

## 5 Resultados

Na busca de melhor compreender a dinâmica do mercado a termo de energia elétrica no Brasil, este estudo precisou definir dois critérios principais: método de construção de curvas a termo e *proxy* dos preços à vista (presente e esperado para o futuro). A seção 5.2 apresenta os resultados das análises exploratórias sobre o comportamento do mercado a termo, com base nos critérios definidos, enquanto a seção 5.1 discute a eficiência dos estimadores adotados para os preços à vista.

Apesar de encontrar respaldo na literatura, alerta-se que os resultados obtidos são ainda prematuros, em consonância com o caráter exploratório do trabalho. Entretanto, os indícios lançados por eles sobre o mercado podem servir de base para ampliação dessa investigação.

### 5.1. Eficiência do filtro de PLD

A seção 4.2.1 apresentou a idéia do filtro das séries de PLD geradas a partir do programa *Newave*, bem como foi definido o intervalo a ser aplicado ao filtrar as 2.000 séries e esclareceu-se que o filtro foi previamente testado com base no ano de 2010. Desse modo, as séries de PLD a cada mês de 2010 (março a dezembro) foram filtradas no intervalo:  $PLD_{médio} Revisão2 + PercentilDesvios5\%$  a  $PLD_{médio} Revisão2 + PercentilDesvios95\%$ , sendo apurados os percentis dos desvios com base no histórico de janeiro de 2002 a dezembro de 2009.

Houve grande variação no número de séries filtradas para cada mês (vide Tabela 6), o que se justifica tanto pela variação do tamanho do intervalo de confiança, quanto pelos perfis dos *decks Newave* (mais ou menos enviesados).

Mês/Ano	Nº de séries filtradas
mar/10	1056
abr/10	1220
mai/10	1141
jun/10	1893
jul/10	140
ago/10	942
set/10	284
out/10	684
nov/10	892
dez/10	424

**Tabela 6 – Quantidade de séries filtradas por mês em 2010**

Calcularam-se, então, as correlações e os erros quadráticos e absolutos dos estimadores obtidos a cada mês para o mês corrente e os três meses seguintes em relação aos PLD médios mensais realizados no ano de 2010, para cada submercado. Ressalta-se que em 10 de março de 2011, a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), expediu a notificação SUP 031/11, informando do recálculo e republicação dos PLDs de fevereiro a outubro de 2010, contudo, os valores utilizados neste trabalho foram coletados em data anterior a esse fato, assim, os PLDs ponderados por patamar da 3ª semana operativa para o SE/CO, entorno dos quais as séries foram filtradas, e os PLDs mensais realizados considerados estão explícitos na Tabela 7.

Mês/Ano	PLD ponderado 3ª sem	PLD médio do mês			
	PLD SE/CO	PLD SE/CO	PLD S	PLD NE	PLD N
mar/10	24,95	27,74	27,74	30,19	27,56
abr/10	12,80	21,59	21,59	24,96	21,58
mai/10	33,32	32,45	30,25	34,60	32,45
jun/10	60,57	67,99	67,99	69,70	69,70
jul/10	97,65	89,58	89,58	95,30	95,30
ago/10	120,40	118,00	118,00	124,23	124,22
set/10	120,16	132,37	131,98	189,88	189,88
out/10	120,33	138,12	138,12	229,20	229,20
nov/10	127,57	116,68	116,68	115,05	116,68
dez/10	77,01	71,62	71,62	68,69	71,62
jan/11		28,71	28,71	29,76	28,69
fev/11		48,04	40,52	49,75	48,04
mar/11		25,05	25,05	27,62	25,05

Fonte: Elaborado a partir dos dados de PLD e patamares semanais em CCEE, 2011.

**Tabela 7 – Valores médios de PLD (R\$/MWh) observados em 2010/2011**

Uma vez obtidos as correlações e os erros quadráticos e absolutos dos estimadores a partir das séries do *Newave* de cada mês, calculou-se o erro quadrático médio (EQM), o erro absoluto médio (EM) e a correlação média da

## 5 Resultados

amostra (COR) para os estimadores: média das 2.000 séries e média das séries filtradas, para o horizonte mês corrente (Mês), isto é, mês do *deck Newave*, até três meses a frente (Mês + 3). Os resultados são apresentados na Tabela 8 e Tabela 9. Essas tabelas contêm, também, os resultados da eficiência do filtro para cada submercado, que serão discutidos a seguir.

Estimador	Submercado / Mês	SUDESTE / CENTRO-OESTE				SUL			
		Mês	Mês + 1	Mês + 2	Mês + 3	Mês	Mês + 1	Mês + 2	Mês + 3
Média 2000 séries	Erro quadrático médio (EQM2000)	815,13	2315,43	3866,00	5324,05	912,89	2424,53	4196,31	5743,27
	Erro médio absoluto (EM2000)	25,51	44,29	54,49	64,85	26,82	45,54	57,40	67,58
	Correlação (média 2000, realizado) (COR2000)	0,78	0,32	(0,18)	(0,64)	0,76	0,30	(0,18)	(0,63)
Média filtro	Erro quadrático médio (EQMf)	169,79	996,97	2573,04	4056,24	261,53	1178,70	2862,78	4494,29
	Erro médio absoluto (EMf)	10,66	25,78	41,03	57,75	13,00	28,11	44,42	61,01
	Correlação (média filtro, realizado) (CORf)	0,96	0,69	0,12	(0,26)	0,93	0,65	0,08	(0,30)
Eficiência filtro	1 - (EQMf / EQM2000)	79,17%	56,94%	33,44%	23,81%	71,35%	51,38%	31,78%	21,75%
	1 - (EMf / EM2000)	58,20%	41,80%	24,69%	10,96%	51,52%	38,27%	22,60%	9,72%
	1 - [(1-CORf)/(1-COR2000)]	79,78%	54,57%	25,34%	23,15%	72,56%	49,93%	22,45%	20,22%

Tabela 8 – Comparação de estimadores para os submercados Sudeste/Centro-Oeste e Sul

Estimador	Submercado / Mês	NORDESTE				NORTE			
		Mês	Mês + 1	Mês + 2	Mês + 3	Mês	Mês + 1	Mês + 2	Mês + 3
Média 2000 séries	Erro quadrático médio (EQM2000)	1207,63	4565,49	7102,47	9238,10	1172,34	4344,36	7069,10	9145,58
	Erro médio absoluto (EM2000)	26,04	57,10	72,60	87,15	26,51	57,15	72,62	86,13
	Correlação (média 2000, realizado) (COR2000)	0,88	0,49	0,10	(0,36)	0,89	0,50	0,08	(0,36)
Média filtro	Erro quadrático médio (EQMf)	925,57	2648,72	5365,09	8045,25	841,59	2405,68	5244,67	8114,29
	Erro médio absoluto (EMf)	20,31	37,66	62,43	83,69	19,99	37,49	62,18	83,02
	Correlação (média filtro, realizado) (CORf)	0,90	0,70	0,31	(0,11)	0,91	0,72	0,30	(0,10)
Eficiência filtro	1 - (EQMf / EQM2000)	23,36%	41,98%	24,46%	12,91%	28,21%	44,63%	25,81%	11,28%
	1 - (EMf / EM2000)	22,02%	34,05%	14,01%	3,97%	24,59%	34,40%	14,37%	3,61%
	1 - [(1-CORf)/(1-COR2000)]	12,39%	41,89%	23,00%	18,67%	18,31%	44,10%	24,15%	18,96%

Tabela 9 - Comparação de estimadores para os submercados Nordeste e Norte

Uma métrica comumente utilizada para comparar estimadores é a razão entre seus erros quadráticos médios. Nesse sentido, quanto menor for a razão  $EQMf / EQM2000$ , melhor será o estimador média filtro. Mais especificamente, se essa razão é X%, significa que a média das séries filtradas erra X% menos do que a média das 2.000 séries, ao estimar o PLD médio do mês em questão. Dito de

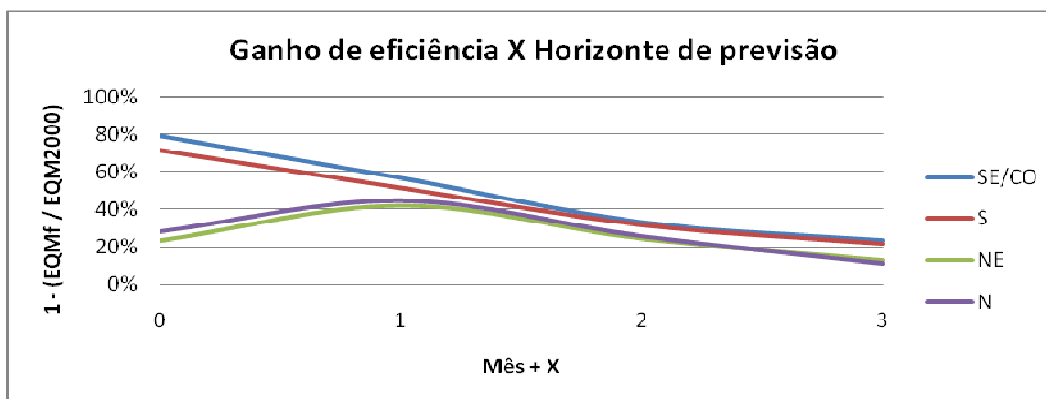
## 5 Resultados

outro modo, o estimador média filtro é  $1 - X\%$  mais preciso (eficiente) do que o estimador média das 2.000 séries. O mesmo raciocínio é aplicável ao erro médio absoluto, sendo a interpretação análoga.

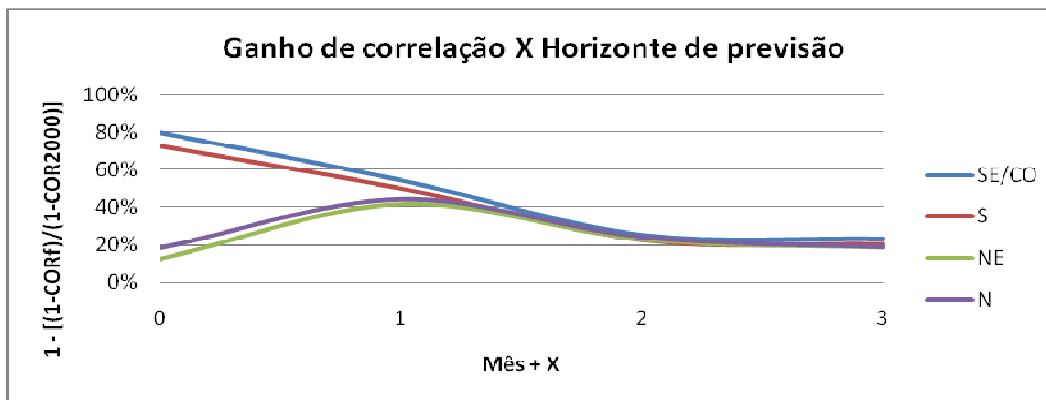
Outra métrica utilizada para avaliar estimadores é a sua correlação com o objeto estimado. Quanto mais próxima de um ela for, maior será a relação linear entre o estimador e o estimado. Logo, quanto menor a razão  $(1 - \text{CORf}) / (1 - \text{COR2000})$ , maior a relação entre a média das séries filtradas e o PLD médio do mês do que entre este e a média das 2.000 séries. Portanto, se essa razão for  $X\%$ , é possível afirmar que o estimador média das séries filtradas correlaciona-se  $1 - X\%$  mais com o PLD médio do mês do que o estimador média das 2.000 séries.

Apresentadas as métricas consideradas para avaliar a eficiência do filtro de PLD, observa-se, na Tabela 8 e Tabela 9, que o ganho de eficiência mostrou-se mais significativo e similar para os subsistemas Sudeste/Cento-Oeste e Sul do que para o Nordeste e Norte. Como o filtro foi realizado a partir das séries do SE/CO, infere-se que haja maior interdependência entre as séries de PLDs daqueles submercados do que entre elas e as do Nordeste e Norte. Por outro lado verificou-se, também, similaridade no menor ganho de eficiência destes, indicando consistência entre suas séries de PLDs. Tanto as comparações dos erros quanto das correlações corroboram para essa avaliação.

Os resultados mostraram, ainda, que, à exceção das previsões para o mês seguinte (Mês + 1) no NE e N, o ganho de eficiência declina com o tempo (vide Figura 8 e Figura 9). De fato, esse comportamento já era esperado, dado que a incerteza aumenta com o horizonte de previsão, reduzindo-se a relevância da filtragem. Para os subsistemas SE/CO e S nota-se que a queda de eficiência é praticamente linear em relação aos meses, sendo as taxas de decaimento aproximadas de  $19\%/mês$  e  $17\%/mês$ , respectivamente.



**Figura 8 – Evolução do ganho de eficiência por submercado do filtro de PLD (baseado no erro quadrático médio dos estimadores) em relação ao mês previsto**



**Figura 9 – Evolução do ganho de correlação por submercado do filtro de PLD em relação ao mês previsto**

## 5.2.

### Evidências sobre o comportamento do mercado a termo de energia elétrica brasileiro

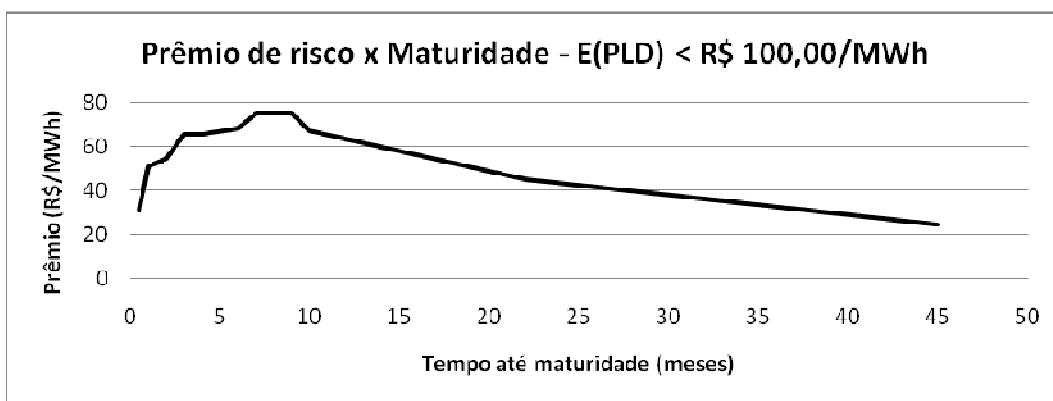
A partir da amostra obtida de curvas a termo e dos correspondentes preços à vista presente e esperados para o futuro, conforme as datas bases, buscou-se verificar a existência ou não de relações entre eles. Contudo, não foi possível definir qualquer tipo de relação entre preços a termo e à vista, apesar de ser constatada correlação positiva entre eles. Em Longstaff & Wang (2002) e Pilipovic (2007), comprovou-se a influência dos preços à vista sobre os a termo, contudo, nesses trabalhos o preço a termo foi definido para um horizonte de curtíssimo a prazo (dia seguinte). Conforme mencionado, EPRI (1999) sugere que a comparação entre os preços a termo e a expectativa de preços à vista futuros tenha maior significância, uma vez que a dificuldade de armazenamento da eletricidade a um baixo custo favorece a existência de grande divergência entre preços à vista e a termo. Em relação às expectativas de futuros preços à vista, verificou-se, novamente, correlação positiva. Apesar da relação não ser estritamente linear, ao ajustar-se uma reta de regressão aos dados obteve-se R-quadrado de 54%, coeficiente de 0,65 e p-valor das estatísticas T e F inferiores a 1%. Ou seja, foi aceita a hipótese de que as expectativas de futuros preços à vista são capazes de explicar cerca de 50% da variação do preço a termo.

Ainda assim, não ficou totalmente evidente a relação entre preços a termo e as expectativas de futuros preços à vista. Houve, contudo, maior aderência entre

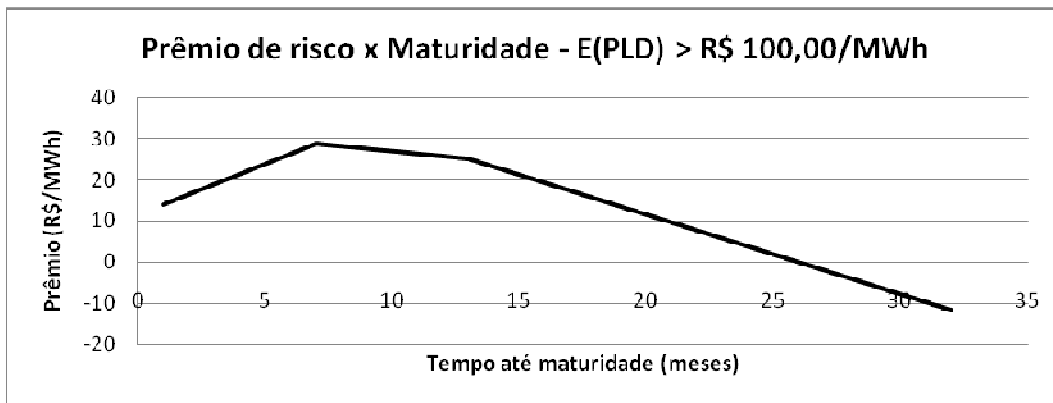
## 5 Resultados

esses preços para maturidades bem próximas (mês seguinte ou período de meses iniciado no mês seguinte) ou bem afastadas (superior a dois anos). Essa evidência pode ser confirmada com a interpretação da relação como prêmio de risco (diferença entre o preço a termo e a expectativa de PLD médio para o respectivo período futuro), conforme Figura 10 e Figura 11, que ilustram a evolução do prêmio de risco médio (considerada a amostra total do estudo) em relação ao tempo até a maturidade. Nota-se, ainda, que os prêmios de risco praticados são bastante elevados, particularmente, quando as expectativas do PLD médio ( $E(PLD)$ ) são inferiores a R\$ 100,00/MWh. Há de se lembrar, porém, que o preço à vista não é exatamente a expectativa do PLD médio como considerado para comparações neste estudo, pois carece a consideração do ágio. Portanto, no prêmio de risco apresentado está embutido esse ágio, que seria acrescido ao PLD para uma compra no mercado à vista de energia. Ele pode ser bastante variável ao longo do ano, contudo, para energia convencional, costuma permanecer entre R\$ 5,00/MWh e R\$ 50,00/MWh, sendo R\$ 20,00/MWh um valor mediano. Desse modo, ainda que acrescido o ágio ao PLD, tem-se prêmios de risco consideravelmente elevados, atingindo mais de R\$ 30,00/MWh. Foram verificados, também, prêmios de risco negativos quando de maturidades superiores a dois anos e  $E(PLD) > R\$ 100,00/MWh$

Destaca-se a separação da análise do prêmio de risco em função do tempo até a maturidade em duas situações:  $E(PLD) < R\$ 100,00/MWh$  (preço à vista futuro esperado inferior a R\$ 100,00/MWh) e  $E(PLD) > R\$ 100,00/MWh$  (preço à vista futuro esperado superior a R\$ 100,00/MWh). Esta foi motivada pela observação de que o prêmio de risco para a mesma maturidade reduzia-se à metade ou até mais quando a expectativa de PLD era superior a R\$ 100,00/MWh.



**Figura 10 - Evolução do prêmio de risco em relação ao tempo até a maturidade quando a expectativa de preço à vista futuro é inferior a R\$ 100/MWh**



**Figura 11 - Evolução do prêmio de risco em relação ao tempo até a maturidade quando a expectativa de preço à vista futuro é superior a R\$ 100/MWh**

O comportamento macro do prêmio de risco observado neste estudo pode ser resumido do seguinte modo: prêmios de risco predominantemente positivos, crescentes com o tempo até a maturidade de dez meses, decrescendo após. Os trabalhos de Carlea & Villaplana (2008), Benth *et al.* (2007), Weron (2008), Bunn (2006), Longstaff & Wang (2004), Hadsell & Shawky (2006), Douglas & Popova (2008), Bessembinder & Lemmon (2002), Ulrich (2007), Diko *et al.* (2006) e Furio & Meneu (2010) abordam o prêmio de risco em diferentes mercados de energia elétrica, definindo-o, também, de modos diversos, sobretudo, em função da *proxy* adotada para o preço à vista ou expectativa de futuro preço à vista.

Ainda assim, é interessante perceber que o comportamento verificado no mercado brasileiro corresponde, ao menos parcialmente, ao dos mercados alemão, nórdico e íbero, conforme Benth *et al.* (2007), Weron (2008) e Furio & Meneu (2010).

Acompanhou-se, também, a evolução da curva a termo vis à vis a evolução das expectativas de preços à vista, buscando-se verificar a configuração do comportamento de *contango*, visto como tendência geral de ativos financeiros ou *normal backwardation*, considerado tendência habitual de *commodities* armazenáveis. A Figura 12 e Figura 13 ilustram essas evoluções para os meses de fevereiro, março e abril de 2011.

Observou-se, predominantemente, o comportamento de *contango*, com convergência “por cima” dos preços a termo para os futuros preços à vista esperados, com a aproximação da maturidade. Em alguns momentos, porém, com a aproximação da maturidade foi evidenciado o afastamento dos preços a termo

## 5 Resultados

dos futuros preços à vista esperados. Já o comportamento de *normal backwardation* não foi verificado.

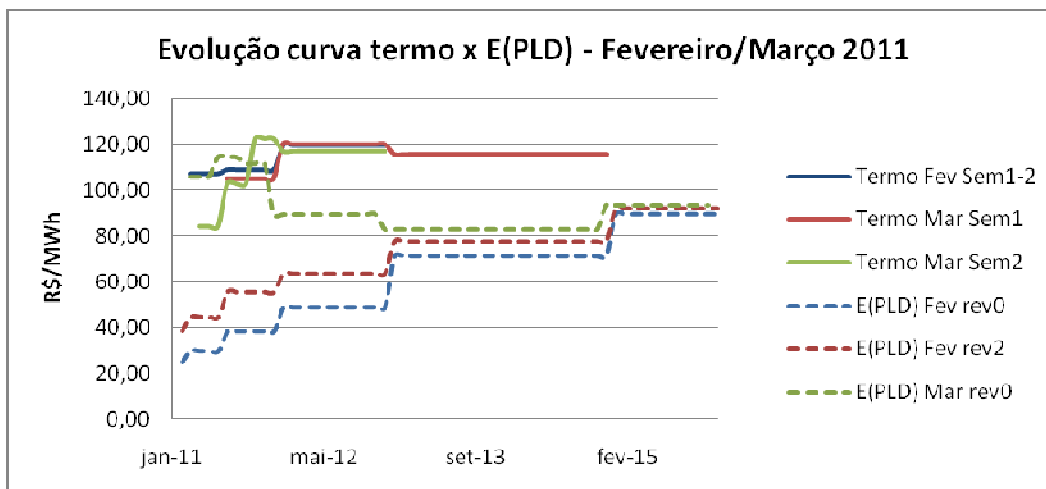


Figura 12 - Evolução curva da curva a termo: fevereiro/março 2011

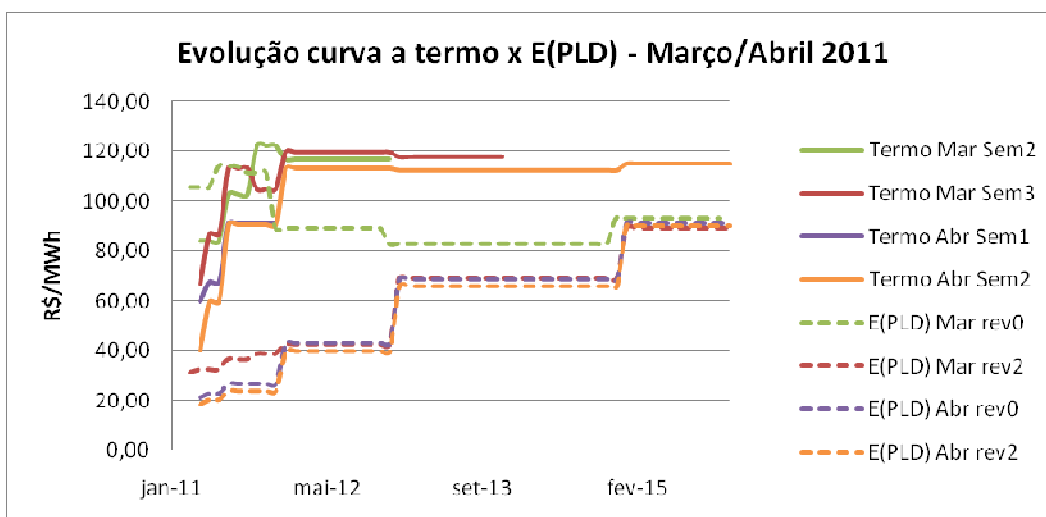


Figura 13 - Evolução da curva a termo: março/abril 2011

Quinn *et al.* (2005) sugerem a possibilidade de configuração de ambos comportamentos, mas não demonstraram. Cartea & Figueroa (2005) indicaram a configuração de todos os cenários no mercado do País de Gales. Pode-se, então, dizer que não há, ainda, um consenso sobre o comportamento dos mercados de energia elétrica nesse sentido, sendo a energia ora comparável a um ativo financeiro e ora, a uma *commodity* de consumo. No trabalho de Lee e Zhang (2009), já havia sido ressaltado o comportamento individual de cada mercado e a possibilidade de sua permuta ao longo do tempo.



## 5 Resultados

Por fim, destaca-se que quando da construção das curvas observou-se, ainda, pequenas oportunidades de arbitragem; um indício de ineficiência do mercado, conforme sugerido por Quinn *et al.* (2005) e Redl *et al.* (2009).