

## 4 Resultados

O primeiro ponto a ser destacado nos resultados é acerca da curtose e assimetria. Verificou-se que essas métricas no prazo de até um ano variaram mais que as de longo prazo, sendo as distribuições de longo prazo leptocúrticas e as de curto prazo algumas vezes platicúrticas.

As curtoses obtidas com o histórico de quinze anos destoaram das demais, inclusive das calculadas com prazo de cinco e dez anos, pois apresentaram valores próximos de dez para a Petrobras e 18 para a Vale, provavelmente devido as crises do final do século passado.

Esse viés da curtose de longíssimo prazo acabou por comprometer os cálculos, fato que fica claro na comparação da volatilidade implícita obtida com as dos demais dados. O ocorrido atenta para a importância de se escolher adequadamente o período histórico a ser utilizado para o cálculo da curtose e assimetria.

Em relação à assimetria, essa se manteve na maior parte das janelas de dados entre -1 e 1, afastando-se pouco nesse quesito da distribuição normal, evidenciando assim a maior influência da curtose na distribuição dos retornos.

O segundo ponto a ser abordado é a não aderência do modelo em alguns momentos, onde não se pode calcular o valor da volatilidade implícita a partir dos dados de mercado. A não aderência ocorreu apenas com opções dentro do dinheiro e não tiveram influência de estar próximas ou longe do vencimento.

Na maioria dos casos a impossibilidade de calcular a volatilidade implícita persistiu independente da janela utilizada. Nos casos em que o modelo apresentou uma volatilidade implícita apenas em algumas das janelas de dados, os valores destoaram dos demais, de maneira a aumentar o “sorriso” em relação aos casos de aderência total do modelo.

Apesar de não ser o foco do presente estudo, procurou-se verificar se os casos de não aderência detinham algum fator em comum. A única característica verificada, além de serem opções de compra, seria a diferença entre o preço da

opção e seu preço de exercício imediato que chegava a no máximo 20%. Mesmo assim, não se pode afirmar que seja um fato relevante, pois houve casos que detinham essa característica e o modelo foi capaz de precificar adequadamente. É relevante destacar que em um caso o preço de exercício imediato excedeu o prêmio da opção.

Dispostos nos apêndices E e F estão os gráficos contendo os resultados obtidos para a Petrobras e Vale respectivamente. Os gráficos deixam evidentes os casos em que não se pode calcular a volatilidade implícita pela ausência do ponto circular ou triangular no gráfico. Além disso, com a ajuda do Matlab foram prolongadas as retas obtidas com menos volatilidades calculadas para fazer uma alusão ao seu possível formato caso o modelo tivesse aderido adequadamente a todos os casos.

À primeira vista, os gráficos evidenciam que em alguns momentos houve uma suavização do “sorriso” da volatilidade quase alcançado um valor constante. Porém, ao mesmo tempo, não houve uma constância nos resultados, a não ser na janela de dados de quinze anos que se mostrou a pior em todos os casos.

Como já havia sido exposto na metodologia, foram analisados os Coeficientes de Inclinação (CI) de cada curva de volatilidade implícita com o objetivo de averiguar qual das janelas de dados foi capaz de melhor suavizar o “sorriso” da volatilidade. Esses coeficientes se encontram expostos nas tabelas a seguir, sendo o tamanho da janela de dados usada indicada ao lado de cada um deles.

<b>Gráfico</b>	<b>CI 1m</b>	<b>CI 3m</b>	<b>CI 6m</b>	<b>CI 1a</b>	<b>CI 3a</b>	<b>CI 5a</b>	<b>CI 10a</b>	<b>CI 15a</b>
1	0,0134	0,0077	0,0175	0,0181	-0,0310	-0,0350	-0,0245	-0,0850
2	0,0188	0,0216	0,0327	0,0321	0,0003	-0,0047	-0,0001	-0,1786
3	0,0272	0,0338	0,0290	0,0218	-0,0318	-0,0267	-0,0187	-0,0697
4	-0,0061	0,0477	0,0159	0,0108	-0,0727	-0,0390	-0,0293	-0,1751
5	-0,0079	0,0083	0,0102	0,0137	-0,0165	-0,0179	-0,0112	-0,1091
6	0,0239	-0,0184	-0,0284	-0,0088	-0,0593	-0,0482	-0,0396	-0,2002
7	0,0257	0,0547	0,0333	0,0279	-0,0166	-0,0137	-0,0047	-0,0488
8	0,0181	0,0135	-0,0115	0,0112	-0,0236	-0,0241	-0,0180	-0,1089
9	0,0212	0,0571	0,0087	-0,0003	-0,0354	-0,0583	-0,0497	-0,1335
10	-0,0054	-0,0252	-0,0371	-0,0334	-0,1567	-0,0828	-0,0709	-0,2106
11	-0,0294	-0,0440	-0,0143	-0,0062	-0,0436	-0,0479	-0,0402	-0,1561
12	-0,0238	0,0205	-0,0012	-0,0061	-0,0620	-0,0553	-0,0442	-0,1802
13	-0,0352	-0,0095	-0,0064	-0,0160	-0,0181	-0,0672	-0,0554	-0,2392
14	0,0068	-0,0054	0,0006	-0,0004	-0,0337	-0,0372	-0,0295	-0,1232
15	0,0422	0,0114	0,0061	0,0004	-0,0388	-0,0388	-0,0291	-0,1366
16	0,0297	0,0412	0,0311	0,0234	-0,0817	-0,0217	-0,0129	-0,1907
17	0,0270	-0,2468	-0,1648	-0,0152	-0,0799	-0,0686	-0,0562	-0,1454

Tabela 3 – Coeficiente de Inclinação da Petrobras

Fonte: elaborada pelo autor

<b>Gráfico</b>	<b>CI 1m</b>	<b>CI 3m</b>	<b>CI 6m</b>	<b>CI 1a</b>	<b>CI 3a</b>	<b>CI 5a</b>	<b>CI 10a</b>	<b>CI 15a</b>
1	0,0067	0,0022	-0,0015	-0,0213	-0,0347	-0,0278	-0,0278	-0,2352
2	-0,0202	-0,0201	-0,0380	-0,0140	-0,0187	-0,0179	-0,0175	-0,2566
3	0,0026	0,0031	0,0010	-0,0116	-0,0274	-0,0210	-0,0201	-0,2736
4	-0,0292	-0,0134	-0,0209	-0,0258	-0,0668	-0,0295	-0,0311	-0,3429
5	-0,0030	-0,0026	-0,0061	-0,0224	-0,0238	-0,0176	-0,0175	-0,2210
6	-0,0106	-0,0615	-0,1206	-0,1025	-0,0910	-0,0627	-0,0590	-0,2824
7	-0,0287	-0,0107	-0,0122	-0,0486	-0,0519	-0,0396	-0,0379	-0,2904
8	-0,0291	-0,0096	-0,0119	-0,0238	-0,0362	-0,0281	-0,0281	-0,2544
9	-0,0138	-0,0117	-0,0186	-0,0254	-0,0288	-0,0266	-0,0246	-0,2087
10	0,0104	-0,0098	-0,1660	-0,0358	-0,0757	-0,0262	-0,0244	-0,2053
11	-0,0154	-0,0174	-0,0201	-0,0261	-0,0351	-0,0307	-0,0309	-0,2115
12	-0,0624	-0,0364	-0,0138	-0,0142	-0,0399	-0,0258	-0,0243	-0,2148
13	-0,0126	-0,0308	-0,0318	-0,0470	-0,0433	-0,0528	-0,0492	-0,1990
14	-0,0058	-0,0093	-0,0124	-0,0197	-0,0243	-0,0177	-0,0185	-0,1780
15	0,0059	-0,0011	-0,0025	-0,0206	-0,0260	-0,0155	-0,0161	-0,1917
16	0,0077	-0,0147	-0,0231	-0,0207	-0,0590	-0,0258	-0,0237	-0,1676
17	-0,0194	-0,1288	-0,1356	-0,0593	-0,0391	-0,0360	-0,0332	-0,1517

Tabela 4 – Coeficiente de Inclinação da Vale

Fonte: elaborada pelo autor

A partir de os coeficientes foi calculada a média de seus valores absolutos em função de se medir o afastamento da reta constante, não importando para que lado ocorresse a inclinação. Também se calculou o desvio-padrão (dp) sobre os valores originais de forma a verificar a dispersão real dos coeficientes. Os resultados encontrados são apresentados nas tabelas a seguir.

	<b>CI 1m</b>	<b>CI 3m</b>	<b>CI 6m</b>	<b>CI 1a</b>	<b>CI 3a</b>	<b>CI 5a</b>	<b>CI 10a</b>	<b>CI 15a</b>
<b>Média</b>	0,0213	0,0392	0,0264	0,0144	0,0472	0,0404	0,0314	0,1465
<b>Dp</b>	0,0227	0,0692	0,0462	0,0177	0,0368	0,0214	0,0198	0,0521

Tabela 5 – Média e desvio-padrão dos coeficientes de inclinação da Petrobras

Fonte: elaborada pelo autor

	CI 1m	CI 3m	CI 6m	CI 1a	CI 3a	CI 5a	CI 10a	CI 15a
Média	0,0167	0,0225	0,0374	0,0317	0,0425	0,0295	0,0285	0,2285
Dp	0,0184	0,0317	0,0510	0,0225	0,0202	0,0126	0,0115	0,0495

Tabela 6 – Média e desvio-padrão dos coeficientes de inclinação da Vale

Fonte: elaborada pelo autor

Os resultados apresentados fundamentam a afirmativa de que a janela de dados de quinze anos conteve um viés que ocasionou um “sorriso” da volatilidade desproporcional em relação as demais. Outra janela de dados que obteve um desempenho insatisfatório foi a de três anos, pois em ambos os casos obteve a segunda pior média, apesar de não ter os maiores desvios-padrões.

Se forem levadas em conta as empresas estudadas, as janelas de dados que melhor suavizaram o “sorriso” da volatilidade e obtiveram boa consistência, baixo desvio-padrão, no caso da Petrobras foram as de um ano e um mês respectivamente, enquanto que na Vale as melhores foram as de um mês e três meses, apesar de não terem apresentado os menores desvios-padrões.

O bom desempenho da janela de um mês em ambas as empresas sugere que os retornos de curto prazo forneçam curtose e assimetria que melhor ajustem a distribuição de retornos no modelo Corrado-Su para a distribuição do ativo de forma a reduzir o “sorriso” da volatilidade.

#### 4.1. Modelo de Corrado-Su VS Black-Scholes

Tendo em vista que foi verificado na secção anterior quais janelas de dados obtiveram uma maior suavização do "sorriso", mostrou-se relevante realizar uma comparação entre o modelo aplicado e o tradicionalmente utilizado pelo mercado. Dessa forma, procurou-se averiguar se a proposta empregada para a suavização do problema em questão foi eficaz ou não.

Para tanto, segue os coeficientes de inclinação obtidos a partir das curvas de volatilidade implícitas geradas pelo modelo BS para ambas as empresas

estudas, além da média e desvio-padrão, assim como foi feito anteriormente para o modelo Corrado-Su.

<b>Gráfico</b>	<b>Petrobras</b>	<b>Vale</b>
1	0,0244	0,0064
2	0,0174	-0,0036
3	0,0223	0,0019
4	0,0098	-0,0178
5	0,0125	0,0008
6	-0,0181	-0,0298
7	0,0275	-0,0150
8	-0,0067	-0,0099
9	-0,0030	-0,0055
10	-0,0240	-0,0112
11	-0,0262	-0,0149
12	-0,0149	-0,0085
13	-0,0366	-0,0198
14	-0,0058	-0,0065
15	-0,0142	-0,0022
16	0,0054	-0,0055
17	-0,0101	-0,0094

Tabela 7 – Coeficiente de Inclinação da volatilidade Implícita calcula pelo BS

Fonte: elaborada pelo autor

	<b>Petrobras</b>	<b>Vale</b>
Média	0,0164	0,0099
Dp	0,0192	0,0089

Tabela 8 – Média e desvio-padrão dos coeficientes de inclinação calculados pelo BS

Fonte: elaborada pelo autor

Ao considerar os dados apresentados, constata-se que o modelo BS atingiu um desempenho pouco inferior ao da melhor janela de dados do modelo proposto no caso da Petrobras e um desempenho superior no caso da Vale.

Importante ressaltar que o modelo BS não aderiu a todos os dados assim como havia ocorrido com o modelo proposto, entretanto esse não foi capaz de calcular a volatilidade implícita em cinquenta por cento menos casos que o outro, mostrando-se um maior ajustamento aos dados.

#### **4.2. Teste de Wilcoxon Signed Rank**

O teste foi aplicado com o intuito de averiguar se havia uma diferença estatisticamente relevante entre a média dos dados ou esses poderiam ser considerados similares. Dessa forma, foi possível constatar quais janelas de dados se assemelhavam e quais proveram resultados estatisticamente divergentes.

Assim como foi dito anteriormente, o teste foi elaborado considerando um nível de significância de 5%, sendo os coeficientes de inclinação comparados cada um deles com os demais em pares. As tabelas a seguir apresentam o p-valor obtido em cada um dos testes realizados para a Petrobras e Vale, respectivamente.

	<b>CI 3m</b>	<b>CI 6m</b>	<b>CI 1a</b>	<b>CI 3a</b>	<b>CI 5a</b>	<b>CI 10a</b>	<b>CI 15a</b>	<b>CI BS</b>
<b>CI 1m</b>	0,758	0,687	0,492	0,001	0,000	0,000	0,000	0,084
<b>CI 3m</b>	-	0,287	0,381	0,006	0,005	0,006	0,000	0,088
<b>CI 6m</b>	-	-	0,776	0,003	0,005	0,005	0,000	0,149
<b>CI 1a</b>	-	-	-	0,000	0,000	0,000	0,000	0,019
<b>CI 3a</b>	-	-	-	-	0,379	0,015	0,000	0,001
<b>CI 5a</b>	-	-	-	-	-	0,000	0,000	0,000
<b>CI 10a</b>	-	-	-	-	-	-	0,000	0,000
<b>CI 15a</b>	-	-	-	-	-	-	-	0,000

Tabela 9 – Teste de Wilcoxon Signed Rank para os coeficientes de inclinação da Petrobras

Fonte: elaborada pelo autor

	<b>CI 3m</b>	<b>CI 6m</b>	<b>CI 1a</b>	<b>CI 3a</b>	<b>CI 5a</b>	<b>CI 10a</b>	<b>CI 15a</b>	<b>CI BS</b>
<b>CI 1m</b>	0,356	0,084	0,010	0,001	0,007	0,007	0,000	0,507
<b>CI 3m</b>	-	0,004	0,031	0,006	0,011	0,015	0,000	0,025
<b>CI 6m</b>	-	-	0,449	0,210	0,381	0,407	0,000	0,001
<b>CI 1a</b>	-	-	-	0,017	1,000	0,831	0,000	0,000
<b>CI 3a</b>	-	-	-	-	0,002	0,001	0,000	0,000
<b>CI 5a</b>	-	-	-	-	-	0,020	0,000	0,000
<b>CI 10a</b>	-	-	-	-	-	-	0,000	0,000
<b>CI 15a</b>	-	-	-	-	-	-	-	0,000

Tabela 10 – Teste de Wilcoxon Signed Rank para os coeficientes de inclinação da Vale

Fonte: elaborada pelo autor

No caso da Petrobras, verificou-se que os resultados obtidos com as janelas de curto prazo se assemelharam, pois não foi possível afirmar que suas médias são estatisticamente diferentes. Ao compará-las aos resultados do modelo Black-Sholes, averigua-se que as janelas de curto prazo, com exceção da de um ano, também obtiveram resultados semelhantes.

Por outro lado, as janelas de longo prazo não obtiveram nenhuma média que pudesse ser considerada semelhante, a não ser a janela de três anos com a de cinco anos, devido ao p-valor de 0,379.

Para a Vale, os resultados deram sinais de serem parecidos, em virtude da janela de dados com melhor desempenho no modelo de Corrado-Su, a de um mês, não ter uma média diferente da média dos coeficientes de inclinação do modelo Black-Scholes. Houve também semelhança entre as janelas de curto prazo, mesmo que em menor nível, afinal os pares que se assemelharam foram os das janelas de um mês e três meses, um mês e seis meses e um ano e seis meses.

Diferentemente da Petrobras, as janelas de longo prazo em determinados casos obtiveram p-valor que não se permitia afirmar que suas médias eram estatisticamente diferentes de outras janelas de longo e curto prazo.

O fato das médias de curto com maior poder de suavização e longo prazo serem diferentes em ambas as empresas, juntamente com o melhor desempenho do curto prazo visto nas análises anteriores, reforça a utilização de dados de curto prazo para o cálculo da curtose e da assimetria a fim de suavizar o "sorriso" da volatilidade.

Além disso, os resultados apontam para a equivalência de desempenhos entre as janelas de dados que mais suavizaram o "sorriso" da volatilidade pelo modelo Corrado-Su, que foram as de curto prazo, e o modelo Black-Scholes.

É importante ressaltar que apenas a janela de dados de 15 anos obteve média diferente das demais, pondo em evidência o fato anteriormente assinalado de que essa janela conteve um viés.