

Redes Neurais, Lógica Nebulosa e Algoritmos Genéticos Aplicados Finanças e Contabilidade: Uma Análise dos Artigos em Língua Ing Publicados Entre 2000 e 2006.

RESUMO

Existem problemas em finanças e contabilidade que não podem ser resolvidos facilmente de técnicas tradicionais. Neste grupo estão, por exemplo, previsão de falências e de preços de bolsas de valores. Uma das alternativas que se apresenta, nestes casos, é o uso de métodos da computação conhecida como inteligência computacional. Este artigo analisa os acadêmicos publicados em periódicos de 2000 a 2006 que apresentam estudos empíricos aplicação de redes neurais, lógica nebulosa e algoritmos genéticos a problemas de finanças e contabilidade. Analisando-se 54 artigos, chegou-se à conclusão de que o trabalho em equipe é predominante, com apenas 13% dos artigos sendo escritos por um autor; a técnica utilizada é a rede neural artificial; e as aplicações mais pesquisadas são da área de especialmente aquelas relacionadas a bolsas de valores. Na área de contabilidade, a previsão de falências foi a aplicação mais investigada. O periódico de maior destaque é o *Intelligent in Accounting, Finance and Management*, com 15 artigos, seguido do *European Journal of Operational Research*, com 5 artigos.

PALAVRAS-CHAVE: redes neurais; algoritmos genéticos; lógica nebulosa; contabilidade.

1. INTRODUÇÃO

Redes neurais artificiais (*artificial neural networks*, ou RNAs) são algoritmos 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 são 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 “copiar” por si mesmas as características de um problema, utilizando para seu aprendizado um conjunto de exemplos cuja resposta já seja conhecida (MÜLLER e 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). A LN permaneceu praticamente desconhecida pelo grande público até o final da década de 80, quando a cidade de Sendai adotou um sistema baseado na LN – o *Automatic Train Operator*. Logo surgiram várias empresas que tinham o objetivo de desenvolver e comercializar produtos baseados nesta tecnologia. Apesar do 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 (NAGENDHARKAR, 2001) que começam com um conjunto de soluções possíveis e, através de operações especiais (avaliação, seleção, *crossover* e mutação), evoluem progressivamente o conjunto em direção a soluções mais promissoras. Assim como as redes neurais

inspiradas no funcionamento do cérebro, os algoritmos genéticos foram inspirados na seleção natural e genética (NUNEZ-LETAMENDIA, 2002). Estes algoritmos são 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 com técnicas convencionais.

Cada um dos métodos da inteligência computacional abordados neste artigo – redes neurais artificiais, lógica nebulosa e algoritmos genéticos – possui múltiplas aplicações e 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, estudo de Übeyli (2007), e precificação de derivativos financeiros, estudada por Montagna et al. (2007). 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 de falência – que são as mais comuns.

No caso das redes neurais e dos algoritmos genéticos, esta flexibilidade surge, 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 características, não podem ser definidas com exatidão.

Justamente por esta flexibilidade apresentada pela inteligência computacional, 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, 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 preferidas para cada aplicação, além de tendências emergentes, que poderão tornar-se dominantes em breve.

O objetivo geral deste artigo é analisar os artigos acadêmicos 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 janeiro de 2000 a 31 de dezembro de 2006.

Para atingir este objetivo observou-se a evolução na quantidade de artigos publicados, identificou-se e analisou-se os métodos mais utilizados nas duas áreas de estudo, quantificou-se a frequência de cada uma das combinações entre método e aplicação propostas, feita também uma análise mais detalhada dos algoritmos híbridos e de sua eficácia, e identificaram-se as revistas que mais publicaram artigos no período em questão; analisou-se o número de autores dos artigos encontrados.

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 o problema. Por isso, neste tópico serão apresentados, de maneira resumida, os conceitos básicos de cada uma destas técnicas.

2.1. 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 forma 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 graus de pertinência a um conjunto.

Os conjuntos nebulosos (*fuzzy sets*) são funções que mapeiam, em uma escala de 0 a 1, a 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 intermédios 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 aos produtos caros.

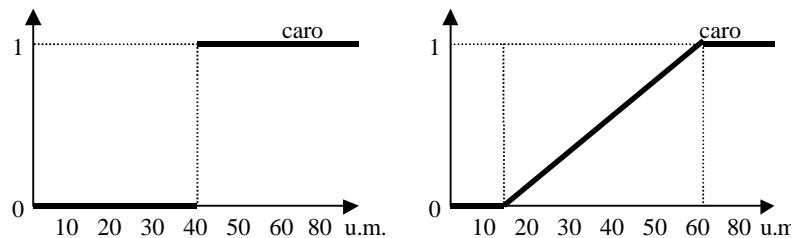


Figura 1: exemplo de conjunto clássico e conjunto nebuloso

Fonte: autores

O segundo gráfico da figura 1 mostra uma situação em que a transição entre pertencer e não pertencer ao conjunto dos produtos caros é feita de forma suave, através da lógica nebulosa. Neste caso, um produto que custa 60 u.m. é razoavelmente caro, e não simplesmente caro, como na lógica clássica. De forma análoga, um produto que custa 30 u.m. é pouco caro, com infinitas possibilidades de pertinência entre 0 e 1.

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

2.2. 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 e CHEH, 2007). Os 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” a resolver o problema. O processo de aprendizagem determina os pesos sinápticos adequados para cada conexão entre neurônios, de tal forma que a saída obtida pelos neurônios da última camada sejam as próximas possíveis das saídas desejadas para o problema que deve ser resolvido.

Na figura 2, tem-se uma rede neural de três camadas do tipo *feed-forward* chamada de *perceptron*. A camada superior é chamada de camada de entrada, com 2 variáveis; a camada inferior é a camada de saída, com 1 neurônio. As camadas intermediárias (no exemplo, apenas uma) são chamadas de camadas ocultas (*hidden layers*). Uma rede neural artificial com esta arquitetura apresentada neste exemplo poderia, por exemplo, ser treinada para a operação booleana XOR (“ou exclusivo”).

A utilidade das redes neurais deve-se à sua capacidade de “aprender” utilizando um conjunto de treinamento (exemplos), e então generalizar a partir das observações feitas. Isto faz com que as redes neurais sejam particularmente úteis em problemas que não são conhecidos com profundidade, pois elas podem inclusive lidar com conjuntos de dados que contenham distorções, ruídos ou informações irrelevantes (HWANG e LIN, 2000).

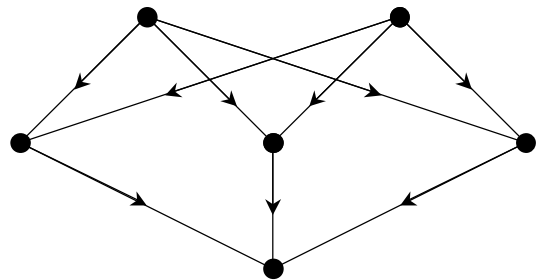


Figura 2: diagrama de uma rede neural com três camadas
Fonte: adaptado de Müller e Reinhardt (1990)

2.3 Algoritmos Genéticos

O funcionamento básico de um AG foi descrito pela primeira vez em meados de 1970, por John Holland, e suas primeiras aplicações – assim como as da lógica neural – 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 recombinação, combinam as melhores soluções, formando novas soluções que serão possivelmente melhores do que aquelas que lhes 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 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 estas soluções evoluam progressivamente em direção ao ponto A, chamado de *máximo global*. Existe a possibilidade de, eventualmente, as soluções se concentrarem no ponto B, chamado de *mínimo local*. Este risco, porém, pode ser diminuído com a adoção de estratégias que aumentem a heterogeneidade do conjunto de soluções.

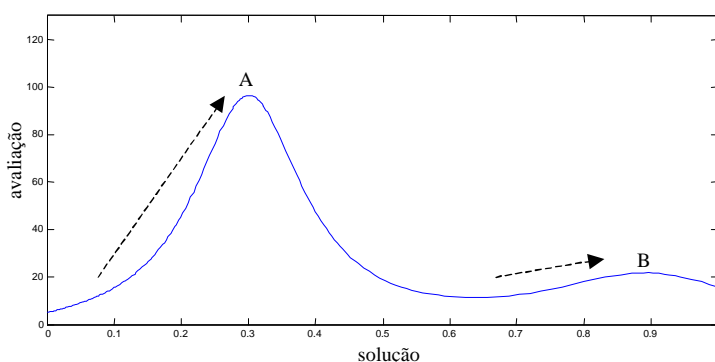


Figura 3: conjunto de soluções
Fonte: autores

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

Seu funcionamento, como explicado, faz com que os AGs sejam adequados para explorar um amplo espaço de soluções (através das amostras presentes na população inicial, geradas aleatoriamente), concentrando-se posteriormente nas áreas que mostram resultados promissores (RAFAELY e BENNELL, 2006).

3.4 Trabalhos correlatos

Foram encontrados dois estudos similares nas áreas de contabilidade e publicados no exterior. Um deles teve como objetivo examinar as tendências históricas de artigos publicados sobre redes neurais aplicadas a finanças, porém no período de 1970 a 2000.

(WONG e 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.

Foi encontrado outro trabalho correlato na área de contabilidade – mais especificamente auditoria e risco, também envolvendo RNAs, desenvolvido por Calderon e Cheh (2000). Os autores, porém, fizeram um estudo qualitativo sobre os artigos, inclusive com análise crítica de dados, variáveis e arquiteturas utilizadas e, a partir desta análise, apontaram deficiências na literatura sobre redes neurais. Uma das deficiências apontadas, que interessa a este estudo, é a ausência – até aquele momento – de propostas de modelos híbridos envolvendo algoritmos genéticos em auditoria.

3. METODOLOGIA

A metodologia foi dividida em duas partes: coleta dos artigos – envolvendo a busca em bases de dados e os locais onde os artigos serão obtidos – e análise dos artigos, relacionada à classificação dos trabalhos e preparação dos dados obtidos para posterior análise.

3.1 Metodologia de coleta dos artigos

Como um dos objetivos específicos é relacionar métodos de inteligência computacional com aplicações em negócios, as palavras-chave da busca foram divididas em dois domínios e aplicações. Os termos relacionados às técnicas – *neural*, *genetic* e *fuzzy* – pertencem ao primeiro grupo. O segundo grupo compreende as aplicações – *finance* e *accounting*.

Os elementos destes dois domínios foram agrupados em pares, e a busca foi realizada unindo-se os dois elementos de cada par através do operador booleano AND, como mostrado no quadro 1.

EXPRESSÃO DE BUSCA
<i>neural AND finance</i>
<i>neural AND accounting</i>
<i>fuzzy AND finance</i>
<i>fuzzy AND accounting</i>
<i>genetic AND finance</i>
<i>genetic AND accounting</i>

Quadro 1: expressões de busca utilizadas
Fonte: autores

Foram selecionados apenas artigos em língua inglesa que apresentassem resultados empíricos de aplicações de inteligência computacional em finanças e contabilidade. Foram excluídos trabalhos que utilizam exemplos fictícios.

A busca foi realizada em duas bases de dados disponíveis no Portal de Periódicos Capes: ScienceDirect e ProQuest. Existem outras bases de dados, como a EBSCO Host

que também possuem artigos na área de ciência da informação e tecnologia. As importantes, estas bases de dados não são objeto de estudo deste trabalho.

Na ScienceDirect, foi feita uma busca avançada no título, no *abstract* e nas chave dos artigos de 2000 a 2006, limitada aos seguintes assuntos: *business, management accounting; computer science; decision sciences; economics, econometrics and finance*. A limitação evita que a busca retorne artigos sobre neurociências ou genética, por exemplo. No ProQuest foi feita uma busca avançada abrangendo citação e resumo, entre 01/01/2000 e 31/12/2006, limitada a artigos com texto completo e publicações acadêmicas.

3.2 Metodologia de análise e classificação

Uma vez obtido o resultado da busca, procedeu-se à leitura do *abstract* (e completo, se necessário). O objetivo, neste primeiro momento, era averiguar se o artigo utilizava quaisquer das técnicas em estudo e se a aplicação proposta era nas áreas de finanças ou contabilidade. Caso afirmativo, procurou-se observar se o artigo apresentava um estudo Satisfeitas estas condições, procedeu-se à classificação.

Primeiro, cada artigo foi classificado quanto às técnicas utilizadas – rede artificial, lógica nebulosa e algoritmos genéticos. E, caso diferentes métodos de inteligência computacional fossem utilizados no mesmo modelo, este recebeu a classificação *híbrido*. Artigos que comparam métodos diferentes foram classificados em ambos os tipos, mas não como híbridos. Além disso, não foram considerados híbridos os modelos que técnicas tradicionais em conjunto com um dos métodos de inteligência computacional.

Posteriormente, os artigos foram classificados de acordo com a área a qual o artigo se relacionava – finanças ou contabilidade. Foram identificadas as aplicações específicas comuns e os trabalhos foram então classificados em uma destas aplicações. Aqueles que não se enquadravam em nenhuma destas aplicações mais comuns não receberam nenhuma classificação e foram agrupados na categoria *outros*. Vale lembrar que esta classificação, ainda mais 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
- b) *Bolsas de valores*: além da previsão do desempenho de ações de empresas individuais, engloba índices, fundos e IPOs. Artigos relacionados a *commodities* (*foreign exchange*) e derivativos não estão incluídos.

3.3 Limitações

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

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

Apesar de alguns trabalhos similares analisados na revisão teórica, estes não foram encontrados nas instituições e os países de origem dos autores, já que o objetivo proposto é analisar os métodos e aplicações mais comuns.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

O número de resultados obtidos para cada um dos seis pares de palavras-chave bases de dados, pode ser visto na tabela 1. É importante ressaltar que estes números representam artigos teóricos e de outras áreas. Além disso, vários artigos foram encontrados em ambas as bases de dados. Nenhum artigo apareceu nas duas bases de dados.

Após a seleção, isto é, excluindo-se as repetições e os artigos fora das áreas metodológicas, restaram 34 artigos na ProQuest e 20 na ScienceDirect, totalizando 54 artigos diferentes.

Tabela 1: resultados da busca

Palavra-chave	<i>Finance</i>	<i>Accounting</i>
<i>Neural</i>	52	33
<i>Fuzzy</i>	36	18
<i>Genetic</i>	21	17
Total	109	68

Fonte: dados da pesquisa

4.1 Classificação por ano

A evolução do número de artigos publicados entre 2000 e 2006 pode ser visualizada na figura 4.

Pode-se perceber que em 2003 houve uma queda no número de artigos publicados, possivelmente devido ao fato de não constar, na ProQuest, nenhum artigo publicado no *International Journal of Intelligent Systems in Accounting, Finance and Management*. 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*.

Esta análise preliminar sugere que a quantidade de artigos manteve-se bastante estável durante este período, com exceção dos anos de 2003 - pelo motivo já exposto - quando atingiu-se a quantidade máxima de 14 trabalhos publicados.

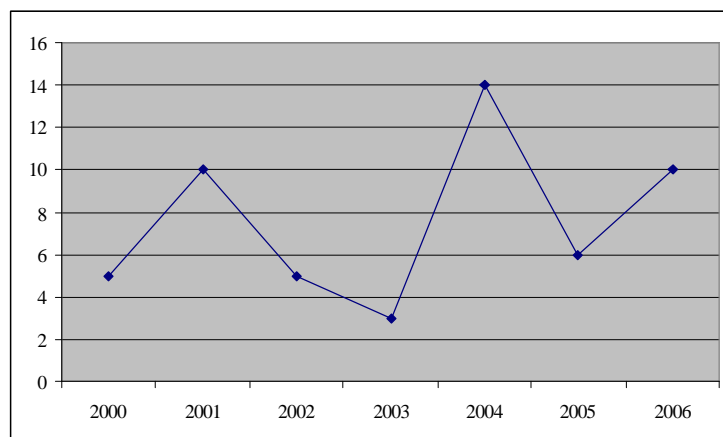


Figura 4: total de artigos publicados por ano

Fonte: dados da pesquisa

4.2 Classificação por periódico

Pode-se perceber, através da tabela 2, que o *Intelligent Systems in Accounting and Management* dominou claramente a preferência dos autores desta área. É importante ressaltar, porém, que 18 dos artigos analisados foram encontrados em periódicos que, no período estudado, apenas um artigo publicado. Isto significa que existem periódicos que, ocasionalmente, podem publicar artigos envolvendo inteligência computacional em aplicações na área de negócios.

Tabela 2: periódicos com maior frequência de artigos publicados

Periódico	Frequência
Intelligent Systems in Accounting, Finance and Management	15
European Journal of Operational Research	5
Fuzzy Sets and Systems	4
Managerial Finance	4
American Business Review	2
Expert Systems with Application	2
Omega	2
Review of Quantitative Finance and Accounting	2
Outros	18
Total	54

Fonte: dados da pesquisa

Como exemplo disso, tem-se um que trata de precificação de derivativos através de redes neurais, publicado em uma revista da área de física (MONTAGNA et al, 2003). Esta categoria

sugere a hipótese de que a aplicação de inteligência computacional em finanças e com tem caráter multidisciplinar.

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, como pode ser compreendido da tabela 3, a maioria dos artigos analisados (68,52%) são de finanças.

Tabela 3: aplicações

Aplicação	Frequência
Finanças	36
Contabilidade	18
Total	54

Fonte: dados da pesquisa

Os artigos selecionados também podem ser classificados de acordo com suas aplicações específicas, como mostra a tabela 4.

Tabela 4: aplicação específicas mais comuns

Aplicação	Frequência
Bolsa de valores	11
Falências	9
Análise de crédito	5
Juros	5
Derivativos	4
Forex	4
Gestão de carteira	4
Commodities	2
Outros	10
Total	54

Fonte: dados da pesquisa

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 54 artigos analisados. Os dados obtidos foram organizados na tabela 5.

Tabela 5: técnicas utilizadas em finanças e contabilidade

Método	Finanças	Contabilidade	Total
RNA	25	11	36
LN	10	8	18
AG	8	3	11
Híbridos	5	4	9

Fonte: dados da pesquisa

Observando-se esta tabela, constata-se que as redes neurais artificiais são o método mais utilizado, correspondendo a 66,67% dos artigos analisados; e que os algoritmos híbridos são menos frequentes, com apenas 16,67%.

A preferência pelas redes neurais é um pouco mais acentuada na área de finanças, 69,44% dos trabalhos utilizam-nas. Na área de contabilidade, este percentual é de 61,11%. Na lógica nebulosa, a situação inverte-se: esta técnica está presente em 27,78% dos trabalhos de finanças e em 44,44% dos trabalhos da área de contabilidade.

Apesar dos algoritmos híbridos serem bastante raros, sua presença é mais comum nos trabalhos de contabilidade, estando presentes em 22,22% 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 6. Neste caso, os trabalhos que utilizam mais de um método são classificados exclusivamente como híbridos. São as aplicações mais comuns: bolsas de valores e previsão de falências.

Tabela 6: técnicas utilizadas nas aplicações mais comuns

Técnica	Neural	Fuzzy	Genetic	Hybrid	Total
Bolsas de valores	8	2	-	1	11
Falências	4	-	2	3	9
Total	12	2	3	4	21

Fonte: dados da pesquisa

Percebeu-se que os artigos sobre bolsas de valores privilegiam as redes neurais, que são utilizadas em 72,73% dos trabalhos (tabela 6). Isto pode ser explicado pelo fato de que artigos nesta área desenvolverem modelos para prever cotações – e as redes neurais são muito boas na detecção de padrões.

Nos estudos sobre previsão de falências, as redes neurais também são maioria, mas a presença é menor (44,44%) e os híbridos passam a ser uma opção bastante utilizada. Nos artigos que usam modelos híbridos, dois utilizam uma combinação entre redes neurais e lógica nebulosa; o terceiro utiliza redes neurais combinadas com algoritmos genéticos.

4.3.1 Modelos híbridos

Isolando os artigos que fazem uso de modelos híbridos e verificando as correlações possíveis entre as três técnicas de inteligência computacional aqui abordadas, chegou-se a 7.

A predominância do uso de redes neurais artificiais associadas a algoritmos genéticos pode ser explicada pelo uso dos algoritmos genéticos no treinamento das redes – problema estudado por Davis, Episcopo e Wettimuny (2001) – ou pelo uso dos AGs para ajustar as redes que mudem seus parâmetros arquiteturais (número de camadas ocultas, por exemplo) de acordo com o problema – como fizeram Nag e Mitra (2002).

Tabela 7: combinações de técnicas mais comuns

Tipo	Frequência
RNA e AG	4
RNA e LN	3
LN e AG	1
RNA, LN e AG	1
Total	9

Fonte: dados da pesquisa

A segunda combinação mais comum é entre redes neurais artificiais e lógica. Uma das maneiras de realizar esta combinação, encontrada neste estudo, é utilizar a rede para treinar as regras de inferência do modelo nebuloso – é o chamado ANFIS (*Adaptive Fuzzy Inference System*). Esta integração foi realizada, com bons resultados, em conjunto com (HWANG e LIN, 2000).

A figura 5 mostra a evolução do número de artigos que utilizam algoritmos híbridos. Pode-se perceber que não há uma tendência perceptível; o número oscilou entre nenhum e três artigos anuais.

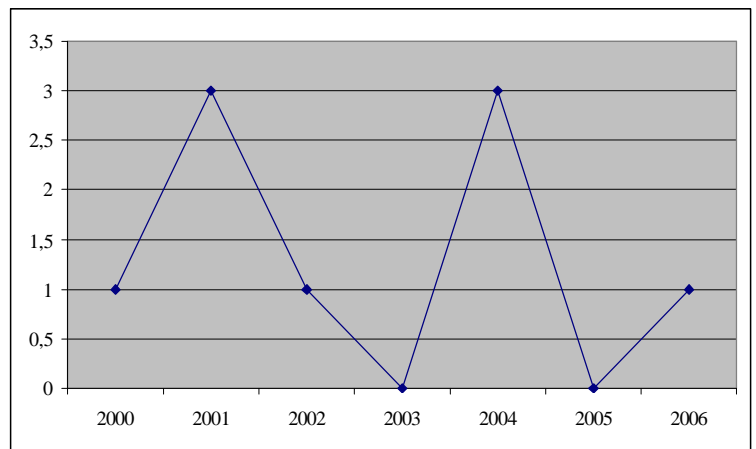


Figura 5: evolução da quantidade de algoritmos híbridos

Fonte: dados da pesquisa

Apesar disso, vale observar que Calderon e Cheh (2002), em estudo correlacionado, encontraram nenhum artigo na área de auditoria que utilizasse um modelo híbrido que fosse de redes neurais e algoritmos genéticos. Neste trabalho, porém, foi encontrado um artigo que sustentaria a hipótese de haver um interesse recente pelo uso destes algoritmos híbridos, especialmente em contabilidade. O artigo em questão trata da previsão de falências, analisando o desempenho de redes neurais baseadas em algoritmos genéticos (ANANDARAJAN e ANANDARAJAN, 2001).

4.4 Classificação por número de autores por artigo

Detectou-se a clara predominância de artigos escritos por mais de um a correspondem a 87% dos trabalhos analisados (figura 6). Há, portanto, uma preferência trabalho em equipe.

Esta característica dos artigos encontrados poderia ser explicada pelo fato da aplicação da inteligência computacional a problemas de finanças e contabilidade exigir conhecimentos em áreas diferentes – Computação, Administração e Contabilidade, entre outras. A confirmação desta hipótese, porém, exigiria um estudo detalhado sobre as qualificações dos autores.

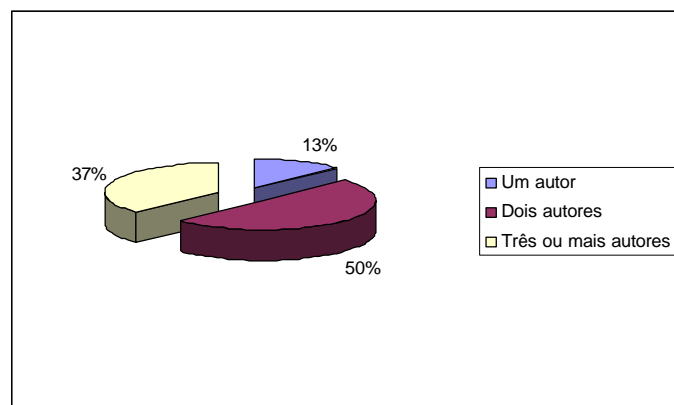


Figura 6: número de autores por artigo

Fonte: dados da pesquisa

5. CONCLUSÃO

Apesar de ser possível observar as preferências dos pesquisadores que se dedicam a este tipo de problema, não foi possível observar uma tendência quanto ao número de artigos publicados ao longo destes seis anos – seja ela ascendente ou descendente. O mesmo vale para o número de artigos sobre algoritmos híbridos. Como foi explicado no tópico das limitações metodológicas, existem vários artigos anteriores a 2000. O documento mais antigo encontrado na ProQuest para *neural AND finance* data de 1992 – trata-se de um artigo sobre o uso de redes neurais na análise de crédito (JENSEN, 1992). Uma busca por *accounting AND fuzzy* revela um artigo ainda mais antigo, sobre auditoria interna (COOLEY e HICK, 1985). Percebe-se claramente que o início desta produção intelectual não é muito recente.

Um trabalho que analisasse esta evolução a longo prazo poderia detectar uma grande quantidade de trabalhos publicados e perceber quais os problemas e métodos que vêm perdendo o interesse da comunidade acadêmica.

Pode-se observar uma predominância de estudos envolvendo finanças e rede. 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, de *commodities*, *forex*, gestão de carteira e juros, chega-se a 30 artigos, o que corresponde metade do total de 54 artigos analisados. Artigos que procuraram prever falências e inteligência computacional representaram o segundo grupo de maior expressão.

O elevado percentual de artigos escritos por mais de um autor poderia ser investigado com profundidade para descobrir sua causa. Um novo estudo poderia analisar as titulações destes artigos, classificando-as por área e buscando perceber se realmente verifica complementaridade de formações acadêmicas sugerida por estes dados. Outros estudos poderiam evidenciar qualitativamente as principais descobertas e contribuições de cada ferramenta utilizada. Finalmente, vale ressaltar que essas ferramentas (LN, RNA, ANNs) são aplicadas de diversas maneiras em um amplo e complexo conjunto de problemas. Apesar da incipiente aplicação na área de negócios, alguns estudos já demonstram resultados promissores.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGARWAL, Anurag; DAVIS, Jefferson T.; WARD, Terry. Supporting ordinal classification decisions using neural networks. **Information Technology and Management Science**, v. 2, n. 1, p. 5, jan. 2001.

ANANDARAJAN, Murugan; LEE, Picheng; ANANDARAJAN, Asokan. Bankruptcy prediction of financially stressed firms: an examination of the predictive accuracy of artificial neural networks. **International Journal of Intelligent Systems in Accounting, Finance and Management**, v. 10, n. 2, p. 69, jun. 2001.

CALDERON, Thomas G.; CHEH, John J. A roadmap for future neural networks research in auditing and risk assessment. **International Journal of Accounting Information Systems**, v. 4, p. 203-236, dez. 2002.

COOLEY, John W.; HICKS, James O., Jr. **Management Science**, v. 29, n. 3, p. 317, mar. 1983.

COX, Earl. **The fuzzy systems handbook : a practitioner's guide to building, using and maintaining fuzzy systems**. 2. ed. San Diego: AP Professional, 1998.

DAVIS, Jefferson T.; EPISCOPOS, Athanasios; WETTIMUNY, Sannaka. Predicting exchange rate shifts on Canadian-US exchange rates with artificial neural networks. **International Journal of Intelligent Systems in Accounting, Finance and Management**, v. 10, n. 2, p. 83, jun. 2001.

GRINT, Keith. **Fuzzy management: contemporary ideas and practices at work**. New York: Oxford, 1997.

HWANG, Mark I.; LIN, Jerry W. Neural fuzzy systems: A tutorial and an application. **Journal of Computer Information Systems**, v. 40, n. 4, p. 27, 2000.

JENSEN, Herbert L. Using neural networks for credit scoring. **Managerial Finance**, v. 18, p. 15, 1992.

MONTAGNA, Guido et al. Pricing derivatives by path integral and neural networks. **P** v. 324, p. 189-195, 2003.

MÜLLER, B.; REINHARDT, J. **Neural networks**: an introduction. Berlin: Springer, 1990.

NAG, Ashok K.; MITRA, Amit. Forecasting daily foreign exchange rates using genetic optimized neural networks. **Journal of Forecasting**, Chichester, v. 21, n. 7, p. 501, nov. 2002.

NANDA, Sudhir; PENDHARKAR, Parag. Linear models for minimizing misclassification in bankruptcy prediction. **International Journal of Intelligent Systems in Accounting and Management**, v. 10, n. 3, p. 155, 2001.

NUNEZ-LETAMENDIA, Laura. Trading systems designed by genetic algorithms. **Managerial Finance**, Patrington, v. 28, n. 8, p. 87, 2002.

RAFAELY, B.; BENNELL, J. A. Optimisation of FTSE 100 tracker funds; A comparison of genetic algorithms and quadratic programming. **Managerial Finance**, Patrington, v. 32, p. 477, 2006.

ÜBEYLI, Elif D. Implementing automated diagnostic systems for breast cancer. **Expert Systems with Applications**, v. 33, n. 4, p. 1054-1062, nov. 2007.

WONG, Bo K.; SELVI, Yakup. Neural network applications in finance: A review and a literature (1990-1996). **Information & Management**, v. 34, n. 3, p. 129-139, out. 1998.