

Revista de Gestão da Tecnologia e Sistemas de Informação
Journal of Information Systems and Technology Management
Vol. 7, No. 1, 2010, p.163-182
ISSN online: 1807-1775
DOI: 10.4301/S1807-17752010000100007

REDES NEURAIIS, LÓGICA NEBULOSA E ALGORITMOS GENÉTICOS: APLICAÇÕES E POSSIBILIDADES EM FINANÇAS E CONTABILIDADE

NEURAL NETWORKS, FUZZY LOGIC AND GENETIC ALGORITHMS: APPLICATIONS AND POSSIBILITIES IN FINANCE AND ACCOUNTING

Artur Filipe Ewald Wuerges

Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

José Alonso Borba

Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

ABSTRACT

There are problems in Finance and Accounting that can not be easily solved by means of traditional techniques (e.g. bankruptcy prediction and strategies for investing in common stock). In these situations, it is possible to use methods of Artificial Intelligence. This paper analyzes empirical works published in international journals between 2000 and 2007 that present studies about the application of Neural Networks, Fuzzy Logic and Genetic Algorithms to problems in Finance and Accounting. The objective is to identify and quantify the relationships established between the available techniques and the problems studied by the researchers. Analyzing 258 papers, it was noticed that the most used technique is the Artificial Neural Network. The most researched applications are from the field of Finance, especially those related to stock exchanges (forecasting of common stock and indices prices).

Keywords: neural networks, genetic algorithms, fuzzy logic; finance, accounting

RESUMO

Existem problemas em Finanças e Contabilidade que não podem ser resolvidos facilmente através de técnicas tradicionais – por exemplo, previsão de falências e estratégias para negociação em bolsas de valores. Nestes casos, uma das alternativas é o uso de métodos de inteligência computacional. Este artigo analisa pesquisas empíricas publicadas em periódicos internacionais entre 2000 e 2007 que apresentam estudos sobre a aplicação de redes neurais,

Recebido em/*Manuscript first received*: 02/10/2008 – 25/01/2010 Aprovado em/*Manuscript accepted*: 08/04/2010

Endereço para correspondência/ *Address for correspondence*

Artur Filipe Ewald Wuerges, Universidade Federal de Santa Catarina, Curso de Pós-Graduação em Administração, Rua José João Martendal, 111 - Ap. 402, Florianópolis / SC, Tel. (47) 3372-1227, E-mail: awuerges@gmail.com

José Alonso Borba, Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Contabilidade, Campus Universitário, Trindade – Florianópolis/SC – CEP 88040-500, Tel: (48) 3234-6608, E-mail: jalonso@cse.ufsc.br

ISSN online: 1807-1775

Publicado por/*Published by*: TECSI FEA USP – 2010

lógica nebulosa e algoritmos genéticos a problemas da área de Finanças e Contabilidade. O objetivo é identificar e quantificar as relações estabelecidas entre as tecnologias disponíveis e os problemas estudados pelos pesquisadores. Analisando-se 258 artigos, percebeu-se que a técnica mais utilizada é a rede neural artificial. As aplicações mais pesquisadas são de Finanças, especialmente aquelas relacionadas a bolsas de valores (previsão de cotações de ações e de índices).

Palavras-chave: redes neurais; algoritmos genéticos; lógica nebulosa; Finanças; Contabilidade.

1. INTRODUÇÃO

Redes neurais artificiais (*artificial neural networks* ou RNAs) são algoritmos vagamente baseados em conceitos derivados de pesquisas sobre a natureza do cérebro, utilizados para tarefas cognitivas, tais como aprendizado e otimização. Das três técnicas cujas aplicações serão analisadas por este artigo (redes neurais, lógica nebulosa e algoritmos genéticos), esta é a mais antiga. O trabalho pioneiro, em redes neurais, é o de McCulloch e Pitts – *A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity* – publicado em 1943. As RNAs podem “compreender” por si mesmas as características de um problema, utilizando para seu aprendizado um conjunto de exemplos cuja resposta já seja conhecida (Müller; Reinhardt, 1990).

O conceito de lógica nebulosa (*fuzzy logic* ou LN) foi introduzido por Lotfi Zadeh em 1965, como uma forma de reduzir e explicar a complexidade de sistemas (Cox, 1998). Esta idéia permaneceu praticamente desconhecida pelo grande público até o final da década de 1980, quando o metrô de Sendai adotou um sistema baseado na LN – o *Automatic Train Operator (ATO)* – e surgiram várias empresas que tinham o objetivo de desenvolver e comercializar produtos baseados nesta tecnologia. Apesar de o interesse comercial haver arrefecido, hoje é possível encontrar aplicações da lógica nebulosa em áreas bem diferentes daquela em que surgiu – como em Finanças e em Contabilidade, objetos de estudo deste artigo.

Algoritmos genéticos (AGs), por sua vez, são técnicas de busca paralela (Nanda; Pendharkar, 2001), que começam com um conjunto de soluções possíveis e, através de operações especiais (avaliação, seleção, *crossover* e mutação), evoluem progressivamente em direção a soluções mais promissoras. Assim como as redes neurais surgiram inspiradas no funcionamento do cérebro, os algoritmos genéticos foram inspirados na evolução, seleção natural e genética (Nunez-Letamendia, 2002). Estes algoritmos dependem basicamente de uma função que avalie a qualidade de uma determinada solução para o problema – e esta função pode ser obtida mesmo para problemas difíceis de serem resolvidos através de técnicas convencionais.

Cada um dos métodos da inteligência computacional abordados neste artigo – redes neurais artificiais, lógica nebulosa e algoritmos genéticos – possui múltiplas aplicações. A capacidade de detecção de padrões apresentada pelas redes neurais artificiais, por exemplo, permite seu uso em aplicações tão díspares quanto diagnóstico de câncer de mama, estudado por Übeyli (2007), e precificação de derivativos financeiros, estudada por Montagna et al (2003). Mesmo dentro das áreas de Finanças e Contabilidade, objetos de estudo deste artigo, as aplicações são bastante diversas, incluindo previsão de

desempenho de ações, análise de crédito e previsão de falência – que são as mais comuns.

No caso das redes neurais e dos algoritmos genéticos, esta flexibilidade surge, ao menos em parte, do fato destes modelos não exigirem muitos conhecimentos prévios do problema a ser solucionado. E, sendo em suas origens uma maneira de expressar incertezas, a lógica nebulosa pode ser utilizada em vários tipos de problemas em que as variáveis, pelas suas próprias características, não podem ser definidas com exatidão. Esta situação é bastante comum em Finanças e Contabilidade.

Justamente por esta flexibilidade apresentada pela inteligência computacional, um determinado problema ou aplicação pode possibilitar mais de uma abordagem. A previsão do preço de um ativo financeiro, por exemplo, pode ser realizada tanto com o uso da lógica nebulosa quanto com redes neurais artificiais. Mesmo nos casos em que existe mais de uma opção viável, espera-se que os artigos relacionados a cada aplicação privilegiem os métodos que se mostram mais eficazes. Portanto, a análise dos artigos publicados recentemente pode mostrar as técnicas preferidas para cada aplicação, além de tendências emergentes, que poderão tornar-se dominantes em breve.

Entre os pesquisadores brasileiros, a aplicação de sistemas inteligentes nestas áreas já é uma realidade. Streit e Borenstein (2009) analisam a regulamentação do setor financeiro através de um modelo baseado em agentes; e o comportamento destes agentes foi simulado por meio de regras *fuzzy* construídas através da análise do conteúdo de jornais e entrevistas com especialistas. Esta é, portanto, uma abordagem híbrida que combina lógica nebulosa com modelos econométricos e uma simulação baseada em agentes.

Faria et al. (2009) utilizam redes neurais artificiais para prever o comportamento do Ibovespa, verificando que foi possível prever o sinal da variação do índice em 60% das vezes. Conclui-se que este grau de eficácia é similar ao obtido em mercados desenvolvidos utilizando-se as mesmas técnicas, e que é possível desenvolver sistemas de suporte à decisão que explorem esta capacidade de previsão das redes neurais artificiais.

O objetivo geral deste artigo é analisar os artigos acadêmicos internacionais de natureza empírica que utilizem métodos de inteligência computacional (lógica nebulosa, redes neurais e algoritmos genéticos) para abordar problemas relacionados a Finanças e Contabilidade, no período de primeiro de janeiro de 2000 a 31 de dezembro de 2007.

Para atingir este objetivo identificaram-se e analisaram-se as aplicações em Finanças e Contabilidade que foram abordadas com o uso de métodos de inteligência computacional e, subsequentemente, quantificou-se a frequência de cada uma das combinações entre método e aplicação possíveis. Foi feita também uma análise mais detalhada dos algoritmos híbridos e de sua evolução; por fim, identificaram-se os periódicos que mais publicaram artigos no período em questão.

Espera-se que esta análise revele a importância dos sistemas de informação inteligentes e o impacto que elas vêm tendo na produção científica internacional. Este artigo também mostra as conexões que podem ser feitas entre a inteligência artificial e as necessidades dos usuários, revelando as possibilidades oferecidas aos pesquisadores e aos usuários destes sistemas. E, ao quantificar e classificar a produção científica nestas

áreas, o artigo também oferece uma visão das possibilidades de pesquisa existentes, identificando problemas ainda pouco explorados e que podem ser desenvolvidos com o uso da inteligência artificial.

2. REVISÃO TEÓRICA

Apesar de serem todos classificados como inteligência computacional, os três métodos abordados neste artigo são diferentes em sua essência e na maneira como resolvem problemas. Por isso, neste tópico serão apresentados, de maneira resumida, os conceitos básicos de cada uma destas técnicas.

2.1. Redes Neurais Artificiais

Com esta técnica, a partir de unidades básicas – os neurônios (unidades neurais) – são construídas redes em que uma determinada unidade neural recebe entradas de outros neurônios. Todas as entradas recebidas são multiplicadas pelo seu peso sináptico. Estes produtos são somados, resultando em um valor de saída que, após ser transformado por uma função de ativação, é repassado à próxima camada de neurônios (Calderon; CHEH, 2002). Vários neurônios podem ser organizados em camadas (*layers*), formando uma rede neural.

Antes que uma rede neural possa ser útil, ela precisa ser treinada, isto é, precisa “aprender” o problema. O processo de aprendizagem determina os pesos sinápticos adequados para cada neurônio, de tal forma que a saída obtida pelos neurônios da última camada sejam as mais próximas possíveis das saídas desejadas para o problema que deve ser resolvido.

Na figura 1, tem-se uma rede neural de três camadas do tipo *feed-forward*, também chamada de *perceptron*. A camada superior é chamada de camada de entrada, com duas variáveis; a camada inferior é a camada de saída. As camadas intermediárias (no exemplo, há apenas uma) são chamadas de camadas ocultas (*hidden layers*). Uma rede neural artificial com a arquitetura apresentada neste exemplo poderia, por exemplo, ser treinada para executar a operação booleana XOR (“ou exclusivo”).

A utilidade das redes neurais deve-se à sua capacidade de “aprender” usando dados de treinamento (exemplos), e então generalizar a partir das observações feitas. Isto faz com que as RNAs sejam particularmente úteis em problemas que não são conhecidos com profundidade, e podem inclusive lidar com conjuntos de dados que contenham distorções, ruídos e dados irrelevantes (Hwang; Lin, 2000).

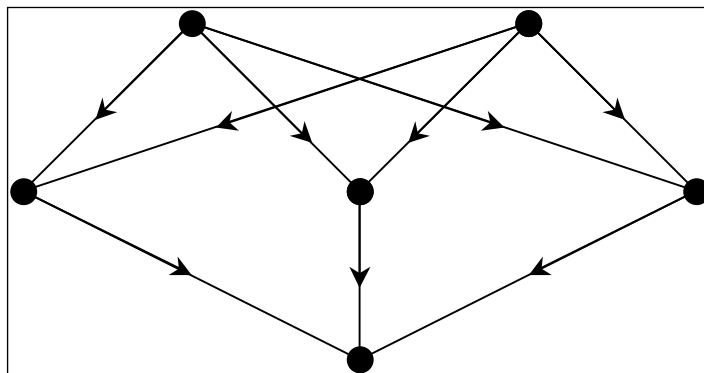


Figura 1: diagrama de uma rede neural com três camadas

Fonte: adaptado de Müller e Reinhardt (1990).

2.2. Lógica Nebulosa

Na lógica convencional (binária), um elemento pertence ou não pertence a um determinado conjunto, e nunca se encontra entre estes dois estados possíveis. Esta é uma maneira de simplificar um mundo inerentemente complexo, mas – argumentam os defensores da lógica nebulosa – esta simplificação acaba por distorcer a realidade (GRINT, 1997). A lógica nebulosa é um método que permite expressar incertezas de maneira mais consistente, através dos conjuntos nebulosos: ao invés de simplesmente pertencer ou não pertencer, um elemento poderá ter vários graus de pertinência a um conjunto.

Os conjuntos nebulosos (*fuzzy sets*) são funções que mapeiam, em uma escala de zero a um, esta pertinência de um determinado elemento ao conjunto. O valor zero indica que o elemento não pertence ao conjunto, enquanto o valor um significa que o elemento é completamente representativo do conjunto; valores entre estes dois indicam graus intermediários de pertinência.

A figura 1 mostra um conjunto clássico e um conjunto nebuloso que representam a pertinência de um produto ao conjunto dos produtos que são caros, de acordo com seu preço. No primeiro gráfico, um produto que custa 50 u.m. pertence a este conjunto, mas um produto que custa 40 u.m. não pertence. Há uma transição abrupta entre pertencer e não pertencer ao conjunto dos produtos caros.

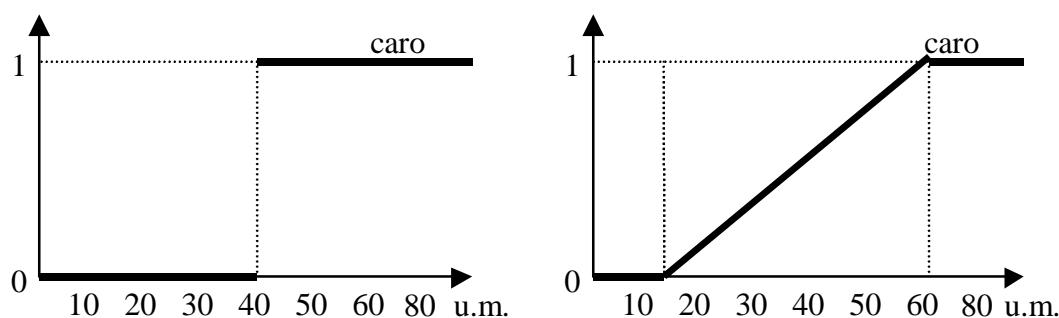


Figura 2: exemplo de conjunto clássico e conjunto nebuloso

Fonte: autores.

O segundo gráfico da figura 2 mostra uma situação em que a transição entre pertencer ou não ao conjunto dos produtos caros é feita de forma suave, através da lógica nebulosa. Neste caso, um produto que custa 50 u.m. é razoavelmente caro, e não simplesmente caro, como ocorre com a lógica clássica. De forma análoga, um produto que custa 30 u.m. é pouco caro. Existem infinitas possibilidades de pertinência entre 0 e 1.

Com conjuntos nebulosos é possível realizar várias operações – as básicas são interseção, união e complemento – e, com regras de inferência (*polícies*), criar modelos que auxiliem na tomada de decisão.

2.3 Algoritmos Genéticos

O funcionamento básico de um AG foi descrito pela primeira vez em meados da década de 1970, por John Holland, e suas primeiras aplicações – assim como as da lógica nebulosa – surgiram na área de Engenharia.

Para efetuar a busca por soluções ótimas, os AGs primeiro geram um conjunto de soluções aleatórias para o problema para, então, calcularem (utilizando uma função de avaliação) a qualidade de cada uma destas soluções. Depois, através de mecanismos de reprodução, combinam as melhores soluções, formando novas soluções que serão, possivelmente, mais adequadas do que aquelas que lhe deram origem. O novo conjunto de soluções é novamente avaliado. A reprodução e a avaliação são repetidas até que o conjunto de soluções não possa mais ser melhorado.

Este processo é esquematizado na figura 3, que representa todas as soluções possíveis para um problema (no eixo horizontal) e a qualidade de cada uma destas soluções (no eixo vertical). Um conjunto inicial de soluções é gerado e, através de um AG, espera-se que algumas destas soluções evoluam progressivamente em direção ao ponto A, chamado de *máximo global*. Existe a possibilidade de, eventualmente, as soluções se concentrarem no ponto B, que é o *mínimo local*. Este risco, porém, pode ser diminuído com a adoção de estratégias que garantam a heterogeneidade do conjunto de

soluções.

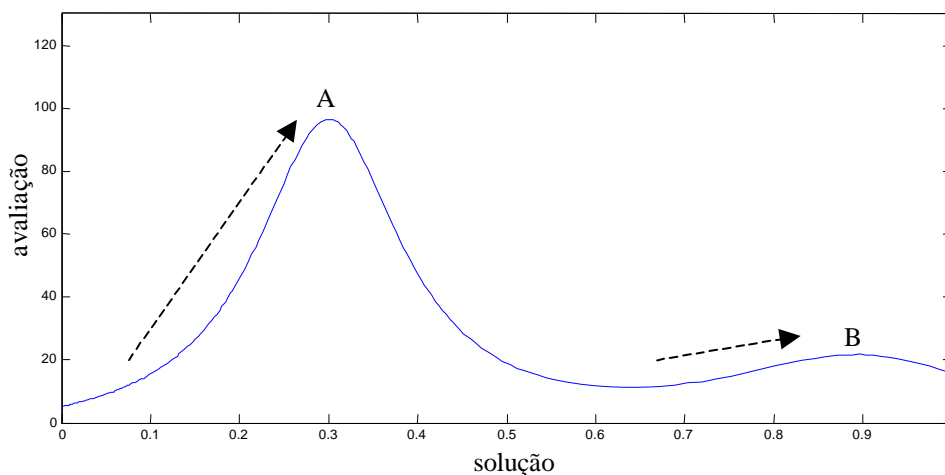


Figura 3: conjunto de soluções

Fonte: autores.

Vale lembrar que, além da reprodução, é possível trocar informações entre dois cromossomos (soluções) – técnica chamada *crossover* – ou alterar pedaços de uma solução, simulando as mutações genéticas encontradas em seres vivos.

Seu funcionamento, como explicado, faz com que os AGs sejam adequados para analisar um amplo espaço de soluções (através das amostras presentes na população inicial, gerada aleatoriamente), concentrando-se posteriormente nas áreas que mostram resultados mais promissores (Rafaely; Bennell, 2006).

2.4 Trabalhos correlatos

Foram encontrados artigos bibliométricos similares já publicados, mas envolvendo apenas redes neurais artificiais. As aplicações da lógica nebulosa e dos algoritmos genéticos ainda não foram objeto de um estudo bibliométrico, possivelmente devido à relativa escassez de artigos sobre estes métodos.

Um dos artigos encontrados teve como objetivo examinar as tendências históricas dos artigos publicados sobre redes neurais aplicadas a Finanças no período de 1971 a 1996 (WONG; SELVI, 1998). Este estudo examinou 64 artigos e detectou um declínio no número de publicações em 1995 e 1996, após uma rápida ascensão de 1991 a 1994.

De forma similar, Fadlalla e Lin (2001) analisou a aplicação de redes neurais exclusivamente em Finanças. Este artigo optou por analisar em profundidade uma amostra de 40 artigos, observando também as características das redes neurais adotadas. Chegou-se à conclusão de que a estratégia de controle mais comum é a de

retropropagação de erro (BP), adotada por 26 dos 40 artigos, e que é comum que seja utilizada apenas uma camada oculta (o que ocorre em 29 artigos). Mais importante, foi descoberto que em todos os artigos - com exceção de um - a RNA se saiu melhor do que métodos estatísticos tradicionais. Concluiu-se que as aplicações estão concentradas em poucas áreas, e há outras áreas que também poderiam aproveitar estas técnicas.

Mochón et al. (2008) amplia o escopo de sua análise para a chamada *soft computing* – que são as técnicas que tentam replicar a habilidade da mente humana de aplicar modos de raciocínio que são aproximados ao invés de exatos. Esta definição inclui as RNAs e a lógica nebulosa e os algoritmos genéticos, além de algumas outras técnicas probabilísticas. Ao invés de realizar uma análise bibliométrica, este artigo buscou mostrar as diferentes aplicações destas ferramentas, concluindo que elas se adaptam perfeitamente às necessidades do mundo das Finanças. Mochón et al. também conclui que esta área de pesquisa ainda está se popularizando, e não esperam que a tendência seja revertida em breve.

Foi encontrado outro trabalho correlato na área de Contabilidade – mais especificamente, auditoria e risco, também envolvendo RNAs, desenvolvido por Calderon e Cheh (2002). Foi feito um estudo qualitativo sobre os artigos, inclusive com análise das fontes de dados, variáveis e arquiteturas utilizadas. Estes autores também apontam para a utilidade prática destas tecnologias: eventos como o colapso da Enron mostram que existem padrões nebulosos e não-lineares que não podem ser detectados pelos métodos tradicionais.

Wong, Lai e Lam (2000) analisaram a aplicação de redes neurais artificiais em negócios, abrangendo um total de 302 artigos compreendidos entre 1994 e 1998. Foi detectada uma queda no número de artigos em 1998, e sugeriu-se que isto poderia tanto indicar uma diminuição do interesse quanto ser consequência do surgimento de novos periódicos que não estavam incluídos na pesquisa.

3. METODOLOGIA

A metodologia foi dividida em três partes: a primeira refere-se à coleta dos artigos – envolvendo a busca em si e os locais onde os artigos serão obtidos. A segunda parte aborda a análise e classificação dos trabalhos e preparação dos dados obtidos para posterior análise. Por fim, são apresentadas as limitações do trabalho.

3.1 Coleta dos artigos

Como um dos objetivos específicos é relacionar métodos de inteligência computacional a aplicações em negócios, as palavras-chave da busca foram divididas em dois domínios: métodos e aplicações. Os termos relacionados às técnicas – *neural*, *genetic* e *fuzzy* – pertencem ao primeiro grupo. No segundo grupo, em um primeiro momento foram utilizadas as palavras *finance* e *accounting*. Na primeira etapa da pesquisa, os elementos destes dois domínios foram agrupados em pares, e a busca foi realizada unindo-se os elementos de cada par através do operador booleano AND. Os artigos obtidos nesta etapa foram analisados e classificados, sendo então identificados os tópicos mais comuns, isto é, as aplicações específicas em Finanças e Contabilidades

que foram estudadas por dois ou mais artigos. Estes tópicos foram utilizados para elaborar uma lista ampliada de palavras-chave, que continha *stocks, forex, exchange, bankruptcy, commodities, interest rate, credit, derivatives, options, portfolio, fraud, auditing, bank* e *business*. Esta lista também foi combinada com os termos *neural, genetic* e *fuzzy*, e com estes pares foram feitas novas buscas nas bases de dados.

A busca foi realizada em duas bases de dados disponíveis no Portal de Periódicos da Capes: ScienceDirect e ProQuest. Existem outras bases de dados, como a EBSCO Host e a CSA, que também possuem artigos na área de Ciência da Informação e Tecnologia. Apesar de importantes, estas bases de dados não foram objeto deste trabalho.

Na ScienceDirect, foi feita uma busca avançada no título, no *abstract* e nas palavras-chave dos artigos de 2000 a 2007, limitada aos seguintes assuntos: *business, management and accounting; computer science; decision sciences; economics, econometrics and finance*. Esta limitação evita que a busca retorne artigos sobre neurociências ou genética, por exemplo. Na ProQuest, foi feita uma busca avançada abrangendo citação e resumo, entre 01/01/2000 e 31/12/2007, limitada a artigos com texto completo e publicações acadêmicas.

3.2 Análise e classificação

Uma vez obtido o resultado da busca, procedeu-se à leitura do *abstract* (e do artigo completo, se necessário), observando-se se o artigo utilizava quaisquer das técnicas em estudo, se a aplicação proposta era nas áreas de Finanças ou Contabilidade, e se era apresentado um estudo empírico. Satisfeitas estas condições, procedeu-se à classificação.

Primeiro, cada artigo foi classificado quanto às técnicas utilizadas – RNAs, LN e AGs. E, caso diferentes métodos de inteligência computacional fossem utilizados no mesmo modelo, este recebeu a classificação adicional de *híbrido*. Artigos que comparam métodos diferentes foram classificados em ambos os métodos, mas não como híbridos.

Posteriormente, os artigos foram classificados de acordo com a área a qual o problema se relacionava – Finanças ou Contabilidade. Nenhum dos trabalhos foi classificado em ambas as áreas; no caso específico dos trabalhos sobre estrutura de capital (que poderiam ser enquadrados tanto em Finanças quanto em Contabilidade), optou-se por classificá-los como trabalhos de Finanças. Esta decisão se justifica pelo fato dos dois trabalhos sobre estrutura de capital encontrados terem sido publicados em periódicos de Negócios e Finanças, mas não de Contabilidade.

Foram identificadas as aplicações específicas mais comuns e os trabalhos foram então classificados em uma destas aplicações. Aqueles que não se enquadravam em nenhuma destas aplicações mais comuns foram agrupados na categoria *outros*. Ao fim da análise, as categorias que possuíam menos de sete artigos foram eliminadas, e seus trabalhos foram realocados para a categoria *outros*. Vale lembrar que esta classificação, ainda mais do que as outras, é subjetiva. Algumas categorias problemáticas são:

a) *Falências*: abrange não apenas artigos que tratam especificamente da previsão de falências, mas também aqueles que classificam a empresa em categorias, de acordo com a sua saúde financeira – como o trabalho de Agarwal, Davis e Ward (2001);

b) *Ações*: além da previsão do desempenho de ações de empresas individuais, engloba índices, fundos e IPOs. Artigos relacionados a *commodities*, *forex* (câmbio) e derivativos não estão incluídos.

c) *Derivativos*: ao invés de criar categorias para cada espécie de derivativo financeiro existente, optou-se por agrupá-los sob o rótulo genérico de artigos sobre derivativos. Isto inclui opções (sobre ações, índices e moedas), futuros, *warrants* e derivativos climáticos.

d) *Análise de crédito*: engloba análise de candidatos a empréstimos fornecidos por bancos e instituições governamentais, avaliação de solicitações de cartões de crédito e artigos sobre análise de crédito soberano.

Em alguns casos, um mesmo artigo precisou ser classificado em mais de uma categoria quanto à aplicação. Qi e Zhang (2001), por exemplo, analisa a seleção de modelos de previsão de séries temporais abordando três séries com características diferentes: índices de ações, câmbio e *t-bills*. Por isso, este trabalho foi classificado simultaneamente em ações, câmbio e juros.

3.3 Limitações

Os diferentes métodos da inteligência computacional podem ser aplicados de maneiras variadas. O termo *neural network*, por exemplo, abrange diferentes algoritmos de treinamento e diversas configurações possíveis para uma rede neural. A análise mais detalhada de cada uma destas técnicas, porém, está fora do escopo deste artigo.

As fronteiras entre as diferentes classificações para os algoritmos podem ser difusas. Foram encontrados métodos relacionados aos temas de estudo, mas que foram excluídos da pesquisa; um caso de particular importância é a programação genética. Apesar de utilizar um processo de aprimoramento de soluções similar ao dos algoritmos genéticos, a estrutura das soluções que são analisadas é diferente. No caso dos algoritmos genéticos, a solução é representada por um conjunto de caracteres de tamanho fixo; na programação genética, a solução é uma árvore hierárquica que representa operações executadas sobre constantes ou variáveis (Chen et al, 2007).

Existem muitos artigos que não foram incluídos por estarem fora do período delimitado. Esta é uma limitação importante, pois uma rápida busca por *fuzzy* e *accounting* na ProQuest, por exemplo, revelou 20 resultados anteriores a 1º de janeiro de 2000; outra busca por *neural* e *finance*, na mesma base de dados, retornou outros 32 artigos.

Este trabalho limita-se a analisar artigos que apresentem exemplos reais. Isto significa que estudos que utilizam exemplos numéricos (fictícios) para demonstrar uma técnica não são considerados. Também existem artigos que utilizam métodos de inteligência computacional para construir mercados artificiais (ou simulados), em que agentes modelados de acordo com certos pressupostos teóricos tomam suas decisões. As

conclusões obtidas por esta última classe de trabalhos podem ter aplicações práticas, mas esta pesquisa procurou restringir-se a artigos que mostrem métodos diretamente aplicáveis a problemas da área de Finanças e Contabilidade.

As limitações aqui estabelecidas podem causar um importante viés: dados empíricos sobre bolsas de valores, de futuros e de *commodities* são facilmente obtidos em bases de dados especializadas; outros dados são obtidos com muito menos facilidade. Isto pode explicar, em parte, alguns dos resultados obtidos – em especial o grande número de artigos sobre bolsas de valores.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Após a seleção, isto é, excluindo-se as repetições e os artigos fora das limitações metodológicas, restaram 102 artigos na ProQuest e 156 na ScienceDirect, totalizando 258 trabalhos diferentes. Destes, 176 eram da área de Finanças, e 82 de Contabilidade.

4.1 Classificação por ano

Pode-se perceber que a tendência nos primeiros três anos (2000-2002) foi descendente, atingindo-se o número de 22 e 23 artigos em 2002 e 2003 (figura 4). Um dos motivos que podem ter contribuído é o fato de não constar na ProQuest artigos publicados no *International Journal of Intelligent Systems in Accounting, Finance and Management* em 2003. Supõe-se que houve um intervalo na edição deste periódico, que reapareceu em 2004 com o nome de *Intelligent Systems in Accounting, Finance and Management*. A partir deste ano, a tendência no número total de artigos é crescente. Vale observar que, de 2005 a 2007, houve um aumento do uso de lógica nebulosa, algoritmos genéticos e modelos híbridos, simultaneamente a uma queda no número de artigos sobre redes neurais artificiais. Isto pode indicar uma mudança de interesse da comunidade acadêmica – possivelmente devido ao fato das redes neurais já terem sido amplamente exploradas, com um total de 193 artigos durante o período em análise.

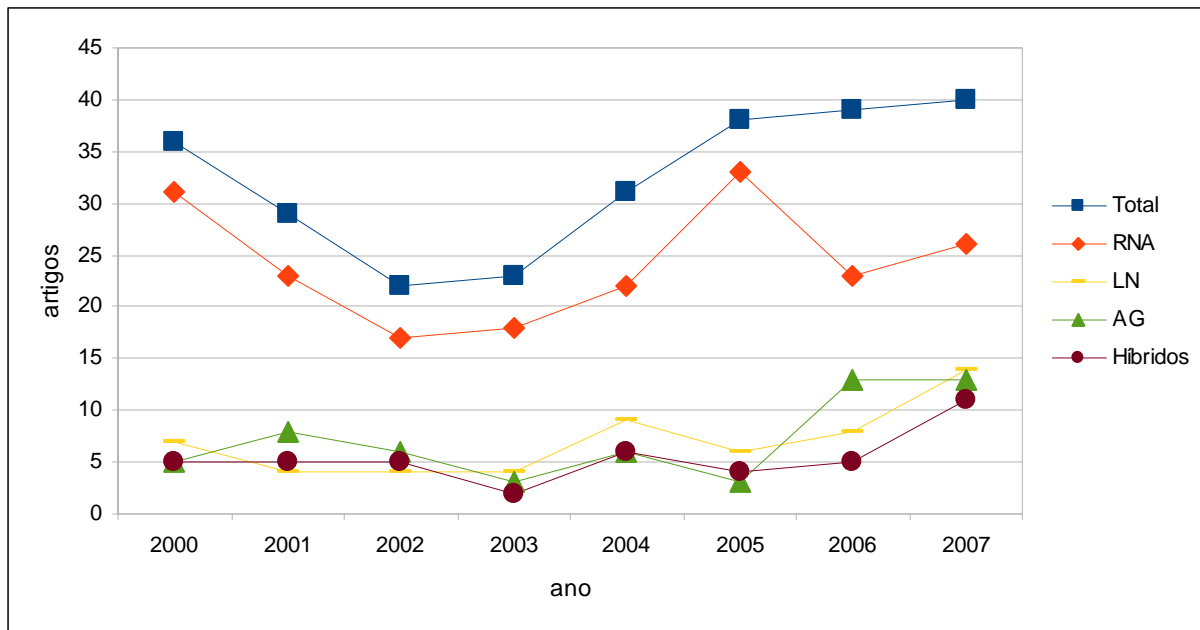


Figura 4: total de artigos publicados por ano

Fonte: dados da pesquisa.

4.2 Classificação por periódico

Pode-se perceber, através da tabela 1, que o *Expert Systems with Applications* é o periódico que mais publicou artigos sobre inteligência computacional aplicada em Contabilidade e Finanças. É importante ressaltar, porém, que 38 dos artigos analisados foram encontrados em periódicos diferentes que apresentaram, no período estudado, apenas um artigo publicado. Isto significa que existem outros periódicos que, ocasionalmente, podem publicar artigos envolvendo inteligência computacional em aplicações na área de Negócios. Como exemplo disso, tem-se um artigo que trata de precificação de derivativos através de redes neurais, publicado em uma revista da área de Física (MONTAGNA et al, 2003). Esta constatação sugere a hipótese de que a aplicação de inteligência computacional em Finanças e Contabilidade tem caráter multidisciplinar.

Periódico	Frequência
Expert Systems with Applications	47
European Journal of Operational Research	19
Computers & Operations Research	13
Fuzzy Sets and Systems	11
International Journal of Intelligent Systems in Accounting, Finance and Management	9
Neurocomputing	8
Intelligent Systems in Accounting, Finance and Management	7
The Journal of the Operational Research Society	7
Computational Economics	6
Derivatives Use, Trading & Regulation	6
Journal of American Academy of Business	6
Journal of Forecasting	6
Omega	6
Outros	107
Total	258

Tabela 1: periódicos com maior frequência de artigos publicados

Fonte: dados da pesquisa.

4.3 Classificação por método e aplicação

Para analisar a preferência dos autores de uma área por um dos métodos de inteligência computacional, primeiro deve-se obter o número de artigos relacionados a cada aplicação. E, como pode ser depreendido da tabela 2, a maioria dos artigos analisados (68,22%) é da área de Finanças.

Aplicação	Frequência
Finanças	176
Contabilidade	82
Total	258

Tabela 2: aplicações

Fonte: dados da pesquisa.

Os artigos selecionados também podem ser classificados de acordo com suas aplicações específicas, como mostra a tabela 3. Apenas quatro destes artigos foram classificados em mais de uma aplicação: um deles se enquadrava simultaneamente em análise de crédito e falências; dois em ações e juros; o último foi classificado em ações e câmbio.

Aplicação	Frequência
Ações	79
Câmbio	37
Análise de crédito	35
Falências	30
Gestão de carteira	18
Derivativos e futuros	16
Juros	14
Fraude	6
Outros	28

Tabela 3: aplicação específicas mais comuns

Fonte: dados da pesquisa.

Pode-se perceber que as aplicações relacionadas a ações receberam bastante destaque nos artigos analisados. Este grupo inclui trabalhos que abordam ações de empresas individuais e índices de ações (por exemplo, Ibovespa e S&P 500). Em ambos os casos, o artigo normalmente busca prever o nível das cotações no próximo período ou identificar a tendência do movimento dos preços (ascendente ou descendente). Um dos artigos estudados teve como objetivo prever a cotação de fechamento do DJIA (*Dow Jones Industrial Average*) utilizando fatores externos (isto é, o modelo não se limitava a utilizar cotações passadas) (O’connor; Madden, 2006). Os fatores externos usados foram o preço do petróleo (*WTI cushing crude oil*) e taxas de câmbio (USD/YEN, USD/GBP, USD/CAN). Também foram usados indicadores técnicos derivados do DJIA. No conjunto de teste, obteve-se um retorno anual sobre o investimento de 21,10% - incluídos os custos de transação. Como comparação, o retorno de mercado foi de 13,03%, e uma rede neural mais simples – que utilizava somente cotações passadas – teve retorno de apenas 8,03%. Isto mostra que as redes neurais não são uma solução por si mesmas; as variáveis devem ser escolhidas cuidadosamente, e seu desempenho depende do ambiente em que elas são utilizadas. Em mercados muito eficientes – como é o caso da bolsa de Nova York – seu desempenho nem sempre será excepcional.

A análise de crédito também obteve bastante atenção. Esta categoria de trabalhos não se limita à análise de solicitações de cartões de crédito ou empréstimos bancários; um dos artigos encontrados tinha como objetivo prever o risco de inadimplência no contexto do comércio internacional. Um modelo *fuzzy* foi utilizado com 3344 empresas asiáticas, e tentou-se identificar as empresas que teriam problemas em honrar os pagamentos de suas importações (Tang; Chi, 2005). Ao se comparar o modelo baseado na lógica nebulosa com um modelo logit, observou-se que o primeiro é mais sensível, ou seja, tem desempenho superior na detecção de empresas inadimplentes. O modelo logit, em compensação, tem maior sucesso na classificação de empresas que não oferecem risco de perdas devido ao não-pagamento. Isto mostra que a escolha do modelo depende das características do problema; se o custo dos créditos erroneamente recusados for maior do que as perdas por inadimplência, então o modelo logit é mais

indicado.

Como se deseja observar as técnicas mais comuns em cada área, um mesmo artigo pode ser classificado em mais de um método, sendo ou não híbrido. Por isso, os valores totais de cada área foram ignorados – pois não estariam de acordo com o total de 258 artigos analisados. Os dados obtidos foram organizados na tabela 4.

Método	Finanças	Contabilidade	Total
RNA	129	64	193
LN	37	19	56
AG	44	13	57
Híbridos	30	12	42

Tabela 4: técnicas utilizadas em Finanças e Contabilidade

Fonte: dados da pesquisa.

Observando-se esta tabela, constata-se que as redes neurais artificiais são o método mais utilizado, correspondendo a 74,81% dos artigos analisados; e que os algoritmos híbridos são bem menos frequentes, com apenas 13,57%. A preferência pelas redes neurais é um pouco mais acentuada na área de Contabilidade, em que 78,57% dos artigos utilizam-nas. Na área de Finanças, este percentual é de 73,30%. No caso da lógica nebulosa, não há uma diferença considerável: esta técnica está presente em 21,02% dos trabalhos da área de Finanças e em 22,62% dos trabalhos da área de Contabilidade. Os algoritmos híbridos ainda são bastante raros, e sua presença é um pouco mais comum nos trabalhos de Finanças, sendo utilizados em 17,05% deles.

Para investigar se haveria técnicas mais comuns para cada tipo de problema, foi feita uma nova análise, cruzando aplicações e métodos, como mostrado na tabela 5. Neste caso, os modelos que utilizam mais de um método são classificados exclusivamente como híbridos.

Técnica	RNA		LN		AG		Híbridos	
	Freq.	%	Freq.	%	Freq.	%	Freq.	%
Ações	45	56,96%	7	8,86%	11	13,92%	16	20,25%
Câmbio	25	67,57%	2	5,41%	1	2,70%	10	27,03%
Análise de crédito	24	68,57%	4	11,43%	2	5,71%	6	17,14%
Falências	17	56,67%	3	10,00%	5	16,67%	6	20,00%
Gestão de carteira	4	22,22%	11	61,11%	3	16,67%	-	-
Derivativos e futuros	14	87,50%	2	12,50%	-	-	-	-
Juros	7	50,00%	3	21,43%	2	14,29%	2	14,29%
Fraude	5	83,33%	-	-	-	-	1	16,67%
Outros	18	64,29%	5	17,86%	4	14,29%	1	3,57%

Tabela 5: técnicas utilizadas nas aplicações mais comuns

Fonte: dados da pesquisa.

Percebe-se que os artigos sobre bolsas de valores privilegiam as redes neurais artificiais, que são utilizadas em 56,96% dos trabalhos; os artigos que mais utilizam redes neurais são aqueles sobre derivativos e futuros. Isto pode ser explicado pelo fato destes artigos normalmente desenvolverem modelos para detectar e explorar padrões em séries temporais – algo que as redes neurais fazem muito bem.

4.3.1 Modelos híbridos

Isolando-se os artigos que fazem uso de modelos híbridos e verificando cada uma das combinações possíveis entre as três técnicas de inteligência computacional, aqui abordadas, chegou-se à tabela 6.

Tipo	Frequência
RNA e AG	23
RNA e LN	12
LN e AG	4
RNA, LN e AG	3
Total	42

Tabela 6: combinações de técnicas mais comuns

Fonte: dados da pesquisa.

Como existem várias maneiras de combinar redes neurais artificiais com algoritmos genéticos, é natural que esta classe de híbridos seja bastante relevante: mais de metade dos algoritmos híbridos encontrados é deste tipo, com resultados promissores.

É possível, por exemplo, utilizar algoritmos genéticos para selecionar as variáveis de entrada mais importantes de uma rede neural. Isto é crítico para um bom desempenho da RNA, pois o excesso de variáveis de entrada leva à chamada “maldição da dimensionalidade”, prejudicando a qualidade dos resultados (Hughes, 1968). Em um dos artigos analisados, um algoritmo genético selecionou as informações contábeis mais relevantes para a previsão de falências; posteriormente, utilizando-se redes neurais, as empresas foram classificadas como estando em risco de falência (*distressed*) ou não. Com isso, o índice de acertos foi de 82%. Utilizando-se um algoritmo evolucionário mais recente (*particle swarm optimization*) ao invés de algoritmos genéticos, o índice aumentou para 87%. Sem nenhuma seleção de variáveis, o índice cai para 77% (KO; LIN, 2006).

Outra possibilidade de algoritmo híbrido combinando redes neurais e algoritmos genéticos é a criação de redes que mudem seus parâmetros arquiteturais (número de camadas ocultas, por exemplo) de acordo com o problema. Esta técnica foi aplicada com sucesso à previsão de taxas de câmbio diárias (Nag; Mitra, 2002). Neste caso, uma população de redes neurais evoluía através do AG, obtendo-se como resultado uma rede neural com arquitetura ótima. Os resultados são encorajadores: no caso do estudo

realizado com o iene e o dólar, o erro absoluto médio do modelo híbrido foi de 0,63; a melhor rede neural de arquitetura fixa utilizada teve um erro de 0,67. O modelo Garch, por sua vez, teve um erro de 0,66. Isto significa que, pelo menos neste caso, a abordagem híbrida superou os métodos convencionais.

Por fim, é possível utilizar algoritmos genéticos para combinar os resultados de outros sistemas de tomada de decisão – inclusive de usuários e *experts*. Desta maneira, o algoritmo pode aproveitar tanto o conhecimento humano quanto a capacidade das redes neurais em detectar padrões. Esta idéia foi utilizada na previsão do KOPSI, o índice da bolsa de valores da Coreia do Sul (Kim et al., 2006). O objetivo era classificar o movimento futuro do mercado em quatro níveis: *bear*, *edged-down*, *edged-up* e *bull*. Constatou-se que, pelo fato de se adaptarem mais rapidamente às mudanças no ambiente, as pessoas conseguem prever melhor os movimentos mais rápidos do mercado (*bull e bear*); as redes neurais se saem melhor na previsão de tendências mais regulares e suaves (*edged-up e edged-down*). Juntando-se os dois através de um algoritmo genético foi possível obter um resultado superior, com 79,5% de acerto (contra 66% da rede neural e 59% dos *experts*).

Outro tipo de modelo híbrido comum é aquele que combina redes neurais com lógica nebulosa. Neste caso, é comum o uso de sistemas conhecidos como *neuro-fuzzy*, em que as características de um problema são representadas através de um modelo linguístico de alto nível – isto é, de fácil compreensão para seres humanos, já que é composto por regras de inferência do tipo “se-então”. A tarefa da rede neural é encontrar as melhores regras e ajustar seus parâmetros. Portanto, a diferença entre o modelo *neuro-fuzzy* e uma rede neural convencional é que, enquanto nesta última a saída é um valor ou uma classificação que mais tarde será utilizado na tomada de decisão, no primeiro a saída é uma regra *fuzzy*. Com isso, evita-se uma crítica comum às redes neurais: sua falta de transparência, ou seja, a dificuldade de se compreender os meios pelo quais a rede neural chegou a um determinado resultado; os pesos sinápticos não são facilmente interpretados pelo usuário final. Por isso, as redes neurais costumam ser chamadas de *black boxes* ou caixas-pretas (Olden; Jackson, 2002). Em uma das aplicações empíricas analisadas, 290 solicitações de crédito foram classificadas em dois grupos: bons empréstimos e maus empréstimos. O índice de acertos do modelo híbrido (*neuro-fuzzy*) ficou entre 64,2% e 66,6%; um método concorrente (MDA) conseguiu acertar entre 62,05% e 66,2%. Apesar dos resultados serem similares, os autores ressaltam que o sistema *neuro-fuzzy* foi capaz de identificar com mais precisão os casos de crédito ruim. Com isso, pode-se reduzir justamente o erro do tipo I – que é o mais prejudicial em análise de crédito (Malhotra; Malhotra, 2002).

5. CONCLUSÃO

Como foi explicado no tópico dedicado às limitações metodológicas, existem vários artigos anteriores ao ano de 2000. O início desta produção intelectual não é muito recente, mas a atenção dedicada às aplicações da inteligência computacional em Contabilidade e Finanças continua crescendo. Os avanços teóricos continuam criando

novas possibilidades – um exemplo são as *support vector machines*, uma nova técnica que vem apresentando resultados muito promissores.

Neste artigo, pode-se observar uma predominância de estudos envolvendo Finanças e redes neurais. Quanto às aplicações específicas, percebe-se que aquelas relacionadas ao mercado financeiro são bem mais comuns; se forem considerados os artigos relacionados a bolsas de valores, derivativos, *commodities*, *forex*, gestão de carteira e juros, chega-se a 164 artigos, o que corresponde a mais de metade do total de 258 artigos analisados. Artigos que procuraram analisar a qualidade do crédito através de inteligência computacional representaram o segundo grupo de maior expressão.

Os algoritmos híbridos – apesar do desempenho potencialmente superior em vários casos, como atestam as evidências empíricas apresentadas neste artigo – tiveram uma participação relativamente inexpressiva no total de trabalhos analisados. Isto pode ter origem na complexidade inerente à combinação de duas técnicas diferentes; é possível que, com a popularização dos métodos da inteligência computacional, os híbridos comecem a serem vistos como uma alternativa superior e a conquistar a preferência dos estudantes e praticantes de Finanças e Contabilidade.

Ao longo deste artigo foram apresentados exemplos de artigos que apresentam evidências empíricas de que os métodos da inteligência computacional podem ser úteis em Finanças e Contabilidade, apesar de seu uso prático ainda ser incipiente; isto sugere a necessidade do profissional da área de Negócios se manter atualizado em relação aos novos desdobramentos teóricos da inteligência computacional. O caráter flexível das técnicas aqui abordadas faz com que suas possibilidades sejam quase ilimitadas e, certamente, existem aplicações ainda não exploradas para essas idéias promissoras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agarwal, A., Davis, J. T., & Ward, T. (2001). Supporting ordinal four-state classification decisions using neural networks. *Information Technology and Management*, Bussum, 2 (1): 5.
- Calderon, T. G., & Cheh, J. J. (2002, Dezembro). A roadmap for future neural networks research in auditing and risk assessment. *International Journal of Accounting Information Systems*, 3 (4): 203-236.
- Chen, J.-S., Chang, C. L., Hou, J.-L., & Lin, Y.T. (2008, Novembro). Dynamic proportion portfolio insurance using genetic programming with principal component analysis. *Expert Systems with Applications*.
- Cox, E. (1998). *The fuzzy systems handbook : a practitioner's guide to building, using, and maintaining fuzzy systems* (2a ed.). San Diego: AP Professional.
- Fadlalla, A., Lin, C. H. (2001). An analysis of the applications of neural networks in finance. *Interfaces*, 31 (4): 112-122.

- Faria, E. de, Albuquerque, M. P., Gonzalez, J., Cavalcante, J., & Albuquerque, M. P. (2009). Predicting the Brazilian stock market through neural networks and adaptive exponential smoothing methods. *Expert Systems with Applications*, 36(10): 12506-12509.
- Grint, K. (1997). *Fuzzy management: contemporary ideas and practices at work*. New York: Oxford.
- Hwang, M. I., & Lin, J. W. (2000). Neural fuzzy systems: A tutorial and an application. *The Journal of Computer Information Systems*, 40 (4): 27.
- Hughes, G. F. (1968, January). On the mean accuracy of statistical pattern recognizers. *IEEE Transactions on Information Theory*, 14 (1): 55-63.
- Kim, M. J., Min, S. H., & Han, I. (2006). An evolutionary approach to the combination of multiple classifiers to predict a stock price index. *Expert Systems with Applications*, 31 (2): 241-247.
- Ko, P. C., & Lin, P. C. (2006, Março). An evolution-based approach with modularized evaluations to forecast financial distress. *Knowledge-Based Systems*, 19 (1): 84-91.
- Malhotra, R., & Malhotra, D. K. (2002, January). Differentiating between good credits and bad credits using neuro-fuzzy systems. *European Journal of Operational Research*, 136 (1): 190-211.
- Mochón, A., Quintana, D., Sáez, Y., & Isasi, P. (2008). Soft computing techniques applied to finance. *Applied Intelligence*, 29 (2): 111-115.
- Montagna, Guido et al. (2003). Pricing derivatives by path integral and neural networks. *Physica A*, 324: 189-195.
- Müller, B., & Reinhardt, J. (1990). *Neural networks: an introduction*. Berlin: Springer-Verlag.
- Nag, A. K., & Mitra, A. (2001). Forecasting daily foreign exchange rates using genetically optimized neural networks. *Journal of Forecasting, Chichester*, 21 (7): 501.
- Nanda, S., & Pendharkar, P. (2001). Linear models for minimizing misclassification costs in bankruptcy prediction. *International Journal of Intelligent Systems in Accounting, Finance and Management*, 10 (3): 155.
- Nunez-letamendia, L. (2002). Trading systems designed by genetic algorithms. *Managerial Finance*, Patrington, 28 (8): 87.
- O'connor, N., & Madden, M. G. (2006, September). A neural network approach to predicting stock exchange movements using external factors. *Knowledge-Based Systems*, 19 (5): 371-378.
- Olden, J. D., & Jackson, D. A. (2002). Illuminating the "black box": a randomization approach for understanding variable contributions in artificial neural networks. *Ecological Modelling*, 154 (1-2): 135-150.
- Qi, M., & Zhang, G. P. (2001, August). An investigation of model selection criteria for neural network time series forecasting. *European Journal of Operational Research*, 132 (3): 666-680.

- Rafaely, B., & Bennell, J. A. (2006). Optimisation of FTSE 100 tracker funds; A comparison of genetic algorithms and quadratic programming. *Managerial Finance*, Patrinton, 32 (6): 477.
- Streit, R. E., & Borenstein, D. (2009). An agent-based simulation model for analyzing the governance of the Brazilian Financial System. *Expert Systems with Applications*, 36 (9): 11489-11501.
- Tang, T. C., & Chi, L. C. (2005). Predicting multilateral trade credit risk: comparisons of logit and fuzzy logic models using ROC curve analysis. *Expert Systems with Applications*, 28 (3): 547-556.
- Übeyli, E. D. (2007, November). Implementing automated diagnostic systems for breast cancer detection. *Expert Systems with Applications*, 33 (4): 1054-1062.
- Wong, B. K., Lai, V. S., & Lam, J. (2000, September). A bibliography of neural network business applications research: 1994-1998. *Computers & Operations Research*, 27 (11-12): 1045-1076.
- Wong, B. K., & Selvi, Y. (1998). Neural network applications in finance: A review and analysis of literature (1990-1996). *Information & Management*, 34 (3): 129-139.