

## 4 Metodologia

Com a interligação de todos os submercados surgiu a possibilidade de serem realizados *Swaps* de energia elétrica entre eles, ou seja, a compra de energia em um submercado e a venda em outro com PLD diferente. Assim, uma empresa comercializadora de energia pode contratar energia e vendê-la entre empresas geradoras e agentes compradores de qualquer um dos submercados. Várias operações de *Swap* quando realizadas de forma conjunta, formam uma carteira e assim apresentam uma relação entre retorno esperado e risco assumido.

Esses *Swaps* são feitos com base na possível divergência de valores dos PLDs em diferentes submercados, podendo assim ser lucrativos caso a venda de energia elétrica seja no submercado onde haja um preço maior que o contratado ou gerarem prejuízos no caso oposto.

Foram gerados valores mensais para PLDs através de uma simulação que teve como dados de entrada os utilizados pelos programas Newave e Decomp disponibilizados pela CCEE em Novembro de 2011. A simulação foi feita com esses dados gerando assim 2000 simulações para cada mês, para os anos de 2012 e 2013, chegando ao valor final de 48.000 resultados.

Com os dados mensais, encontrou-se a média anual para cada um dos respectivos períodos. Assim passou-se a ter 2000 simulações para o valor do seu PLDs médio anual, sendo esses utilizados nos *Swaps* multiplicados pela quantidade contratada média em MW e pelo número de horas que formam um ano, no caso foi utilizado o valor de 8760 horas. Esses procedimentos foram realizados tanto para o ano de 2012 como para o de 2013 e ambos os resultados foram analisados.

O objetivo desse estudo é encontrar a carteira de *swaps* de energia elétrica contratadas em MW médios que maximizam o valor da medida Ômega, tendo uma expectativa de lucro e como restrição o *Conditional Value at Risk* (CVaR).

Para a realização dessa otimização, algumas premissas foram estabelecidas:

- Toda quantidade de energia contratada é feita por operações casadas, isso é, não há risco de sobra nem de falta para ser liquidada no mercado *Spot*;
- Para a realização dos estudos iniciais utilizou-se o valor inicial de 1 MW como quantidade de energia contratada média;
- A variável de controle de risco de perda máxima é CVaR<sub>95%</sub>;
- O valor máximo de CVaR<sub>95%</sub> (V) é R\$ 300.000,00, ou seja, resultados que ultrapassaram esse valor foram descartados;
- O Lucro esperado é de R\$ 10.000,00, sendo esse o valor limite (L) da medida Ômega, ou seja, resultados acima desse foram considerados como lucro e abaixo como prejuízo;
- Não foram consideradas as incidências de PIS/COFINS e IR/CSLL.
- Não foram considerados os custos de transação e distribuição.
- Apesar de 2012 ser um ano bissexto foi considerado o valor padrão de horas por ano, 8760.

Primeiro foram feitos os *Swaps* com as simulações dos PLDs. A equação que representa o retorno financeiro de um *Swap* é:

$$\Pi = (P_v - P_c) * M * H \quad (10)$$

Onde:

$\Pi$  é o resultado do *Swap* de energia.

$P_v$  é o preço de 1 MWh no submercado comprador de energia.

$P_c$  é o preço de 1 MWh no submercado que disponibiliza energia.

$M$  é a quantidade em MW contratada.

$H$  é a quantidade de horas em um ano, sendo o valor usado igual a 8760.

Com os resultados de todos os *Swaps* dos PLDs simulados, foram feitas otimizações buscando encontrar a quantidade ótima de energia a ser contratada com a intenção de maximizar a medida Ômega, sem ultrapassar o CVaR<sub>95%</sub> definido. Sendo assim, a função objetivo a ser maximizada é a medida Ômega,

que depende dos valores do limite ou meta definido ( $L$ ) e da quantidade de energia contratada ( $M$ ) em cada um dos 12 *Swaps*.

Vale citar que os *Swaps* também podem ser feitos invertendo a ponta compradora e vendedora para todos os submercados, no entanto, apenas uma direção do *Swap* será lucrativa isoladamente. Para a otimização serão utilizados apenas os *Swaps* lucrativos, no entanto não houve uma restrição de não negatividade para os valores de  $M$ , assim todos os casos possíveis foram representados. Quando o valor  $M$  é negativo, representa que o *Swap* esta na direção oposta a definida inicialmente e quando for nulo (zero) significa que esse não entra na carteira que foi otimizada.

$L$  foi definido exogenamente ao modelo, restando apenas  $M$  como variável de decisão. Como restrição há apenas o  $CVaR_{95\%}$  não ultrapassando o valor definido também fora do modelo ( $V$ ), sendo dessa forma um *input* para o mesmo. Assim o problema pode ser representado da seguinte forma:

$$\text{Max } \Omega (L, M_1, M_2, M_3, M_4, M_5, M_6) \quad (11)$$

$s, a$

$$CVaR_{95\%} \leq V$$

Sendo:

$L$  = limite ou meta escolhida

$M$  = quantidade de energia contratada em cada um dos *Swaps* possíveis.

$V$  = valor máximo admissível para  $CVaR_{95\%}$

Os valores de  $M$  são importantes para a medida Ômega ( $\Omega$ ), pois eles estão diretamente relacionados ao resultado dos *Swaps* e, por conseguinte, para a composição de sua carteira por influenciarem na perspectiva do valor encontrado estar acima ou abaixo de  $L$ . Sendo  $L$  determinante na separação entre os resultados que fazem parte do denominador e do numerador da divisão geratriz da medida em questão.

O valor de  $V$  como limite da restrição de  $CVaR_{95\%}$  é essencial para impor limites à maximização de Ômega pois se trata de uma função monotônica, sendo

assim, sempre crescente com o aumento dos valores de  $M$ . Essa característica será comprovada mais a frente.

Após a maximização de  $\Omega$  para diferentes carteiras e encontrada a melhor, foram feitos estudos de sensibilidade para todos os *Swaps* e para as carteiras escolhidas para cada um dos anos estudados.

#### **4.1. Cálculo da simulação dos PLDs**

A simulação de PLDs foi feita em função dos dados retirados dos programas Newave e Decomp, seus valores foram gerados em bases mensais e com R\$/MWh como unidade de medida. A descrição de como os PLDs são gerados está descrita mais detalhadamente no capítulo 2 desse estudo.

Os dados de entrada no modelo de simulação se referem ao mês de Novembro de 2011 e são provenientes da programação mensal do referido mês conforme a coordenação do ONS. Assim foram obtidos 2000 valores para cada submercado, para cada mês do ano de 2012 e mais 2000 para cada submercado, para cada mês de 2013.

Com esses dados foram feitas a análise de estatísticas descritivas e o histograma com a intenção de haver um melhor entendimento sobre as mesmas.

#### **4.2. Construção dos *Swaps* de energia elétrica entre diferentes submercados**

Os dados obtidos após simulação geraram resultados em formato mensal, para facilitar sua manipulação esses foram reduzidos a médias anuais, ou seja, foram feitas as médias dos valores mensais para encontrar um valor mensal médio para o ano, em outras palavras, foi calculada a média entre todos os meses de cada ano. Essa medida facilita o cálculo, pois se torna um valor único representando o PLD do submercado para o ano, lembrando que esse valor se encontra em R\$/MWh.

Todos os *Swaps* possíveis entre os submercados foram estudados para os anos de 2012 e 2013, assim foram feitos 12 *Swaps* para cada ano de estudo. O submercado Sudeste/Centro-Oeste nas análises é tratado pelo nome de Sudeste. Todas as operações feitas estão descritas nas Tabelas 1 e 2:

Tabela 1 - *Swaps* do ano 2012

2012	
Compra	Venda
Norte	Nordeste
Norte	Sudeste
Norte	Sul
Nordeste	Norte
Nordeste	Sudeste
Nordeste	Sul
Sudeste	Norte
Sudeste	Nordeste
Sudeste	Sul
Sul	Norte
Sul	Nordeste
Sul	Sudeste

Tabela 2 - *Swaps* do ano 2013

2013	
Compra	Venda
Norte	Nordeste
Norte	Sudeste
Norte	Sul
Nordeste	Norte
Nordeste	Sudeste
Nordeste	Sul
Sudeste	Norte
Sudeste	Nordeste
Sudeste	Sul
Sul	Norte
Sul	Nordeste
Sul	Sudeste

Cada uma dessas 24 operações resultou em uma série de 2.000 informações formadas pela subtração entre os valores do submercado vendido pelos valores do submercado comprado que serve de lastro.

#### 4.3. Maximização da medida $\hat{\Omega}$ com carteira de *Swaps* Otimizada

Como foi visto anteriormente, foram definidos 24 *Swaps*, separados para o ano de 2012 e 2013, sendo calculada a carteira de *Swaps* maximizadora de  $\Omega$  para cada um desses dois anos. Para chegar a esse resultado foram buscados os valores ótimos de  $M$ , as quantidades de energia contratada, para cada um dos *Swaps* que em conjunto maximiza o valor de  $\Omega$  para cada ano, restrito a  $V$ , valor máximo para o CVaR<sub>95%</sub>.

O CVaR<sub>95%</sub> foi calculado usando as médias dos valores dos *Swaps* já multiplicados por  $M$  e pela quantidade de horas que se encontram dentro do percentil de 5%. Cada uma das carteiras tem um próprio valor para CVaR<sub>95%</sub> por apresentarem distribuições de valores diferentes umas das outras, sendo que por esse motivo é preciso calcular o valor ótimo para cada uma delas de forma independente.

Para se encontrar o valor de  $\Omega$ , usou-se primeiramente L igual a R\$ 100.000,00 e em seguida L igual a R\$ 10.000,00, o motivo para tal mudança será explicado no capítulo 5. Para o cálculo de  $\Omega$  foi calculada a razão definida no capítulo 3, onde os resultados encontrados que superam o valor de L são subtraídos do valor de L e somados no numerador, e os resultados menores que L se subtraem do valor de L e são somados no denominador. Esse procedimento foi feito dessa forma, pois, esse problema é referente a um caso discreto com resultados equiprováveis, sendo assim passível dessa simplificação, para mais detalhes sobre essa simplificação consultar capítulo 3.

Para se chegar ao valor otimizado utilizou-se a ferramenta Solver do *Software* MS Excel, que possui alguns algoritmos de resolução de problemas de programação linear, inteira e não linear, como por exemplo o *Generalized Reduced Gradient* (GRG), sendo suficientes para a resolução de problemas de baixa complexidade. Para a resolução da questão desse trabalho foi feito um procedimento em VBA (*Visual Basic for Applications*), linguagem de programação usada em programas da *Microsoft*, para reduzir o problema inicial em problemas menores para que o Solver pudesse chegar a uma solução ótima. Nesse procedimento, todas as possibilidades foram otimizadas, chegando aos melhores resultados para cada uma das diferentes combinações de *Swaps* possíveis para os dois anos estudados. Serão destacados os maiores valores de  $\Omega$  maximizados para diferentes quantidades de operações realizadas e a melhor carteira será analisada independentemente para cada um dos anos.

Como já mencionado anteriormente nesse capítulo, os *inputs* e seus valores utilizados para a resolução do problema foram, L, valor limite necessário para o cálculo de  $\Omega$ , igual a R\$ 10.000,00, e V, valor de restrição de risco máximo, CVaR<sub>95%</sub>, igual a R\$ 300.000,00. As variáveis de decisão são o M1, M2, M3, M4, M5, M6 e a função objetivo é maximizar  $\Omega$ .

#### **4.4. Simulação de valores para a análise das sensibilidades**

Após encontrar o valor ótimo e assim a melhor carteira para cada ano, foi analisado o comportamento de algumas características com a mudança no valor de outras, ou seja, a análise da sensibilidade entre elas.

Pelo modo como o problema foi construído, foi preferível à utilização de L e de M como variáveis, pois são informações utilizadas para a formação do valor de  $\Omega$ . Os valores de L variaram de R\$ 5.000,00 a R\$ 80.000,00 com intervalos de R\$ 5.000,00 enquanto que os valores de M variaram de 2,0 MW a 9,5 MW com intervalos de 0,5 MW para os *Swaps* individualmente estudados.

Foram feitos esses estudos para cada um dos *Swaps* individualmente e para as carteiras com melhor resultado para cada um dos anos estudados. Analisou-se a variação de  $\Omega$  com a variação de L tanto para os *Swaps* individuais como para as carteiras selecionadas. Também foi analisada a variação de  $\Omega$  e  $CVaR_{95\%}$  calculado em relação às mudanças no valor M no caso dos *Swaps* pois esses apresentam apenas um valor de M, sendo assim, foi possível fazer essas observações. Para as carteiras, que apresentam mais de um *Swap* em sua composição e, por conseguinte, mais de um M, usou-se um multiplicador comum para todas as operações e o estudo foi feito variando-se esse multiplicador comum, que assim como o M anterior variou de 2 a 9,5 com intervalos de 0,5 e também foi representado com o mesmo sinal nas figuras e tabelas.

Essas variações foram feitas através da função Tabela do *Software* MS Excel, com a qual é possível variar o valor de uma variável do modelo deixando as demais constantes, e assim analisar apenas o efeito dessa na alteração do valor desejado, ou seja, analisar a sensibilidade do resultado final impactado apenas pela alteração desse valor.

Na análise de sensibilidade onde se variou os valores de L, foi utilizado o valor de M igual a 1 MW no caso dos *Swaps*, sendo que o  $CVaR_{95\%}$  não é afetado pelo valor de L, pois esse não interfere nos valores da distribuição dos resultados dos *Swaps* interferindo apenas em  $\Omega$ . Em relação às carteiras foram usados os valores definidos como ótimos de M para cada uma das operações.

Na análise de sensibilidade os valores de M foram alterados, se manteve constante L igual a R\$ 10.000,00. Os valores de  $CVaR_{95\%}$  e de  $\Omega$  sofreram alterações pois são sensíveis ao valor de L, tanto para os *Swaps* quanto para as carteiras. Nesse caso a diferença foi que para os *Swaps* as variações em M foram exatamente o valor em MW médio contratado nas operações, enquanto que para as carteiras, o valor de M era um multiplicador comum aos MWs médios definidos em cada uma das operações pela otimização que gerou a melhor carteira.