

Estudo de Caso: Oferta de Compra Conjunta em Leilões de Múltiplas Fontes Renováveis

O presente estudo de caso pretende demonstrar a aplicação da metodologia apresentada para estabelecer a estratégia de contratação, através de leilões multiproduto, de fontes renováveis alternativas, de modo a maximizar o resultado líquido obtido na comercialização de energia comprada. As fontes renováveis consideradas neste trabalho são as seguintes: termelétricas a biomassa, movidas a bagaço de cana de açúcar (BIO); usinas eólicas (EOL); e pequenas centrais hidroelétricas (PCH). Consideramos que todos os geradores ofertantes terão capacidade instalada igual ou inferior a 30 MW, para que possam obter o benefício de redução de encargos de transmissão, estabelecidos pela Lei 9.427/1996, Art. 26.

Os agentes produtores que utilizam tais fontes alternativas, ao comercializarem diretamente suas energias no ACL, ficariam expostos a muitos riscos, pois no ambiente livre os contratos negociados são, na maioria das vezes, por quantidade, e com isso ficariam expostos aos preços spot nos períodos em que a geração é menor que a quantidade vendida, ao contrário do ocorreria no ambiente regulado, onde tais fontes podem contratar por disponibilidade, que proporciona uma receita fixa, sem riscos de mercado, mas apenas os riscos operacionais.

Neste trabalho iremos estudar um modelo de negócios em que a comercializadora irá contratar por disponibilidade parte da Garantia Física das geradoras renováveis (BIO, EOL, PCH) através de leilões no ACL, de modo que os geradores fiquem livres dos riscos de compra no curto prazo e, posteriormente, a comercializadora irá revender, através de um contrato por quantidade, toda ou parte da soma destas Garantias Físicas adquiridas. Desta forma, a comercializadora arcará com todo o risco de mercado oriundo da sazonalidade e incerteza das fontes renováveis. Para se proteger de tal risco, a comercializadora deverá compor um portfolio de contratos das diversas fontes, mitigando risco através da complementaridade do perfil de produção destas fontes.

Para que este procedimento seja possível, é necessária que haja disponibilidade de oferta de lastros de energia destas fontes. De fato, já foram realizados Leilões Especiais de Fontes Alternativas (BIO e PCH) (2007), Leilão de Biomassa (2008), e Leilão de Eólica (2009). Estes leilões podem ser a oportunidade destas usinas se viabilizarem. Além disso, já é uma realidade no ACL a ocorrência de leilões de fontes renováveis. Desta maneira, este trabalho proporciona um modelo prático para ser utilizado por consumidores que visem adquirir lastro de energia renovável e oferece uma relevante comparação entre dois formatos de leilão que podem levar a diferentes resultados em função da complementaridade entre os produtos leiloados.

Para a comercializadora escolher as quantidades ótimas de compra e venda de energia, fará uso de ferramentas de problemas de decisão sob incerteza e usará restrições de risco nos piores cenários (CVaR) ao maximizar o valor esperado da sua renda apresentado no capítulo anterior.

Serão considerados os dois modelos de leilão apresentados. No primeiro modelo de leilão (dinâmico) a comercializadora tentará adequar as quantidades a serem compradas no leilão e a respectiva vendida no ACL, de acordo com suas necessidades e avaliando o preço de cada lance, pois neste caso as ofertas serão feitas em tempo real.

No segundo modelo de leilão, a comercializadora irá decidir de uma única vez as quantidades a serem adquiridas no leilão e a consequente venda no ACL, pois ela receberá com antecedência a curva de ofertas das três usinas geradoras.

Nos dois modelos de leilão foram utilizados como dados de entrada os cenários das gerações das usinas de energia alternativa, os cenários de preço spot, os preços de compra dados como lances nos leilões e suas garantias físicas. O período considerado foi de 12 meses.

Nas próximas subseções será explicada a obtenção dos dados acima descritos.

8.1

Oferta de Energia de Biomassa

Como visto no capítulo 3, uma usina termelétrica movida à biomassa gera toda sua potência disponível durante os meses do ano nos quais ocorre a safra da

cana-de-açúcar, que na região Sudeste do Brasil acontece durante os meses de maio a novembro, ou seja, durante 7 meses. O custo variável unitário (CVU) é considerado nulo.

Neste estudo de caso, foram consideradas 10 usinas à biomassa de cana perfazendo o total de 86,2 MW. Todas as usinas foram consideradas instaladas no Sudeste, e caso ocorra um excedente de produção, esta energia será vendida ao preço spot deste submercado.

A função de geração (MWh) de uma usina biomassa durante os meses do ano é descrita pelas seguintes equações:

$$G_{Bio}(m_1) = 86,2 \text{ MW} \cdot h_{m_1}, \quad m_1 \in \{\text{mai, jun, jul, ago, set, out, nov}\}$$

$$h_{m_1} \in \{744, 720, 744, 744, 720, 744, 720\}$$

$$G_{Bio}(m_2) = 0 \text{ MWh}, \quad m_2 \in \{\text{dez, jan, fev, mar, abr}\}$$

O gráfico de geração em função da capacidade total da usina é mostrado abaixo:

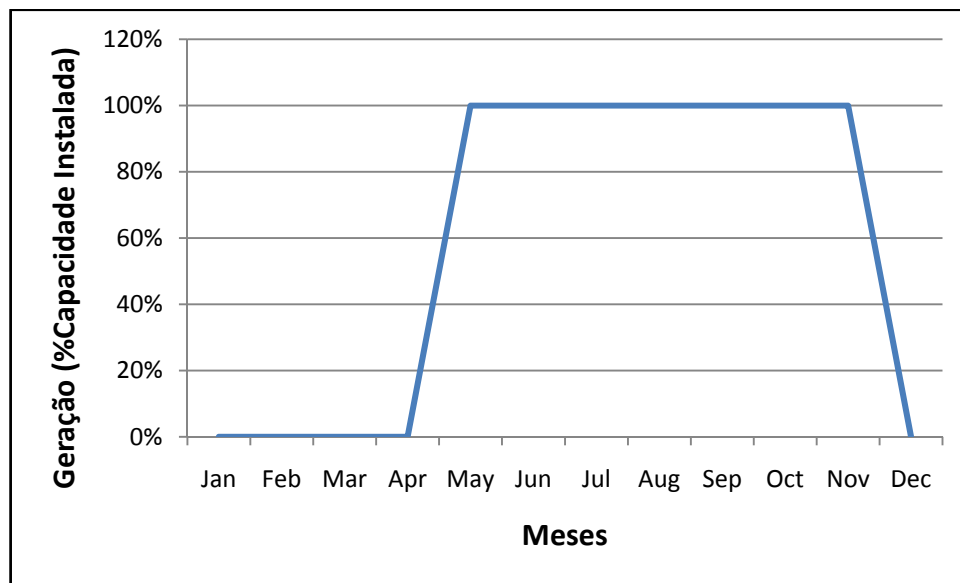


Figura 8-1 - Gráfico da Geração das Ofertantes de Biomassa em Função da Capacidade instalada

As perdas de transmissão das usinas até o Centro de Gravidade (CG) foram consideradas iguais a 3%, e foram descontadas dos dados de geração utilizados nos modelos de leilões. Com isso a função geração, descontada destas perdas, ficará:

$$G_{B*io}(m_1) = 86,2 \text{ MW} \cdot h_{m_1} \cdot 0,97, \quad m_1 \in \{\text{mai, jun, jul, ago, set, out, nov}\}$$

$$h_{m1} \in \{744, 720, 744, 744, 720, 744, 720\}$$

$$G_{Bio}(m_2) = 0 \text{ MWh}, \quad m_2 \in \{dez, jan, fev, mar, abr\}$$

A usina termelétrica a biomassa tem um perfil de geração fixo ao longo do ano. O lastro contratual, que é o limite de contratação de uma usina é igual à sua geração média anual. Portanto, seu lastro contratual será de 58% de sua potência disponível, pois gera durante 7 dos 12 meses do ano sua potência total disponível. Seu lastro contratual será de:

$$\text{Lastr}_{BIO} = 58\% \cdot 86,2 \text{ MWmed} = 50 \text{ MWmed}$$

8.2

Oferta de Energia Eólica

Como visto no capítulo 3, a geração de uma usina eólica é função da velocidade dos ventos. A intensidade dos ventos é um fenômeno sazonal e incerto, sendo que no Brasil, e principalmente na região Nordeste, os ventos mais fortes ocorrem de junho a dezembro.

Os cenários de produção de energia eólica foram obtidos através de simulação de cenários de velocidade do vento ao longo dos meses do ano, os quais são convertidos em energia considerando a função característica de um aerogerador.

A distribuição de cenários ao longo do ano é descrita pela função de distribuição Weibull [21]. Para valores dos parâmetros, foram utilizados os da Tabela 3-2 - Parâmetros Weibull - Fazenda Eólica (capítulo 3). Neste estudo de caso vamos considerar um “POOL” de usinas eólicas com uma soma de lastro igual a 50 MWmed. Com os cenários de vento simulados de acordo com os dados indicados acima, a geração decorrente foi obtida de acordo com a metodologia descrita no capítulo 3. Por conveniência, a principal expressão que relaciona vento e potência é repetida a seguir:

$$P = \frac{1}{2} \rho A v^3 C_p(v) \quad (8-1)$$

Neste estudo, o aerogerador considerado foi o E-70 da WOBLEN, que possui potência instalada de 2.300KW. Foram obtidos 200 cenários para os 12 meses do ano de vigência dos contratos: 2014.

O gráfico abaixo mostra a produção média e o intervalo de confiança de 95% da produção eólica em percentual da capacidade instalada.

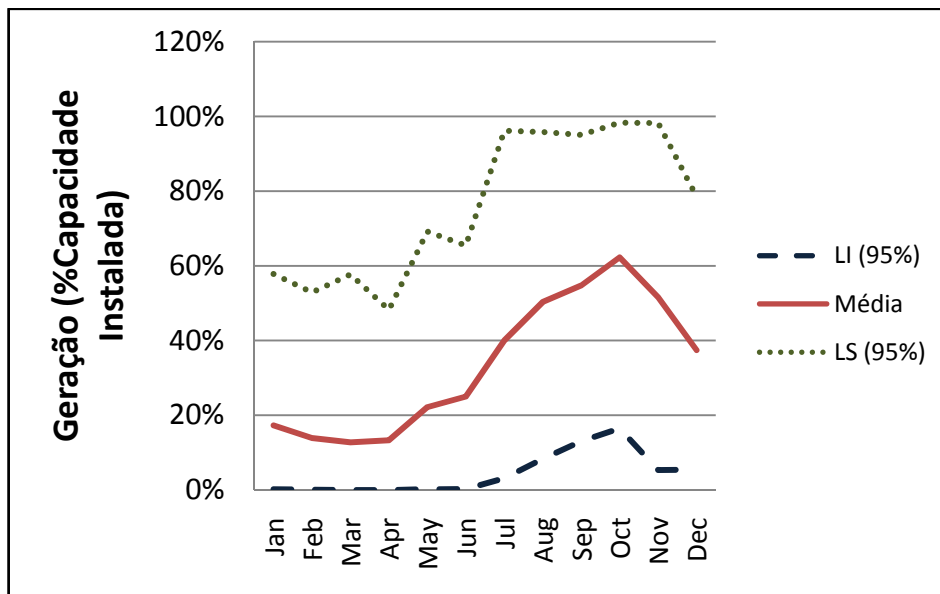


Figura 8-2 - Gráfico dos Cenários de Geração das Ofertantes de Eólica em Função da Potência Disponível

Assim como foi feito nos dados de geração das usinas à biomassa, foram descontados 3% do valor encontrado para as gerações das usinas, correspondente às perdas de transmissão das usinas até o Centro de Gravidade (CG) do submercado.

Pelo o uso de energia eólica em escala de mercado ser algo relativamente novo, não há históricos de gerações de energia como existe para as fontes hídricas.

Neste estudo de caso, o lastro contratual foi calculado como sendo a média das gerações dos 200 cenários ao longo do ano selecionado para o estudo de caso (2014). Procurou-se reunir usinas que fizessem um lastro próximo ao encontrado para a fonte biomassa.

O gráfico a seguir é referente à geração anual da usina eólica em função de seu lastro contratual.

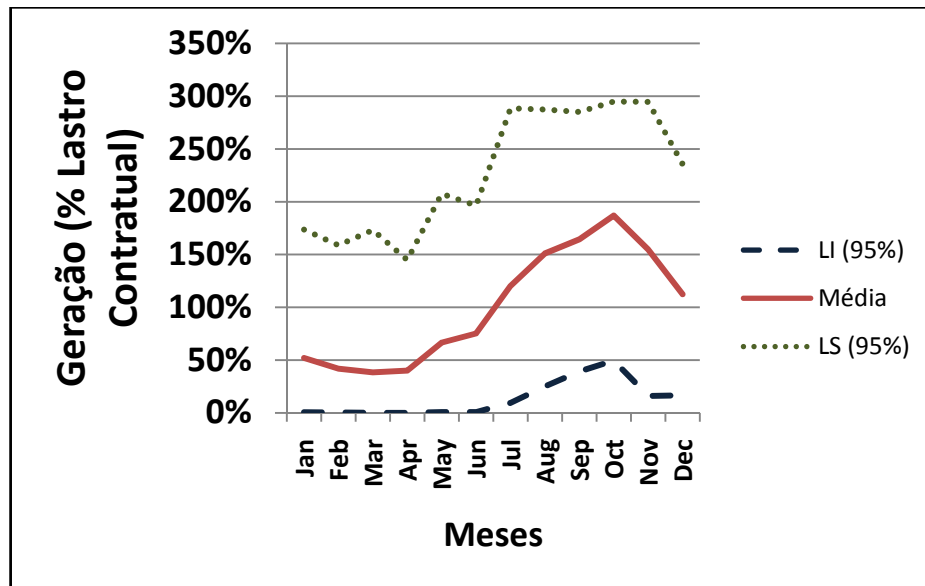


Figura 8-3 - Gráfico dos Cenários de Geração das Ofertantes de Eólica em Função do Lastro Contratual

8.3

Oferta de Energia pelas Pequenas Centrais Hidrelétricas

Uma Pequena Central Hidrelétrica não possui capacidade de regularização, então sua geração é totalmente dependente dos volumes de afluência natural.

Porém neste estudo de caso, iremos considerar que as PCH a serem contratadas participam do Mecanismo de Realocação de Energia (MRE), que agrega toda a produção hidrelétrica brasileira e a distribui entre os geradores na proporção das respectivas Garantias Físicas. A usina participante do MRE consegue se proteger melhor da incerteza hidrológica, pois as diferenças entre as energias geradas no período seco e úmido não são tão grandes quanto seriam se estivesse operando fora deste mecanismo.

Os dados para os cenários utilizados nas análises foram obtidos através da simulação da operação do sistema brasileiro, utilizando o software SDDP (cenários concedidos para esse estudo pela PSR Consultoria, [39]), e correspondem à geração de PCH participantes do MRE do ano de 2014, que totalizam 93.5 MW de potência disponível.

O gráfico abaixo mostra a distribuição dos cenários das gerações em função da potência total instalada.

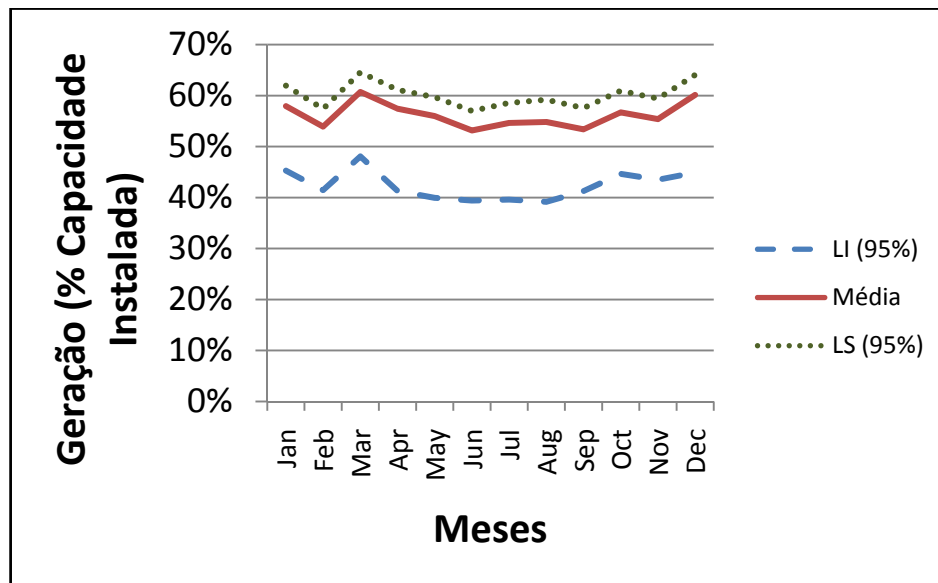


Figura 8-4 - Gráfico dos Cenários de Geração das Ofertantes de PCH em Função da Capacidade instalada (MRE 2014)

Foram simulados 200 cenários de geração para cada mês do ano e descontadas as perdas de transmissão das usinas até o Centro de Gravidade (CG), que neste trabalho foram consideradas 3%. O lastro contratual de uma PCH é calculado através da média de geração da usina operada a fio d'água ao longo de um histórico de 30 anos. Para a PCH fictícia considerada neste trabalho foi utilizado o histórico de vazão da usina Paraibuna.

Nos estudos serão utilizadas usinas que somarão 50 MWmed em lastro contratual. Valor próximo aos lastros das fontes à biomassa e eólica. As estatísticas dos cenários de geração em função do lastro contratual estão mostradas no gráfico a seguir.

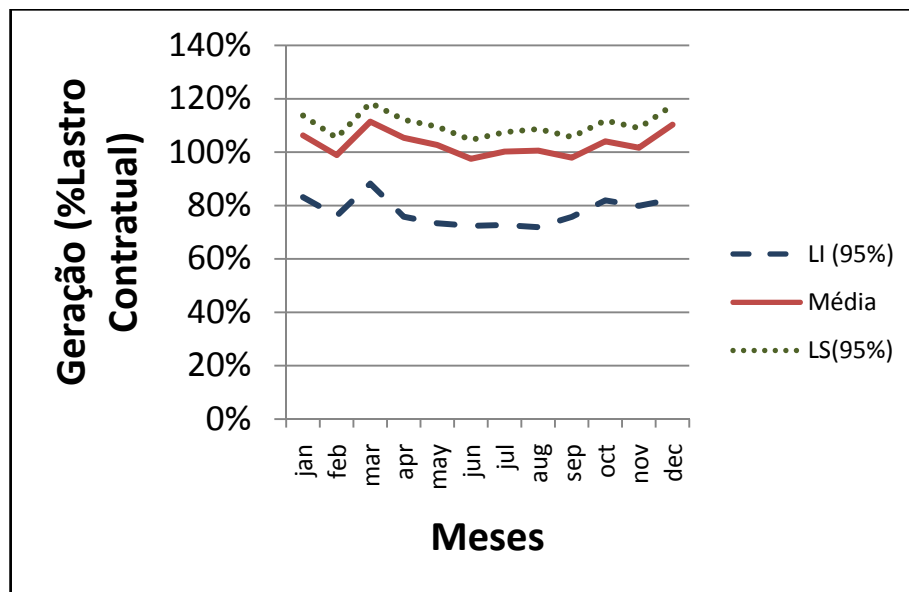


Figura 8-5 - Gráfico dos Cenários de Geração das Ofertantes de PCH em Função do Lastro Contratual

Nos três tipos de fontes, foi utilizado o mesmo valor de lastro contratual, de maneira que as fontes concorressem de maneira igual no que tange a quantidade de energia ofertada.

8.4

Preço Spot

Como as usinas eólicas se localizam no Nordeste e o consumidor livre e as usinas à biomassa e PCH se localizam no Sudeste, os modelos devem receber os dados dos cenários para os preços *spot* do Nordeste e do Sudeste. Tal procedimento ocorre devido ao fato da energia gerada pelas usinas eólicas ser vendida no mercado Nordeste, ao preço de curto prazo ou *spot*, pois o consumidor se localiza na região Sudeste.

Os 200 cenários por período para os *spots* do Nordeste e do Sudeste, foram obtidos pela simulação da operação do sistema. O intervalo de confiança dos preços nos dois subsistemas é mostrado nos gráficos a seguir:

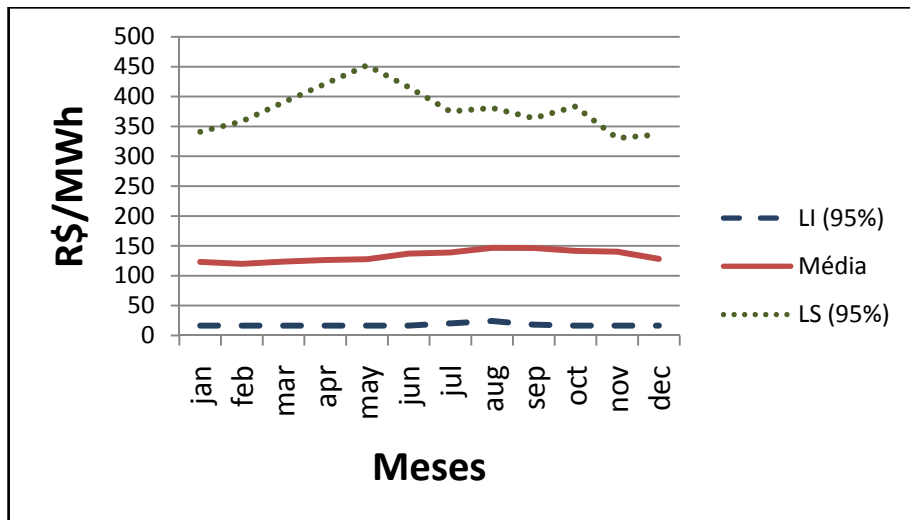


Figura 8-6 - Gráfico com o Intervalo de Confiança de 90% dos Cenários de Preço Spot para o Mercado do Nordeste (2014)

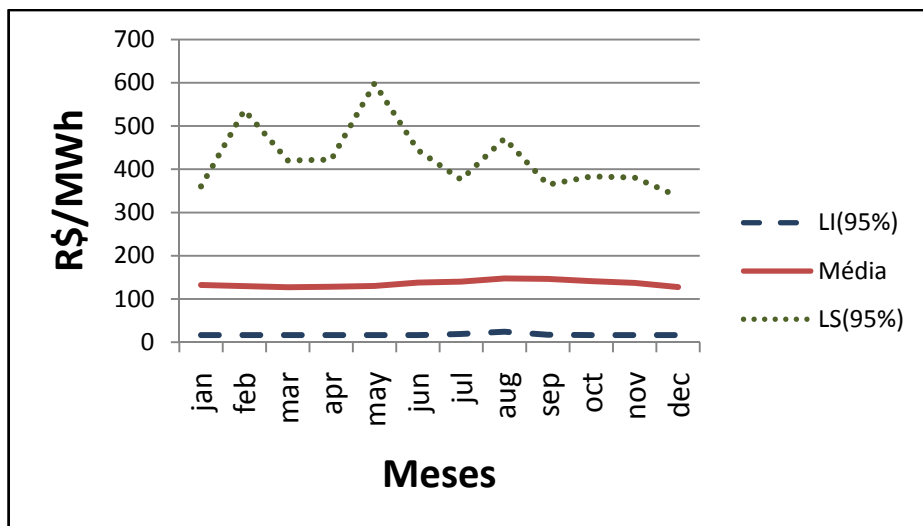


Figura 8-7 - Gráfico com o Intervalo de Confiança de 90% dos Cenários de Preço Spot para o Mercado do Sudeste (2014)

8.5

Curvas de Oferta das Geradoras

Como o foco deste trabalho não reside na obtenção da oferta dos geradores, mas sim na demanda do consumidor, para gerar as curvas de ofertas de cada uma das fontes, foi realizado um sorteio de pontos aleatórios, uniformemente distribuídos dentro de um intervalo de preços observado nos últimos leilões de contratação no ACR: de 130 a 150 R\$/MWh. Foram gerados, para cada fonte,

curvas com 10 pares diferentes de preço e quantidade de maneira a emular o processo de oferta dos geradores.

Nenhum fator psicológico é levado em consideração no momento da realização das ofertas, pois parte-se do princípio de racionalidade dos agentes e suas ofertas são frutos de contas que consideram seus custos de oportunidade.

As curvas com as ofertas para cada fonte estão representadas nos gráficos abaixo:

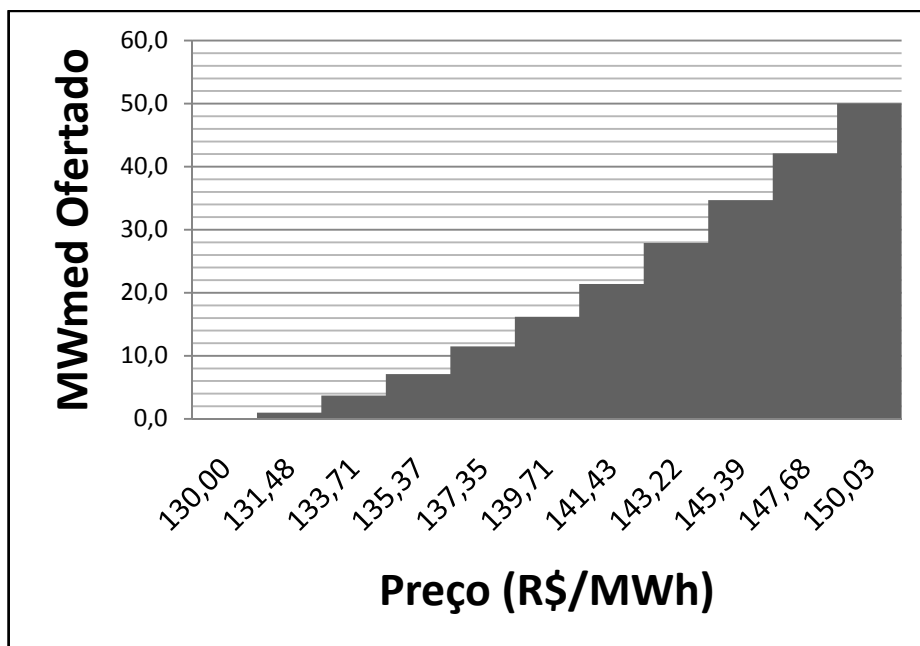


Figura 8-8 - Curva de Ofertas Biomassa

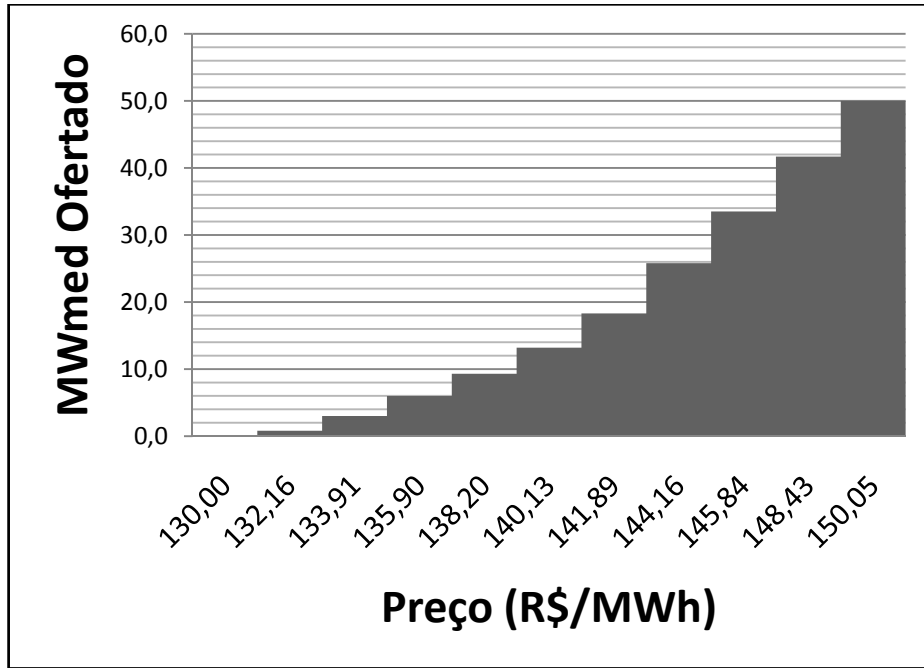


Figura 8-9 - Curva de Ofertas Eólica

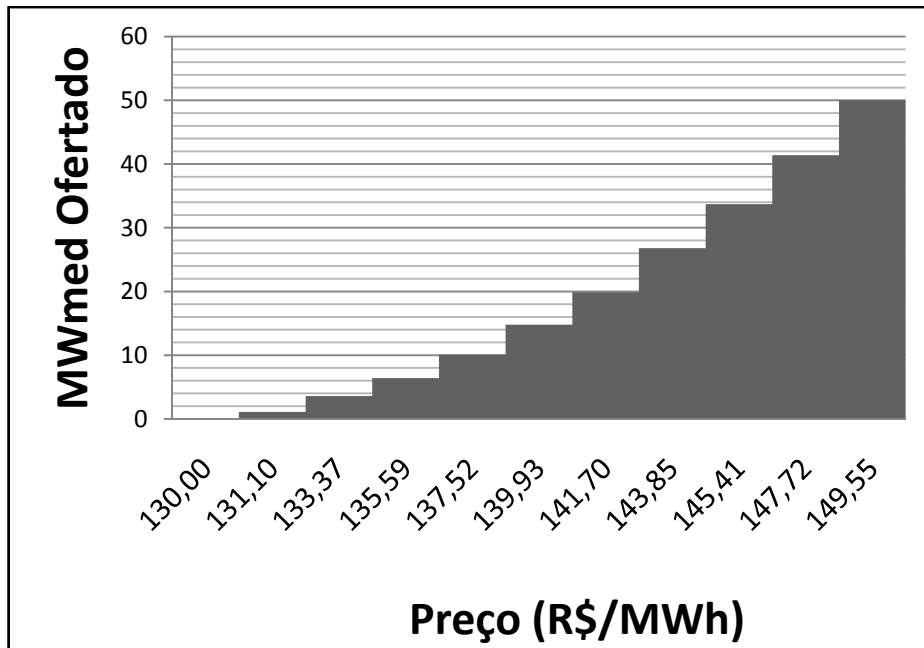


Figura 8-10 - Curva de Ofertas PCH

8.6

Contrato de Venda para o Consumidor

A comercializadora irá vender sua energia a um consumidor livre localizado no Sudeste, e poderá comercializar uma quantidade máxima de energia de 50 MWmed, ao preço de R\$ 165,00/MWh, considerando o mesmo raciocínio empregado em [45][47], onde se leva em conta o desconto na tarifa de fio proporcionada pela lei Nº 9.427 de dezembro de 1996.

Para chegar ao valor de 165 R\$/MWh foi considerado que um consumidor livre contratado a 115 R\$/MWh e com uma tarifa fio, cobrada pela distribuidora, de 135 R\$/MWh somaria uma tarifa final de energia de 250 R\$/MWh. Então, a comercializadora poderia oferecer a este consumidor um contrato com tarifa de energia igual 165 R\$/MWh e com o benefício da lei supracitada, a tarifa fio (por contratar fontes incentivadas) poderia ficar à 75 R\$/MWh (equivalente a 55% de redução prevista em lei), assim o consumidor livre pagaria 225 R\$/MWh e obteria 10% de desconto com relação aos anteriores 250 R\$/MWh e a comercializadora receberia 165 R\$/MWh.

8.7

Resultados

Com base nos dados da subseção anterior, foram obtidos os resultados para os dois modelos de leilão, conforme será descrito nas próximas subseções.

8.7.1

Leilão Dinâmico de Preço Único

Neste leilão, a comercializadora compra contratos por disponibilidade das fontes à biomassa, eólica e PCH. O abastecimento se iniciará no ano de 2014, e terá duração de um ano.

A curva de ofertas é revelada a cada lance do leilão.

Como saída do modelo, foram verificadas as quantidades de energia comprada de cada fonte e vendida ao consumidor livre, os preços de cada transação, e os valores encontrados para o valor esperado e o CVaR (95%) anuais.

Será analisada a solução de um perfil avesso ao risco, ou seja, a comercializadora tomará decisões neste leilão levando em consideração um CVaR do lucro anual limitado a -10 milhões de reais. Os resultados estão resumidos na tabela abaixo:

Tipo do Leilão	R^{min} (MMR\$)	Q Venda (MWméd)	Q Compra BIO (MWméd)	Q Compra EOL (MWméd)	Q Compra PCH (MWméd)	Qt Compra Total (MWméd)	Hedge (% compra)
Dinâmico	- 10.0	50.0	21.4	1.5	35.7	58.6	15.0%

Tipo do Leilão	R^{min} (MMR\$)	P Venda (R\$/MWh)	P Compra BIO (R\$/MWh)	P Compra EOL (R\$/MWh)	P Compra PCH (R\$/MWh)	Valor Presente do Lucro (MMR\$)	CVaR (95%) (MMR\$)
Dinâmico	- 10.0	165.00	141.43	133.91	145.31	6.9	-10.0

Tabela 8-1 - Resultados Leilão Dinâmico

No próximo gráfico, vemos a distribuição de probabilidade do Valor Presente Esperado da Renda Líquida:

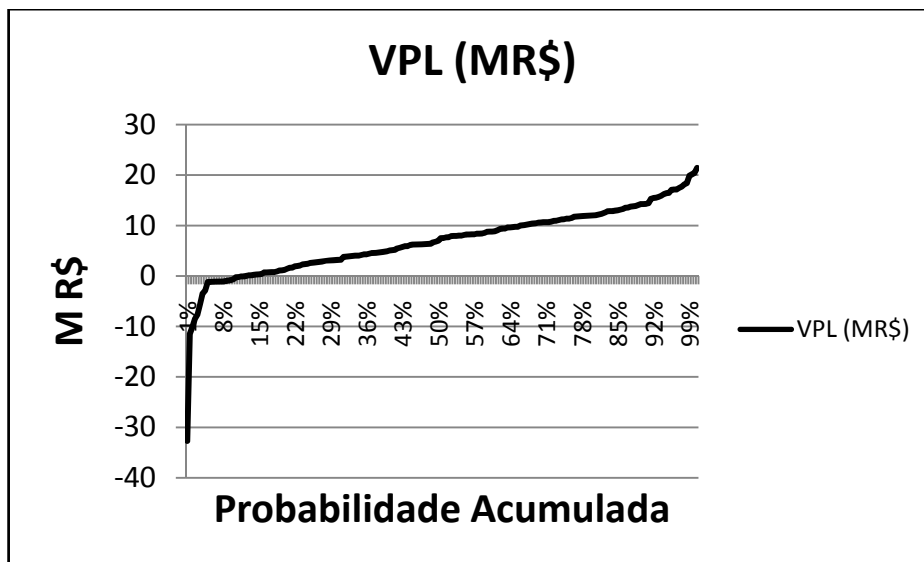


Figura 8-11 - Distribuição do Valor Presente da Renda Líquida (Leilão Dinâmico)

Neste estudo de caso a venda ao consumidor livre foi totalmente aproveitada para o preço de compra de R\$165,00/MWh.

8.7.2

Leilão Estático de Preço Único

Neste leilão, como ocorreu no anterior, a comercializadora vende até 50 MW ao consumidor livre lastreado por contratos por disponibilidades das fontes à biomassa, eólica e PCH. O abastecimento se iniciará no ano de 2014, e terá duração de um ano.

Diferentemente do leilão dinâmico, a comercializadora recebe a curva de ofertas antes do início deste. Como ocorreu no leilão dinâmico, na saída do modelo, foram verificadas as quantidades de energia comprada de cada fonte e vendida ao consumidor livre, os preços de cada transação, e os valores encontrados para o valor presente do lucro e o CVaR (95%) anuais.

Também será analisada a solução para um perfil avesso ao risco, seguindo os mesmo parâmetros utilizados no leilão dinâmico. Os resultados já são apresentados de maneira comparativa aos resultados encontrados anteriormente:

Tipo de Leilão	R^{min} (MMR\$)	Q Venda (MWméd)	Q Compra BIO (MWméd)	Q Compra EOL (MWméd)	Q Compra PCH (MWméd)	Q Compra Total (MWméd)	Hedge (%compra)
Dinâmico	- 10.0	50.0	21.4	1.5	35.7	58.6	15.0%
Estático	-10.0	49.6	27.9	6.0	23.3	57.2	13.0%

Tipo de Leilão	R^{min} (MMR\$)	P Venda (R\$/MWh)	P Compra BIO (R\$/MWh)	P Compra EOL (R\$/MWh)	P Compra PCH (R\$/MWh)	Valor Presente Lucro(MMR\$)	CVaR (95%) (MMR\$)
Dinâmico	- 10.0	165.00	141.43	133.91	145.31	6.9	-10.0
Estático	-10.0	165.00	143.22	135.90	141.17	8.3	-10.0

Tabela 8-2 - Resultados Dinâmico versus Estático

No próximo gráfico, vemos a comparação das distribuições de probabilidade dos VPL para os dois leilões:

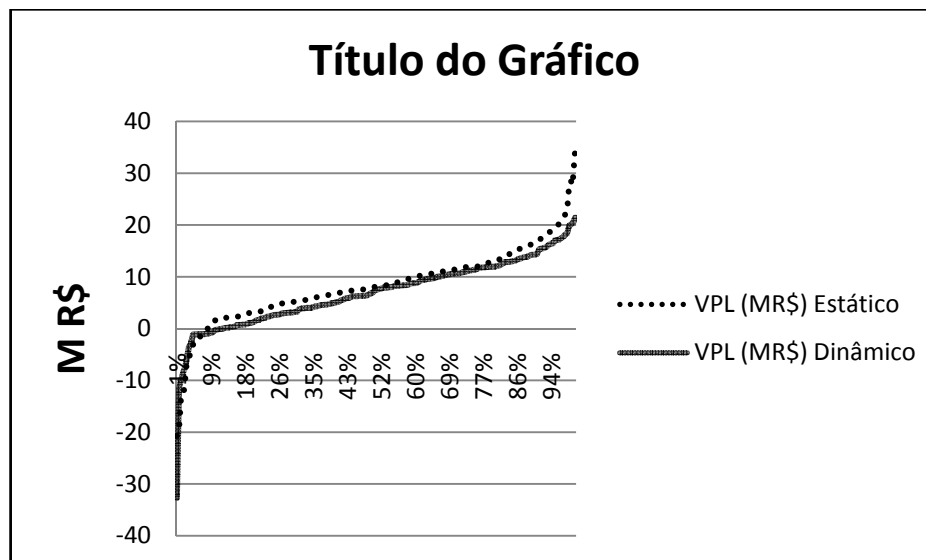


Figura 8-12 - Distribuição do Valor Presente da Renda Líquida

Como era de se esperar sob a hipótese de racionalidade dos agentes, o leilão estático oferece a comercializadora um desenho que permite traçar sua estratégia ótima global de demanda, pois nele é possível aproveitar todas as informações. No leilão dinâmico, a comercializadora pode se precipitar e comprar uma quantidade maior de energia para uma determinada fonte, como ocorreu neste estudo de caso com a fonte PCH, pois existe a dúvida se esta continuará ofertando nos próximos lances. Isso reflete no valor esperado do lucro anual, como pode ser visto nesta comparação: o do leilão estático apresentou um resultado esperado aproximadamente 20% superior ao do dinâmico.

Pela análise da sobreposição do Valor Presente Esperado da Renda Líquida, podemos ver que o leilão estático possui maiores retornos e menores perdas em relação ao leilão dinâmico.

8.7.3

Sensibilidade no Perfil de Risco

Nesta seção iremos analisar como evolui a decisão ótima da comercializadora ao variarmos seu perfil de risco, ou seja, desde perfis com forte aversão ao risco até um perfil neutro ao risco. Foram analisados 15 diferentes perfis de risco, onde o parâmetro de aversão ao risco R^{min} (resultado mínimo permitido por ano) foi variado de zero a valores tais que a restrição de risco não

mais fizesse efeito. Nas próximas páginas, será apresentada a comparação dos resultados energéticos e financeiros de ambos os leilões:

R^{min} (MMR\$)	Q Venda (MWméd)	Q Compra BIO (MWméd)	Q Compra EOL (MWméd)	Q Compra PCH (MWméd)	Q Compra Total (MWméd)	Hedge (MWméd)	Hedge (%compra)
0	0.0	0	0	0	0	0	0
-1	12.5	7.1	0.7	7.4	15.2	2.7	18.0%
-3	26.0	11.5	3.0	17.3	31.8	5.8	18.0%
-5	37.6	21.4	0.8	23.3	45.5	7.9	17.0%
-10	50.0	21.4	1.5	35.7	58.6	8.6	15.0%
-15	49.4	21.4	3.0	29.8	54.2	4.8	9.0%
-20	49.1	16.2	6.0	29.8	52.0	2.9	6.0%
-25	49.3	1.5	9.3	29.8	50.6	1.3	3.0%
-30	50.0	7.0	13.2	29.8	50.0	0.0	0.0%
-35	50.0	1.1	13.2	35.7	50.0	0.0	0.0%
-40	50.0	1.6	6.0	42.4	50.0	0.0	0.0%
-45	50.0	0.0	0.0	50.0	50.0	0.0	0.0%
-50	50.0	0.0	0.0	50.0	50.0	0.0	0.0%
-100	50.0	0.0	0.0	50.0	50.0	0.0	0.0%
-Inf	50.0	0.0	0.0	50.0	50.0	0.0	0.0%

Tabela 8-3 - Sensibilidade R^{min} : Resultados Energéticos do Leilão Dinâmico

R^{min} (MMR\$)	Q Venda (MWméd)	Q Compra BIO (MWméd)	Q Compra EOL (MWméd)	Q Compra PCH (MWméd)	Q Compra Total (MWméd)	Hedge (MWméd)	Hedge (%compra)
0	0.0	0	0	0	0	0	0
-1	12.6	7.1	0.8	7.4	15.3	2.7	17.0%
-3	24.8	16.2	1.8	12.1	30.1	5.3	18.0%
-5	34.5	21.4	3.0	17.3	41.7	7.2	17.0%
-10	49.6	27.9	6.0	23.3	57.2	7.6	13.0%
-15	50.0	27.9	9.3	17.2	54.4	4.4	8.0%
-20	49.1	27.9	9.3	12.1	49.3	0.2	0.0%
-25	50.0	27.9	13.2	8.9	50.0	0.0	0.0%
-30	50.0	21.4	18.3	10.3	50.0	0.0	0.0%
-35	50.0	21.4	18.3	10.3	50.0	0.0	0.0%
-40	50.0	21.4	18.3	10.3	50.0	0.0	0.0%
-45	50.0	21.4	18.3	10.3	50.0	0.0	0.0%
-50	50.0	21.4	18.3	10.3	50.0	0.0	0.0%
-100	50.0	21.4	18.3	10.3	50.0	0.0	0.0%
-Inf	50.0	21.4	18.3	10.3	50.0	0.0	0.0%

Tabela 8-4 - Sensibilidade R^{min} : Resultados Energéticos do Leilão Estático

R^{min} (MMR\$)	Preço Venda (R\$/MWh)	Preço Compra BIO (R\$/MWh)	Preço Compra EOL (R\$/MWh)	Preço Compra PCH (R\$/MWh)	Valor Presente do Lucro (MMR\$)	CVaR (95%) (MMR\$)
0	NA	NA	NA	NA	NA	NA
-1	165.00	135.37	133.91	135.09	2.8	-1.0
-3	165.00	137.35	133.91	139.43	5.0	-3.0
-5	165.00	141.43	133.91	141.17	5.9	-5.0
-10	165.00	141.43	133.91	145.31	6.9	-10.0
-15	165.00	141.43	133.91	143.15	7.9	-15.0
-20	165.00	139.71	135.90	143.15	8.5	-20.0
-25	165.00	137.35	138.20	143.15	8.9	-25.0
-30	165.00	135.37	140.13	143.15	9.1	-30.0
-35	165.00	133.71	140.13	145.31	8.2	-33.4
-40	165.00	133.71	135.90	147.52	7.3	-36.1
-45	165.00	NA	NA	149.55	5.7	-42.6
-50	165.00	NA	NA	149.55	5.7	-42.6
-100	165.00	NA	NA	149.55	5.7	-42.6
-Inf	165.00	NA	NA	149.55	5.7	-42.6

Tabela 8-5 - Sensibilidade R^{min} : Resultados Financeiros do Leilão Dinâmico

R^{min} (MMR\$)	Preço Venda (R\$/MWh)	Preço Compra BIO (R\$/MWh)	Preço Compra EOL (R\$/MWh)	Preço Compra PCH (R\$/MWh)	Valor Presente do Lucro (MR\$)	CVaR (95%) (MMR\$)
0	NA	NA	NA	NA	NA	NA
-1	165.00	135.37	132.16	135.09	2.9	-1.0
-3	165.00	139.71	133.91	137.12	5.0	-3.0
-5	165.00	141.43	133.91	139.43	6.2	-5.0
-10	165.00	143.22	135.90	141.17	8.3	-10.0
-15	165.00	143.22	138.20	139.43	9.1	-15.0
-20	165.00	143.22	138.20	137.12	9.7	-20.0
-25	165.00	143.22	140.13	137.12	9.7	-22.3
-30	165.00	141.43	141.89	137.12	9.7	-25.5
-35	165.00	141.43	141.89	137.12	9.7	-25.5
-40	165.00	141.43	141.89	137.12	9.7	-25.5
-45	165.00	141.43	141.89	137.12	9.7	-25.5
-50	165.00	141.43	141.89	137.12	9.7	-25.5
-100	165.00	141.43	141.89	137.12	9.7	-25.5
-Inf	165.00	141.43	141.89	137.12	9.7	-25.5

Tabela 8-6 - Sensibilidade R^{min} : Resultados Financeiros do Leilão Estático

Pode-se perceber que ao mudar o perfil de avesso ao risco para neutro ao risco, a estrutura de contratação aumenta a compra e a venda de energia nos dois tipos de leilão.

No caso do leilão dinâmico, num perfil totalmente avesso ao risco, é montado um portfólio com as três fontes, com valores equilibrados entre as fontes biomassa e PCH e uma pequena participação de eólica. Ao passar para um perfil neutro ao risco, a fonte PCH passa a predominar, chegando a 100% de participação no portfólio. Nos cenários avessos ao risco, a comercializadora sempre contrata uma quantidade maior que sua venda, pois ela enxerga possibilidades de ganhos ao vender a energia excedente no mercado de curto prazo.

Um efeito interessante, que pode ser constatado nos resultados energéticos apresentados na Tabela 8-4, é que ao contrário do leilão dinâmico, a estratégia ótima de compra no leilão estático não produz, no caso neutro a risco (quando R^{min} é menos infinito), um perfil de compra único em que toda a demanda se concentra em uma só fonte. Matematicamente esse fato pode ser justificado em função do modelo de estratégia ótima desenvolvido para o leilão se tratar de um modelo não convexo e combinatorial (PLIM). De maneira simples, o que acontece é que o problema que está sendo resolvido envolve um *trade-off* entre o custo com a compra de energia de cada tipo de fonte, que é função das curvas de oferta não lineares e não convexas dos geradores, e o benefício da revenda através de contratos e no spot, que é uma função linear. Essa não linearidade e principalmente não convexidade (devido aos “degraus”) na função custo podem produzir descontinuidades (verificadas na ilustração da Figura 7-4), que em última análise ajudam a promover um efeito combinatorial e não linear no portfólio de contratos a ser adquirido.

Outro ponto importante de notar, no leilão dinâmico, é o fato do valor esperado do lucro anual decrescer ao diminuirmos o valor do resultado mínimo aceitável (R^{min}), o que é totalmente contra intuitivo, pois se espera que ao relaxar uma restrição de CVaR mínimo o valor da função objetivo aumente. Esse efeito é constatado ao passar de -30 MR\$ para -45MR\$ o R^{min} (há um decréscimo de quase 20%). Isso ocorre devido ao fato deste leilão ser um processo iterativo, e dependendo da ordem que são apresentadas as ofertas, os resultados podem sair

diferentes. Em outras palavras, como a comercializadora não possui as curvas de oferta à disposição para escolher qual o melhor lance de compra, a maximização da função objetivo não é garantida pelo processo iterativo de minimização dos preços através do leilão. Assim, se em um dado perfil a demanda por um produto for ligeiramente diferente em um segundo perfil de risco, as iterações do leilão dinâmico se sucederão de maneira diferente e, desse modo, poderão terminar de maneiras distintas. Claramente, isso não ocorre no leilão estático, pois este tem o seu resultado definido por um modelo sob a informação completa das ofertas e por um algoritmo que garante otimalidade global. Neste, se uma restrição é relaxada, é garantido que o resultado da função objetivo (no caso o valor esperado) será igual ou superior, como é constatado na Tabela 8-6 ou na Figura 8-13.

No leilão estático, num perfil totalmente avesso a risco, é montada uma carteira de contratos com as três fontes, e como ocorreu no leilão dinâmico, as fontes PCH e biomassa estão equilibradas e há uma pequena participação da fonte eólica. Ao passar para um perfil neutro ao risco, a comercializadora monta uma carteira com maior participação da eólica em relação ao perfil avesso, mas a fonte que predomina é a biomassa (43%). PCH e eólica possuem participação de 21 % e 37%, respectivamente.

O gráfico a seguir mostra a comparação entre os valores esperados do lucro anual dos dois leilões em função da análise de sensibilidade do resultado mínimo requerido.

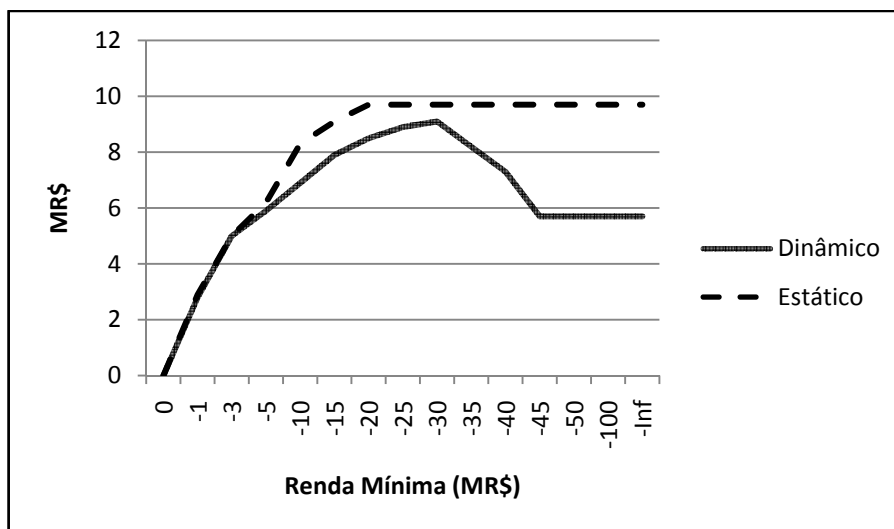


Figura 8-13 - Comparação valor esperado do lucro anual x R^{\min}

A comparação feita entre os dois leilões na montagem do portfólio ótimo é mostrada nos dois gráficos a seguir.

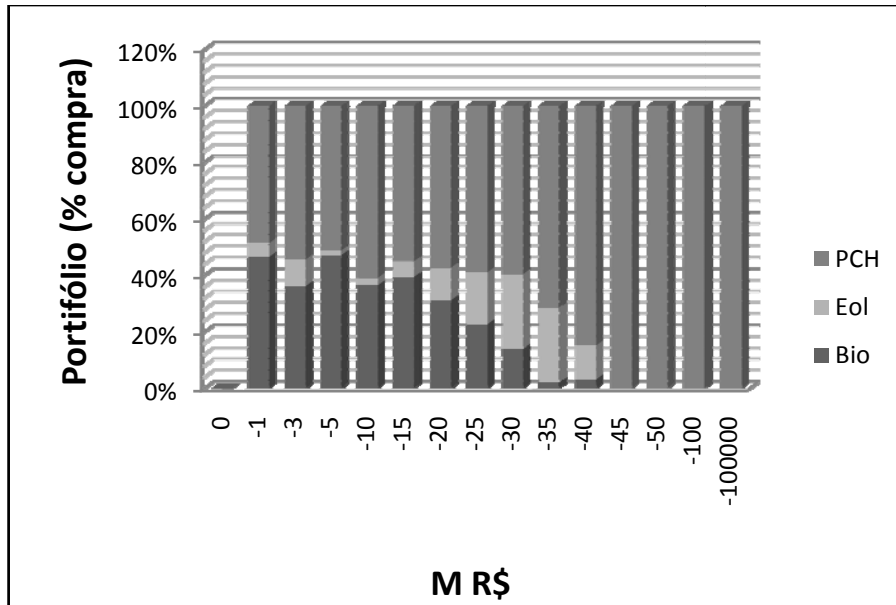


Figura 8-14 - Portfólio Ótimo em Função de R^{\min} no Leilão Dinâmico

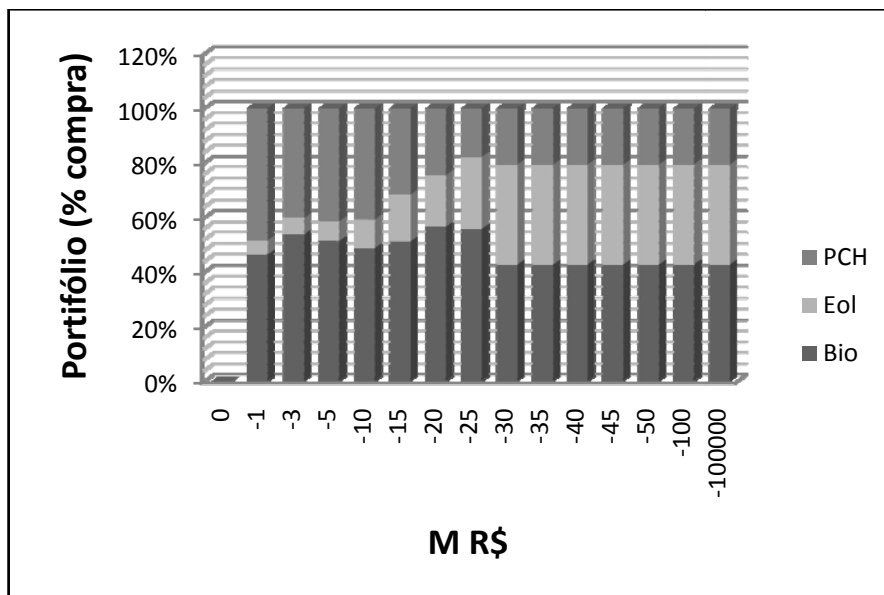


Figura 8-15 - Portfólio Ótimo em Função de R^{\min} no Leilão Estático

Nos dois casos, a disposição a contratar da comercializadora, dado seu perfil de risco, cresce ao passar de avessa a neutra ao risco. Podemos ver sua evolução nos gráficos abaixo:



Figura 8-16 - Disposição a Contratar por Quantidade no Leilão Dinâmico



Figura 8-17 - Disposição a Contratar por Quantidade no Leilão Estático

Nos dois tipos de leilão, a oportunidade de venda é quase integralmente aproveitada pela comercializadora a partir de -9 MMR\$ de R^{min} por ano, ou seja, fechará um contrato de quantidade próxima ou de 50 MWmed com o consumidor.