\\_lingua\\_eletronica.pdf](#))
7. Reconhecimento de dígitos ([gr\\_VII\\_apresentacao\\_Reconhecedor de digitos.pdf](#))

Informações sobre o programa do curso: [Programa PSI2672\\_2011.pdf](#)

# Classificação automática de generos musicais

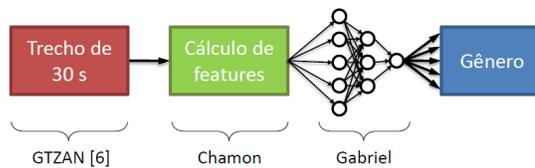
53

## DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

Categorizar músicas em gêneros automaticamente baseado em trechos de suas gravações e exemplos rotulados *a priori*

- 1) Blues
- 2) Classical
- 3) Country
- 4) Disco
- 5) Hip-Hop
- 6) Jazz
- 7) Metal
- 8) Pop
- 9) Reggae
- 10) Rock

## A SOLUÇÃO



*projeto de alunos em PSI-2672*

© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

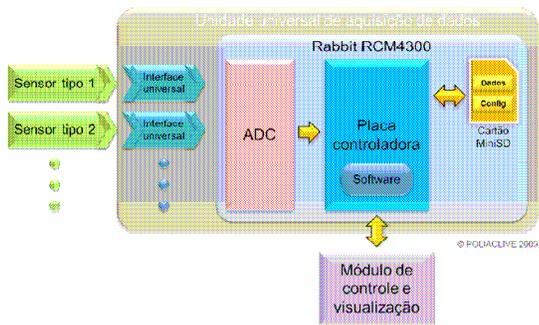
55

# Sistema de fusão de sensores: por exemplo pressão e temperatura

54

## Introdução

Eletrônica embarcada



*projeto de alunos em PSI-2672*

© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

56

## Língua Eletrônica para controle de qualidade alimentar e detecção de substâncias nocivas

57



1. Gordura
2. Proteína
3. Lactose
4. pH

- Sistema com 4 sensores;
- Sistema com 5 frequências diferentes em cada sensor;
  - $4 \times 5 = 20$  entradas para a RNA

*projeto de alunos em PSI-2672*

© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

57

## Seguidor do alvo dos olhos na tela do computador

58

### Eye-tracker – Definição do problema

"Utilizar técnicas neurais para determinar a posição (x,y) para a qual os olhos do usuário estão apontados na tela"



### Coleta de dados



#### Método semi-automático de coleta de dados:

- Divisão da tela do computador em 25 quadrantes
- Para cada quadrante, tirar 20 fotos do olho (somente do olho, não do rosto todo!) apontando para a posição (com ajuda de software para tirar fotos e salvá-las)

Total de elementos da amostra: 500 fotos

### Pré-processamento



*projeto de alunos em PSI-2672*

58

Inventário de Projetos Desenvolvidos em PSI 2672 - Práticas em Reconhecimento de Padrões, Modelagem e Neurocomputação, nas 6 turmas de 2011 a 2016  
prof. Emilio Del Moral Hernandez

Ano 2016

Cancelador ativo de ruído  
Classificação de fibrilação atrial a partir de eletrocardiograma  
Classificador de movimentos a partir de acelerômetro vestível  
Estimador de Valor de Ações (Flutuações Financeiras e Predição)  
Estimador de desempenho em redação (desempenho escolar)  
Medidor da qualidade da água  
Reconhecedor de dígitos de placas de veículos  
Reconhecedor de imagens de frutas  
Rec. da intenção de mover a mão direita e a esquerda a partir de sinais cerebrais

Ano 2015

Estimador do valor de fechamento das ações da Petrobras  
Classificador de instrumentos musicais  
Regressor embarcado para ventilação inteligente  
Solar Power Production Estimation (Software for a Smart Metering device)  
Reconhecedor de Objetos em Imagens Digitais  
Reconhecimento de Folhas a Partir de Fotos com Fundo Branco  
Benchmark de CPUs: um regressor multivariado de desempenho  
Reconhecedor de caracteres: um classificador de padrões  
Reconhecedor de acordes musicais: um classificador de padrões  
Detecção de Fraudes em Compras no Cartão  
Padrões nos Sobreviventes e Vítimas do Titanic  
Estimador de pigmentos para tintas a partir de uma amostra

© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

Ano 2014

Identificador de sistema dinâmico  
Previsor Futebolístico  
Eye tracker  
Reconhecimento de placas de automóveis  
Reconhecimento de padrões de consumo em aparelhos aplicado a Smart Grids  
Estimativa de preços de carros  
Classificador de cogumelos venenosos

Ano 2013

Classificação de sinais de EEG e relação com epilepsia  
Estimador de consumo de eletricidade residencial  
Análise Sentimental de notícias  
Identificação de um Pixel Isolado em uma Imagem Simples  
Preditor de sobrevivência em pacientes Cardíacos  
Estimador do grau do mal de Parkinson  
Classificador de idiomas

Ano 2012

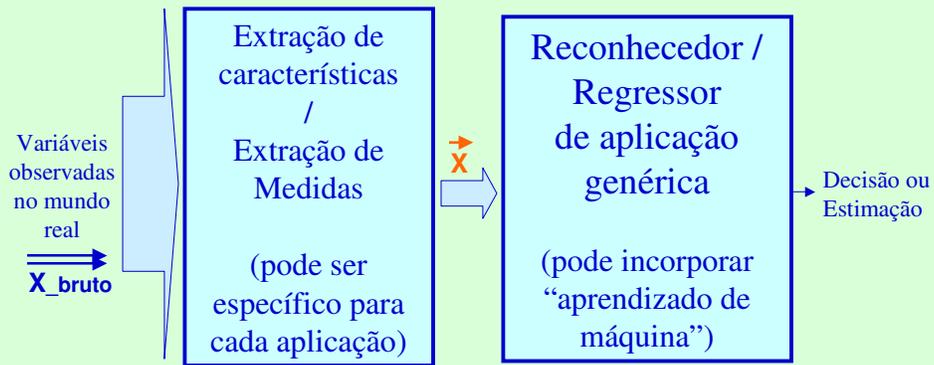
Classificação da Qualidade do Leite  
Estimador de PH para amostras de vinho  
Previsão de Ações na Bolsa de Valores (reconhecedor de padrões)  
Previsão de Ações na Bolsa de Valores (estimador)  
Reconhecedor de Combustível Adulterado

Ano 2011

Classificação em Gêneros Musicais  
Estimador de Correção do Erro de um Sensor de Pressão Diferencial  
Análise da qualidade de vinhos baseado em características físico-químicas  
Sistema de reconhecimento de Placas de Trânsito  
Reconhecedor de Alcoolismo e Sinais Cerebrais  
Língua eletrônica para a determinação de propriedades do leite

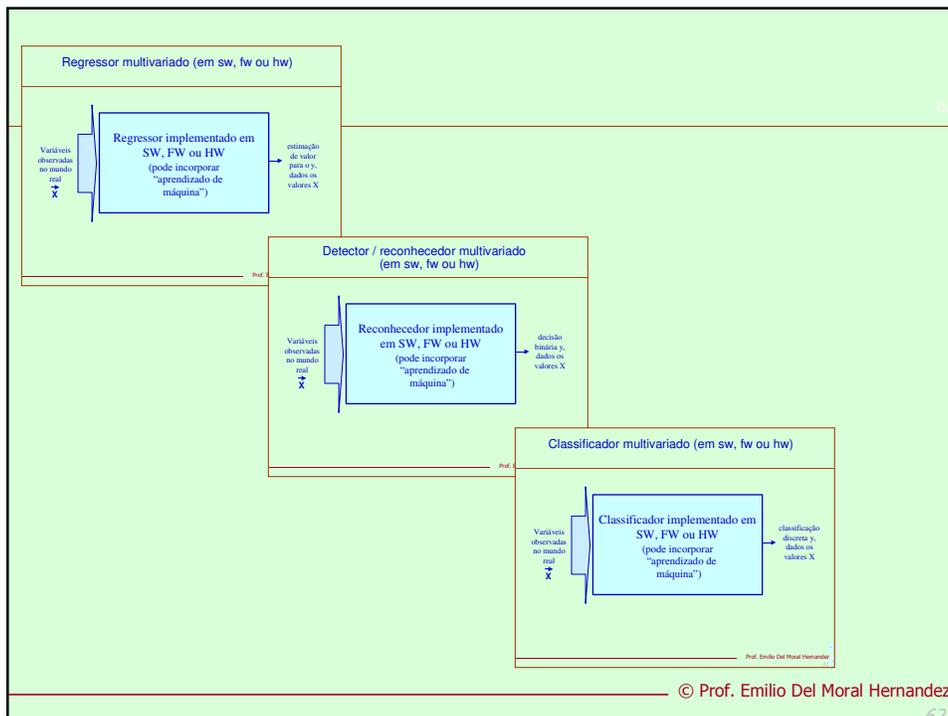
## Elaborando uma Solução em dois estágios ...

61



© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

61



© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

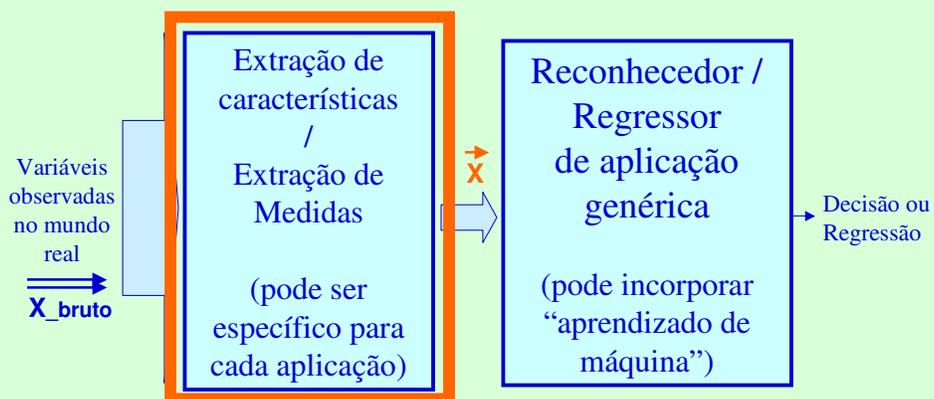
62

## Alguns exemplos de grandezas componentes dos vetores de medidas $\vec{X}$ :

- Grandezas macroscópicas como energia do sinal, amplitude, frequência média ...
- Componentes de diversas harmônicas (análise em frequência)
- Componentes de análise tempo-frequência
- Intensidades luminosas ou intensidades em canais de cor (RGB por ex.)
- Histogramas de intensidades
- Principal Components (componentes principais – PCA)
- Medidas sobre séries temporais (médias móveis, por exemplo; medidas de dispersão / instabilidade localizadas)
- Medidas específicas à aplicação, experimentadas em problemas similares ao seu, relatadas na literatura técnica como sendo de sucesso

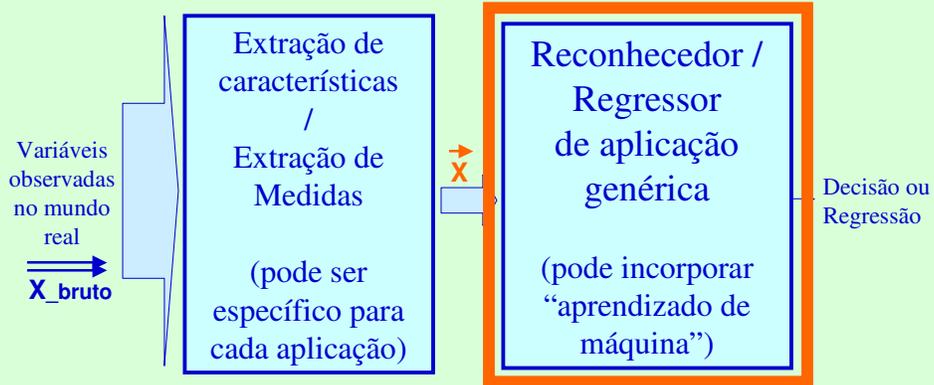
© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

... O 1o estágio gera um Vetor de Medidas,  $\vec{X}$   
(o segundo estágio operará sobre tal vetor)



© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

O segundo estágio opera sobre o Vetor de Medidas,  $\vec{X}$  (o 1o estágio gerou tal vetor)



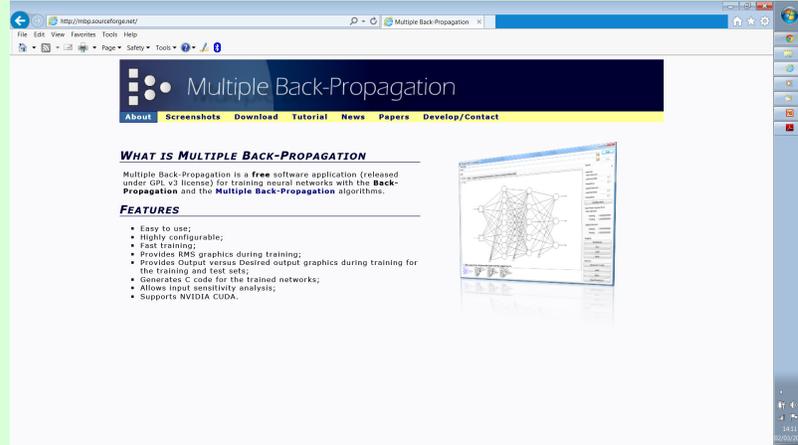
© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

... possibilidade & conveniência de implementação do 2o estágio com Redes Neurais ...



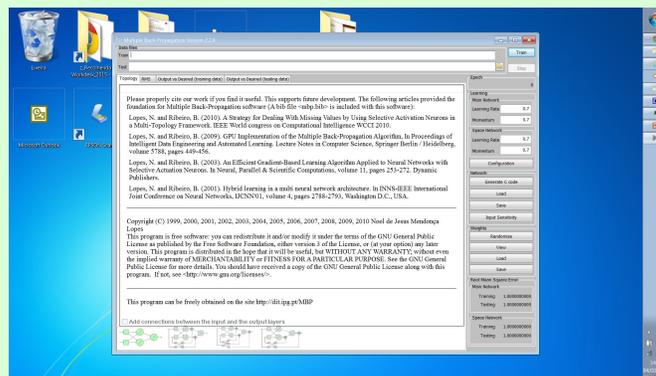
© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

“Sugestão” ... visite os tutoriais do MBP - <http://mbp.sourceforge.net/> - e instale-o no seu computador windows.  
(Na C1-10, o plano é que ele esteja instalado na semana que vem)



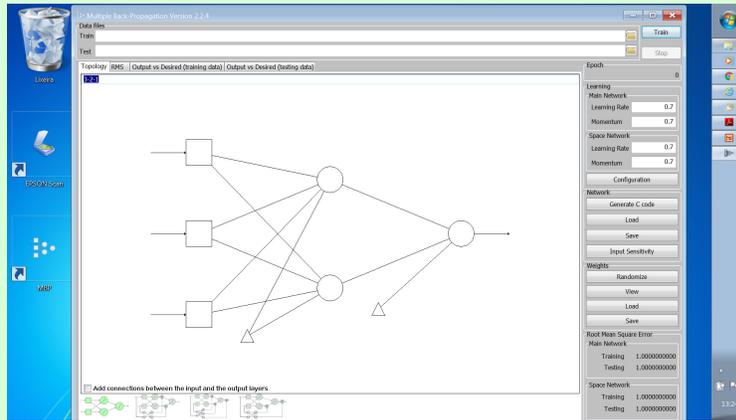
© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

Comece a usar o MBP em situações simples



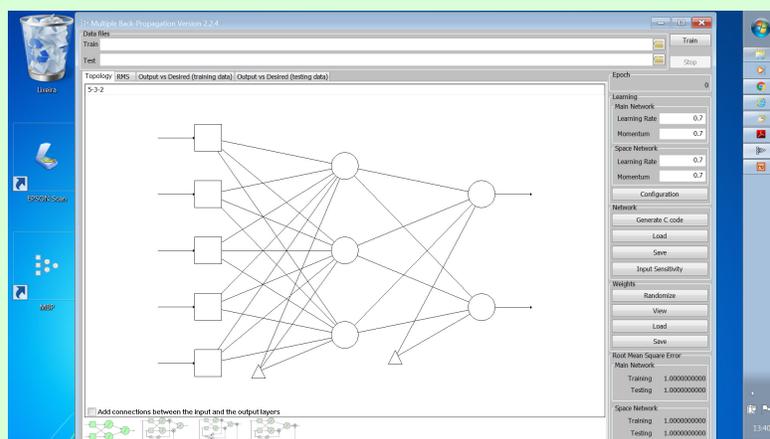
© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

Instale-o e digite "3-2-1" no campo Topology, ;-)



© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

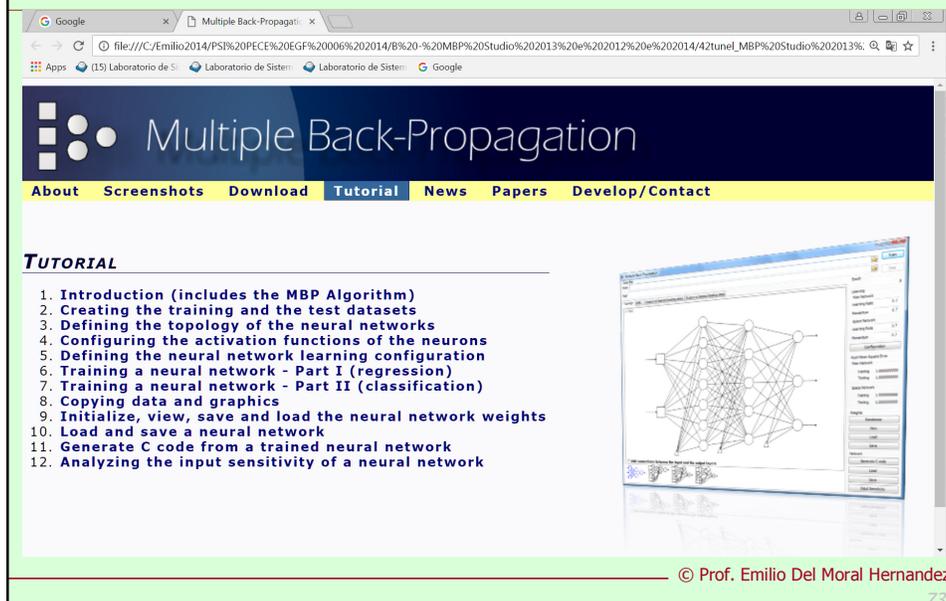
Instale-o e digite "5-3-2" no campo Topology, ;-)



© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

## 12 tutoriais curtos (~5 mins) narrados.

Abra um browser e acesse ... <http://mbp.sourceforge.net/tutorial.html>



**TUTORIAL**

1. Introduction (includes the MBP Algorithm)
2. Creating the training and the test datasets
3. Defining the topology of the neural networks
4. Configuring the activation functions of the neurons
5. Defining the neural network learning configuration
6. Training a neural network - Part I (regression)
7. Training a neural network - Part II (classification)
8. Copying data and graphics
9. Initialize, view, save and load the neural network weights
10. Load and save a neural network
11. Generate C code from a trained neural network
12. Analyzing the input sensitivity of a neural network

© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

## Elencando alguns empréstimos da biologia na Inteligência Computacional

- Redes Neurais Artificiais – *nosso foco*
  - O processamento não linear dos neurônios
  - A plasticidade sináptica e o aprendizado
- Lógica “Fuzzy” (Lógica Nebulosa)
  - A representação de informação imprecisa – funções de pertinência (conjuntos nebulosos)
- Computação Evolucionária
  - A terminologia e os conceitos da evolução biológica: uma população composta por diversas soluções potenciais de um problema é refinada e evolui em novas gerações, que correspondem a novas populações de soluções potenciais, cada vez melhores



© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

## Computação Bioinspirada, Computação Neural e Eletrônica Neuromórfica

76

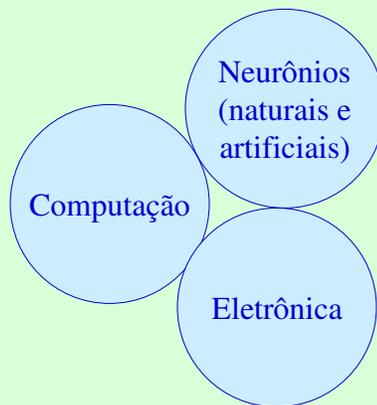
- Conjuga capacidades da inteligência biológica com os ambientes de computação, de processamento embarcado, de sensoriamento e de controle automático
- Emprega diferentes estratégias e metodologias, frequentemente integradas em sistemas híbridos
- Muitas vezes as duas seguintes vertentes caminham juntas (e particularmente em neurocomputação):
  - 1) Inspirar-se nos sistemas biológicos para delineamento de novos modelos de computação
  - 2) Emular ou substituir parcialmente as capacidades dos sistemas biológicos

© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

76

## ... elementos que interligaremos

77



© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

77

## Redes Neurais Artificiais

78

São: sistemas computacionais, de implementação em hardware ou software, que imitam as habilidades computacionais do sistema nervoso biológico, usando um grande número de processadores simples (neurônios artificiais) e interconectados entre si.

Emprestam da biologia:

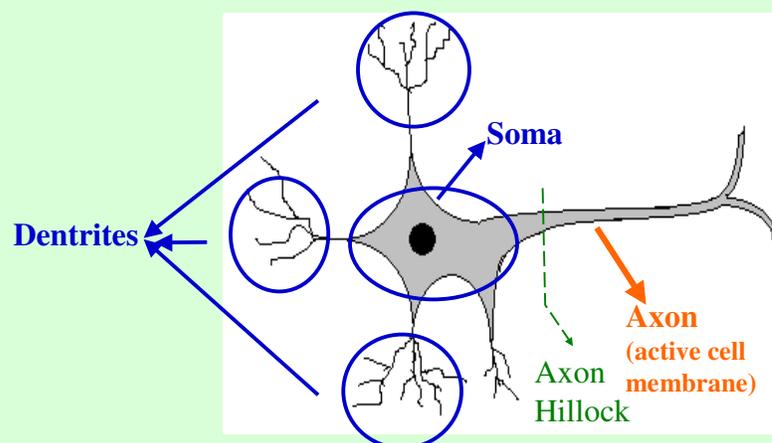
- A estrutura de processamento microscópico (processamento de informação de neurônios individuais)
- Em algum grau, aspectos da organização de redes neurais biológicas – como os neurônios se interligam
- O aprendizado através de exemplos (através de casos)

© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

78

## Fundamentos ... O neurônio biológico

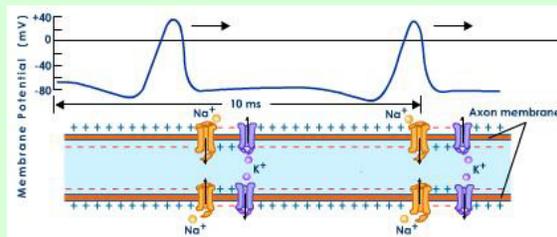
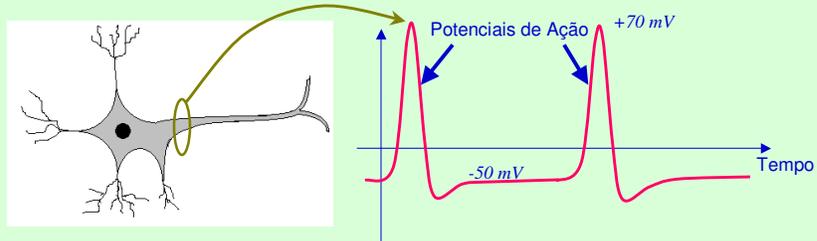
79



© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

79

## Action Potential generation and Propagation (Potenciais de Ação = nome técnico dos pulsos neurais)

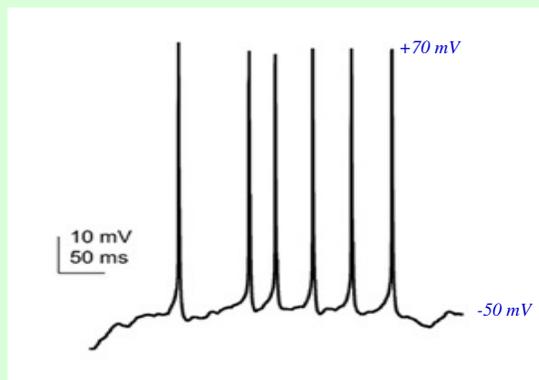
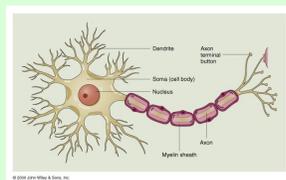


... ions principais ...

Sódio, Potássio, Cloro...

© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

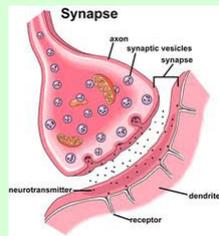
## Como são os “potenciais de ação” medidos em axônios reais e sem estilização?



© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

## Sinapses

82

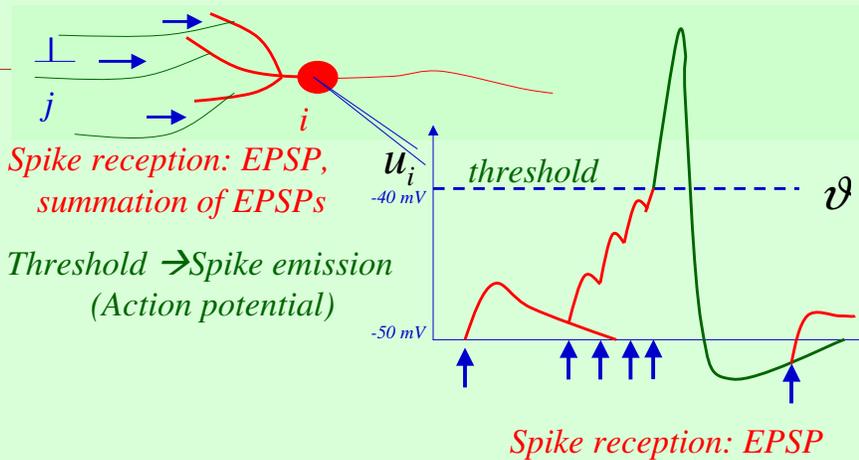


Conexões Sinápticas ... podem ser excitatórias ou inibitórias, mais fortes ou mais fracas, mais lentas ou mais rápidas, ... de acordo com o tipo (dopamina, serotonina, etc ...) e com a quantidade de neurotransmissores envolvidos.

*Conceitos de Peso Sináptico e de Plasticidade Sináptica*

© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

82



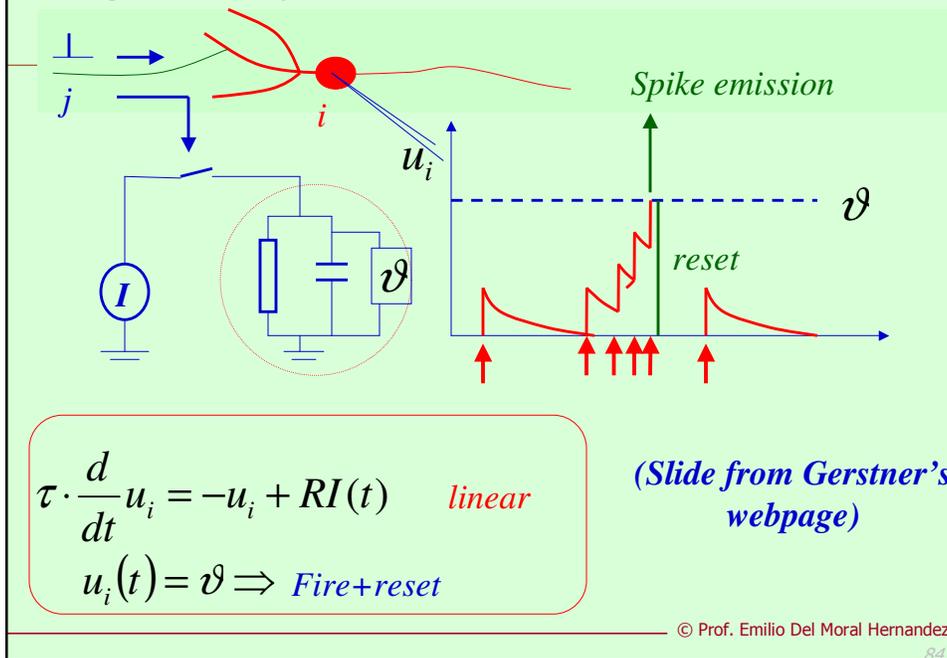
*Phenomenology of spike generation*

*(Slide from Gerstner's webpage)*

© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

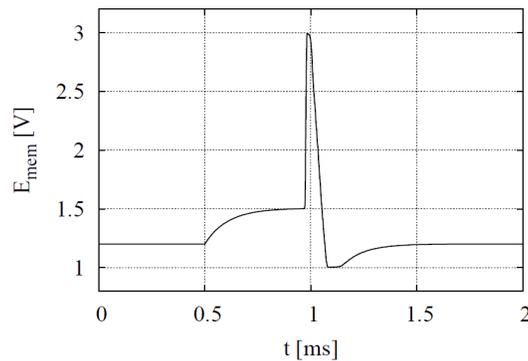
82

## Integrate-and-fire Model and the Electronic Version



## Sinal gerado por circuito com transistores CMOS, para codificação por pulsos neurais individuais

### Potencial de ação gerado por neurônio CMOS



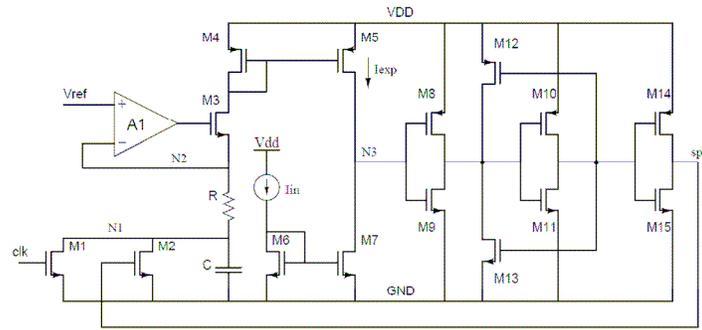
Prof. Emilio Del Moral Hernandez  
 Grupo ICONE-EPUSP-PSI  
 Trabalho de pós graduação de Julio Cesar Saldaña

© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

## Circuito neuromórfico para codificação temporal de informação, em redes neurais pulsadas

86

### Circuito codificador



Prof. Emilio Del Moral Hernandez  
Grupo ICONE-EPUSP-PSI  
Trabalho de pós graduação de Julio Cesar Saldaña

© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

86

## Codificação de informação em neurônios biológicos

88

- Freqüencial
- Phase
- Sincronização
- ??? Outros ???

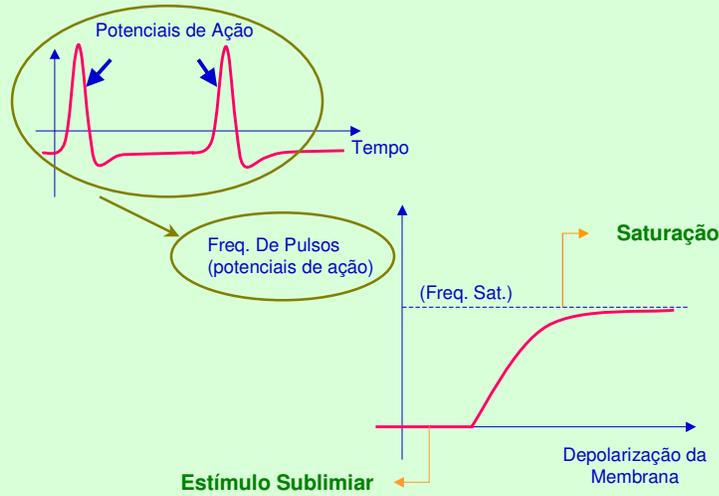
- Os modelos neurais mais clássicos >>>  
Predominantemente codificação FREQUENCIAL!!!!

© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

88

## Estudando a relação não linear entre volume de estímulo e volume de atividade de saída

89

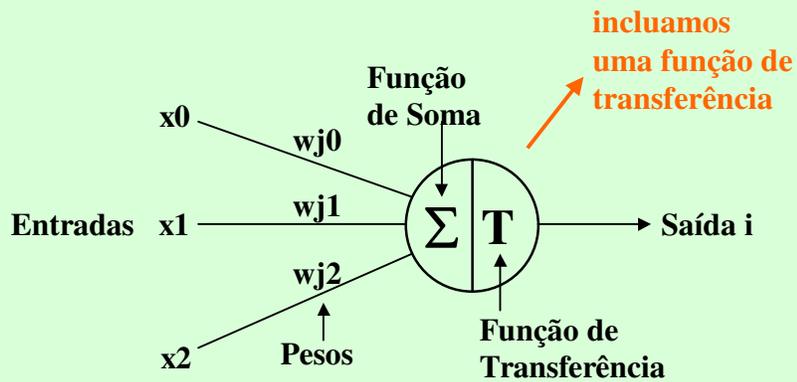


© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

90

## Modelando a Relação Entrada / Saída do neurônio

91



© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

92

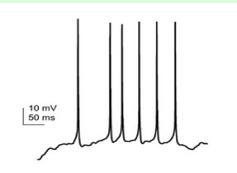
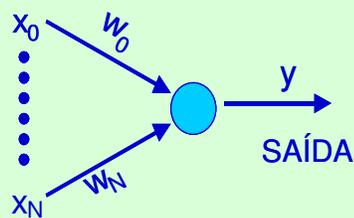
*Temos pois duas componentes de cálculo complementares no neurônio:*

*1) Uma linear (soma ponderada das entradas)*

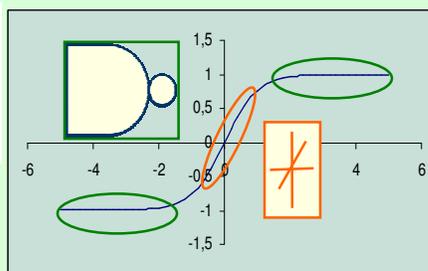
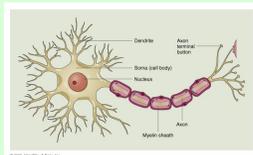
*2) Outra não linear (Função de transferência da classe sigmoidal)*

© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

### Computação linear e não linear, com codificação frequencial



$$y = f_T(\sum w_i x_i)$$

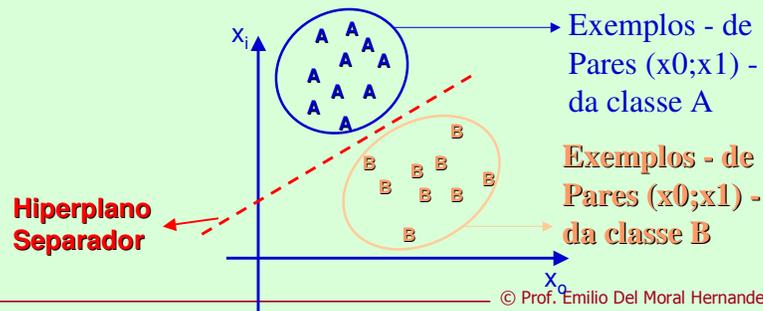


© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

O Perceptron Digital:  $y = \text{signal}(\sum w_i x_i - \theta)$   
 (função de transferência tipo “degrau”)

97

- Viabiliza a classificação de padrões com separabilidade linear
- O algoritmo de aprendizado adapta os Ws de forma a encontrar o hiperplano de separação adequado
- Aprendizado por conjunto de treinamento

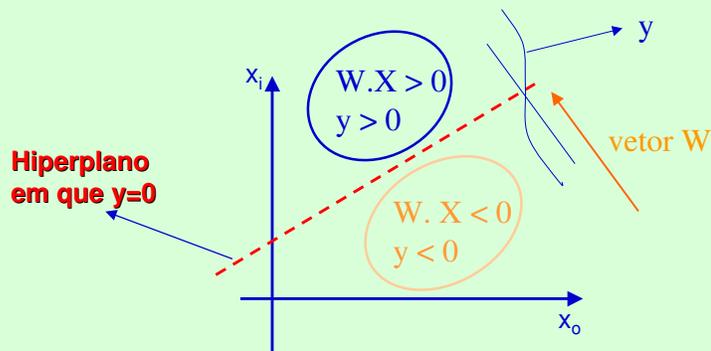


97

E se a saída do nosso problema não for digital?  
 O “Perceptron Contínuo”:  $y = \text{tgh}(\sum w_i x_i - \theta)$

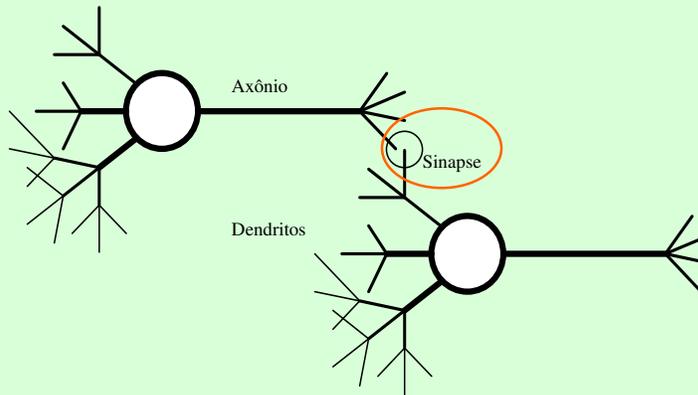
98

- Que problemas de entradas contínuas conseguimos atacar usando uma função de transferência tangente hiperbólica)



98

## Cômputos mais complexos ... são realizados pelo encadeamento de vários neurônios

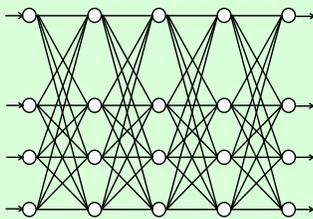


A conexão entre um axônio de um neurônio e um dendrito de outro é denominada **Sinapse**

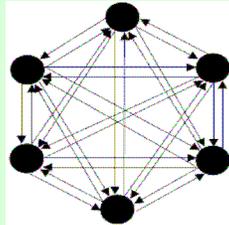
© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

## Três arquiteturas neurais importantes (abordadas em pósgrad – PSI 5886)

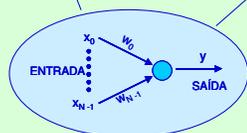
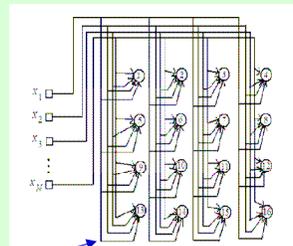
1) MLP  
- Multi Layer  
Perceptron



2) Memória  
Associativa  
de Hopfield



3) Mapas Auto-Organizáveis  
de Kohonen



© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

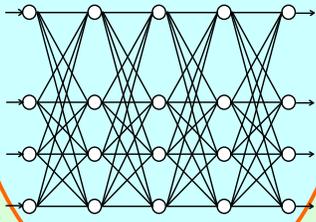
## Três arquiteturas neurais importantes

(abordadas em pósgrad – PSI 5886)

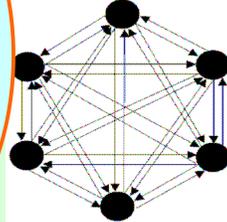
101

**Nosso Foco aqui**

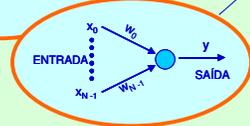
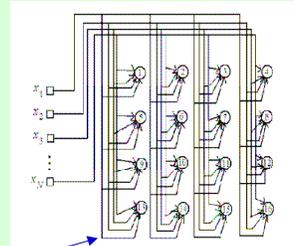
1) MLP  
- Multi Layer  
Perceptron



2) Memória  
Associativa  
de Hopfield



3) Mapas Auto-  
Organizáveis  
de Kohonen



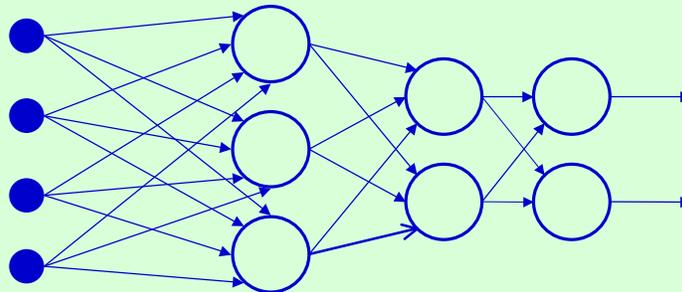
© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

101

## Foco deste Curso: o Multi Layer Perceptron (MLP)

102

- Múltiplas entradas / Múltiplas saídas / Múltiplas camadas
- Variáveis (internas e externas) analógicas ou digitais
- Relações lineares ou não lineares entre elas

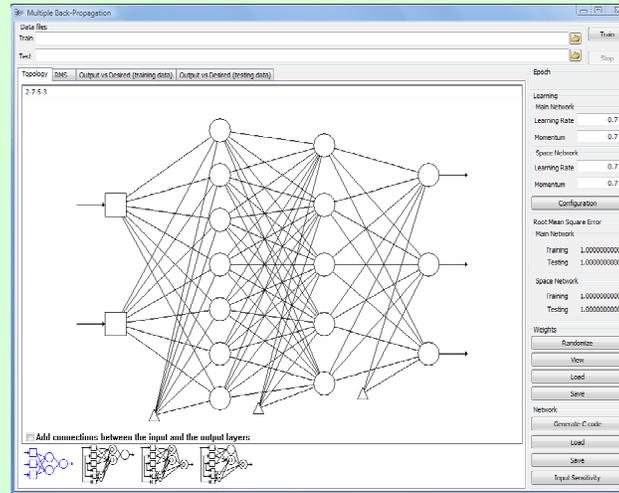


© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

102

## Exemplo de tela do ambiente MBP definindo uma Rede Neural

103

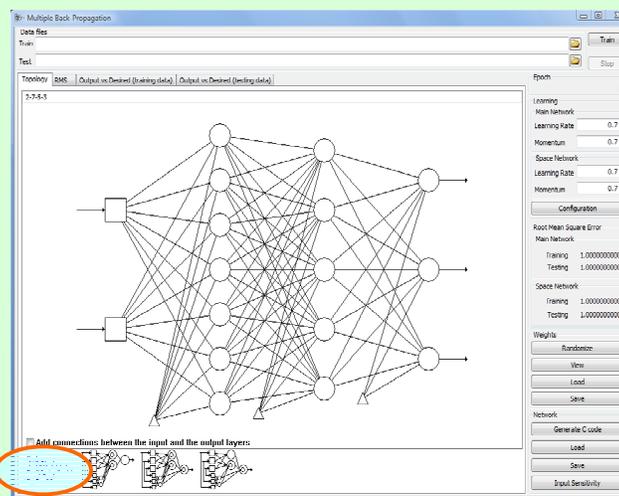


© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

103

## Exemplo de tela do ambiente MBP definindo uma Rede Neural do tipo MLP

104



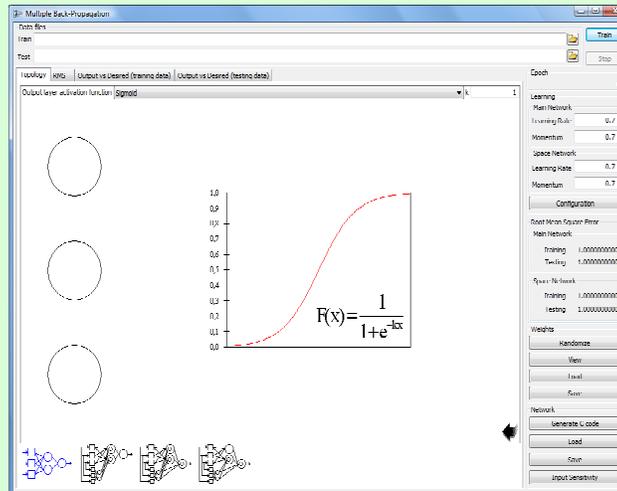
Escolha MLPs

© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

104

## Algumas Telas do MBP Mudando a função do nó neural

105



© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

105

## Outras funções de transferência não linear (nem todas disponíveis no ambiente MBP)

106

<p style="text-align: center;"><b>Hard Limiter</b> (limite rápido)</p> <p style="text-align: center;"><math>s &lt; 0, y = -1</math> <math>s &gt; 0, y = 1</math></p>	<p style="text-align: center;"><b>Ramping Function</b> (função de rampa)</p> <p style="text-align: center;"><math>s &lt; 0, y = 0</math> <math>0 \leq s \leq 1, y = s</math> <math>s &gt; 1, y = 1</math></p>
<p style="text-align: center;"><b>Sigmoide Function</b> (função sigmóide)</p> <p style="text-align: center;"><math>y = 1 / (1 + e^{-s})</math></p>	<p style="text-align: center;"><b>Sigmoide Function</b> (função sigmóide)</p> <p style="text-align: center;"><math>x \geq 0, y = 1 - 1 / (1 + s)</math> <math>x &lt; 0, y = -1 + 1 / (1 - s)</math></p>

- Com escalamento do argumento, pode-se abarcar os universos digital e analógico / linear e não linear simultaneamente

© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

106

MBP – uma plataforma didática para redes neurais gratuita, de fácil uso e com 12 excelentes tutoriais

site <http://mbp.sourceforge.net/>

**TUTORIAL**

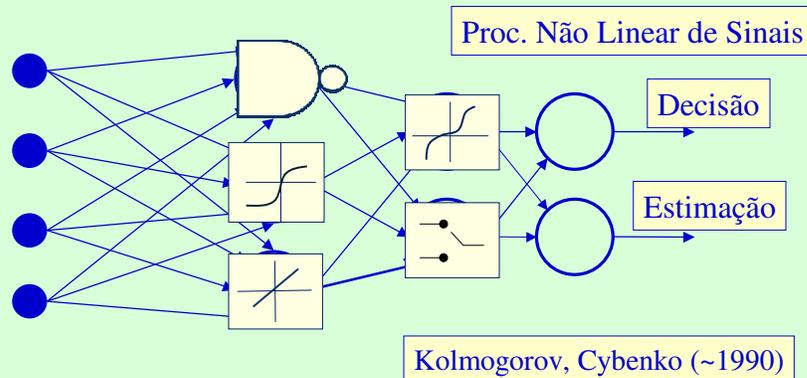
1. Introduction (includes the MBP Algorithm)
2. Creating the training and the test datasets
3. Defining the topology of the neural networks
4. Configuring the activation functions of the neurons
5. Defining the neural network learning configuration
6. Training a neural network - Part I (regression)
7. Training a neural network - Part II (classification)
8. Copying data and graphics
9. Initialize, view, save and load the neural network weights
10. Load and save a neural network
11. Generate C code from a trained neural network
12. Analyzing the input sensitivity of a neural network

Ambiente desenvolvido pelo Prof. Noel Lopes e colaboradores  
– Instituto Politécnico da Guarda – Portugal

© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

## O Multi Layer Perceptron (MLP)

- Múltiplas entradas / Múltiplas saídas / Múltiplas camadas
- Variáveis (internas e externas) analógicas ou digitais
- Relações lineares ou não lineares entre elas



© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

## Resumindo os aspectos conceituais principais

///

- 1) Não linearidade com a função neural sigmoidal
  - 2) Possibilidade de conjugar na mesma estrutura ...
    - Cálculos digitais
    - Cálculos lineares multivariáveis
    - Funções genéricas não lineares multivariáveis
  - 3) Comportamento adaptativo com aprendizado através de exemplos
- .....
- Problemas complexos, multidimensionais, não lineares e mesmo aqueles sem teoria conhecida
  - Decisão automática, estimação, reconhecimento de padrões, classificação, processamento não linear de sinais, *clustering* multidimensional ...

© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

///