

REDES NEURAS APLICADAS AO MERCADO DE DERIVATIVOS: AVALIAÇÃO E GERENCIAMENTO DE RISCOS

Leandro dos Santos Maciel, Rosângela Ballini

DEPARTAMENTO DE TEORIA ECONÔMICA

INSTITUTO DE ECONOMIA – UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

E-mails: leandro_macieli@hotmail.com, ballini@eco.unicamp.br

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq

Palavras-Chave: Redes Neurais Artificiais, Apreçamento de Opções, Modelo de Black.



INTRODUÇÃO

A precificação de opções é um elemento muito importante para a avaliação dos riscos de um determinado investimento, devido a marcação da carteira a mercado (para opções pouco líquidas), ao mapeamento da posição em fatores de risco, ao cálculo de perdas em *stress*, e em simulações de Monte Carlo por *full valuation*. Na tentativa de superar as limitações dos modelos de precificação mais tradicionais, técnicas baseadas em redes neurais artificiais (RNAs) vêm sendo empregadas para avaliação dos contratos de opções (Freitas e Souza, 2002). Diante deste contexto, este trabalho teve o objetivo de aplicar um modelo de rede neural multi-camadas, com algoritmo *backpropagation* para ajuste dos parâmetros, para valoração das opções de compra de taxa de câmbio R\$/US\$, negociadas na Bolsa de Valores, Mercadorias & Futuros – BM&FBOVESPA, no período de 2004 a 2007. A fim de avaliar tal modelo, as opções também foram apreçadas pelo modelo de Black, metodologia utilizada pelos agentes no mercado brasileiro para opções sobre moeda estrangeira. Os resultados foram comparados com os prêmios observados no mercado.

METODOLOGIA

A base de dados deste trabalho correspondeu aos preços de fechamento das opções europeias de compra de taxa de câmbio R\$/US\$, negociadas na BM&FBOVESPA, para diferentes prazos e preços de exercício, no período de 02/01/2004 a 31/12/2007 – total de 1.001 dias de negócios e 4.642 observações.

MODELO DE BLACK (1976). VOLATILIDADE E TAXA DE JURO LIVRE DE RISCO

O modelo aplicado como *benchmark* neste trabalho foi o desenvolvido por Black (1976). Neste modelo as fórmulas analíticas permitem a avaliação de opções sobre contratos futuros, mas também são utilizadas para opções sobre taxas cambiais:

$$c = [F \cdot N(d_1) - X \cdot N(d_2)] \cdot e^{-rT}$$

$$p = [X \cdot N(-d_2) - F \cdot N(-d_1)] \cdot e^{-rT}$$

em que:

$$d_1 = \frac{\ln(F/X) + \sigma^2 \cdot T/2}{\sigma \cdot T} \quad \text{e} \quad d_2 = d_1 - \sigma \cdot \sqrt{T}$$

sendo, c o preço da *call*, p o preço da *put*, F o preço futuro do ativo subjacente à opção; X o preço de exercício; T o prazo de vencimento, em anos (base 252 dias úteis); σ a volatilidade do ativo objeto (ao ano); r a taxa de juro de curto prazo livre de risco (ao ano e capitalizada continuamente); $N(\cdot)$ a função de probabilidade Normal cumulativa.

A estimação da volatilidade do preço futuro do dólar foi calculada com base em um processo GARCH (1,1), em que a variância condicional do termo errático depende do termo de erro quadrático e da variância condicional, definidos no instante anterior, $t-1$:

$$\sigma_t^2 = \alpha_0 + \alpha_1 \mu_{t-1}^2 + \alpha_2 \sigma_{t-1}^2$$

Quanto ao cômputo da taxa de juros, adotou-se a metodologia de interpolação por *splines* cúbicos. Trata-se de uma metodologia que busca estimar a curva de juro a partir de preços observados de ativos negociados em função de suas respectivas maturidades e de informações *a priori* sobre a natureza da curva de juros. Dessa forma, com base nas taxas implícitas dos títulos públicos pré-fixados, fornecidos pela ANDIMA, a estrutura a termo da taxa de juro foi construída com base na seguinte equação polinomial cúbica:

$$P_j(x) = a_{0,j} + a_{1,j} \cdot x + a_{2,j} \cdot x^2 + a_{3,j} \cdot x^3$$

em que x corresponde a determinada maturidade referente a taxa implícita.

MODELO DE REDE NEURAL

Construiu-se um modelo de apreçamento para as opções de compra de dólar no Brasil pelo método de redes neurais com base nas principais variáveis que influenciam o preço desse ativo: o preço futuro do dólar no mercado (F), o preço de exercício da opção (X), o tempo para o vencimento da opção (T), a volatilidade do preço do dólar (σ) e a taxa de juro livre de risco (r). Os dados foram os mesmos aos aplicados para apreçamento por meio do modelo de Black, sendo a volatilidade estimada por um processo GARCH (1,1) e a taxa de juro livre de risco obtida pelo método de interpolação via *splines* cúbicos. A Figura 1 apresenta este modelo de rede neural:

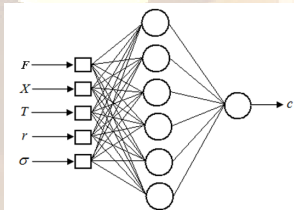


Figura 1 – Modelo de Rede Neural Para Apreçamento das Opções de Compra de Dólar

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta os resultados dos valores das métricas do Erro Percentual Médio (EPM), Máximo Erro Percentual (MEP) e Raiz do Erro Quadrático Relativo Médio (EQRM) utilizadas neste trabalho para os modelos teóricos avaliados, assim como o coeficiente de determinação da regressão dos preços do mercado sobre os preços teóricos.

Tabela 1. Aderência dos preços calculados pelos modelos Black e de Redes Neurais

Modelos	Métricas de erro			
	EPM	MEP	EQRM	R ²
RNA	1,3561	3,6340	0,4563	0,8241
Black	2,0946	4,9129	2,2280	0,6998

Fonte: resultados da pesquisa

Por meio da avaliação dos erros obtidos, ao se observar os resultados da Tabela 1, pode-se verificar que o modelo de redes neurais apresentou preços teóricos mais próximos aos preços de mercado, explicando o baixo EPM, MEP e EQRM, em comparação ao modelo de Black. Além disso, o baixo desempenho do modelo de Black foi observado em toda a amostra de dados.

A Tabela 2 apresenta os resultados das métricas de erro de acordo com o grau de *moneyness* das opções.

Tabela 2. Aderência dos preços calculados pelos modelos Black e Redes Neurais de acordo com o grau de *moneyness*.

Modelos	Out-of-the-money			At-the-Money			In-the-money		
	EPM	MEP	EQRM	EPM	MEP	EQRM	EPM	MEP	EQRM
RNA	1,51	3,21	0,52	1,24	3,27	0,44	1,07	2,48	0,38
Black	2,33	5,09	2,64	1,89	4,74	2,09	1,66	4,12	1,89

Fonte: resultados da pesquisa

Observa-se que tanto o modelo de Black quanto o de rede neural foram mais acurados no apreçamento das opções *in-the-money*. Os maiores níveis de erro foram verificados nas opções *out-of-the-money*, principalmente para o modelo de Black.

No Gráfico 1, como forma de ilustrar o fato acima citado, foi analisada a evolução dos prêmios de mercado e dos prêmios teóricos de uma série fora do dinheiro com alta liquidez – *strike* de R\$ 2.000 e vencimento em janeiro de 2008. É possível observar o bom desempenho obtido pelo modelo de redes neurais para a avaliação das opções estudadas.

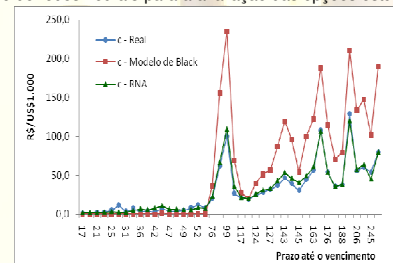


Gráfico 1 - Modelos de Apreçamento para Opções *out-of-the-money*

CONCLUSÕES

Os resultados mostraram que os preços das opções de compra de dólar comercializadas no mercado brasileiro são obtidos mais acuradamente por meio do modelo proposto de rede neural. Os valores relativamente baixos das métricas de erro permitiram inferir a superioridade do modelo em comparação aos resultados da fórmula analítica de Black.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BLACK, F. The pricing of commodity contracts. *Journal of Financial Economics*, v.3, p.167-179, 1976.
- FREITAS, S. O.; SOUZA, A. A. Utilização de redes neurais na precificação de opções. *Resenha BM&F*, n.150, p. 63-73, 2002.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo auxílio.