3. Aprendizado de RNAs

Prof. Renato Tinós

Depto. de Computação e Matemática (FFCLRP/USP)

3. Aprendizado

3.1. Aprendizado em RNAs

3.2. Tipos de Aprendizado

- Aprendizado Supervisionado
- Aprendizado Não-Supervisionado
- Aprendizado com Avaliação da Qualidade da Solução do Problema

3.3. Estratégias de Aprendizado

- Aprendizado por Correção de Erro
- Aprendizado Competitivo
- Aprendizado Hebbiano
- Aprendizado por Reforço
- Aprendizado Evolutivo

3.1. Aprendizado em RNAs

- **Processo de Aprendizado**
  - Várias definições. Exemplos:
    - » "*Capacidade de aprender a partir de seu ambiente*"
    - » "*Melhorar o desempenho em solucionar determinados problemas com o tempo*"
      - ❑ De acordo com algum critério pré-estabelecido
        - ➢ Exemplo: redução da soma do erro médio quadrático

3.1. Aprendizado em RNAs

- **Em RNAs**
  - "*Aprendizado é um processo pelo qual os parâmetros livres de uma RNA são adaptados através de um processo de estimulação pelo ambiente no qual a RNA está inserida*"
    - » Parâmetros livres de uma RNA são geralmente adaptados iterativamente
      - ❑Idealmente, uma RNA sabe mais sobre seu ambiente após cada iteração
      - ❑Exemplo

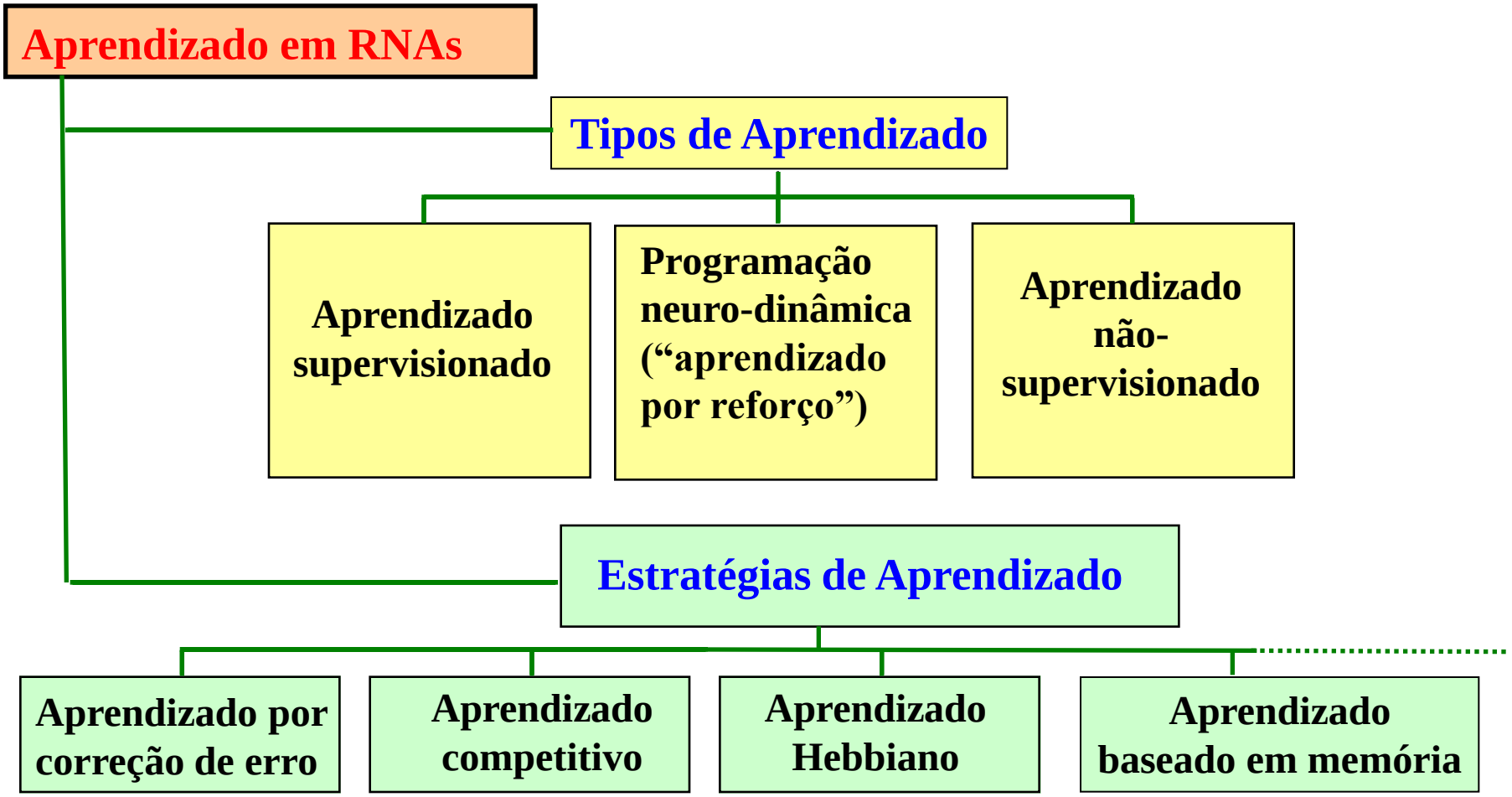
$$\mathbf{w}(n+1) = \mathbf{w}(n) + \Delta\mathbf{w}(n)$$

  - "*O tipo de aprendizado é determinado pela maneira pela qual a modificação dos parâmetros ocorre*"

3.1. Aprendizado em RNAs

- **Em RNAs**
  - O processo de aprendizado geralmente implica na seguinte sequência de eventos
    1. A RNA é estimulada pelo ambiente
    2. A RNA sofre modificações em seus parâmetros livres como resultado desta estimulação
    3. A RNA reponde de uma nova maneira ao ambiente, devido às modificações ocorridas na sua estrutura interna

3.1. Aprendizado em RNAs

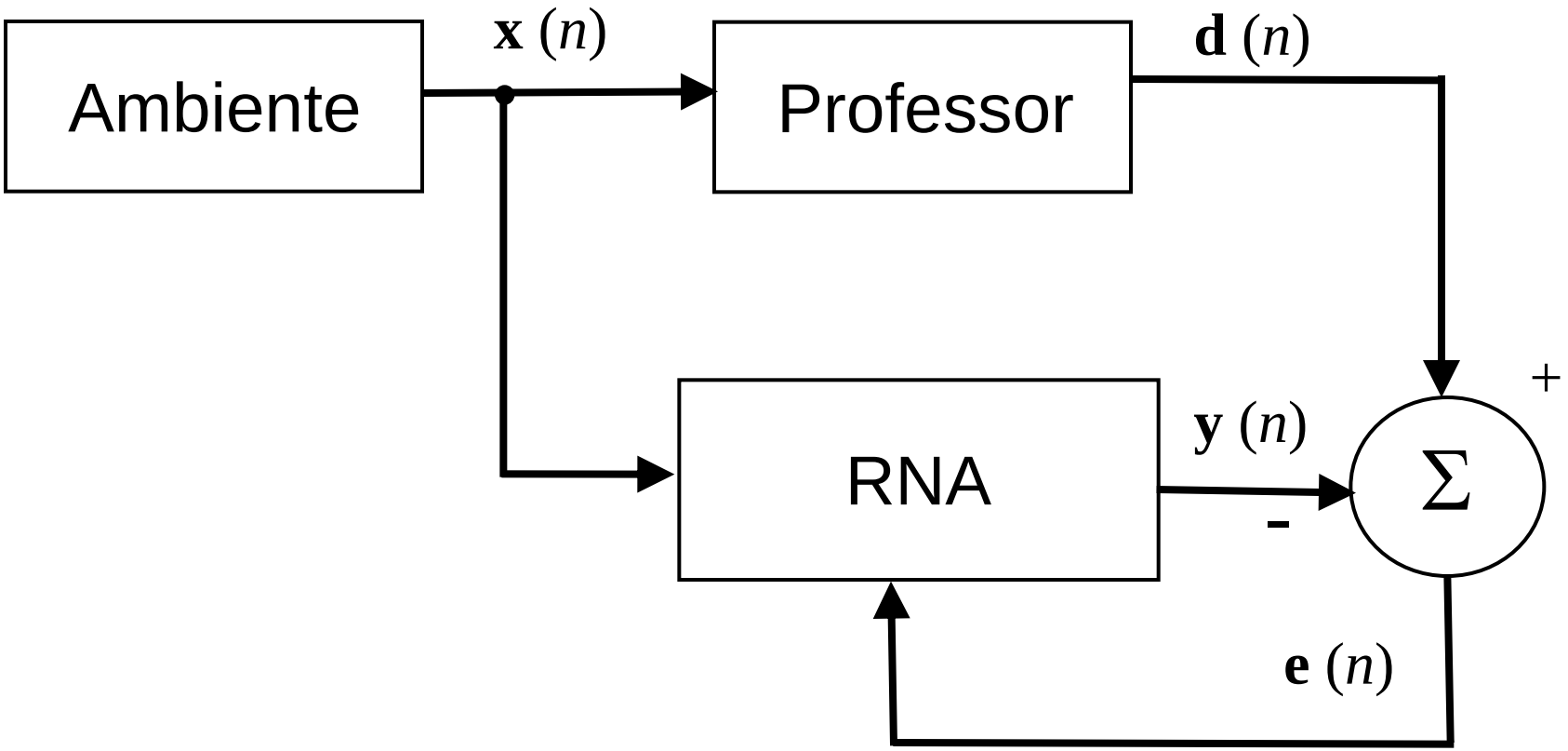


3.2. Tipos de Aprendizado

- **Aprendizado supervisionado**
  - Professor externo
    - » Possui conhecimento sobre ambiente
      - ❑ Representado por conjunto de pares (**x** *(n)* , **d** *(n)*) utilizados no treinamento, ou seja, as saídas desejadas são conhecidas
        - ➢ Em outras palavras, os exemplos de treinamento são **rotulados**
    - » Geralmente, a RNA não possui informações prévias sobre ambiente
      - ❑ Conhecimento *a priori* pode ser inserido
    - » Parâmetros da rede são ajustados geralmente através de apresentações sucessivas de pares (**x** *(n)* , **d** *(n)*)
      - ❑ Rede procura reproduzir comportamento do professor

3.2. Tipos de Aprendizado

- **Aprendizado supervisionado**

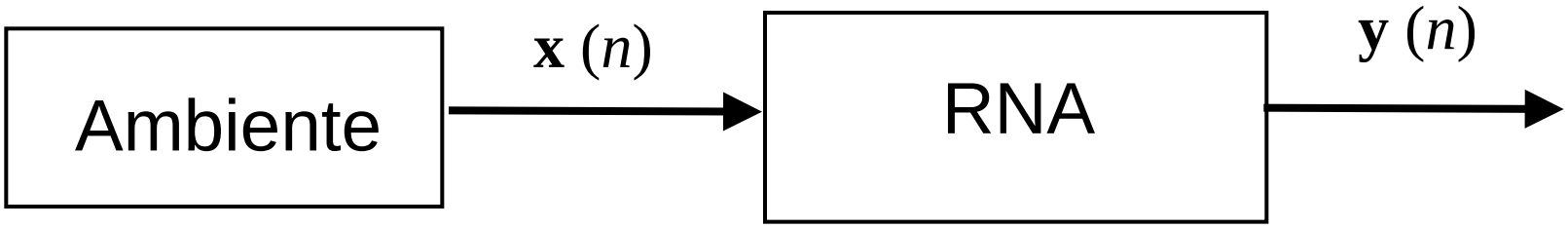


3.2. Tipos de Aprendizado

- **Aprendizado não-supervisionado**
  - Não tem professor externo ou crítico
    - » Não se conhece nem as saídas desejadas nem a qualidade da solução do problema
  - Extração de características estatisticamente relevantes dos conjuntos de exemplos
  - Clusterização
    - » Criação de agrupamentos de exemplos
      - Sem classificá-los

3.2. Tipos de Aprendizado

- **Aprendizado não-supervisionado**

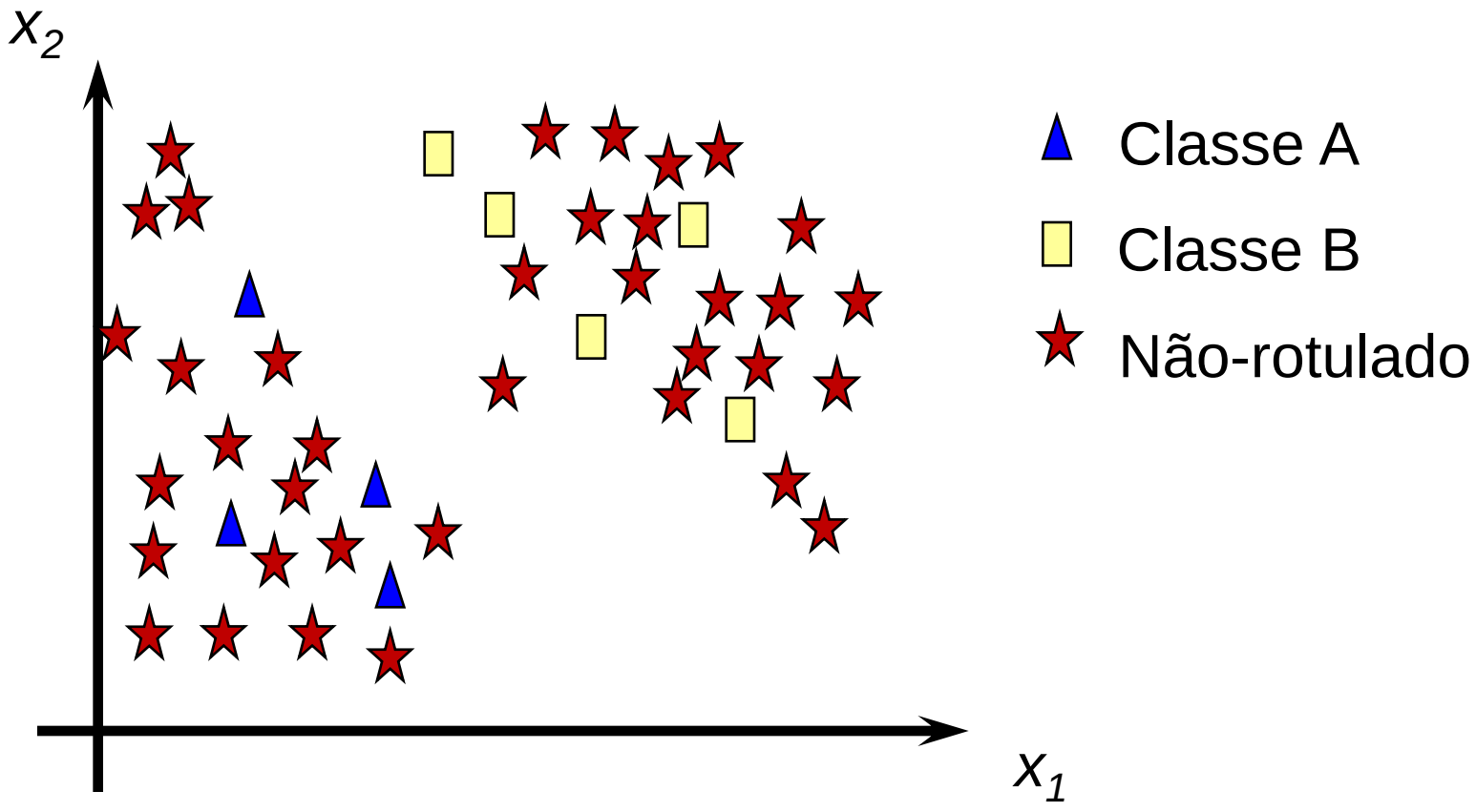


3.2. Tipos de Aprendizado

- **Pode se ainda definir uma tipo intermediário entre os aprendizados supervisionado e não supervisionado:**
  - **Aprendizado semi-supervisionado**
    - » Conjunto de treinamento formado por
      - ❑ parte dos exemplos **com** saída desejada conhecida (rotulados)
      - ❑ parte dos exemplos **sem** saída desejada conhecida (não-rotulados)
    - » Interessante em diversos contextos
      - ❑ Rotular é geralmente uma tarefa difícil
      - ❑ Muitas aplicações envolvem quantidades massivas de dados (***Big Data***)
    - » Geralmente, utilizam-se técnicas supervisionadas em conjunto com técnicas não-supervisionadas no aprendizado semi-supervisionado

3.2. Tipos de Aprendizado

- **Aprendizado semi-supervisionado**



3.2. Tipos de Aprendizado

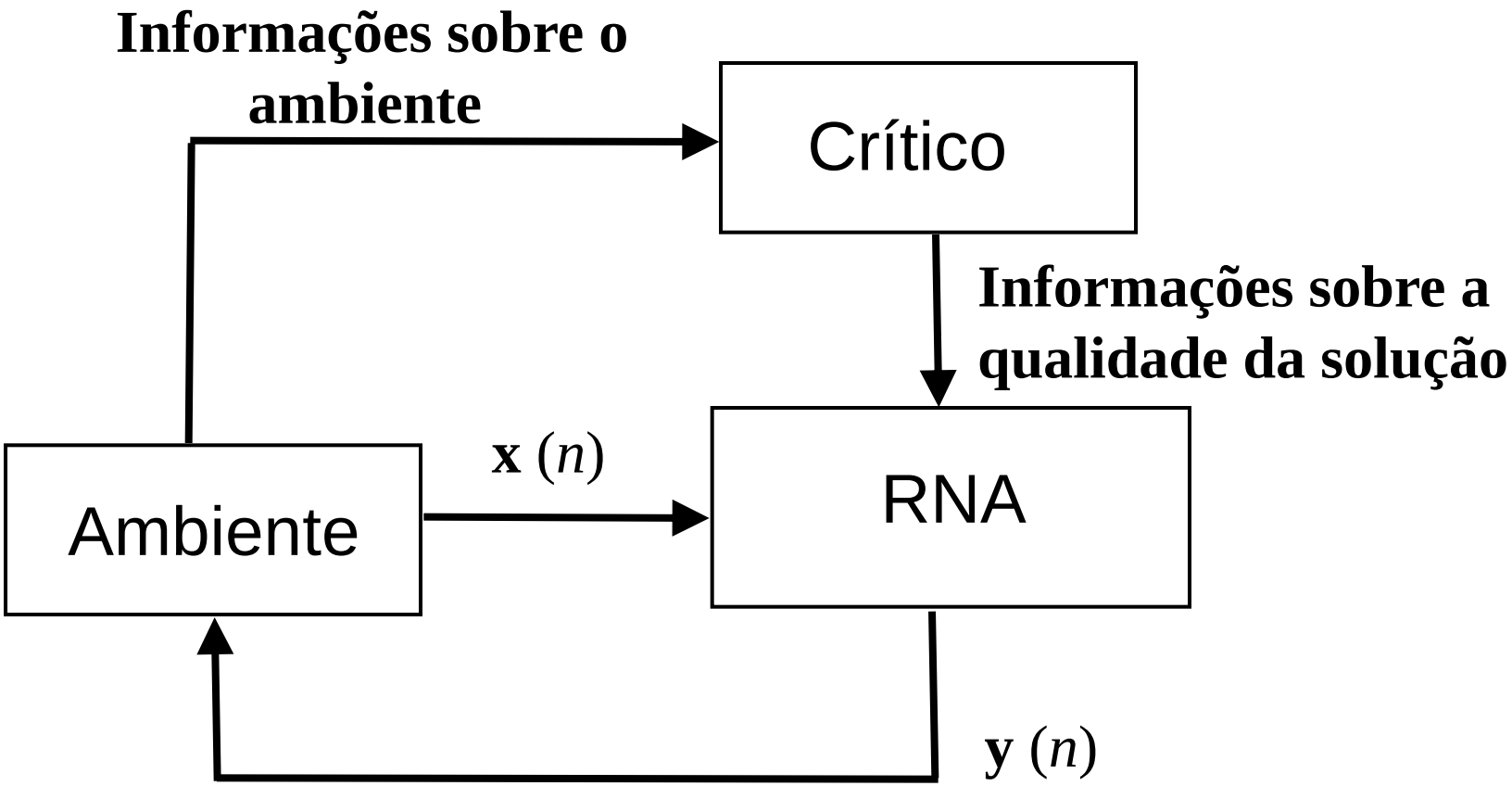
- **Programação neuro-dinâmica**
  - Muitas vez, é chamada de aprendizado por reforço
    - » Entretanto, o aprendizado por reforço pode ser entendido como uma estratégia e não como um tipo de aprendizado
  - Sem professor
    - » As saídas desejadas não são conhecidas
  - Com um **crítico externo**
    - » Avalia a qualidade da solução do problema
  - Utilizado geralmente em problemas que envolvem agentes inteligentes
    - » Exemplo: robôs e assistentes inteligentes

3.2. Tipos de Aprendizado

- Programação neuro-dinâmica
  - Soluções (ou parte das soluções)
    - » Com qualidade baixa são punidas
    - » Com qualidade alta são recompensadas
  - O algoritmo de aprendizado procura maximizar a qualidade da solução
  - Exemplos de estratégias
    - » Aprendizado por reforço
    - » Aprendizado evolutivo
  - Geralmente é muito mais lento que o aprendizado supervisionado

3.2. Tipos de Aprendizado

- Programação neuro-dinâmica



3.2. Tipos de Aprendizado

Tarefa	Exemplo	Tipos mais comums
Aproximação	Dado pares (**x**, **d**) obtidos em um experimento, aproximar função	Supervisionado
Associação Autoassociação Heteroassociação	 Associar **x** com **x** Associar **x** com **y**	 Não supervisionado Supervisionado
Classificação de padrões	Diagnóstico por computador	Supervisionado
Previsão	Série temporal	Supervisionado
Controle	Jogos com agentes	Programação Neuro-Dinâmica
Clusterização	Associar genes com funções similares	Não supervisionado

3.3. Estratégias de Aprendizado

- **Estratégias de aprendizado**
  - Conjunto de passos e regras utilizadas para a solução de um problema de aprendizado
  - Grande variedade
    - » As vantagens e desvantagens dependem dos problemas a serem solucionados
    - » Geralmente diferem na maneira como os parâmetros livres da RNA são ajustados
      - ❑ Exemplo: diferentes regras para o cálculo de $\Delta\mathbf{w}(n)$
    - » Algumas estratégias são apresentadas a seguir

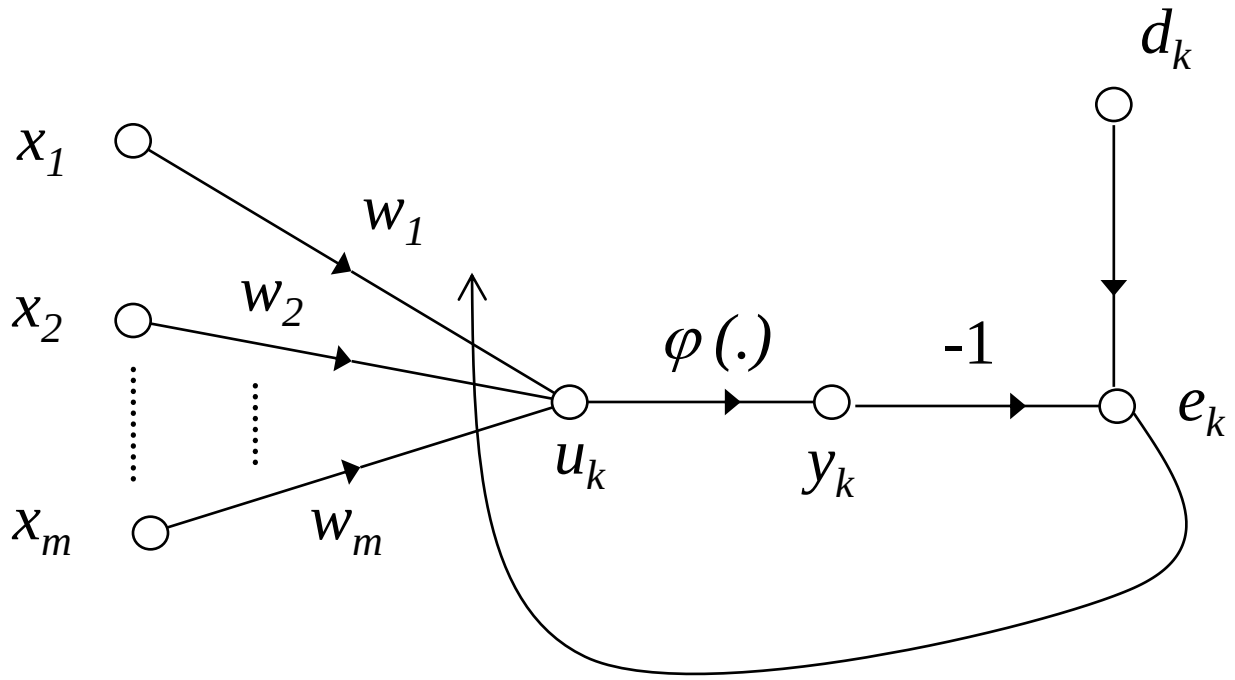
3.3. Estratégias de Aprendizado

- **Aprendizado por correção de erro**
  - Estratégia mais utilizada
  - Baseia-se na correção dos parâmetros livres da RNA de acordo com a minimização do erro computado como a diferença da saída da RNA e a saída desejada apresentada pelo professor
    - » Erro instantâneo da saída *k*

$$e_k(n) = d_k(n) - y_k(n) \qquad (3.1)$$

3.3. Estratégias de Aprendizado

- **Aprendizado por correção de erro**
  - Grafo de fluxo de sinal do neurônio de saída *k*



3.3. Estratégias de Aprendizado

- **Aprendizado por correção de erro**
  - Os ajustes nos parâmetros livres são projetados para aproximar passo a passo a saída da RNA da saída desejada
  - Este objetivo é alcançado minimizando-se uma função de custo baseada em $e_k(n)$
    - » Valor instantâneo da energia do erro

$$E(n) = \frac{1}{2}\sum_k e_k^2(n) \qquad (3.2)$$

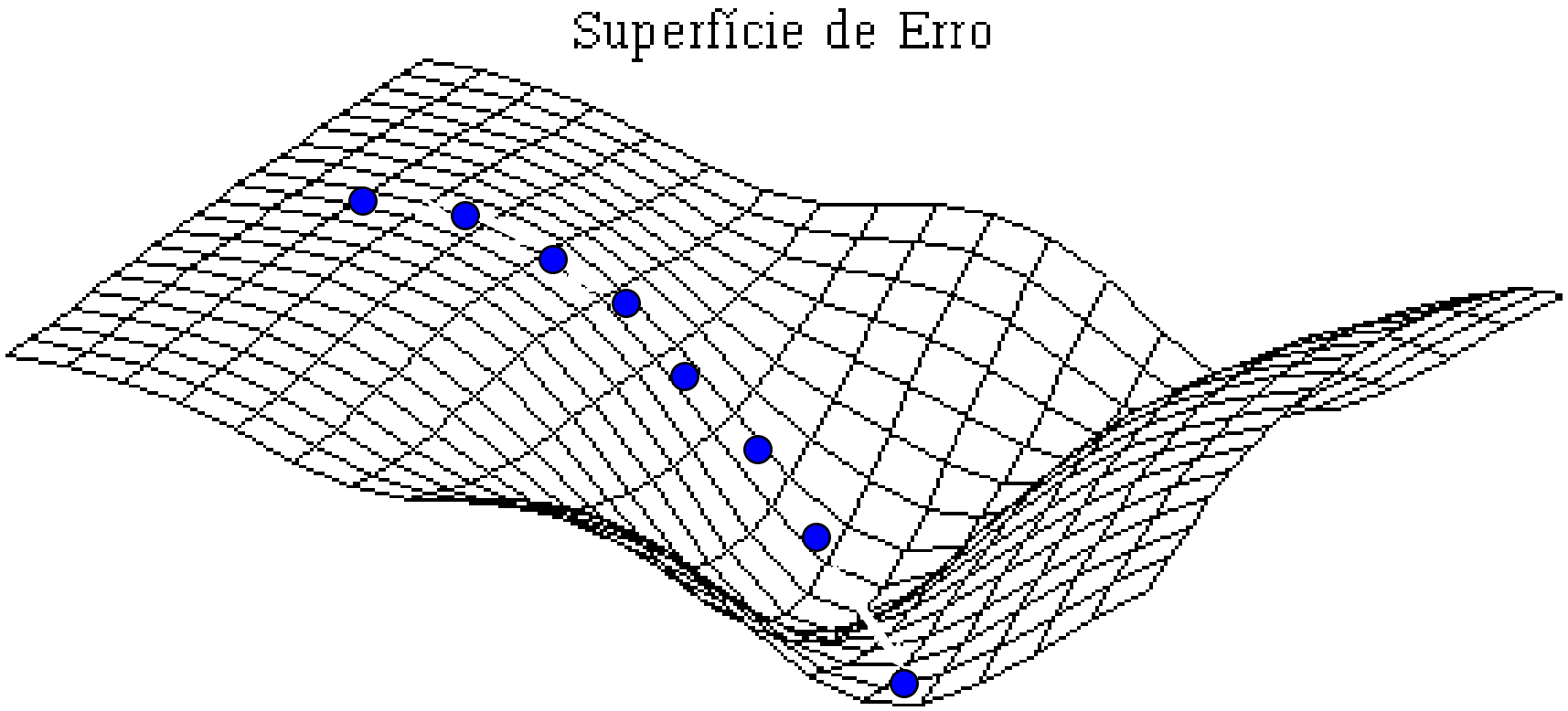
3.3. Estratégias de Aprendizado

- **Aprendizado por correção de erro**
  - Após seleção da função de custo, o aprendizado torna-se um problema de otimização
  - Considerando que a superfície de erro é um parabolóide (com um único mínimo), podemos utilizar uma **técnica de otimização baseada no cálculo do gradiente**
    - » Em cada instante

$$\Delta w_{k\,j}(n) = -\eta\,\nabla E(n) \qquad (3.3)$$

na qual w_{kj} é o peso sináptico do neurônio k excitado pelo elemento j do vetor **x**

3.3. Estratégias de Aprendizado



3.3. Estratégias de Aprendizado

- **Aprendizado por correção de erro**
  - A minimização da função de custo dada pela Eq. (3.2) em relação aos parâmetros livres da rede resulta na regra Delta ou regra de Widrow e Hoff.
    - » Ex.: para um único neurônio com ativação linear:

$$\Delta w_{kj}(n) = \eta\, e_k(n) x_j(n) \qquad (3.4)$$

A regra Delta pode ser formulada como

- » "*o ajuste feito em um peso sináptico é proporcional ao produto do sinal de erro pelo sinal de entrada da sinapse*"

3.3. Estratégias de Aprendizado

- **Aprendizado Hebbiano**
  - Regra mais antiga e conhecida, proposta pelo neuropsicólogo D. O. Hebb em 1949
  - Se dois neurônios estão simultaneamente ativos, a conexão entre eles deve ser fortalecida
  - Regra modificada (sinapse Hebbiana)
    - » Dois neurônios são ativados sincronamente, força da sinapse deve ser aumentada
    - » Dois neurônios são ativados assincronamente, força da sinapse deve ser reduzida

3.3. Estratégias de Aprendizado

- **Aprendizado Hebbiano**
  - Regra mais antiga e conhecida, proposta pelo neuropsicólogo D. O. Hebb em 1949:
    - » "*Quando um axônio da célula A está perto o suficiente para excitar uma célula B e participa do seu disparo repetida e persistentemente, então algum processo de crescimento ou modificação metabólica acontece em uma das células ou em ambas, de tal forma que a eficiência de A como uma das células que dispara B é aumentada*"
  - Pode-se reformulá-la como
    1. Se dois neurônios estão simultaneamente ativos, então a conexão entre eles é fortalecida
    2. Se dois neurônios são ativados assincronamente, então a conexão entre eles é reduzida

3.3. Estratégias de Aprendizado

- **Aprendizado Hebbiano**
  - A forma geral do aprendizado Hebbiano é

$$\Delta w_{kj}(n) = F\left(y_k(n), x_j(n)\right) \tag{3.5}$$

  - Sendo que na forma mais simples (conhecida como hipótese de Hebb), a função *F*(.) é linear, ou seja

$$\Delta w_{kj}(n) = \eta\, y_k(n) x_j(n) \tag{3.6}$$

3.3. Estratégias de Aprendizado

- **Aprendizado Hebbiano**
  - A Eq. (3.6) resulta em um crescimento exponencial de Δw_{kj} que pode levar a saturação se o sinal de entrada é aplicado repetidas vezes. Este problema pode ser superado se utilizarmos a hipótese da covariância dada por

$$\Delta w_{kj}(n) = \eta\left(y_k(n) - \bar{y}\right)\left(x_j(n) - \bar{x}\right) \qquad (3.7)$$

sendo $\bar{x}$ e $\bar{y}$ os valores médios que determinam os limiares pré e pós-sináptico

3.3. Estratégias de Aprendizado

- **Aprendizado Competitivo**
  - Neste aprendizado, neurônios competem entre si para se tornarem ativos
    - » Apenas um neurônio se torna ativo
  - Adequado para descobrir características estatisticamente salientes
    - » Podem ser usadas para classificar conjuntos de entradas

3.3. Estratégias de Aprendizado

- **Aprendizado Competitivo**
  - Elementos básicos
    - » Conjunto de neurônios iguais (exceto por alguns pesos aleatoriamente distribuídos)
    - » Limite no poder de cada neurônio
    - » Mecanismo que permita neurônios competirem pelo direito de responder a um dado subconjunto de entradas
      - ❑ Apenas um neurônio se torna ativo em um determinado instante
        - ➢ Vencedor leva tudo (*winner-takes-all*)
  - Neurônios individuais se especializam em conjuntos de padrões semelhantes

3.3. Estratégias de Aprendizado

- **Aprendizado Competitivo**
  - Arquitetura mais simples
    - » Uma camada de neurônios completamente conectados à entrada (excitatória)
    - » Conexões laterais entre neurônios (inibitórias)
    - » Pesos normalizados

$$\sum w_{kj}^2(n) = 1 \qquad \text{(para todo neurônio } k\text{)}$$

    - » Regra de aprendizagem competitiva

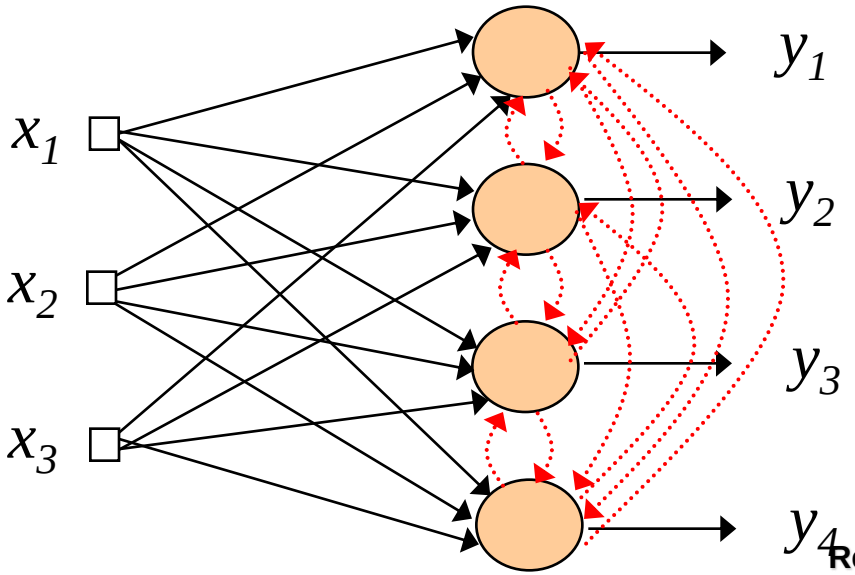
$$\Delta w_{kj} \begin{cases} \eta\left(x_j - w_{kj}\right) & \text{se o neurônio } k \text{ vencer a competição} \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases} \qquad (3.8)$$

3.3. Estratégias de Aprendizado

- **Aprendizado Competitivo**
  - Exemplo

$$y_k = \begin{cases} 1 & \text{se } u_k > u_l \text{ para todo } l, l \neq k \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases} \qquad (3.9)$$

Sendo u_k a ativação interna do neurônio k



3.3. Estratégias de Aprendizado

- **Aprendizado por reforço**
  - Utilizado em problemas que envolvam aprendizado direcionada à meta e à tomada de decisão
  - Tem raízes na teorias do aprendizado dos animais
  - Enfatiza a interação de um agente com o ambiente
    - » Geralmente, o agente não conhece *a priori* o seu meio ambiente

3.3. Estratégias de Aprendizado

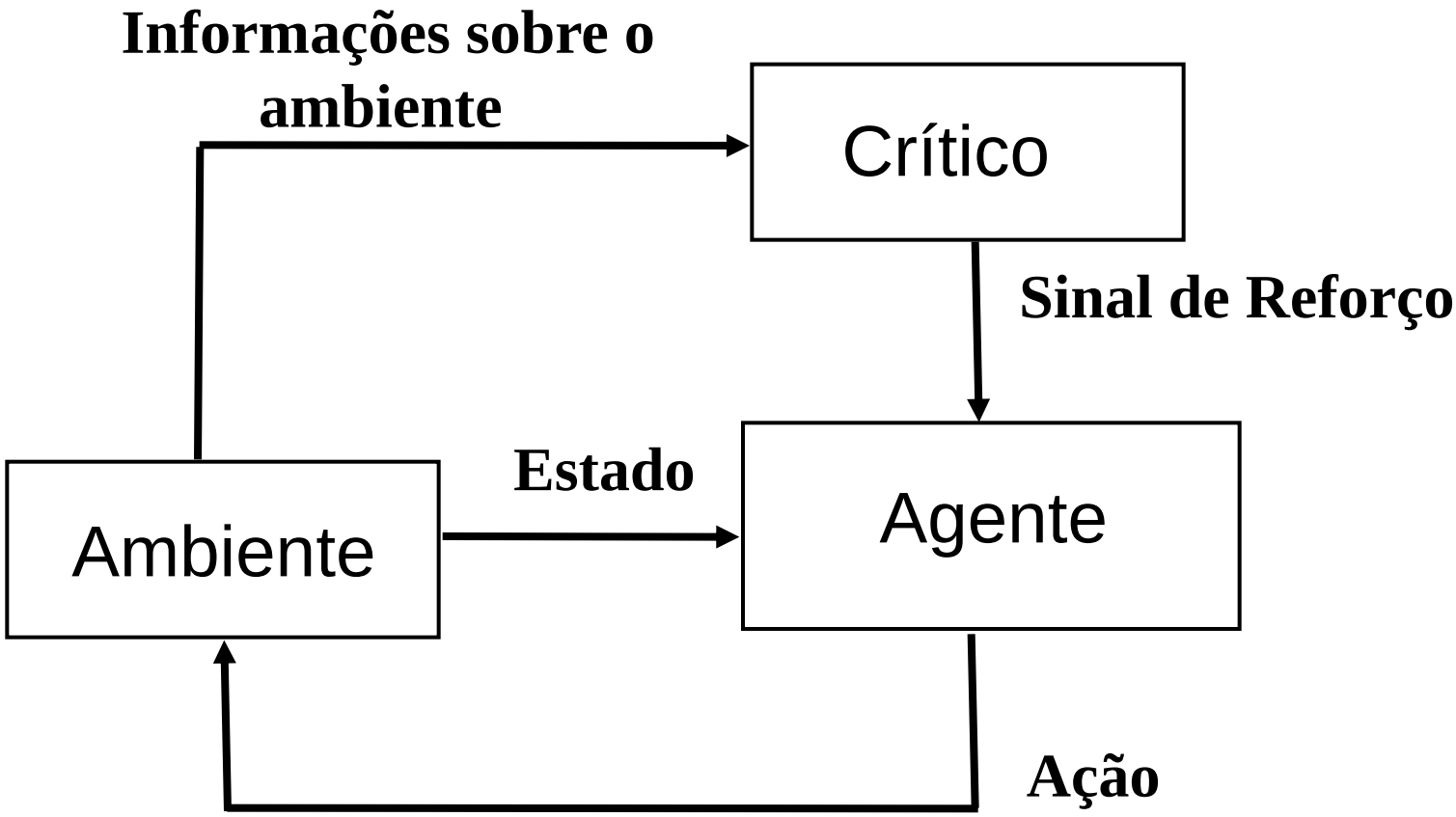
- **Aprendizado por reforço**
  - Agente
    - » Entidade que percebe o seu meio ambiente (através de sensores) e age sobre este meio ambiente (através de atuadores)
      - ❑ Exemplo:
        - ➢ Animais
        - ➢ Robôs
        - ➢ Agente de Software
    - » Possui programas que definem como ele interage com o meio ambiente

3.3. Estratégias de Aprendizado

- **Aprendizado por reforço**
  - Não utiliza o conceito do professor
    - » Ou seja, não se sabe *a priori* quais são as ações que devem ser tomadas (saídas desejadas)
  - Utiliza uma informação sobre a qualidade da ações (sinal de reforço) obtida através de um Crítico
    - » Esta informação pode ser do tipo punição ou recompensa para determinados estados
      - ❑Exemplo
        - ➢Estado meta
        - ➢Obstáculo

3.3. Estratégias de Aprendizado

- **Aprendizado por reforço**

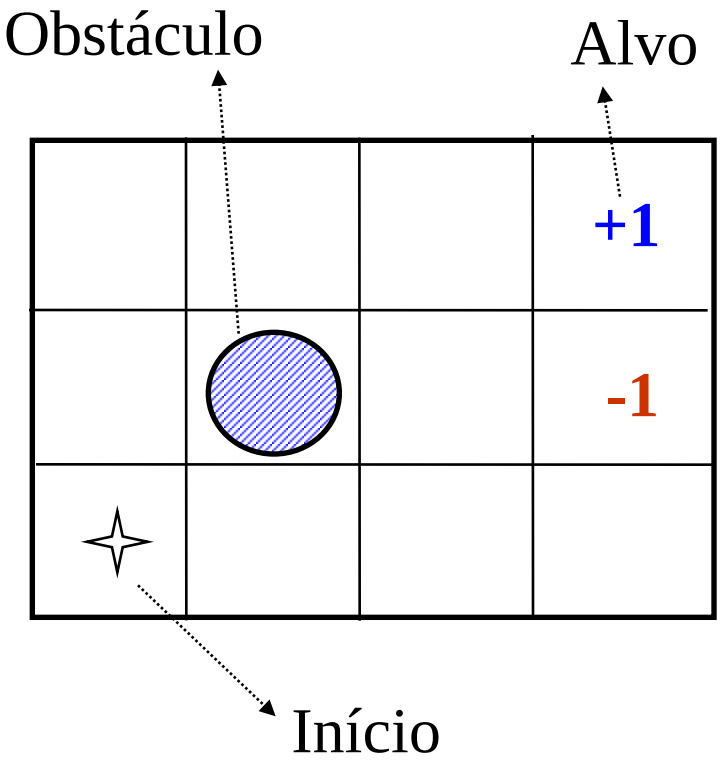


3.3. Estratégias de Aprendizado

- **Aprendizado por reforço**
  - Sinal de Reforço
    - » É utilizado para definir as ações do agente
      - ❑Exemplo: modifica os pesos de uma RNA
    - » É atualizado pelo crítico de acordo com avaliação da solução obtida
  - Objetivo
    - » Maximizar os sinais de reforço obtidos
      - ❑Otimizando assim a solução para um determinado problema

3.3. Estratégias de Aprendizado

- **Aprendizado por reforço**
  - Exemplo
    - »Busca de um caminho ótimo por um robô



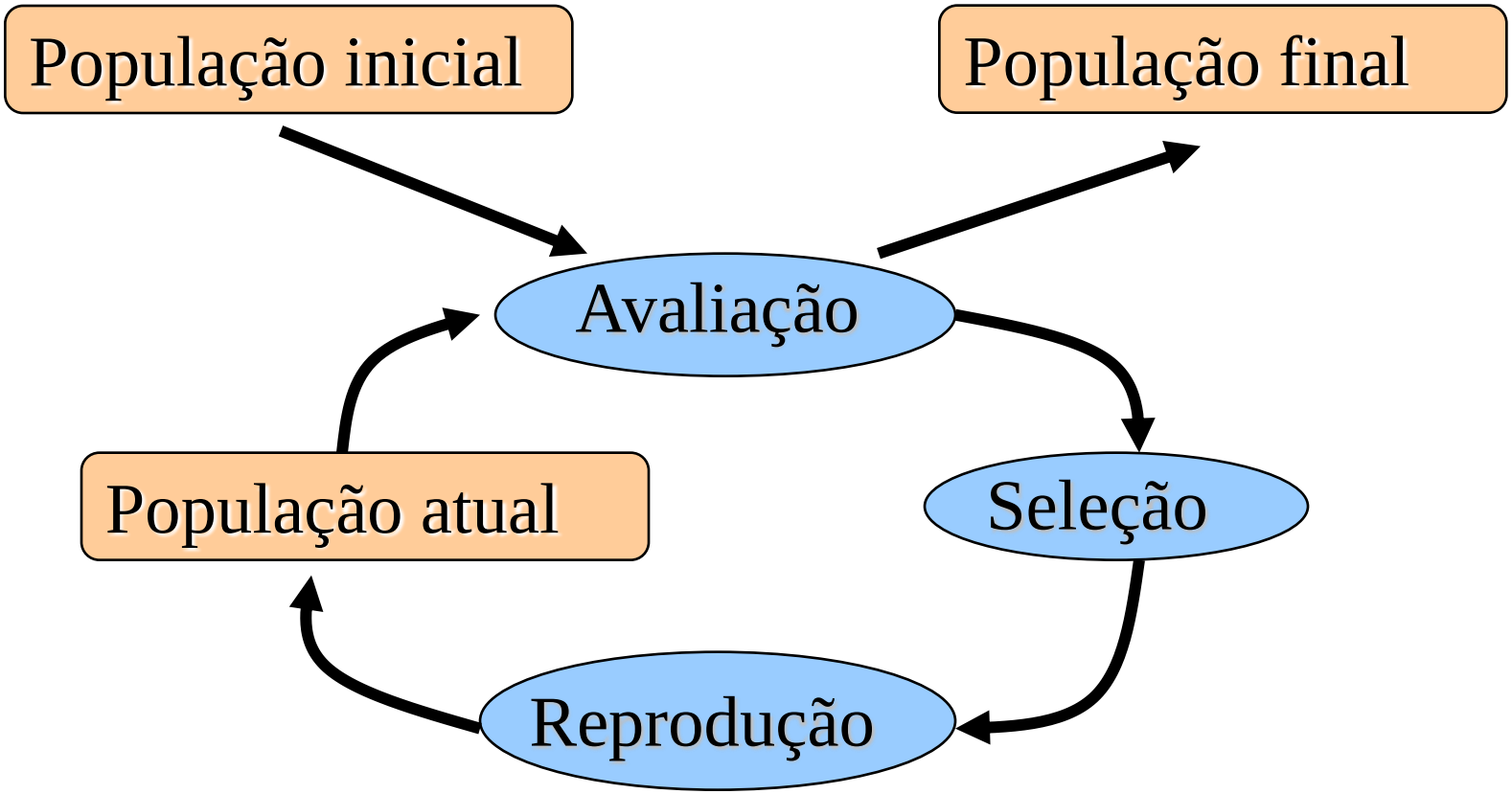
-0.04	0.08	0.21	+1
-0.16		-0.44	-1
-0.29	-0.42	-0.54	-0.77

3.3. Estratégias de Aprendizado

- **Aprendizado evolutivo**
  - Utiliza algoritmos evolutivos, e.g., algoritmos genéticos, para o aprendizado (otimização) dos parâmetros da rede neural
  - Algoritmos genéticos utilizam conceitos de evolução por seleção natural em problemas de otimização
    - » Parâmetros são codificados em um vetor (**cromossomo**) de uma solução (**indivíduo**)
      - ❑ Solução: rede neural
    - » Considera um conjunto de indivíduos (**população**)
    - » Indivíduos (redes neurais) são avaliados
      - ❑ Qualidade da solução é avaliada
    - » Indivíduos mais aptos tem maior chance de sobreviver (i.e., ir para próxima população)
    - » Indivíduos são trasformados, geralmente por **recombinação** e **mutação**

3.3. Estratégias de Aprendizado

- **Algoritmo Genético**



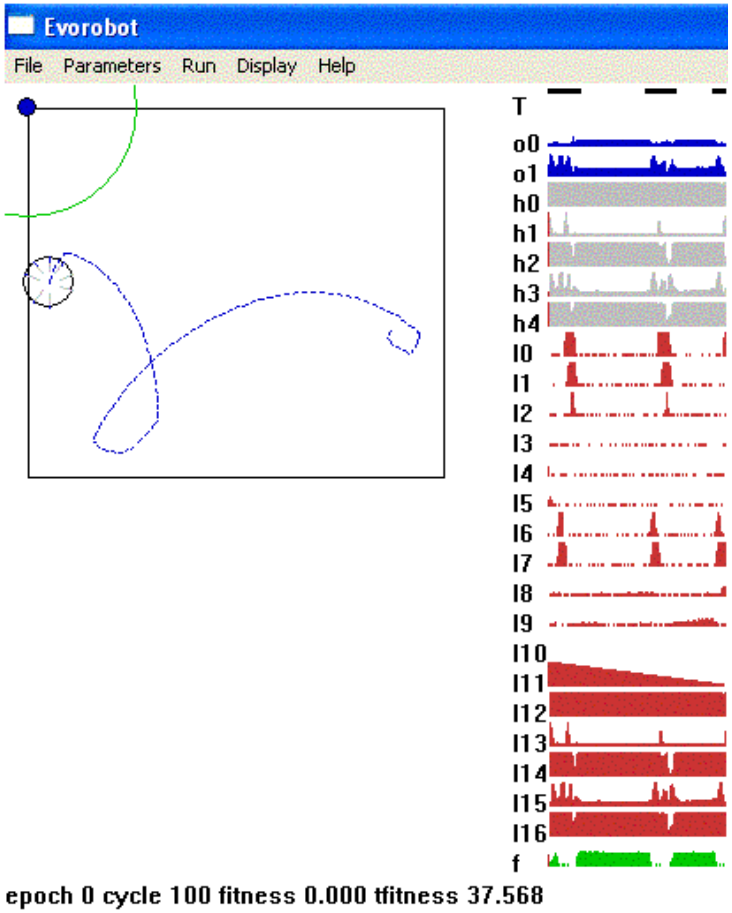
3.3. Estratégias de Aprendizado

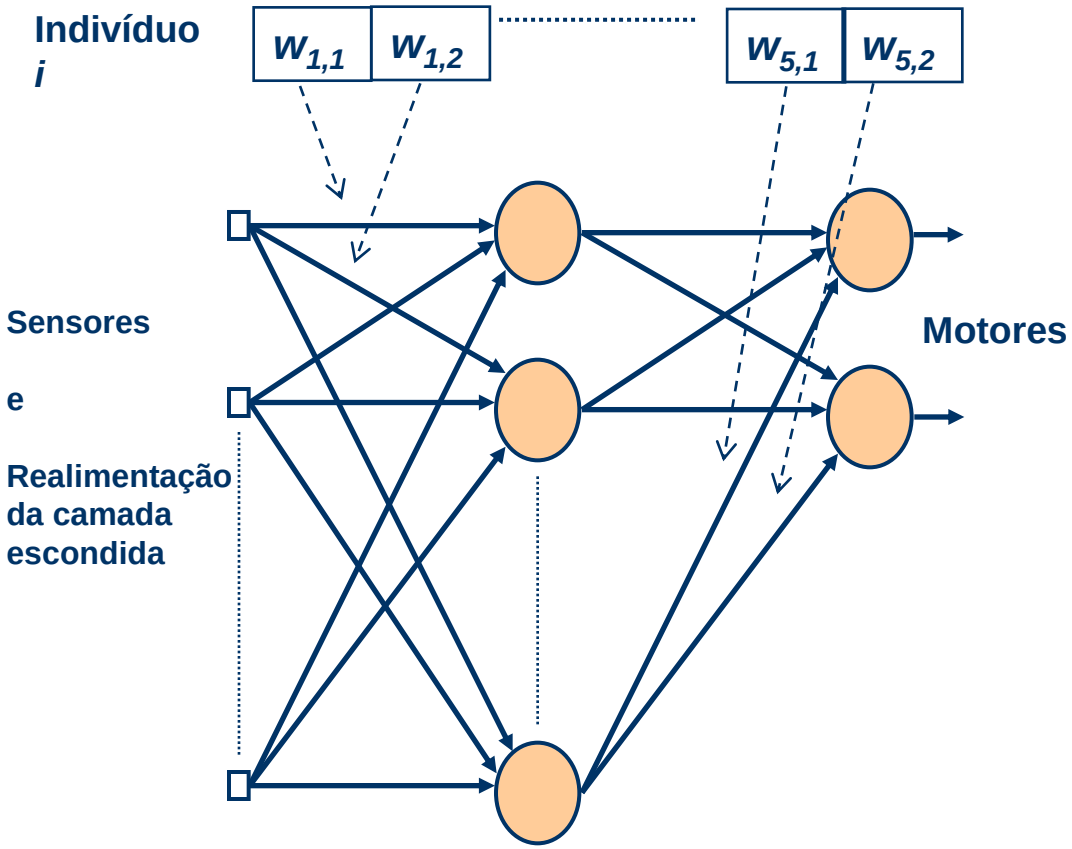
Algoritmo Genético
Início
$t \leftarrow 1$
inicializePopulacao($\mathbf{P}_t$)
avaliePopulacao($\mathbf{P}_t$)
enquanto (criterioConvergencia == 0)
$\mathbf{P}_{t+1} \leftarrow$ selecao($\mathbf{P}_t$)
$\mathbf{P}_{t+1} \leftarrow$ transformePopulacao($\mathbf{P}_{t+1}$)
avaliePopulacao($\mathbf{P}_{t+1}$)
$t \leftarrow t + 1$
fim enquanto
Fim

3.3. Estratégias de Aprendizado

Exemplos.

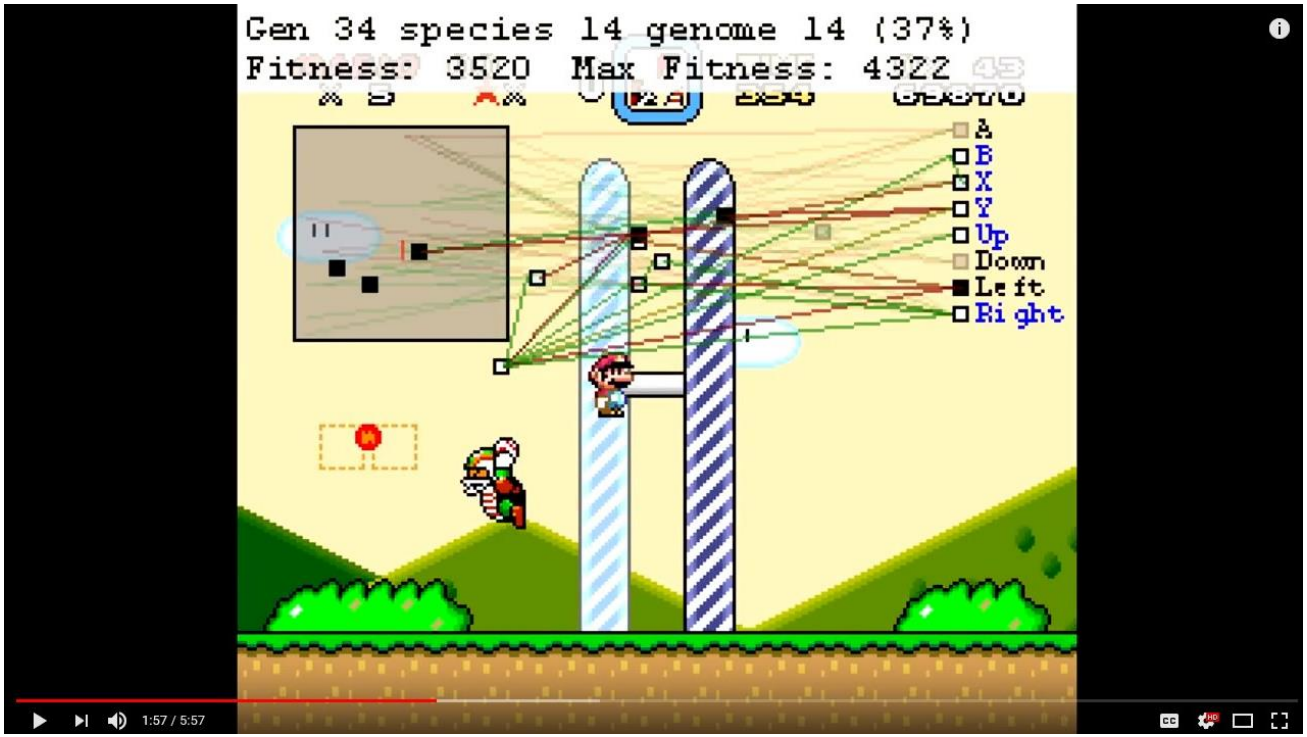
1) Robôs Evolutivos





3.3. Estratégias de Aprendizado

Exemplos:
2) Jogos



https://www.youtube.com/watch?v=qv6UVOQ0F44&feature=youtu.be

Comentários

- **Referências**
  - **Haykin, S. S.. *Redes neurais: princípios e prática.* 2ª ed., Bookman, 2001.**
    - » Capítulo 2
  - **Braga, A.P.; Carvalho, C.P.L.F. & Ludermir, T.B.. *Redes neurais artificiais: Teoria e Aplicações.* LTC, 2000.**
    - Capítulo 2