

Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP
Departamento de Engenharia de Computação e
Sistemas Digitais

ISSN 1413-215X

BT/PCS/0209

**Previsões Financeiras Através de
Sistemas Neuronebulosos**

**Daniel de Souza Gomes
Marco Túlio Carvalho de Andrade**

1275672

São Paulo - 2002

O presente trabalho é parte da dissertação de mestrado apresentada por Daniel de Souza Gomes, sob a orientação do Prof. Dr. Marco Túlio Carvalho de Andrade: "Previsões Financeiras Através de Sistemas Neuronebulosos", defendida em 22/02/02, na EPUSP.

A íntegra da dissertação encontra-se à disposição com o autor e na Biblioteca de Engenharia Elétrica da Escola Politécnica da USP.

FICHA CATALOGRÁFICA

Gomes, Daniel de Souza
Previsões financeiras através de sistemas neuronebulosos

/

D.S. Gomes, M.T.C. de Andrade. – São Paulo : EPUSP, 2002.
10 p. – (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais, BT/PCS/0209)

1. Fuzzy 2. Redes neurais I. Andrade, Marco Túlio Carvalho de II. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais III.

Título IV. Série

ISSN 1413-215X

511.322

CDD

006.3

Previsões Financeiras Através de Sistemas Neuronebulosos

Daniel de Souza Gomes & Marco Túlio Carvalho de Andrade

Laboratório de Técnicas Inteligentes – LTI
Dept. De Engenharia de Computação e Sistemas Digitais
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Av. Professor Luciano Gualberto, travessa 3, n. 158, sala C2-48.
CEP: 05508-900; São Paulo – SP – Brasil.
marco.andrade@poli.usp.br

Resumo: Este trabalho visa comparar três modelos de previsão empregados em séries financeiras. As modelagens são realizadas através da variância condicional, redes neurais e modelo neuronebuloso.

Palavras chave: Sistemas Neuronebulosos, Séries Temporais, Teoria Financeira.

Abstract: This work seeks to compare three employed forecast models in financial series. The modellings are accomplished through the conditional variance, neural nets and neurofuzzy model.

Key words: Neurofuzzy Systems, Time Series, Financial Theory.

1. Introdução

A capacidade do homem de prever o futuro permanece ainda extremamente limitada. Apesar do imenso esforço de especialistas das mais diferentes áreas durante anos de desenvolvimento do conhecimento científico, as previsões sobre os mais variados eventos como as condições climáticas para o próximo dia, o comportamento do produto interno de uma determinada economia ou a evolução do preço da ação de uma empresa qualquer continua sujeitas a um grau de erro razoavelmente elevado.

Existem duas posturas diante deste desconhecimento sobre o futuro. A primeira, delas sugerida por autores como Frank Knight e John Maynard Keynes, admite que em eventos econômicos prevalece uma situação de incerteza em relação ao futuro. A incerteza é uma situação onde não se conhece nem o conjunto de eventos possíveis nem a probabilidade de ocorrência de cada um dos eventos.

2. Importância da Previsão.

Uma série de crises abateu a economia mundial desde 1973 com a crise do petróleo, na ultima década tivemos a crise do México em 1994, dos tigres Asiáticos em 1997, e da Federação Russa em 1998, recentemente a crise Argentina no final de 2001.

O mercado financeiro movimenta internacionalmente dois trilhões de dólares por dia. As crises se concentram nos mercados emergentes principalmente na América Latina, Sudeste Asiático e Leste Europeu. Estes fatos obrigam os economistas a desenvolverem melhores modelos de previsão.

3. Redes Neurais.

As Redes Neurais Artificiais são sistemas não lineares que imitam o mecanismo de processamento do cérebro humano. A sua habilidade em formar mapeamentos não linea-

res tem tornado as RNAs prósperas na modelagem e previsão de sistemas complexos.

Em geral, as observações do passado são utilizadas para produzir conhecimento a respeito da dinâmica do sistema representado pelo modelo de rede. Desta forma, pode-se prever o comportamento futuro do sistema modelado.

As Redes Neurais Artificiais utilizam o processamento distribuído, onde muitos elementos chamados neurônios ou unidades de processamento comunicam-se através de arestas exibindo um peso associado a cada uma destas. Cada uma dessas unidades efetua um certo número de operações e transmite seus resultados às unidades vizinhas. Estas operações consistem na multiplicação do valor de cada entrada pelo respectivo peso associado e na posterior soma para resultar em um valor. Geralmente este valor é passado através de uma função de ativação.

De forma similar ao ser humano, as Redes Neurais Artificiais são capazes de aprender comportamentos através de exposição de exemplos dos mesmos. Este processo é denominado treinamento da rede. A informação é armazenada na rede e é incorporada à mesma durante a fase de treinamento.

Se os dados podem ser representados numericamente, eles podem ser utilizados como entradas para as Redes Neurais Artificiais. Portanto, as informações técnicas e fundamentais relacionadas a um mercado específico podem ser incorporadas como entradas às redes neurais.

4. Sistemas Neuronebulosos.

A abordagem convencional para a modelagem de sistemas apóia-se fortemente em ferramentas matemáticas que enfatizam a precisão e a descrição exata de cada quantidade envolvida. O uso de ferramentas matemáticas (equações diferenciais, equações de diferença, funções de transferência, etc.) é apropriado quando o sistema é simples ou bem definido. Contudo, à medida que o sistema em foco

cresce e torna-se complexo, as ferramentas matemáticas tornam-se menos efetivas e, em alguns casos, impróprias. Isto ocorre devido ao fato das expressões matemáticas se tornarem muito complicadas para serem tratadas, ou as relações entre as variáveis do sistema tornarem-se pouco claras ou apenas conhecidas com incerteza (imprecisão).

Para contornar os problemas encontrados pelos métodos convencionais de modelagem, propostas alternativas surgiram nas últimas décadas, tais como a modelagem por lógica nebulosa e a modelagem por redes neurais artificiais RNAs. Essas duas técnicas de modelagem têm sido empregadas com sucesso em várias áreas onde a abordagem convencional tem falhado em fornecer soluções satisfatórias. Essas duas abordagens fazem parte do conjunto de técnicas estudadas na área de Inteligência Computacional, juntamente com os Algoritmos Genéticos e Sistemas Especialistas. As RNAs e a lógica nebulosa apresentam características comuns, como operação em paralelo e capacidade de tolerância a falhas, embora suas origens sejam bem distintas. A modelagem por lógica nebulosa é baseada na teoria de conjuntos nebulosos e em regras (do tipo se-então), propostas por Zadeh e Mamdani, e está intimamente relacionada à lingüística e à ciência da cognição. Por outro lado, as redes neurais artificiais têm por inspiração o sistema de neurônios biológicos. Por causa de suas origens distintas, suas abordagens na solução de problemas de modelagem são em geral complementares. Por exemplo, enquanto as redes neurais são apropriadas para a criação de modelos a partir de um conhecimento implícito (e não óbvio).

Dentre os pesquisadores desta nova área, podemos destacar Jang (um dos pioneiros), Nauck e Vuorimaa, que criaram respectivamente os modelos ANFIS, NEFCLASS e FSOM. Todos esses modelos são sistemas adaptativos, como as redes neurais, e são interpretáveis através de regras da lógica nebulosa. Um sistema adaptativo A_w é um sistema com parâmetros internos ajustáveis W , que realiza um mapeamento entre o espaço de entrada X e o espaço de saída $Y=A_w(X)$. Um sistema adaptativo é caracterizado por sua es-

trutura, seu conjunto de parâmetros, e envolve algum paradigma de representação. Os modelos adaptativos são assim chamados por possuírem um algoritmo de aprendizado capaz de ajustar os seus parâmetros e/ou sua estrutura a partir dos dados. Entre os vários tipos de sistemas adaptativos, os mais interessantes são aqueles capazes de ter sua estrutura alterável, isto é, cujo algoritmo de aprendizado é baseado na mudança (crescimento ou decréscimo) de sua estrutura, além do ajuste de seus parâmetros. Os modelos neuronebuloso existentes, dentre eles os três citados anteriormente, ajustam apenas os parâmetros ou têm uma capacidade muito limitada de ajuste em sua estrutura. Além disso, de modo a evitar o problema da explosão do número de regras, esses modelos têm sérias restrições quanto ao número máximo de entradas possíveis no sistema. Existe, portanto a necessidade de se criar um SNF que seja capaz de surpreender essas deficiências.

O sistema Neuronebuloso FSOM (Fuzzy Self-Organized Map) foi desenvolvido por Vuorimaa utilizando o particionamento fuzzy-Box no espaço de entrada. As funções de pertinência utilizadas nos antecedentes das regras têm perfil triangular.

O sistema Neuronebuloso NEFCLASS foi desenvolvido por Nauck e Kruse e sua aplicação básica é em sistemas de classificação. Nauck desenvolveu também dois outros sistemas Neuronebuloso, um para aplicações em controle - NEFCON e outro para aplicações em previsão e aproximação de funções NEFPROX.

5. ANFIS

O sistema Neuro-Fuzzy ANFIS (*Adaptive Network-based Fuzzy Inference System*), ilustra um exemplo de uma arquitetura ANFIS. Esta arquitetura pode ser usada na implementação de sistemas para previsão e aproximação de funções, embora o autor tenha proposto variantes para outras aplicações.

$$f = \frac{w_1 f_1 + w_2 f_2}{w_1 + w_2} = \bar{w}_1 f_1 + \bar{w}_2 f_2 \quad (1)$$

Funcionalmente esta arquitetura é equivalente a um sistema de inferência nebuloso de Tsukamoto, embora se possa implementar, também, um sistema de inferência *nebuloso* de Takagi-Sugeno ou Mamdani também aplicável nas redes FBRs, [Jan-97].

Modelos de Inferência :

Sugeno :

$$\text{Se } (x = a) \vee (y = b) \Rightarrow z = f(x, y)$$

Mamdani :

$$\text{Se}(x = a) \vee (y = b) \Rightarrow z = \delta$$

Tsukamoto :

$$\text{Se}(x = a) \Rightarrow y = c_i$$

Para um melhor entendimento desta arquitetura as suas camadas são descritas a seguir.

Camada 1. Computa o grau de pertinência com que as entradas precisas (“crisp”) x, y , satisfazem os termos lingüísticos (A_1 e B_2) associados a estes nós. Os parâmetros que definem os perfis de cada termo são entendidos como pesos nebulosos. O modelo de inferência é o mesmo utilizado por Sugeno. Neste caso $\{A_1, A_2, B_1, B_2\}$ especificam o grau de pertinência das variáveis do espaço de entrada $\{x; y\}$. O valor de A é parametrizado através de uma função sino, equação (4.29), onde $\{a_i, b_i, c_i\}$ é conjunto de parâmetros configuráveis da função sino, os parâmetros desta camada são considerados parâmetros de premissa.

$$\mu_A(x) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x - c_i}{a_i} \right|^{2b}}$$

Regra 1 : Se x é A_1 e y é B_1 ,

$$\text{então } f_1 = p_1 x + q_1 y + r_1$$

Regra 2 : Se x é A_2 e y é B_2 ,

$$\text{então } f_2 = p_2 x + q_2 y + r_2$$

Camada 2. Cada nó desta camada corresponde a uma regra e computa o nível de disparo (*firing strength*) da regra, ou seja,..

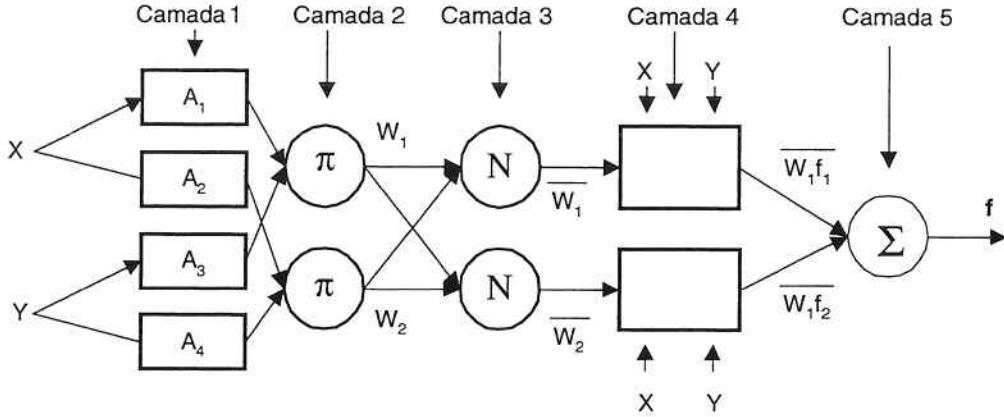


Figura 1- Arquitetura ANFIS.

Calcula com que grau de pertinência o consequente da regra está sendo atendido. Os neurônios desta camada simbolizam a operação de t-norma. No exemplo da figura 4.21 as saídas dos neurônios da camada 2 são calculadas.

$$Saída_{2,i} = w_i = \mu A_i(x) \cap \mu_i(y), \quad i = 1, 2.$$

Camada 3. Esta camada realiza uma normalização (nem sempre existente em outras arquiteturas) nos níveis de disparo das regras. Por isso, cada um de seus nós está rotulado pela letra “N”. A normalização neste sistema é utilizada como um pré-processamento para a defuzzificação.

$$Saída_{3,i} = \bar{w}_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2}, \quad i = 1, 2.$$

Camada 4. Aqui as saídas dos neurônios são calculadas pelo produto entre os níveis de disparo normalizados (\bar{w}_i , $i=1,2$ e 3) e o valor do consequente da regra

$$Saída_{4,i} = \bar{w}_i f_i = \bar{w}_i (p_i x + q_i y + r_i)$$

Camada 5. O nó desta última camada da arquitetura da figura (4.21) calcula a saída do sistema e, juntamente com os nós das camadas 3 e 4, promove a defuzzificação. Sua saída é dada por:

$$Saída_{5,1} = \sum \bar{w}_i f_i = \frac{\sum_i w_i f_i}{\sum_i w_i}$$

6. Características dos Retornos das Ações.

A volatilidade nos indica se o preço de um ativo está variando pouco ou muito, ou seja, ela é uma medida da incerteza quanto às variações de preço. Épocas em que a volatilidade dos preços está muito alta são aquelas que possibilitam os maiores lucros ou, também, as maiores perdas; isto é, são aquelas em que o risco é maior. Já quando a volatilidade é baixa, o risco é menor. A relação é óbvia e, naturalmente, um investidor somente assumiria uma posição de alto risco caso houvesse a possibilidade de um grande retorno. Assim, entre aqueles que assumem riscos, numa fase de alta volatilidade, os “bons” tornam-se melhores, enquanto que os “ruins” tornam-se piores. Os retornos são calculados pela seguinte relação:

$$y_t = \ln \left(\frac{P_{t+1}}{P_t} \right) \quad (2)$$

A média dos retornos é calculada para a obtenção da volatilidade dos retornos.

$$m = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \ln \left(\frac{P_t}{P_{t-1}} \right) \quad (3)$$

Os retornos financeiros apresentam certas características peculiares (ver, por exemplo, Taylor (1986) e Pagan (1993)). Este é o caso dos retornos de ativos financeiros que podem ser definidos por $y_t = \log x_t - \log x_{t-1}$, onde x_t é o preço do ativo no instante t . Uma técnica de obtermos a volatilidade:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{t=1}^n \left(\ln \left(\frac{P_t}{P_{t-1}} \right) - m \right)^2} \quad (4)$$

Os principais fatos estilizados (características) encontrados na literatura são os seguintes:

- i) os retornos não são autocorrelacionados;
- ii) os quadrados dos retornos são autocorrelacionados, com uma pequena autocorrelação de primeira ordem e uma subsequente queda bastante lenta;
- iii) existem agrupamentos com diferentes níveis de volatilidade;
- iv) a distribuição não condicional dos retornos possui caudas pesadas em relação à distribuição normal;
- v) para alguns tipos de retornos, a volatilidade reage de maneira diferenciada se os preços estão aumentando ou declinando. Sabe-se que as subidas são lentas e as quedas são abruptas indicando que neste último caso deveríamos ter uma maior volatilidade.

Note que estas características guardam algumas relações entre si, dando origem a conclusões semelhantes. Por exemplo, se os retornos tivessem distribuição normal, (a característica i) (inviabilizaria a ii), pois não-correlação para variáveis gaussianas implica independência de quaisquer funções disjuntas

dessas variáveis. Do mesmo modo, (a característica iv) inviabiliza a distribuição normal. De fato, a autocorrelação dos quadrados dos retornos tem forte relação com distribuições com caudas pesadas, pois, quando surgem valores extremos, quer positivos ou negativos, devido à autocorrelação haverá tendência de que os próximos quadrados também sejam extremos, originando um agrupamento de valores extremos e portanto caudas pesadas.

7. Previsão ARMAX/GARCH

Inicialmente utilizou-se o modelo de Box & Jenkins de 1976, conhecido como modelo ARIMA (Auto-regressivo, Integrado de Médias Móveis). Este modelo é considerado linear, as séries devem ser estacionárias, se não forem deve-se aplicar operações de diferença para que se tornem estacionárias.

O modelo ARIMA é bastante utilizado, mas foi substituído por modelos de variância condicional.

Este modelo contempla os modelos lineares auto-regressivos de médias moveis com a variância condicional. O modelo ARMAX foi introduzido por Engle (1982). Este modelo sendo que a variância condicional seja auto-regressiva. O modelo de Engle foi generalizado por Bollerslev em 1986 através do seu modelo GARCH(p,q). O modelo ARMAX/GARCH é descrito pelas seguintes equações:

$$\begin{aligned} y_t &= c + \sum_{i=1}^R AR_i y_{(t-i)} + \varepsilon_t + \sum_{j=1}^M MA_j \varepsilon_{(t-j)} + \\ &\quad \sum_{k=1}^{Nx} \beta_k X(t,k) \\ \sigma_t^2 &= k + \sum_{i=1}^P G_i \sigma_{(t-i)}^2 + \sum_{j=1}^Q A_j \varepsilon_{(t-j)}^2 \end{aligned}$$

8. Previsão do IBOVESPA

Através dos valores do IBOVESPA, fazemos uma série de análises iniciais. Verificamos uma das séries, escolhemos o valor

médio diário, porque reflete a média entre o máximo e o mínimo da cotação do pregão.

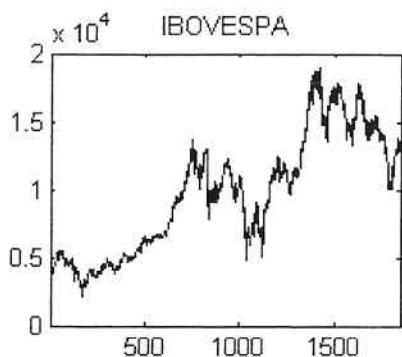


Figura 2-Índice Ibovespa (1994 a 2000).

Em seguida fazemos um estudo da estatística descritiva sobre o retorno das séries, visando detectar leptocurtose, isto justifica a utilização da modelagem GARCH. Podemos aplicar o teste de Engle para verificar caso de variância condicional.

A obtenção dos retornos da série é indispensável uma vez que este retorno torna-se a série alvo da previsão.

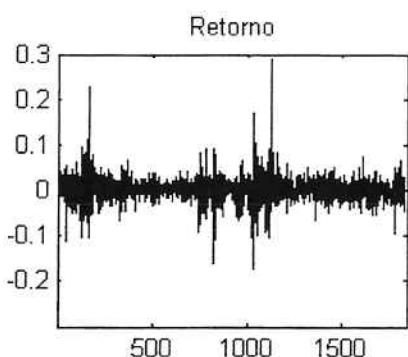


Figura 3- Retorno do Ibovespa.

Realizamos uma análise de estatística descritiva da amostra, com o intuito de demonstrar que a distribuição não é normal, uma vez calculado os retornos diários, estatisticamente supostos como distribuição gaussiana, fazemos testes correlacionais, ACF e PACF, também se calcula a volatilidade dos retornos.

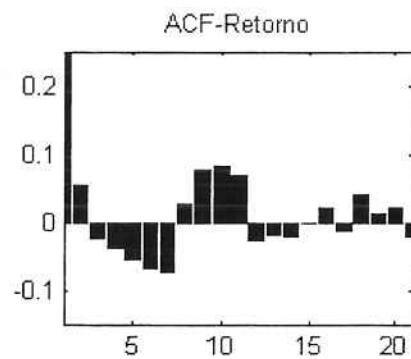


Figura 4-ACF do retorno.

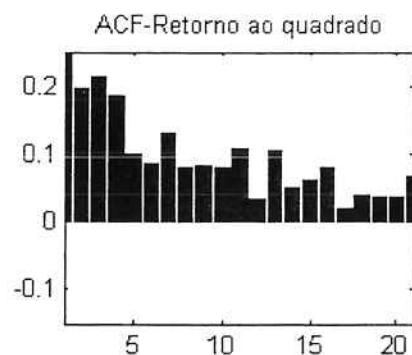


Figura 5-ACF do retorno ao quadrado.

Notamos uma autocorrelação superior no quadrado dos retornos, isto evidencia o efeito GARCH.

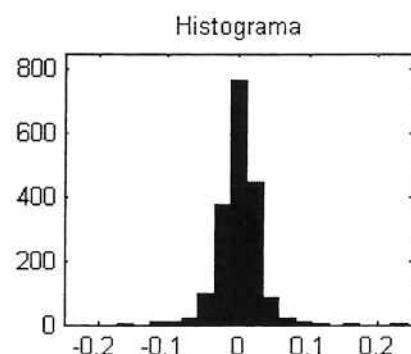


Figura 6-Leptocurtose.

Tabela 1 Parâmetros ARMAX/GARCH

Parâmetros	Valores
C	0.0024273
AR(1)	0.40937
MA(1)	0.49098
K	2.4623e-005
GARCH(1)	0.78423
ARCH(1)	0.1903

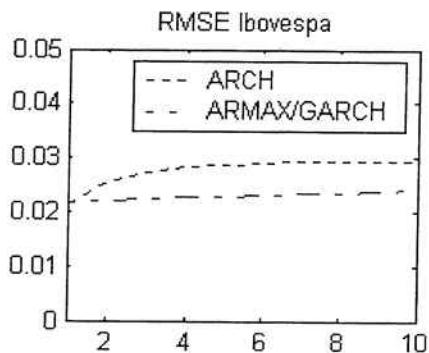


Figura 7-RMSE de dez valores previstos.

9. Previsão por Redes Neurais.

Descreveremos as arquiteturas empregadas com redes neurais:

- i. **MD.**Modelo (MLP [20-8-1] ,MLP[24-9-1], MLP[29-11-1]).
- ii. **TC.**Total de Camadas. (três camadas).
- iii. **CE.**Total de elementos na camada de entrada. {20, 24,29}.
- iv. **CI.**Total de elementos na camada intermediária.{8, 9, 11}.
- v. **CS.**Total de elementos na camada de saída.{1,1,1}.
- vi. **FACI.**Função de ativação na camada intermediária. {tanh}.
- vii. **FACS.**Função de ativação na camada de saída. (reta).

- viii. **AA** .Algoritmo de aprendizagem. (Levenberg-Marquardt).

- ix. **TA.** Taxa de aprendizado ($lr=0.05$).

Foram escolhidas três configurações para as redes MLP (Multilayer Perceptron), os valores RMSE das configurações utilizadas foram:

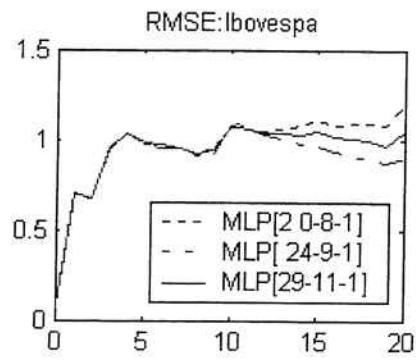


Figura 8-RMSE Ibovespa.

Neste caso a rede que obteve melhor resultado foi a configuração MLP[24-9-1].

10.Previsão ANFIS

A parametrização do modelo ANFIS foi de 80 épocas duas funções do tipo sino e passo de aprendizado $s=0,1$.

- i. Número de nós: 55.
- ii. Número de parâmetros lineares: 80.
- iii. Número de parâmetros não lineares: 24.
- iv. Número total de parâmetros: 104.
- v. Pares de treinamento: 500 (depende da série utilizada)
- vi. Pares de checagem: 500.
- vii. Número de regras nebulosas: 16.

Os pares de treinamento foram escolhidos de acordo com a memória da série, no caso do Bradesco tivemos a seguinte condição.

O modelo ANFIS divide a série em duas partes, a primeira parte serve para ser comparada com a segunda metade, o modelo de comparação é auto-regressivo.

A série retorno do Ibovespa possui 1847 valores de memória, tomamos módulos defasados de (t-6), (t-12), (t-18) e (t-24) para compor o treinamento ou adaptação das funções sino, em número de duas.

Cada par amostra checagem possui 500 elementos. O inicio da amostra de treinamento ocorre em $t=818$, deste modo inicia-se os pares de treinamento ou adaptação das funções de fuzzificação.

Tabela 2 Pares de treinamento

T(inicio)	T(final)	
t(818)	t(1317)	Amostra
t(1318)	t(1817)	Checagem
t(824)	t(1323)	Amostra
t(1324)	t(1823)	Checagem
t(830)	t(1329)	Amostra
t(1330)	t(1829)	Checagem
t(836)	t(1335)	Amostra
t(1336)	t(1835)	Checagem
t(842)	t(1341)	Amostra
t(1342)	t(1841)	Checagem

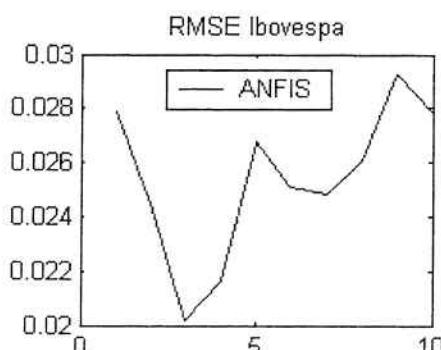


Figura 9- Erro ANFIS para Ibovespa.

11. Portfólio de teste

O índice Bovespa tomado como amostra é o fechamento diário de 1994 a 2000, atravessando um período instigante de mudanças e crises.

Algumas séries escolhidas são particulares como a taxa-TR, esta série não é natural e nitidamente dependente de política governamental, através de reuniões periódicas, portanto permaneceu constante durante alguns meses.

Bradesco ON - Fechamento.



Figura 10- Bradesco-ON.

Escolhemos séries de baixa volatilidade como Copper3M e Zinc3M, o valor destas séries não sofre variações abruptas no período analisado. A série do Bradesco tem um comportamento estável aceitando diversas modelagens com resultados semelhantes.

As séries do Globo Cabo e Embraer foram escolhidas para mostrar a eficiência sob volatilidade, uma vez que estas empresas oscilaram bastante em 2001. A série Eletropaulo foi escolhida dentro do período do racionamento de energia.

No portfólio escolhido, tomamos como base o retorno do fechamento do mercado, uma vez que intuito é meramente comparativo.

Observamos que podemos criar redes neurais alimentadas com retornos do fechamento e do volume de negócios, neste caso poderíamos obter reflexo significativo no erro de previsão, ou utilizar a volatilidade como

variável de entrada, podemos aproximar a volatilidade por ANFIS ou RNAs.



Figura 11- Embratel Fechamento.

Resumimos as observações pertinentes aos resultados omitidos na seguinte forma:

As redes neurais obtiveram uma performance menor que os modelos estatísticos. As RNAs foram configuradas em três camadas.

A MLP [24-9-1] apresentou melhor desempenho que as configurações MLP [20-8-1] e [29-11-1], as redes utilizaram os mesmos parâmetros de treinamentos, número de épocas e taxa de aprendizado, a variação pode ser devido ao tamanho da amostra de treinamento.

Tabela 3- RMSE (médio) obtido.

Modelo	RMSE
ARMAX (1,1) GARCH (1,1)	0,1501
AR (1)	0,1509
GARCH (1,1)	0,1527
ANFIS (2 mfs, bell)	0,1558
ARCH (1)	0,1605
ARMA (1,1)	0,166
MLP1[20-8-1]	0,1804
MLP3 [29-11-1]	0,1872
MLP2[24-9-1]	0,1922

A pior foi a ações da Ericsson, devido a uma volatilidade, o índice Dow Jones composto, pela média anual, esta amostra é pequena, portanto agrega um espectro de previsibilidade deficiente, é a menor memória apresentada para teste.

Tabela 4 Resultados Finais

Série	RMSE (10 valores Previstos)									
	ANFIS	MLP1	MLP2	MLP3	AR	MA	ARMA	ARCH	GARCH	ARMAX
Câmbio	0,0760	0,4288	0,2238	0,8988	0,0163	0,0104	0,0104	0,0104	0,0760	0,0076
Ibovespa	0,0270	0,7362	0,8994	1,0427	0,0280	0,0280	0,0280	0,0294	0,0241	0,0240
Overselic	0,0010	0,0344	0,0035	0,0015	0,0299	0,0299	0,0299	0,0599	0,0519	0,0560
Tr	0,242	0,1856	0,0847	0,0847	0,2119	0,2242	0,3598	0,228	0,1863	0,2122
Coper3M	0,0170	0,0125	0,0354	0,0850	0,0116	0,0116	0,0116	0,0116	0,0100	0,0099
Zinc3M	0,0104	0,1522	0,0258	0,0123	0,0106	0,0106	0,0106	0,0106	0,0080	0,0079
GoldI	0,3089	0,0599	0,0140	0,0118	0,1020	0,0102	0,0102	0,0108	0,0109	0,0113
Crude-Oil	0,0697	0,0178	0,0206	0,0306	0,0253	0,0253	0,0250	0,0253	0,0264	0,0274
Eletro	0,0377	0,0314	0,0318	0,0260	0,0340	0,0349	0,0349	0,0345	0,0329	0,0329
Embraer	0,0753	0,0302	0,1052	0,0456	0,0386	0,0386	0,0386	0,0385	0,0425	0,0421
Bradesco	0,0156	0,0267	0,0784	0,0271	0,0270	0,0270	0,0270	0,0274	0,0275	0,0270
Globo	0,2120	0,1912	0,0396	0,1984	0,0429	0,0427	0,0427	0,0433	0,0596	0,0599
Ericson	0,0799	1,0230	0,9351	0,9782	0,9511	0,9500	1,0069	1,0069	0,9544	0,9696
DJ	0,0331	0,1040	0,1598	0,2425	0,2187	0,2585	0,2585	0,2199	0,2171	0,2231

12 Conclusão

A performance das redes neurais pode ser incrementada se forem treinadas com menores taxas de erro, e coeficientes otimizados, com um número maior de épocas, relatamos que o custo computacional é acrescido sensivelmente. Mas a performance do modelo ANFIS também pode ser melhorada com maior número de funções isto aumenta o número de regras, tendo um custo computacional relevante.

Os modelos estatísticos tanto autoregressivo quanto às médias moveis obtiveram bons resultados, isto pode ser devido ao fato de o período amostral serem "longos", em média 785 pontos anteriores.

O modelo ARMAX apresentou melhor desempenho dentre os modelos estatísticos seguido GARCH(1,1), ARCH(1,1) empatado com AR(1).

A média dos erros RMSE Obtidos nos testes foi RMSE (médio)=0,1648.

A série que demonstrou maior dificuldade em adaptar-se a qualquer método adotado foi a Ericson, isto pode ser devido à amostra pequena, em torno de 200 valores.

A série que apresentou menor erro na previsão foi Cooper3M, esta seqüência se adaptou bem ao modelo ARMAX.

Referências Bibliográficas.

- [Alt-99] ALTROCK V. C. - *Fuzzy logic and neurofuzzy applications in business and finance*, Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall PTR 375p.
- [Azo-94] AZOFF, E.M. -*Neural Network Time Series Forecasting of Financial Markets*. Chichester. John Wiley & Sons, 1994. 196p.
- [Ber-95] BERNADETTE, B. M., YAGER. R. R., ZADEH, L. A. *Fuzzy Logic*

and Soft Computing, Singapore: World scientific, River Edge, NJ 1995, 497p.

[Bez-93] BEZDEK, J. -*Fuzzy Models-- What Are they, and Why*. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, v. 1, n. 1, Feb 93, pp. 1-5.

[Jan-97] JANG, J.S.R. SUN. C.T., MIZUTANI, E. - *Neuro fuzzy and soft computing a computational approach to learning and machine intelligence*: Upper Saddle River, New Jersey. 1997. 614p.

[kli-95] KLIR, G. YUAN, B. - *Fuzzy sets and fuzzy logic theory and applications*. Upper Sadle River, New Jersey: Prentice hall, 1995. 574p.

[Kos-92a] KOSKO, B. - *Fuzzy Engineering* Upper Saddle River, New Jersey.: Prentice Hall, 1992,549p.

[Man-95a] MANDANI E.H. - *Twenty years of fuzzy control: Experiences gained and lesson learnt*. IFSA, pg 19-39. 1995.

[Mas-95] MASTERS, T. *Neural, novel & hybrid algorithms for time séries prediction*. Ney York: John Wieley & sons. 1995, 514p.

[Zad-73] ZADEH L.A. Outline of a new approach to the analysis of complex system and decision process. IEEE Transaction on system, man and cybernetics vol SMC-3 No 1 Januray, pp28-42, 1973.

[Zad-87] ZADEH L.A. Fuzzy sets and applications: selected paper, New York: Wiley 1987, 684p.

[Zad-65] ZADEH, L. A. Fuzzy Sets.Information and control,v.8, 1965 pp 338-353

[Zim-96] ZIMMERMAN, H.J. Fuzzy set theory :and applications. Boston Kluwer Academic , 1996, 435p.

BOLETINS TÉCNICOS - TEXTOS PUBLICADOS

- BT/PCS/9301 - Interligação de Processadores através de Chaves Ómicron - GERALDO LINO DE CAMPOS, DEMI GETSCHKO
- BT/PCS/9302 - Implementação de Transparência em Sistema Distribuído - LUÍSA YUMIKO AKAO, JOÃO JOSÉ NETO
- BT/PCS/9303 - Desenvolvimento de Sistemas Especificados em SDL - SIDNEI H. TANO, SELMA S. S. MELNIKOFF
- BT/PCS/9304 - Um Modelo Formal para Sistemas Digitais à Nível de Transferência de Registradores - JOSÉ EDUARDO MOREIRA, WILSON VICENTE RUGGIERO
- BT/PCS/9305 - Uma Ferramenta para o Desenvolvimento de Protótipos de Programas Concorrentes - JORGE KINOSHITA, JOÃO JOSÉ NETO
- BT/PCS/9306 - Uma Ferramenta de Monitoração para um Núcleo de Resolução Distribuída de Problemas Orientado a Objetos - JAIME SIMÃO SICHMAN, ELERI CARDOSO
- BT/PCS/9307 - Uma Análise das Técnicas Reversíveis de Compressão de Dados - MÁRIO CESAR GOMES SEGURA, EDIT GRASSIANI LINO DE CAMPOS
- BT/PCS/9308 - Proposta de Rede Digital de Sistemas Integrados para Navio - CESAR DE ALVARENGA JACOBY, MOACYR MARTUCCI JR.
- BT/PCS/9309 - Sistemas UNIX para Tempo Real - PAULO CESAR CORIGLIANO, JOÃO JOSÉ NETO
- BT/PCS/9310 - Projeto de uma Unidade de Matching Store baseada em Memória Paginada para uma Máquina Fluxo de Dados Distribuído - EDUARDO MARQUES, CLAUDIO KIRNER
- BT/PCS/9401 - Implementação de Arquiteturas Abertas: Uma Aplicação na Automação da Manufatura - JORGE LUIS RISCO BECERRA, MOACYR MARTUCCI JR.
- BT/PCS/9402 - Modelamento Geométrico usando do Operadores Topológicos de Euler - GERALDO MACIEL DA FONSECA, MARIA ALICE GRIGAS VARELLA FERREIRA
- BT/PCS/9403 - Segmentação de Imagens aplicada a Reconhecimento Automático de Alvos - LEONCIO CLARO DE BARROS NETO, ANTONIO MARCOS DE AGUIRRA MASSOLA
- BT/PCS/9404 - Metodologia e Ambiente para Reutilização de Software Baseado em Composição - LEONARDO PUJATTI, MARIA ALICE GRIGAS VARELLA FERREIRA
- BT/PCS/9405 - Desenvolvimento de uma Solução para a Supervisão e Integração de Células de Manufatura Discreta - JOSÉ BENEDITO DE ALMEIDA, JOSÉ SIDNEI COLOMBO MARTINI
- BT/PCS/9406 - Método de Teste de Sincronização para Programas em ADA - EDUARDO T. MATSUDA, SELMA SHIN SHIMIZU MELNIKOFF
- BT/PCS/9407 - Um Compilador Paralelizante com Detecção de Paralelismo na Linguagem Intermediária - HSUEH TSUNG HSIANG, LÍRIA MATSUMOTO SAITO
- BT/PCS/9408 - Modelamento de Sistemas com Redes de Petri Interpretadas - CARLOS ALBERTO SANGIORGIO, WILSON V. RUGGIERO
- BT/PCS/9501 - Síntese de Voz com Qualidade - EVANDRO BACCI GOUVÊA, GERALDO LINO DE CAMPOS
- BT/PCS/9502 - Um Simulador de Arquiteturas de Computadores "A Computer Architecture Simulator" - CLAUDIO A. PRADO, WILSON V. RUGGIERO
- BT/PCS/9503 - Simulador para Avaliação da Confiabilidade de Sistemas Redundantes com Reparo - ANDRÉA LUCIA BRAGA, FRANCISCO JOSÉ DE OLIVEIRA DIAS
- BT/PCS/9504 - Projeto Conceitual e Projeto Básico do Nível de Coordenação de um Sistema Aberto de Automação, Utilizando Conceitos de Orientação a Objetos - NELSON TANOMARU, MOACYR MARTUCCI JUNIOR
- BT/PCS/9505 - Uma Experiência no Gerenciamento da Produção de Software - RICARDO LUIS DE AZEVEDO DA ROCHA, JOÃO JOSÉ NETO
- BT/PCS/9506 - MétodOO - Método de Desenvolvimento de Sistemas Orientado a Objetos: Uma Abordagem Integrada à Análise Estruturada e Redes de Petri - KECHI HIRAMA, SELMA SHIN SHIMIZU MELNIKOFF
- BT/PCS/9601 - MOOPP: Uma Metodologia Orientada a Objetos para Desenvolvimento de Software para Processamento Paralelo - ELISA HATSUE MORIYA HUZITA, LÍRIA MATSUMOTO SATO
- BT/PCS/9602 - Estudo do Espalhamento Brillouin Estimulado em Fibras Ópticas Monomodo - LUIS MEREGE SANCHES, CHARLES ARTUR SANTOS DE OLIVEIRA
- BT/PCS/9603 - Programação Paralela com Variáveis Compartilhadas para Sistemas Distribuídos - LUCIANA BEZERRA ARANTES, LÍRIA MATSUMOTO SATO
- BT/PCS/9604 - Uma Metodologia de Projeto de Redes Locais - TEREZA CRISTINA MELO DE BRITO CARVALHO, WILSON VICENTE RUGGIERO

- BT/PCS/9605 - Desenvolvimento de Sistema para Conversão de Textos em Fonemas no Idioma Português - DIMAS TREVIZAN CHBANE, GERALDO LINO DE CAMPOS
- BT/PCS/9606 - Sincronização de Fluxos Multimídia em um Sistema de Videoconferência - EDUARDO S. C. TAKAHASHI, STEFANIA STIUBIENER
- BT/PCS/9607 - A importância da Completeza na Especificação de Sistemas de Segurança - JOÃO BATISTA CAMARGO JÚNIOR, BENÍCIO JOSÉ DE SOUZA
- BT/PCS/9608 - Uma Abordagem Paraconsistente Baseada em Lógica Evidencial para Tratar Exceções em Sistemas de Frames com Múltipla Herança - BRÁULIO COELHO ÁVILA, MÁRCIO RILLO
- BT/PCS/9609 - Implementação de Engenharia Simultânea - MARCIO MOREIRA DA SILVA, MOACYR MARTUCCI JÚNIOR
- BT/PCS/9610 - Statecharts Adaptativos - Um Exemplo de Aplicação do STAD - JORGE RADY DE ALMEIDA JUNIOR, JOÃO JOSÉ NETO
- BT/PCS/9611 - Um Meta-Editor Dirigido por Sintaxe - MARGARETE KEIKO IWAI, JOÃO JOSÉ NETO
- BT/PCS/9612 - Reutilização em Software Orientado a Objetos: Um Estudo Empírico para Analisar a Dificuldade de Localização e Entendimento de Classes - SELMA SHIN SHIMIZU MELNIKOFF, PEDRO ALEXANDRE DE OLIVEIRA GIOVANI
- BT/PCS/9613 - Representação de Estruturas de Conhecimento em Sistemas de Banco de Dados - JUDITH PAVÓN MENDONZA, EDIT GRASSIANI LINO DE CAMPOS
- BT/PCS/9701 - Uma Experiência na Construção de um Tradutor Inglês - Português - JORGE KINOSHITA, JOÃO JOSÉ NETO
- BT/PCS/9702 - Combinando Análise de "Wavelet" e Análise Entrópica para Avaliar os Fenômenos de Difusão e Correlação - RUI CHUO HUEI CHIOU, MARIA ALICE G. V. FERREIRA
- BT/PCS/9703 - Um Método para Desenvolvimento de Sistemas de Computacionais de Apoio a Projetos de Engenharia - JOSÉ EDUARDO ZINDEL DEBONI, JOSÉ SIDNEI COLOMBO MARTINI
- BT/PCS/9704 - O Sistema de Posicionamento Global (GPS) e suas Aplicações - SÉRGIO MIRANDA PAZ, CARLOS EDUARDO CUGNASCA
- BT/PCS/9705 - METAMBI-OO - Um Ambiente de Apoio ao Aprendizado da Técnica Orientada a Objetos - JOÃO UMBERTO FURQUIM DE SOUZA, SELMA S. S. MELNIKOFF
- BT/PCS/9706 - Um Ambiente Interativo para Visualização do Comportamento Dinâmico de Algoritmos - IZAURA CRISTINA ARAÚJO, JOÃO JOSÉ NETO
- BT/PCS/9707 - Metodologia Orientada a Objetos e sua Aplicação em Sistemas de CAD Baseado em "Features" - CARLOS CÉSAR TANAKA, MARIA ALICE GRIGAS VARELLA FERREIRA
- BT/PCS/9708 - Um Tutor Inteligente para Análise Orientada a Objetos - MARIA EMÍLIA GOMES SOBRAL, MARIA ALICE GRIGAS VARELLA FERREIRA
- BT/PCS/9709 - Metodologia para Seleção de Solução de Sistema de Aquisição de Dados para Aplicações de Pequeno Porte - MARCELO FINGUERMAN, JOSÉ SIDNEI COLOMBO MARTINI
- BT/PCS/9801 - Conexões Virtuais em Redes ATM e Escalabilidade de Sistemas de Transmissão de Dados sem Conexão - WAGNER LUIZ ZUCCHI, WILSON VICENTE RUGGIERO
- BT/PCS/9802 - Estudo Comparativo dos Sistemas da Qualidade - EDISON SPINA, MOACYR MARTUCCI JR.
- BT/PCS/9803 - The VIBRA Multi-Agent Architecture: Integrating Purposive Vision With Deliberative and Reactive Planning - REINALDO A. C. BIANCHI, ANNA H. REALI C. RILLO, LELIANE N. BARROS
- BT/PCS/9901 - Metodologia ODP para o Desenvolvimento de Sistemas Abertos de Automação - JORGE LUIS RISCO BECCERRA, MOACYR MARTUCCI JUNIOR
- BT/PCS/9902 - Especificação de Um Modelo de Dados Bitemporal Orientado a Objetos - SOLANGE NICE ALVES DE SOUZA, EDIT GRASSIANI LINO DE CAMPOS
- BT/PCS/9903 - Implementação Paralela Distribuída da Dissecção Cartesiana Aninhada - HILTON GARCIA FERNANDES, LIRIA MATSUMOTO SATO
- BT/PCS/9904 - Metodologia para Especificação e Implementação de Solução de Gerenciamento - SERGIO CLEMENTE, TEREZA CRISTINA MELO DE BRITO CARVALHO
- BT/PCS/9905 - Modelagem de Ferramenta Hipermídia Aberta para a Produção de Tutoriais Interativos - LEILA HYODO, ROMERO TORI
- BT/PCS/9906 - Métodos de Aplicações da Lógica Paraconsistente Anotada de Anotação com Dois Valores-LPA2v com Construção de Algoritmo e Implementação de Circuitos Eletrônicos - JOÃO I. DA SILVA FILHO, JAIR MINORÔ ABE
- BT/PCS/9907 - Modelo Nebuloso de Confiabilidade Baseado no Modelo de Markov - PAULO SÉRGIO CUGNASCA, MARCO TÚLIO CARVALHO DE ANDRADE
- BT/PCS/9908 - Uma Análise Comparativa do Fluxo de Mensagens entre os Modelos da Rede Contractual (RC) e Colisões Baseada em Dependências (CBD) - MÁRCIA ITO, JAIME SIMÃO SICHMAN

- BT/PCS/9909 – Otimização de Processo de Inserção Automática de Componentes Eletrônicos Empregando a Técnica de Times Assíncronos – CESAR SCARPINI RABAK, JAIME SIMÃO SICHMAN
- BT/PCS/9910 – MIISA – Uma Metodologia para Integração da Informação em Sistemas Abertos – HILDA CARVALHO DE OLIVEIRA, SELMA S. S. MELNICOFF
- BT/PCS/9911 – Metodologia para Utilização de Componentes de Software: um estudo de Caso – KAZUTOSI TAKATA, SELMA S. S. MELNICOFF
- BT/PCS/0001 – Método para Engenharia de Requisitos Norteados por Necessidades de Informação – ARISTIDES NOVELLI FILHO, MARIA ALICE GRIGAS VARELLA FERREIRA
- BT/PCS/0002 – Um Método de Escolha Automática de Soluções Usando Tecnologia Adaptativa – RICARDO LUIS DE AZEVEDO DA ROCHA, JOÃO JOSÉ NETO
- BT/PCS/0101 – Gerenciamento Hierárquico de Falhas – JAMIL KALIL NAUFAL JR., JOÃO BATISTA CAMARGO JR.
- BT/PCS/0102 – Um Método para a Construção de Analisadores Morfológicos, Aplicado à Língua Portuguesa, Baseado em Autômatos Adaptativos – CARLOS EDUARDO DANTAS DE MENEZES, JOÃO JOSÉ NETO
- BT/PCS/0103 – Educação pela Web: Metodologia e Ferramenta de Elaboração de Cursos com Navegação Dinâmica – LUISA ALEYDA GARCIA GONZÁLEZ, WILSON VICENTE RUGGIERO
- BT/PCS/0104 – O Desenvolvimento de Sistemas Baseados em Componentes a Partir da Visão de Objetos – RENATA EVANGELISTA ROMARIZ RECCO, JOÃO BATISTA CAMARGO JÚNIOR
- BT/PCS/0105 – Introdução às Gramáticas Adaptativas – MARGARETE KEIKO IWAI, JOÃO JOSÉ NETO
- BT/PCS/0106 – Automação dos Processos de Controle de Qualidade da Água e Esgoto em Laboratório de Controle Sanitário – JOSÉ BENEDITO DE ALMEIDA, JOSÉ SIDNEI COLOMBO MARTINI
- BT/PCS/0107 – Um Mecanismo para Distribuição Segura de Vídeo MPEG – CÍNTIA BORGES MARGI, GRAÇA BESSAN, WILSON VICENTE RUGGIERO
- BT/PCS/0108 – A Dependence-Based Model for Social Reasoning in Multi-Agent Systems – JAIME SIMÃO SICHMAN
- BT/PCS/0109 – Ambiente Multilinguagem de Programação – Aspectos do Projeto e Implementação – APARECIDO VALDEMIR DE FREITAS, JOÃO JOSÉ NETO
- BT/PCS/0110 – LETAC: Técnica para Análise de Tarefas e Especificação de Fluxo de Trabalho Cooperativo – MARCOS ROBERTO GREINER, LUCIA VILELA LEITE FILgueiras
- BT/PCS/0111 – Modelagem ODP para o Planejamento de Sistemas de Potência – ANIRIO SALLES FILHO, JOSÉ SIDNEI COLOMBO MARTINI
- BT/PCS/0112 – Técnica para Ajuste dos Coeficientes de Quantização do Padrão MPEG em Tempo Real – REGINA M. SILVEIRA, WILSON V. RUGGIERO
- BT/PCS/0113 – Segmentação de Imagens por Classificação de Cores: Uma Abordagem Neural – ALEXANDRE S. SIMÕES, ANNA REALI COSTA
- BT/PCS/0114 – Uma Avaliação do Sistema DSM Nautilus – MARIO DONATO MARINO, GERALDO LINO DE CAMPOS
- BT/PCS/0115 – Utilização de Redes Neurais Artificiais para Construção de Imagem em Câmara de Cintilação – LUIZ SÉRGIO DE SOUZA, EDITH RANZINI
- BT/PCS/0116 – Simulação de Redes ATM – HSU CHIH WANG CHANG, WILSON VICENTE RUGGIERO
- BT/PCS/0117 – Application of Monoprocessed Architecture for Safety Critical Control Systems – JOSÉ ANTONIO FONSECA, JORGE RADY DE ALMEIDA JR.
- BT/PCS/0118 – WebBee – Um Sistema de Informação via WEB para Pesquisa de Abelhas sem Ferrão – RENATO SOUSA DA CUNHA, ANTONIO MOURA SARAIVA
- BT/PCS/0119 – Parallel Processing Applied to Robot Manipulator Trajectory Planning – DENIS HAMILTON NOMIYAMA, LÍRIA MATSUMOTO SATO, ANDRÉ RIYUITI HIRAKAWA
- BT/PCS/0120 – Utilização de Padrão de Arquitetura de Software para a Fase de Projeto Orientado a Objetos – CRISITINA MARIA FERREIRA DA SILVA, SELMA SHIN SHIMIZU MELNICOFF
- BT/PCS/0121 – Agilizando Aprendizagem por Reforço Através do uso de Conhecimento sobre o Domínio – RENÉ PEGORARO, ANNA H. REALI COSTA
- BT/PCS/0122 – Modelo de Segurança da Linguagem Java Problemas e Soluções – CLAUDIO MASSANORI MATAYOSHI, WILSON VICENTE RUGGIERO
- BT/PCS/0123 – Proposta de um Agente CNM para o Gerenciamento Web de um Backbone ATM – FERNANDO FROTA REDÍGOLO, TEREZA CRISTINA MELO DE BRITO CARVALHO
- BT/PCS/0124 – Um Método de Teste de software Baseado em Casos Teste – SÉRGIO RICARDO ROTTÀ, KECHI HIRAMA
- BT/PCS/0201 – A Teoria Nebulosa Aplicada a uma Bicicleta Ergométrica para Fisioterapia – MARCO ANTONIO GARMS, MARCO TÚLIO CARVALHO DE ANDRADE
- BT/PCS/0202 – Synchronization Constraints in a Concurrent Object Oriented Programming Model – LAÍS DO NASCIMENTO SALVADOR, LÍRIA MATSUMOTO SATO

BT/PCS/0203 – Construção de um Ambiente de Dados sobre um Sistema de Arquivos Paralelos – JOSÉ CRAVEIRO DA COSTA NETO, LIRIA MATSUMOTO SATO

BT/PCS/0204 – Maestro: Um Middleware para Suporte a Aplicações Distribuídas Baseadas em Componentes de Software – CLÁUDIO LUÍS PEREIRA FERREIRA, JORGE LUÍS RISCO BECERRA

BT/PCS/0205 - Sistemas de Automação dos Transportes (ITS) Descritos Através das Técnicas de Modelagem RM-OPD (ITU-T) e UML (OMG) – CLÁUDIO LUIZ MARTE, JORGE LUÍS RISCO BECERRA, JOSÉ SIDNEI COLOMBO

BT/PCS/0206 – Comparação de Perfis de Usuários Coletados Através do Agente de Interface PersonalSearcher – GUSTAVO A. GIMÉNEZ LUGO, ANALÍA AMANDI, JAIME SIMÃO SICHMAN

BT/PCS/0207 – Arquitetura Reutilizáveis para a Criação de Sistemas de Tutorização Inteligentes – MARCO ANTONIO FURLAN DE SOUZA, MARIA ALICE GRIGAS VARELLA FERREIRA

BT/PCS/0208 – Análise e Predição de Desempenho de Programas Paralelos em Redes de Estações de Trabalho – LIN KUAN CHING, LIRIA MATSUMOTO SATO