

O EFEITO “SORRISO” DA VOLATILIDADE IMPLÍCITA DO MODELO DE BLACK E SCHOLES: Estudo Empírico sobre as Opções Telebrás PN no ano de 1998

Cláudio Santoro Lanari
Antônio Artur de Souza
NUFI/CEPEAD/UFMG

E-MAIL: cslanari@hotmail.com, cslanari@hotmail.com

Resumo

O efeito sorriso decorre da observação empírica de que a volatilidade implícita de opções com mesmo prazo para vencimento, e diferentes preços de exercício, varia, gerando uma curva em forma de U. Podem ser encontradas evidências do efeito sorriso em Heynen et al. (1994), Taylor e Xu (1994), Duque e Paxon (1994), Gemmill (1996), Dumas et al. (1998) e Duque e Viana (1999), entre outros. Existem poucos artigos reportando o efeito sorriso no mercado de capitais brasileiro. Exemplos desses artigos são Duarte Jr. et al. (1996) e Adler et al. (1999). O presente artigo investigou o efeito sorriso das opções Telebrás PN em 1998. Os resultados mostram um sorriso mais acentuado quando comparado aos resultados obtidos por Viana (1998) para opções londrinas. Esses resultados sugerem que os desvios empíricos em relação ao modelo de Black & Scholes (1973) são mais acentuados num contexto de elevada volatilidade.

Palavras chaves: efeito sorriso, volatilidade implícita, modelo de Black & Scholes.

Abstract

The smile effect is an empirical observation that the implied volatility of options with the same expiration date, across different exercise prices, varies, describing an U-shape form. It can be found evidences from smiles in Heynen et al. (1994), Taylor and Xu (1994), Duque and Paxon (1994), Gemmill (1996), Dumas et al. (1998) and Duque and Viana (1999). There are few papers reporting the smile effect in Brazil's capital market. Examples of such papers are Duarte Jr. et al. (1996) and Adler et al. (1999). This paper investigated the presence of the smile effect on the most active Brazilian options traded in 1998, the Telebrás PN options. The results show that the Brazilian options have a more intense smile effect when compared to the Viana (1998) results. These results suggest that the empirical deviations from the Black & Scholes (1973) option pricing model are accentuated in more volatile markets.

Keywords: smile effect, implicit volatility, Black & Scholes model.

1. Introdução

Nosso trabalho foi inspirado no artigo desenvolvido por Duque e Viana (1999) e, portanto, segue a mesma estrutura. Primeiramente, foi realizada uma revisão bibliográfica da literatura existente a respeito do efeito *sorriso*, bem como das relações que podem existir entre esse efeito e a volatilidade do ativo subjacente à opção, ou o prazo para o vencimento da opção. Na seqüência, são apresentadas a metodologia e a base de dados utilizadas para o desenvolvimento da nossa análise. Finalmente, são apresentados os resultados empíricos e as conclusões.

2. Revisão Bibliográfica

O modelo de Black e Scholes (1973) (B&S) considera que o preço de uma ação segue um movimento Browniano com volatilidade constante. Podemos calcular a volatilidade implícita de determinado

modelo de avaliação de opções resolvendo sua equação em termos da volatilidade, a partir das cotações das opções no mercado. Assim, se partirmos das cotações das opções Telebrás PN e resolvemos a equação de B&S tendo como incógnita a sua volatilidade, determinamos a volatilidade implícita (VI) desse modelo. Quando utilizamos B&S para calcular a VI de uma série opções de mesmo prazo de vencimento, verificamos que, ao contrário do pressuposto de B&S, os valores de VI não são constantes, mas variam em função do preço de exercício das opções. Quando os diversos valores de VI são representados na ordenada de um gráfico tendo como abcissa o grau de *moneyness*ⁱ da opção, verifica-se que, geralmente, as opções *at-the-money*ⁱⁱ têm menores valores de VI do que as opções *in-the-money*ⁱⁱⁱ e *out-of-the-money*^{iv}. Isso faz com que essa curva tenha um formato de U, e seja conhecida como efeito *sorriso*. Essa diferença entre a premissa do modelo de B&S e as cotações das opções nos mercados de capitais indicam que existem desvios empíricos em relação a esse modelo.

As evidências da existência de desvios empíricos na avaliação de opções utilizando B&S foram apresentadas em diversas publicações, a começar pelos próprios autores do modelo, no seu artigo comparando as cotações do mercado de *warrants* e os preços resultantes da aplicação de B&S (Black e Scholes (1972)). Muitos outros trabalhos relataram a existência de *sorrisos* na avaliação de opções utilizando B&S, como por exemplo Macbeth e Merville (1979), Rubinstein (1985), Clewlow e Xu (1993), Duque (1994), Dumas *et al.* (1998) e Duque e Viana (1999).

Apesar de existirem diversos artigos relacionados ao efeito *sorriso* ao redor do mundo, encontramos poucos trabalhos sobre esse efeito no contexto brasileiro. Barreto e Baidya (1987) investigaram os desvios de B&S na avaliação de opções da Companhia Vale do Rio Doce comercializadas na Bolsa de Valores do Rio de Janeiro em 1986, e concluíram que B&S sub-avalia (super-avalia) opções *out-of-the-money* (*in-the-money*). Duarte Jr. *et al.* (1996) mostraram um gráfico do efeito *sorriso* na negociação das opções de maior liquidez na Bovespa na época do seu estudo, as opções de compra Telebrás PN, em um dia de cotação. Adler *et al.* (1999) mostraram um gráfico do efeito *sorriso* dessas mesmas opções em cinco dias de cotação do mês de março de 1999. Detectamos, portanto, uma ausência de pesquisas que buscassem investigar o efeito *sorriso* no mercado de capitais brasileiro durante um período de tempo mais longo, que pudesse trazer maior representatividade aos resultados encontrados.

Diversos motivos são sugeridos para explicar os desvios empíricos dos modelos de avaliação de opções. Tais motivos incluem, por exemplo, custos de transação (Latané e Rendleman (1976) e Schmalensee e Trippi (1978)), cotações de ações/opções não simultâneas (Chiras e Manaster (1978) e Day e Lewis (1988)), *fobia* de *crash* (Gemmill (1996), Jacwerth e Rubinstein (1996), Gemmill e Kumyama (1997) e Dumas *et al.* (1998)), liquidez (Dennis e Mayhew (1999)), entre outros. De fato, parece que não há um consenso quanto a uma razão preponderante que explique a existência dos desvios empíricos em relação aos modelos de avaliação de opções.

Muitos autores desenvolveram modelos de avaliação de opções que modificam as premissas de B&S na tentativa de reduzir os desvios empíricos desse modelo. Utilizando a classificação desenvolvida por Bakshi *et al.* (1997), esses modelos podem ser enumerados como: modelos de taxa de juros estocásticas; modelos de saltos puros/difusão por saltos; modelos de elasticidade constante da volatilidade; modelos Markovianos; modelos de volatilidade estocástica; modelos de volatilidade e taxa de juros estocásticas e modelos de salto da volatilidade estocástica. Bakshi *et al.* (1997) testaram os modelos que modificam as premissas de B&S, concluindo que a modificação de primeira ordem para reduzir os desvios empíricos de B&S deve ser a consideração de volatilidade estocástica. Eles concluíram, entretanto, que nenhum dos modelos analisados consegue eliminar totalmente os desvios empíricos na avaliação de opções.

O efeito *sorriso* de B&S relaciona-se à não observância das premissas desse modelo na avaliação de opções, e muitos autores têm desenvolvido modelos para equacionar esses desvios empíricos. Conforme enunciado por Duque e Viana (1999),

“Quando discutiram o modelo para avaliação de opções assumindo que os retornos dos preços das ações e a volatilidade possuem movimento geométrico, Hull e White (1987) descobriram que os preços obtidos teoricamente seria geralmente diferentes da [...] solução [do modelo de B&S].” (Duque e Viana, 1999: 4. Tradução, do original em inglês, pelos autores do artigo).

O desvio empírico de B&S pode ser influenciado por diversos fatores, como por exemplo o tempo para vencimento das opções e a correlação entre o retorno ativo subjacente à opção (ou ativo objeto) e

a volatilidade instantânea do preço do ativo subjacente à opção. Duque e Viana (1999), baseados no artigo de Hull e White (1988, *apud* Duque and Viana, 1999), mostram que o desvio empírico de B&S para avaliação de opções de compra européias pode ser aproximado pela seguinte equação:

$$B(\xi) \approx C(\bar{\sigma}^2) - C(\sigma_t^2) + \frac{\rho}{b^2 \delta} [(a + b \sigma^2)(1 - e^\delta + \delta e^\delta) + a(1 + \delta - e^\delta)] \xi \left(\frac{-N'(d_1)d_2}{2\bar{\sigma}^2} \right) \xi \quad (1)$$

A equação 1 relaciona diversas variáveis e parâmetros que afetam os desvios empíricos de B&S. Tais desvios podem variar de acordo com a correlação entre os processos estocásticos do retorno ativo subjacente à opção e a volatilidade instantânea do preço do ativo subjacente à opção (ρ), com o tempo para vencimento da opção ($T - t$), com a volatilidade instantânea (σ_t) e com o preço de exercício (X).

Duque e Viana (1999) mostram uma tabela onde é possível verificar que, de acordo com a equação 1, devemos esperar um aumento na magnitude do efeito *sorriso* à medida que o vencimento da opção se aproxima, e um decréscimo na magnitude do *sorriso* à medida que a volatilidade do ativo subjacente aumenta. Seus resultados empíricos sobre opções londrinas, contudo, não confirmam essa previsão inteiramente. Eles descobriram que, para as opções londrinas analisadas, o efeito *sorriso* aumentava em magnitude à medida que o vencimento das opções se aproximava e, também, com o aumento da volatilidade (medida através da volatilidade implícita de opções *at-the-money*). Esses resultados não confirmam inteiramente as previsões da equação 1 e sugerem que parte do efeito *sorriso* pode ser explicada pela combinação entre a proximidade do vencimento das opções e aumento da volatilidade implícita das opções.

O presente trabalho investigou a presença do efeito *sorriso* na negociação das opções de compra de maior liquidez no mercado de capitais brasileiro em 1998, as opções Telebrás PN, comparando os resultados obtidos com aqueles encontrados por Duque e Viana (1999) ao analisarem uma amostra de opções representativa do mercado de capitais de Londres. Também investigamos as relações existentes entre o tempo para expiração das opções, a volatilidade e o efeito *sorriso* no contexto brasileiro. Apesar de nossa amostra não ser diretamente comparável à amostra de *Duque e Viana* (devido ao fato de eles terem analisado 9 opções representativas do mercado londrino em 1990-91, e nós, a opção mais negociada no mercado brasileiro em 1998), essa comparação pode sugerir algumas conclusões. Investigamos duas hipóteses básicas. Em primeiro lugar, de acordo com Clewlow e Xu (1993), Heynen *et al.* (1994) e Viana (1998), supusemos que o efeito *sorriso* das opções Telebrás PN aumentava à medida que o vencimento das opções se aproximava. Em segundo lugar, supusemos que a elevada volatilidade do mercado de capitais brasileiro^v afetava o efeito *sorriso* de alguma maneira. Tais hipóteses são testadas e discutidas ao longo do trabalho, e serão abordadas adiante em maior detalhe.

3. Dados

O banco de dados analisado consiste de cotações de fechamento das opções de compra Telebrás PN entre janeiro e dezembro de 1998, obtidas na Bovespa. Essas opções foram as mais negociadas na Bovespa em 1998. Segundo Andrezo e Lima (1999), em 1998

“A Telebrás era o papel mais líquido da BOVESPA [...] resultando numa liquidez diária de US\$ 300 milhões. [...] Seu ADR nível 2^{vi} foi a ação estrangeira mais negociada na Bolsa de Valores de Nova York, com um volume de US\$ 21,70 bilhões, seguida pela *Royal Dutch Petroleum Co.*, com US\$ 6,82 bilhões. Assim, a privatização da Telebrás atraiu grandes investidores de todo o mundo, interessados na perspectiva de crescimento da empresa, devido à demanda reprimida existente no mercado [brasileiro de telecomunicações].” (Andrezo e Lima, 1999: 309-10).

O ano de 1998 parece ser interessante para análise porque em julho desse ano a Telebrás foi privatizada, o que pode ter gerado uma volatilidade ainda maior na negociação de suas opções devido à expectativa em relação ao valor das ações Telebrás PN após sua privatização.

Os dados foram selecionados considerando no mínimo 5 cotações diárias de opções Telebrás PN e uma amplitude de volatilidade implícita de 0,01 a 5,0, o que resultou numa amostra de 2.082 dados de cotação diária. Devido a esses critérios, foram excluídas da análise 55 cotações diárias, por terem apresentado valores de volatilidade implícita exorbitantes, constituindo-se em flagrantes *outliers*.

Os dividendos das ações Telebrás PN, correspondentes aos exercícios de 1990 a 1997, foram distribuídos no dia 29/05/98, totalizando R\$9,695882, de acordo com decisão da Assembléia Geral Extraordinária de 14/04/98 (Economática, 1999). Observa-se que praticamente não há alteração no preço da ação Telebrás PN devido ao ajuste aos dividendos anunciados em 14/04/99, antes de 20/04/99, data de vencimento das opções de abril. Por esse motivo, optou-se por não incluir os

dividendos nos cálculos relativos às opções Telebrás PN com vencimento em abril. Para os contratos com vencimento em junho, subtraiu-se do preço da ação à vista o valor atual dos dividendos, descontado à taxa DI futura de 252 dias (em base contínua).

A taxa de juros utilizada como *proxy* para a taxa livre de risco no nosso trabalho foi a de depósito interbancário (DI) futuro de um dia, projetada para um ano (252 dias). Essa escolha se justifica, em parte, pela facilidade de obtenção dessa taxa de juros a partir da base de dados Econômica (1999). Ademais, a escolha de uma taxa futura de um dia, em detrimento de outra cujo prazo seja mais próximo da maturidade das opções analisadas, não acarreta erros significativos. Isso se deve ao fato de que a derivada do preço da opção de B&S em relação à taxa de juros (ρ), não apresenta valores elevados. Soma-se a esse fato a curta duração das opções analisadas (no máximo 48 dias de negociação), o que certamente também minimiza algum eventual erro.

Foram analisadas 2.082 cotações diárias das opções Telebrás PN no ano de 1998, o que resultou em 235 medidas de volatilidade implícita interpolada para opções *out-of-the-money* e 234 medidas de volatilidade implícita interpolada para opções *in* e *at-the-money*, o que gerou 234 *sorrisos* completos. A metodologia para o cálculo dessas volatilidades interpoladas será comentada a seguir.

4. Metodologia

Definimos as opções *at-the-money* como sendo aquelas que possuem um grau de *moneyness* igual a 1, e as opções *in* e *out-of-the-money* como sendo aquelas que possuem um grau de *moneyness* de 0,94 e 1,06, respectivamente. Esse intervalo para definição das classes de opções é idêntico ao adotado por Duque e Viana (1999) e o triplo do proposto por Gemmill (1996). Podem ser feitos questionamentos quanto à adoção de uma faixa de amplitude de *moneyness* idêntica à adotada para a análise de opções londrinas, que são negociadas em um mercado de menor volatilidade que o mercado brasileiro. Nosso objetivo ao optar por essa mesma amplitude de *moneyness* foi poder fazer uma comparação com os resultados encontrados por Viana (1998), o que justifica, mas não valida totalmente, nossa escolha. Considerando que, na maioria das vezes, as opções não apresentam um grau de *moneyness* exatamente igual aos valores utilizados para classificar as opções (0,94, 1,0 e 1,6), foi necessário interpolar os dados disponíveis. Para tanto, utilizamos a técnica de *B-splines*^{vii}. Com o objetivo de medir a magnitude do efeito sorriso, definimos U_{in} , U_{at} , U_{out} e U_G através das equações mostradas a seguir:

$$U_{in} = \left| \hat{\sigma}_{imp}(1,06) - \hat{\sigma}_{imp}(1,00) \right| \quad (2)$$

$$U_{out} = \left| \hat{\sigma}_{imp}(0,94) - \hat{\sigma}_{imp}(1,00) \right| \quad (3)$$

$$U_{at} = \left| \frac{\hat{\sigma}_{imp}(1,06) + \hat{\sigma}_{imp}(0,94)}{2} - \hat{\sigma}_{imp}(1,00) \right| \quad (4)$$

$$U_G = \frac{\hat{\sigma}_{imp}(1,06) - \hat{\sigma}_{imp}(0,94)}{\hat{\sigma}_{imp}(1,06)} \times 100 \quad (5)$$

As equações 2 e 3 calculam as magnitudes do *sorriso* definidas por Duque e Viana (1999) como sendo *medidas reduzidas da magnitude do sorriso* porque consideram apenas um lado do *sorriso*. As equações 4 e 5 levam em consideração ambos os lados do *sorriso*, e são definidas por Duque e Viana (1999) como sendo *medidas completas da magnitude do sorriso*.

O valor de U_{at} (equação 4) mede a *profundidade* do efeito *sorriso*. Se o seu valor absoluto é maior do que o valor absoluto da diferença entre U_{in} e U_{out} , o *sorriso* apresenta um mínimo ou máximo nas opções *at-the-money*. A fórmula de U_G (equação 5) foi desenvolvida por Gemmill (1996) e mede a simetria do efeito *sorriso*. Quando seu valor é zero, a curva é simétrica. De outra forma, caso seu valor seja positivo ou negativo, é assimetricamente positiva ou assimetricamente negativa, respectivamente. Com o objetivo de testar a relação existente entre as magnitudes do efeito *sorriso* e o tempo para expiração das opções, foram realizadas regressões lineares simples envolvendo as medidas completas e reduzidas do efeito *sorriso* e o prazo para vencimento das opções ($T-t$). As equações foram estimadas para um nível de confiança de 95%, e são apresentadas a seguir:

$$U_{in\ i} = \hat{\beta}_1 + \hat{\beta}_2(T-t)_i + \hat{u}_i \quad (6)$$

$$U_{at\ i} = \hat{\beta}_1 + \hat{\beta}_2(T-t)_i + \hat{u}_i \quad (7)$$

$$U_{out\ i} = \hat{\beta}_1 + \hat{\beta}_2(T-t)_i + \hat{u}_i \quad (8)$$

$$U_{G\ i} = \hat{\beta}_1 + \hat{\beta}_2(T-t)_i + \hat{u}_i \quad (9)$$

Os resultados da nossa investigação são apresentados na seqüência.

5. Resultados Empíricos

5.1 O efeito *sorriso* das opções Telebrás PN

A existência do efeito *sorriso* na negociação das opções Telebrás PN em 1998 é evidenciada pelo tabela 1, onde são apresentados os valores médios da volatilidade implícita das opções Telebrás PN, de acordo com o seu grau de *moneyness*.

Tabela 1. Volatilidade implícita média das opções Telebrás PN no ano de 1998, de acordo com o grau de *moneyness*.

Grau de <i>moneyness</i>	< 0,5	0,5 a 0,7	0,7 a 0,9	0,9 a 1,1	1,1 a 1,3	1,3 a 1,5	> 1,5
Volatilidade implícita média	1,1608	1,1345	0,7292	0,9038	1,4829	1,7707	2,2007

Com o objetivo de comparar as medidas do efeito *sorriso* obtidas na nossa análise com aquelas obtidas por Viana (1998) para o mercado londrino, elaboramos a tabela 2. Nessa tabela, mostramos as medidas do efeito *sorriso* para opções brasileiras e londrinas com 30 dias de prazo para o vencimento. Esse prazo de maturidade foi escolhido porque as opções brasileiras com no mínimo 05 cotações diárias apresentavam maturidades muito curtas (no máximo 48 dias de negociação). Os dados das opções londrinas foram extraídos do trabalho de Viana (1998).

Observando a tabela 2, vemos que as medidas do efeito *sorriso* brasileiro são consideravelmente maiores do que aquelas relativas a esse efeito no mercado londrino. A única similaridade é que, em ambos os casos, na maior parte das vezes, como o valor médio de U_{at} é menor do que a diferença entre os valores médios de U_{in} e U_{out} , podemos esperar um efeito *sorriso* sem valores mínimos ou máximos para as opções *at-the-money*. O valor médio de $\sigma_{imp}(1,00)$, a volatilidade implícita das opções *at-the-money*, no caso brasileiro, não exibido na tabela 2, é aproximadamente 3 vezes maior do que o valor dessa medida obtido por Viana (1998) para o mercado de opções londrino^{viii}. Podemos ver na tabela 2 que as medidas de U_{out} e U_{in} para as opções brasileiras são respectivamente 14,5 e 7,5 vezes maiores do que as medidas para as opções londrinas. Apesar de nossa amostra não ser diretamente comparável à amostra de Viana (1998), esses resultados sugerem que o efeito *sorriso* das opções brasileiras de curto prazo é mais acentuado do que esse mesmo efeito das opções londrinas. Considerando que as opções brasileiras tinham um valor de $\sigma_{imp}(1,00)$ cerca de 3 vezes maior do que essa mesma medida para as opções londrinas, os resultados sugerem que quanto maior a volatilidade implícita, mais acentuado é o efeito *sorriso*. Essa relação entre aumento da volatilidade implícita e efeito *sorriso* mais acentuado confirma os resultados encontrados por Duque and Viana (1999)^{ix} e contraria o resultado que seria esperado a partir da equação 1.

Durante nossa análise, observamos que o padrão do efeito *sorriso* brasileiro das opções sobre ações Telebrás PN foi diferente nos períodos pré e pós-privatização dessa empresa, ocorrida em 29/07/98. O gráfico 1 apresenta esses diferentes padrões, mostrando as curvas do efeito *sorriso* de acordo com o mês de vencimento das opções em 1998. As opções com vencimento em fevereiro, abril e junho foram denominadas pré-privatização. As opções com datas de vencimento em julho, outubro e dezembro foram denominadas pós-privatização. A tabela 3 apresenta as medidas do efeito *sorriso* brasileiro nos períodos pré e pós-privatização da Telebrás.

Podemos ver no gráfico 1 e na tabela 3 que, no período que antecedeu a privatização da Telebrás, as opções sobre suas ações preferenciais apresentaram valores mais elevados para as medidas reduzidas da magnitude do efeito *sorriso* quando comparadas às medidas do período pós-privatização. Por exemplo, os valores médios de U_{in} e U_{out} no período pré-privatização são aproximadamente o dobro dessas mesmas medidas no período pós-privatização. No período pré-privatização, as medidas completas da magnitude do efeito *sorriso* também apresentaram valores médios mais elevados do que aqueles observados no período pós-privatização. Os valores médios de U_{at} e U_G no período pré-privatização são aproximadamente 35% e 85% mais elevados do que essas mesmas medidas para o

período pós-privatização. Esses resultados sugerem que o efeito *sorriso* para as opções Telebrás PN foi mais acentuado no período pré-privatização dessa empresa.

Gráfico 1. *Sorrisos* brasileiros dos períodos pré e pós-privatização da Telebrás.

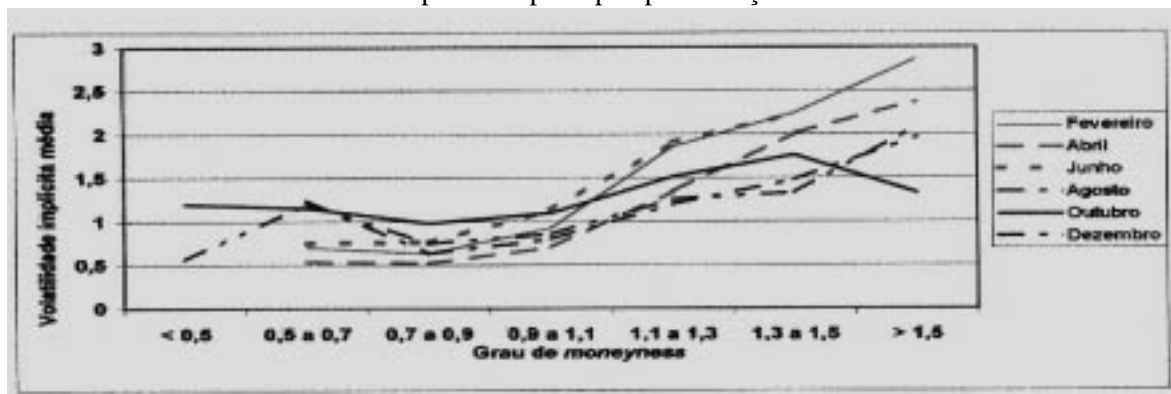


Tabela 2. Comparação entre as medidas do efeito *sorriso* brasileiro (Telebrás PN) e as medidas desse efeito para as opções londrinas, considerando opções com 30 dias para o vencimento.

Medida	Opções londrinas – Viana (1998)				Opções brasileiras (Telebrás PN)			
	U_{in}	U_{out}	U_{at}	U_G	U_{in}	U_{out}	U_{at}	U_G
Média	1,76%	2,19%	1,19%	-7,26	25,46%	16,66%	2,89%	30,95
Máximo	4,76%	4,64%	2,60%	8,27	209,89%	102,89%	18,02%	67,32
Mínimo	0,11%	0,36%	0,24%	-33,18	0,19%	2,88%	0,005%	-8,08
Desvio Padrão	1,48%	1,42%	0,64%	12,20	26,90%	12,88%	3,73%	13,25
Curtose	0,22	-1,33	-0,34	-0,52	21,28	16,11	6,54	0,23
Assimetria	1,08	0,14	0,45	-0,53	3,67	2,93	2,00	3,20

Fonte. Elaborado pelos autores do artigo, com dados de Viana (1998).

É interessante notar que, apesar de os valores médios de $\sigma_{imp}(1,00)$ permanecerem praticamente constantes nos períodos pré e pós-privatização (93,46% e 91,96%, respectivamente), o padrão do efeito *sorriso* variou. Isso pode indicar que existe um outro fator, além da volatilidade implícita das opções at-the-money ($\sigma_{imp}(1,00)$), que explica esses padrões de desvio. Um desses fatores pode ser, por exemplo, a percepção de risco associada à incerteza quanto ao valor das ações Telebrás antes da sua privatização. Em outras palavras, a percepção do risco associado à posse das opções Telebrás PN antes do seu leilão pode ter causado um efeito *sorriso* mais acentuado nesse período.

Tabela 3. Comparação entre as medidas dos *sorrisos* pré e pós-privatização da Telebrás.

Medida	Opções pré-privatização				Opções pós-privatização			
	U_{in}	U_{out}	U_{at}	U_G	U_{in}	U_{out}	U_{at}	U_G
Média	26,15%	19,07%	2,72%	34,33	15,26%	9,50%	2,03%	20,69
Máximo	209,89%	102,89%	18,02%	76,38	122,78%	49,02%	15,03%	50,53
Mínimo	3,47%	5,28%	0,59%	12,26	0,13%	1,73%	0,005%	-8,08
Desvio Padrão	28,42%	13,97%	3,60%	12,78	17,61%	6,98%	2,86%	10,66
Curtose	23,54	15,12	8,25	3,52	15,33%	17,04	8,70	3,26
Assimetria	4,09	2,88	2,35	0,92	3,14	3,30	2,40	0,41

5.2 Maturidade e o efeito *sorriso*

Os resultados das regressões entre as medidas reduzidas e completas do efeito *sorriso* e o tempo para maturidade das opções são mostrados na tabela 4, considerando um nível de confiança de 95%. De acordo com o teste de White (1980), não detectamos a presença de heterocedasticidade nos resíduos das regressões realizadas.

A tabela 4 mostra que todos os coeficientes estimados são estatisticamente significativos a um nível de confiança de 95%. Além disso, concluímos que há uma forte relação entre as medidas do efeito *sorriso* e o prazo para o vencimento das opções, refletido nos valores de R^2 encontrados. Como pode ser visto na tabela 4, todas as medidas do efeito *sorriso* brasileiro aumentaram à medida que se aproximava a data de vencimento das opções. Esses resultados permitem concluir que há uma relação inversa entre o efeito *sorriso* e o prazo para o vencimento das opções Telebrás PN no ano de 1998.

Tabela 4. Resultados das regressões entre as medidas do efeito *sorriso* e maturidade.

	U_{out} e $T-t$ (equação 6)	U_{at} e $T-t$ (equação 7)	U_{in} e $T-t$ (equação 8)	U_G e $T-t$ (equação 9)
β_1	25,3441	5,5494	43,3000	40,6601
estatística t	20,2901	16,1095	17,3303	30,4717
valor de P	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
β_2	-0,5161	-0,1467	-1,0361	-0,6334
estatística	-10,6718	-10,8319	-10,6667	-12,0683
valor de P	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
estatística F.	113,8866	117,3307	113,7786	145,6429
R^2	0,3518	0,3576	0,3215	0,4090

As relação encontradas entre as medidas do efeito *sorriso* e a maturidade das opções Telebrás PN são semelhantes àquelas encontrados por Viana (1998) e, também, ao que seria previsto a partir da equação 1. Viana também detectou que o efeito *sorriso* das opções londrinas se acentuava à medida que seu vencimento se aproximava.

6. Conclusão

O efeito *sorriso* é um desvio empírico dos modelos de avaliação de opções. Ele resulta da observação de que, de acordo com as cotações das opções observadas no mercado de capitais, a volatilidade implícita de opções com mesma data de vencimento e diferentes preços de exercício varia, gerando uma curva em forma de U.

Podem ser encontradas evidências sobre a existência do efeito *sorriso* em muitas publicações científicas ao redor do mundo, como por exemplo em Heynen *et al.* (1994), Taylor e Xu (1994), Duque e Paxon (1994), Gemmill (1996), Dumas *et al.* (1998), Viana (1998) e Duque e Viana (1999). No Brasil, entretanto, localizamos poucos estudos que abordaram o efeito *sorriso*, como por exemplo Duarte Jr. *et al.* (1996) e Adler *et al.* (1999). Esses últimos autores evidenciam o efeito *sorriso* no contexto do mercado de capitais brasileiro analisando, no máximo, 05 dias de cotação das opções.

Duque e Viana (1999) mostraram que, de acordo com a equação do desvio empírico do modelo de B&S desenvolvida por Hull and White (1988), a magnitude do efeito *sorriso* depende da volatilidade associada ao ativo subjacente às opções e do prazo para vencimento das opções. Segundo essa equação, espera-se que o efeito *sorriso* seja mais intenso à medida que se aproxima o vencimento das opções, e menos intenso em situações de aumento da volatilidade.

Investigamos o efeito *sorriso* na negociação de opções de compra Telebrás PN no ano de 1998, analisando 2.082 cotações diárias. Nossos resultados, comparados aos resultados encontrados por Viana (1998) e Duque e Viana (1999) para uma amostra representativa do mercado londrino, mostram que o *sorriso* brasileiro é mais acentuado do que aquele encontrado em Londres. Apesar de nossa amostra não ser diretamente comparável à amostra de Viana (1998) e Duque e Viana (1999), nossos resultados sugerem que, ao contrário do que prevê a equação do desvio empírico de B&S desenvolvida por Hull and White (1988), os desvios empíricos de B&S são mais acentuados em contextos de elevada volatilidade. Também detectamos que o efeito *sorriso* do período pré-privatização da Telebrás apresentou-se mais acentuado do que o *sorriso* pós-privatização dessa empresa.

Nossos resultados mostram que há uma relação inversa entre as medidas do *sorriso* e o tempo para expiração das opções: à medida que a data de vencimento das opções Telebrás PN se aproximava, o efeito *sorriso* brasileiro tornava-se mais acentuado. Esses resultados confirmam as conclusões de Viana (1998) e Duque e Viana (1999) para a amostra de opções londrinas por eles investigada, e o que seria previsto pela equação do desvio empírico de B&S desenvolvida por Hull e White (1988).

Acreditamos que, ao realizarmos nossa investigação, contribuímos para a escolha de modelos de avaliação de opções que possam captar a realidade dos mercados de capitais de elevada volatilidade de forma mais precisa. Além disso, ao explicitarmos os desvios empíricos em relação a um modelo de avaliação de opções já existente, acreditamos, também, que estamos contribuindo para o desenvolvimento de novos modelos de avaliação de opções cujas premissas estejam mais próximas da realidade que tentam explicar. Poderemos, assim, chegar o tão próximo quanto possível dessa realidade — sem, entretanto, nunca alcançá-la em sua plenitude.

Referências Bibliográficas

- ADLER, A. S. FARIA, H. B. SANTOS, L. F. dos, LEMGRUBER, E. F., *Árvores binomiais implícitas: aplicação para as opções da Telebrás no exercício de abril de 1999*. In: ENANPAD99, Foz do Iguaçu, 1999. Anais do Enanpad99, Foz do Iguaçu, 1999.
- AGGARWAL, R. INCIAN, C. LEAL, R. Volatility in emerging stock markets. *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, v. 34, n. 1, p. 33-55, Mar. 1999.
- ANDREZO, A. F. LIMA, I. S. *Mercado financeiro: aspectos históricos e conceituais*. São Paulo: Pioneira, 1999, 338 p.

- BAKSHI, G. CAO, C. CHEN, Z. Empirical performance of alternative option pricing models. *The Journal of Finance*, vol. 52, n. 5, Dec. 1997.
- BARRETO, L. A. de B. BAIDYA, T. K. N. Teste empírico do modelo de Black e Scholes na avaliação de opções da Vale do Rio Doce. *Revista Brasileira do Mercado de Capitais*, Rio de Janeiro, v. 13, n. 39, p. 89-108, 1987.
- BLACK, F. SCHOLEM, M. The pricing of options and corporate liabilities. *Journal of Political Economy*, v. 81, n. 3, p. 637-59, May/Jun. 1973.
- _____. The valuation of option contracts and a test of market efficiency. *The Journal of Finance*, v. 27, p. 399 - 417, 1972.
- CHIRAS, D. MANASTER, S. The information content of option prices and a test of market efficiency. *Journal of Financial Economics*, v. 6, ns. 2 e 3, p. 213-34, 1978.
- CLEWLOW, L. XU, X. The dynamics of stochastic volatility. Working paper, *Financial Options Research Centre*, University of Chicago, May, 1993.
- DAY, T. LEWIS, C. The Behaviour of the volatility implicit in the prices of stock index options. *Journal of Financial Economics*, 22, p. 103-22, 1988.
- DENNIS, P. MAYHEW, S. *Implied volatility smiles: evidence from options on individual equities*. In: EFA 99. Proceedings of the 26th Annual Meeting of European Finance Association, Vienna, 1999.
- DUARTE Jr. A. M. HEIL, T. B. B. PINHEIRO, M. de A. Previsão da volatilidade de ativos e índices brasileiros. *Resenha BM&F*, São Paulo: n. 112, p. 15- 27; 1996.
- DUMAS, B. FLEMING, J. WHALEY, R. E. Implied volatility functions: empirical tests. *The Journal of Finance*, v. 53, n. 6, p. 2059-106, 1998.
- DUQUE, J. *The meaning of implied volatility in pricing stock options traded in options markets*. Manchester: Manchester Business School, 1994, 348p. (Tese de Ph. D.).
- DUQUE, J. VIANA, P. *Maturity and volatility effects on smiles or Dying Smiling?* In: EFA 99. Proceedings of the 26th Annual Meeting of European Finance Association, Vienna, 1999.
- DUQUE, J. PAXON, D. Implied volatility and dynamic hedging. *The Review of Future Markets*, v. 13, n. 2, p. 381-421, 1994. Economática, versão 1999, 1999.
- GEMMILL, G. Did option traders anticipate the crash? Evidence from volatility smiles in the U. K. with U. S. comparisons. *The Journal of Future Markets*, v. 16, n. 8, p. 881-97, 1996.
- GEMMILL, G. KUMIYAMA N. International transmission of option volatility and skewness: when you're smiling, does the whole world smile? In: EFA 97. Proceedings of the 24th Annual Meeting of European Finance Association, Vienna, 27-30 Aug. 1997.
- HEYNEN, R. KEMNA, A. VORST, T. Analysis of the term structure of implied volatilities. *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, v. 29, n. 1, p. 31-6, Mar. 1994.
- HULL, J. WHITE, J. An analysis of the bias in option pricing caused by a stochastic volatility. *Advances in Futures and Options Research*, v.2, p. 29-61, 1988.
- _____. The pricing of options with stochastic volatilities. *The Journal of Finance*, v. 42, p. 281-300, 1987.
- JACKWERTH, J. C. RUBINSTEIN, M. Recovering probability distributions from option prices. *The Journal of Finance*, v. 51, n. 5, p. 1611-31, 1996.
- LATANÉ, H. RENDLEMAN, R. Standard deviations of stock price ratios implied in option prices. *The Journal of Finance*, v. 31, n. 2, p. 369-81, 1976.
- MACBETH, J. D. MERVILLE, L. J. An empirical examination of the Black-Scholes call option pricing model. *The Journal of Finance*, v. 34, n. 5, p. 1173-86, 1979.
- RUBINSTEIN, M. Nonparametric tests of alternative option pricing models using all reported trades and quotes on the 30 most active CBOE option classes from August 23, 1976 through August, 31 1978. *The Journal of Finance*, v. 40, p. 455-80, Jun. 1985.
- SCHMALENSEE, R. TRIPPI, R. Common stock volatility expectations implied by option premia. *The Journal of Finance*, v. 32, n. 1, p. 129-147, 1978.
- TAYLOR, S. XU, X. The magnitude of implied volatility smiles: theory and empirical evidence for exchange rate. *The Review of Future Markets*, v. 13, n. 2, p. 355-80, 1994.
- VIANA, P. A. B. T. L. C. *O Efeito "sorriso" da volatilidade implícita de opções financeiras: estudo empírico aplicado a opções sobre ações da LIFFE*. Porto: Faculdade de Economia do Porto, 1998, 122p. (Dissertação de Mestrado).
- WHITE, H. A heterokedasticity consistent covariance matrix and a direct test for heterokedasticity, *Econometrica*, v. 48, 1980.

ⁱ O grau de *moneyness* de uma opção é calculado pela razão entre o valor do preço do ativo subjacente subtraído do valor presente de dividendos e o valor atual do preço de exercício da opção. A fórmula de cálculo do grau de *moneyness* é:

$$\text{Moneyness} = \frac{S - \sum VA(\text{dividendos})}{Xe^{-r(T-t)}}$$

em que:

S = preço do ativo subjacente à opção no mercado à vista

VA(dividendos) = valor atual dos dividendos descontados em base contínua

X = preço de exercício da ação

r = taxa de juros livre de risco

T - t = prazo para o vencimento da opção

ⁱⁱ Opções *at-the-money* (no dinheiro) são aquelas cujo grau de *moneyness* é igual a 1.

ⁱⁱⁱ Opções *in-the-money* (dentro do dinheiro) são aquelas cujo grau de *moneyness* é maior do que 1.

^{iv} Opções *out-of-the-money* (fora do dinheiro) são aquelas cujo grau de *moneyness* é menor do que 1.

^v Aggarwal *et al.* (1999) investigaram a volatilidade do índice acionário da Bovespa (Ibovespa) entre 1985-95, concluindo que o seu desvio padrão foi, na média, igual a 74,7%.

^{vi} ADR significa *American Depositary Receipts* e constitui-se de "um instrumento pelo qual uma companhia aberta negocia suas ações em mercado de país diferente daquele onde está situada". Nível 2 refere-se a um tipo de ADR que autoriza uma companhia a listar-se em bolsa estrangeira sem, contudo, possibilitar o lançamento de novas ações dessa companhia nesse mercado. (Andrezo e Lima, 1999).

^{vii} Para maiores detalhes sobre a técnica de *B-splines* para curvas cúbicas, ver Viana (1998).

^{viii} A volatilidade implícita de uma ou mais opções *at-the-money* que sejam representativas de um mercado podem ser consideradas como uma estimativa da volatilidade desse mercado.

^{ix} Duque e Viana (1999) mostraram que o efeito *sorriso* londrino acentuava-se à medida que se aproximava o vencimento da opção. A volatilidade implícita das opções *at-the-money* por eles investigadas também aumentava à medida que o vencimento das opções se aproximava, o que sugere que os *sorrisos* mais acentuados também podem ser explicados por volatilidades mais elevadas.