

## 10 Referências Bibliográficas

- [1] ARTZNER, P.; DELBAEN, F.; EBR, J.M.; HEATH, D. **Coherent Measures of Risk**. Mathematical Finance, v.9, p. 203-228, 1999.
- [2] AWERBUCH, S. **Risky business**. Renewable Energy World, 2006.
- [3] AWERBUCH, S.; STIRLING A.; JANSEN, J.; BEURSKENS, L. **Portfolio and diversity analysis of energy technologies using full-spectrum uncertainty measures**. Commissioned Conference Paper, Understanding and Managing Business Risk in the Electric Sector, 2004.
- [4] BARROSO, L.A. **Esquemas competitivos em sistemas hidrotérmicos: comportamento estratégico de agentes geradores em ambiente de mercado**. Dissertação de Mestrado, Instituto de Matemática, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2000.
- [5] BARROSO, L.A.; TRINKENREICH, J.; GRANVILLE, S.; LINO, P.; PEREIRA, M.V. **Avaliação de estratégias de redução de risco hidrológico para empresas com portfólios predominantemente hidroelétricos**. XVII Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, Uberlândia, 2003.
- [6] BEZERRA, B.V. **Estratégia de Oferta em Leilões de Opções de Compra de Energia Elétrica**. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Elétrica, PUC-Rio, 2006.
- [7] BREALEY, R.A.; MYERS, S.C. **Principles of Corporate Finance**. Mc Graw-Hill, 1996.
- [8] DAVID, P. A. M-S. **Formação do Preço, Atração de Investimentos e Gerenciamento de Risco no Mercado Brasileiro de Energia Elétrica**. Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia Elétrica, PUC-Rio, 2004.

- [9] Decreto Presidencial 5.163 de 30 de Julho de 2004. Disponível em <http://www.aneel.gov.br>
- [10] DIXIT, A.K.; AND PINDYCK, R.S. **Investment under uncertainty**. Princeton University Press, 1994.
- [11] FARIA, E. **Alocação de Energia Firme em Sistemas Hidrotérmicos: uma abordagem por jogos cooperativos**. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Elétrica, PUC-Rio, 2004.
- [12] FORTUNATO, L.A.M.; NETO, T.A.A.; ALBUQUERQUE, J.C.R.; PEREIRA, M.V.F. **Introdução ao Planejamento da Expansão e Operação de Sistemas de Produção de Energia Elétrica**, ELETROBRÁS/Editora Universitária da UFF, 1990.
- [13] FURQUIM, S.X.C.; **Determinação do Custo de Capital para Empresas de Distribuição de Energia no Brasil**. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Industrial, PUC-Rio, 2004.
- [14] GRANVILLE, S.; LINO, P.; SOARES, L.; BARROSO, L.A.; PEREIRA, M.V. **Sweet Dreams are Made of This: Bioelectricity in Brazil**. Proceeding of the IEEE General Meeting, Tampa, 2007.
- [15] HARLOW, W.V. **Asset Allocation in a Downside-Risk Framework**. Financial Analysis Journal, 1991.
- [16] HILLER, R.S.; ECKESTEIN, J. **Stochastic Dedication: Designing Fixed Income Portfolios Using Massively Parallel Benders Decomposition**. Management Science, v.39, n.11, p.1422–1438, 1993.
- [17] HULL, J.C. **Options, Futures and Other Derivative Securities**. Prentice Hall, 1999.
- [18] IEA – **Competition in Electricity Spot Markets**. IEA Press, 2002.
- [19] JORION, P. **Value at Risk – The New Benchmark for Controlling Market Risk**. McGraw-Hill, 1997.

- [20] KELMAN, R. **Esquemas Competitivos em Sistemas Hidrotérmicos: Eficiência Econômica e Comportamento Estratégico**. Tese de Doutorado, COPPE/UFRJ, 1999.
- [21] LEVY, H.; SARNAT, M. **Portfolio and investment selection: theory and practice**. Prentice Hall, 1984.
- [22] LINO, P. **Operação Descentralizada de Sistemas Hidrotérmicos em Ambiente de Mercado**. Dissertação de Mestrado, IM/NCE-UFRJ, 2001.
- [23] Manual de Referência do Modelo Newave I e II. CEPEL, 1999.
- [24] MARKOWITZ, H.M. **Portfolio Selection**. Journal of Finance, v.7, n.1, p.77-91, 1952.
- [25] MARKOWITZ, H.M. **Portfolio Selection: Efficient Diversification of Investment**. New York, John Wiley & Sons, 1959.
- [26] PEREIRA, M.V.; PINTO, L.M. **Multi-Stage Stochastic Optimization Applied to Energy Planning**. Mathematical Programming, v.52, p.359-375, 1991.
- [27] PEREIRA, M.V.F.; PINTO, L.M.V.G. **Stochastic Optimization of a Multireservoir Hydroelectric System: A Decomposition Approach**. Water Resources Research, v.21, n.6, p.779-792, 1985.
- [28] PEREIRA, M.V.; BARROSO, L.A.; ROSENBLATT, J. **Supply Adequacy in the Brazilian Power Market**. Proceeding of the IEEE General Meeting, Denver, 2004.
- [29] PEREIRA, M.V.F. **Overview of Brazilian Regulatory Framework**. Tech. Report 39/98, PSR Consultoria, 1998.
- [30] PEREIRA, M.V.F.; CAMPODÓNICO, N.; KELMAN, R. **Long Term Hydro Scheduling Based on Stochastic Models**. EPSOM, 1998.

- [31] PEREIRA, M.V.F.; CAMPODÓNICO, N.; KELMAN, R. **Application of Stochastic Dual DP and Extensions to Hydrothermal Scheduling**. Tech. Report 12/99, PSR Consultoria, 1999.
- [32] Plano Decenal de Energia 2006-2015. Disponível em <http://www.epe.gov.br>
- [33] Plano Decenal de Energia 2007-2016. Disponível em <http://www.epe.gov.br>
- [34] Portaria MME 303, de 11 de Novembro de 2004. Disponível em <http://www.aneel.gov.br>
- [35] Portaria MME 91, de 29 de Maio de 2007. Disponível em <http://www.aneel.gov.br>
- [36] PRATT, J. **Risk Aversion in the Small and in the Large**. *Econometrica*, v.32, n.1-2, p.122-130, Jan.-Apr.1964.
- [37] Proposta de Modelo Institucional do Setor Elétrico Brasileiro - MME, de 17 de Dezembro de 2003. Disponível em <http://www.mme.gov.br>
- [38] PUELZ, A.V. **A Stochastic Convergence Model for Portfolio Selection**. *Operations Research*, v.50, n.3, p.462-276, 2002.
- [39] PUELZ, A.V. **Value-at-Risk Based Portfolio Optimization**. *Stochastic Optimization: Algorithms and Applications Conference Proceedings*, 2000.
- [40] Resolução ANEEL 165, de 19 de dezembro de 2005. Disponível em <http://www.aneel.gov.br>
- [41] Resolução ANEEL 169, de 10 de outubro de 2005. Disponível em <http://www.aneel.gov.br>
- [42] Resolução ANEEL 179, de 6 de dezembro de 2005. Disponível em <http://www.aneel.gov.br>
- [43] Resolução ANEEL 222, de 6 de outubro de 2006. Disponível em <http://www.aneel.gov.br>

- [44] Resolução ANEEL 282, de 1 de outubro de 2007. Disponível em <http://www.aneel.gov.br>
- [45] ROQUES, F. A.; NUTTALL, W.J.; NEWBERY, D.M. **Using Probabilistic Analysis to Value Power Generation Investments under Uncertainty**. EPRG Working Paper, University of Cambridge, 2006.
- [46] ROQUES, F.; NEWBERY, D.; NUTTALL, W. **Fuel mix diversification incentives in liberalized electricity markets: a Mean-Variance Portfolio Theory Approach**. EPRG Working Paper, University of Cambridge, 2006.
- [47] ROCKAFELLAR, R.T., URYASEV, S. **Conditional Value-at-Risk for General Loss Distributions**. Journal of Banking & Finance, v.26, p.1443–1471, 2002.
- [48] ROCKAFELLAR, R.T., URYASEV, S. **Optimization of Conditional Value-at-Risk**. Research Report #99-4, Center for Applied Optimization at the University of Florida, 1999.
- [49] RUDNICK, H.; BARROSO, L.A.; SKERK, C.; BLANCO, A. **South American reform lessons - twenty years of restructuring and reform in Argentina, Brazil, and Chile**. IEEE Power and Energy Magazine, v.3, 2005.
- [50] SOARES, L.; STREET, A.; LINO, P.; GRANVILLE, S.; BARROSO, L.A.; GUIMARÃES, A.R.; PEREIRA, M.V. **Precificação e Seleção de Novos Empreendimentos de Geração no Setor Elétrico Brasileiro: um Enfoque Risco Retorno**. XIX Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, Rio de Janeiro, 2007.
- [51] STREET, A. **Estratégia de Oferta de Geradoras em Leilões de Contratação de Energia**. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Elétrica, PUC-Rio, 2004.
- [52] STREET, A.; BARROSO, L.A.; CAHUANO, J.; GRANVILLE, S.; ROSENBLATT, J.; THOMÉ, L.; PEREIRA, M.V.; KELMAN, R.; FARIA, E.; VEIGA, A. **Estratégias de Atuação de Agentes Geradores sob**

- Incerteza em Leilões de Contratos de Energia Elétrica.** XVII Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, Curitiba, 2005.
- [53] TARJANNE R.; LUOSTARINEN, K. **Competitiveness Comparison of the Electricity Production Alternatives.** Lappeenranta University of Technology Research Report EN B-156, 2003.
- [54] VON DER FEHR, N.H., HARBORD, D. **Competition in Electricity Spot Markets Economic Theory and International Experience.** Memorandum, Departmente of Economics, University of Oslo, 1998.
- [55] YOUNG, M.R. **A Minimax Portfolio Selection Rule with Linear Programming Solution.** Management Science, v.44, p.673-683, 1998.

## 11

### Apêndice A - Metodologia de Cálculo do Preço do Contrato

O cálculo do preço final do contrato utiliza um processo iterativo de convergência da TIR. O preço final deve assegurar uma TIR-VaR igual ao retorno *target* especificado pelo investidor avesso a risco. O prêmio de risco (sobre-preço) é calculado como a diferença entre o preço final e o preço  $P_0$  do investidor neutro a risco, que é o preço que assegura uma TIR média igual ao retorno *target* especificado. O processo é descrito em detalhes a seguir:

#### **Passo 1: Cálculo do preço $P_0$ (investidor neutro a risco)**

O algoritmo especifica um preço inicial e calcula a TIR média dos fluxos de caixa de cada cenário sorteado. Se esse valor for maior/menor que o retorno *target* especificado, o algoritmo reduz/eleva o preço do contrato até que a TIR média seja igual ao *target*. O preço  $P_0$  é determinado quando o processo converge.

#### **Passo 2: Cálculo do prêmio de risco (sobre-preço)**

O cálculo do preço final do contrato  $P^c$  é análogo ao do  $P_0$ . O algoritmo especifica um preço inicial e calcula a TIR-VaR dos fluxos de caixa. Se o valor for maior/menor que o retorno *target* especificado, o algoritmo reduz/eleva o preço do contrato até que a TIR-VaR seja igual ao *target*. O sobre-preço será simplesmente a diferença entre o preço  $P^c$  e o preço  $P_0$ .

#### **Passo 3: Decomposição do preço final do contrato**

A decomposição do preço consiste em determinar o valor presente esperado de cada parcela de custo do projeto no preço final do contrato. O cálculo de cada parcela de custo é feito sobre a distribuição de TIR's obtida no cálculo do preço  $P_0$ , aplicando o seguinte conjunto de equações:

$$\begin{aligned}
 0 &= \sum_{t=1}^T \frac{E_c P_0}{(1 + TIR_1)^t} - \sum_{t=1}^T \frac{C_{1,1}}{(1 + TIR_1)^t} - \sum_{t=1}^T \frac{C_{2,1}}{(1 + TIR_1)^t} - \dots - \sum_{t=1}^T \frac{C_{m,1}}{(1 + TIR_1)^t} \\
 0 &= \sum_{t=1}^T \frac{E_c P_0}{(1 + TIR_2)^t} - \sum_{t=1}^T \frac{C_{1,2}}{(1 + TIR_2)^t} - \sum_{t=1}^T \frac{C_{2,2}}{(1 + TIR_2)^t} - \dots - \sum_{t=1}^T \frac{C_{m,2}}{(1 + TIR_2)^t} \\
 &\vdots \\
 0 &= \sum_{t=1}^T \frac{E_c P_0}{(1 + TIR_n)^t} - \sum_{t=1}^T \frac{C_{1,n}}{(1 + TIR_n)^t} - \sum_{t=1}^T \frac{C_{2,n}}{(1 + TIR_n)^t} - \dots - \sum_{t=1}^T \frac{C_{m,n}}{(1 + TIR_n)^t}
 \end{aligned}$$

Como  $P_0$  independe do cenário, pode ser retirado do somatório e isolado:

$$\begin{aligned}
 P_0 &= \frac{\sum_{t=1}^T \frac{C_{1,1}}{(1 + TIR_1)^t}}{\sum_{t=1}^T \frac{E_c}{(1 + TIR_1)^t}} + \frac{\sum_{t=1}^T \frac{C_{2,1}}{(1 + TIR_1)^t}}{\sum_{t=1}^T \frac{E_c}{(1 + TIR_1)^t}} + \dots + \frac{\sum_{t=1}^T \frac{C_{m,1}}{(1 + TIR_1)^t}}{\sum_{t=1}^T \frac{E_c}{(1 + TIR_1)^t}} \\
 P_0 &= \frac{\sum_{t=1}^T \frac{C_{1,2}}{(1 + TIR_2)^t}}{\sum_{t=1}^T \frac{E_c}{(1 + TIR_2)^t}} + \frac{\sum_{t=1}^T \frac{C_{2,2}}{(1 + TIR_2)^t}}{\sum_{t=1}^T \frac{E_c}{(1 + TIR_2)^t}} + \dots + \frac{\sum_{t=1}^T \frac{C_{m,2}}{(1 + TIR_2)^t}}{\sum_{t=1}^T \frac{E_c}{(1 + TIR_2)^t}} \\
 &\vdots \\
 P_0 &= \frac{\sum_{t=1}^T \frac{C_{1,n}}{(1 + TIR_n)^t}}{\sum_{t=1}^T \frac{E_c}{(1 + TIR_n)^t}} + \frac{\sum_{t=1}^T \frac{C_{2,n}}{(1 + TIR_n)^t}}{\sum_{t=1}^T \frac{E_c}{(1 + TIR_n)^t}} + \dots + \frac{\sum_{t=1}^T \frac{C_{m,n}}{(1 + TIR_n)^t}}{\sum_{t=1}^T \frac{E_c}{(1 + TIR_n)^t}}
 \end{aligned}$$

Os valores de cada parcela de custo no preço  $P_0$  serão as médias entre os  $n$  cenários simulados:

$$P_0 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \left( \frac{\sum_{t=1}^T \frac{C_{j,1}}{(1 + TIR_j)^t}}{\sum_{t=1}^T \frac{E_c}{(1 + TIR_j)^t}} \right) + \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \left( \frac{\sum_{t=1}^T \frac{C_{j,2}}{(1 + TIR_j)^t}}{\sum_{t=1}^T \frac{E_c}{(1 + TIR_j)^t}} \right) + \dots + \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \left( \frac{\sum_{t=1}^T \frac{C_{j,m}}{(1 + TIR_j)^t}}{\sum_{t=1}^T \frac{E_c}{(1 + TIR_j)^t}} \right)$$

O sobre-preço exigido pelo investidor avesso a risco entra como um componente de *hedge* que se soma ao preço  $P_0$ . Dessa forma, o preço final exigido pelo investidor avesso a risco  $P^c$  será a soma das parcelas de cada custo do empreendimento (cuja soma é igual a  $P_0$ ) mais o *hedge*.



## 12

### Apêndice B - Algoritmos de Cálculo da Carteira Ótima Incorporando o Critério do VaR

#### 12.1.

#### Modelo MV – Algoritmo iterativo de convergência da TIRVaR

##### Variáveis do Modelo MV

$Lsup$  = Limite superior (Maior retorno entre os projetos candidatos)

$Linf$  = Limite inferior (Menor retorno entre os projetos candidatos)

$P$  = Passo (input especificado)

$T$  = Tolerância (input especificado)

$Niter$  = Número máximo de iterações (input especificado)

$R^*$  = TIRVaR target (input especificado)

$G$  = Retorno médio target (ajustado no processo de convergência da TIRVaR)

$R$  = Retorno médio da carteira

TIRVaR = Retorno *percentil-p* da carteira (resultado da solução do problema MV)

$1 - p$  = nível de confiança (input especificado)

$\mathbf{X} = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$  vetor com os percentuais de participação em cada projeto

##### Problema MV

Objetivo: minimizar a variância da carteira

$$\min \sigma^2(\mathbf{X})$$

Vetor de decisão:  $\mathbf{X}$

Restrições:

- 1)  $R \geq G$
- 2)  $\sum_{i=1}^n X_i = 100\%$
- 3)  $\mathbf{X} \geq 0$

##### Processo de convergência da TIRVaR – Parte 1

$$G = Lsup$$

Otimiza Problema MV

contador = 0

Fazer enquanto TIRVaR <  $R^*$

Se  $G = Linf$  Então

Fim: “NÃO É POSSÍVEL ATINGIR A RESTRIÇÃO DE VAR ESPECIFICADA”

```

Fim do Se
Se  $G - P < Linf$  Então
     $G = G - (G - Linf)$ 
Caso contrário
     $G = G - P$ 
Fim do Se
contador = contador + 1
Otimiza Problema MV
Loop
Se contador = 0 Então
    Fim: "CARTEIRA DE MAIOR RETORNO JÁ ATENDE A RESTRIÇÃO DE VAR"
Fim do Se

```

### Processo de convergência da TIRVaR – Parte 2 (bisseção)

```

 $v\_inf = G$ 
 $v\_sup = G + P$ 
 $best = 999999$ 
 $best\_ret = G$ 
 $best\_sol = X$ 
iteração = 0
Fazer enquanto  $TIRVaR < R^* - T$  ou  $TIRVaR > R^* + T$ 
    Se iteração = Niter Então
         $G = best\_ret$ 
         $X = best\_sol$ 
        Fim: "NÃO FOI POSSÍVEL ENCONTRAR UMA CARTEIRA COM O VAR
        ESPECIFICADO. SOLUÇÃO É A QUE POSSUI O VAR MAIS PRÓXIMO
        DO ESPECIFICADO".
    Fim do Se
     $G = (v\_sup + v\_inf) / 2$ 
    Otimiza Problema MV
    Se  $TIRVaR > R^* + T$  Então
         $v\_inf = G$ 
    Caso contrário
         $v\_sup = G$ 
    Fim do Se
    Se  $|TIRVaR - R^*| \leq best$  Então
         $best = |TIRVaR - R^*|$ 
         $best\_ret = G$ 
         $best\_sol = X$ 
    Fim do Se
    iteração = iteração + 1
Loop
Fim: "SOLUÇÃO ÓTIMA ENCONTRADA = X"

```

**12.2.****Modelo MM – Algoritmo iterativo de convergência da TIRVaR****Variáveis do Modelo MM**

$Lsup$  = Limite superior (Maior retorno entre os projetos candidatos)

$Linf$  = Limite inferior (Menor retorno entre os projetos candidatos)

$P$  = Passo (input especificado)

$T$  = Tolerância (input especificado)

$Niter$  = Número máximo de iterações (input especificado)

$R^*$  = TIRVaR target (input especificado)

$G$  = Retorno médio target (ajustado no processo de convergência da TIRVaR)

$R$  = Retorno médio da carteira

TIRVaR = Retorno *percentil-p* da carteira (resultado da solução do problema MV)

$1 - p$  = nível de confiança (input especificado)

$\mathbf{X} = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$  vetor com os percentuais de participação em cada projeto

**Problema MM**

Objetivo: maximizar o retorno da carteira no pior cenário

$\max M$

Vetor de decisão:  $\mathbf{X}$

Restrições:

- 1)  $\sum_{i=1}^n X_i R_{i,s} - M \geq 0$
- 2)  $R \geq G$
- 3)  $\sum_{i=1}^n X_i = 100\%$
- 4)  $\mathbf{X} \geq 0$

**Processo de convergência da TIRVaR – Parte 1**

$G = Lsup$

Otimiza Problema MM

contador = 0

Fazer enquanto TIRVaR <  $R^*$

Se  $G = Linf$  Então

Fim: “NÃO É POSSÍVEL ATINGIR A RESTRIÇÃO DE VAR ESPECIFICADA”

Fim do Se

Se  $G - P < Linf$  Então

$$G = G - (G - Linf)$$

Caso contrário

$$G = G - P$$

Fim do Se

contador = contador + 1

Otimiza Problema MM

Loop

Se contador = 0 Então

Fim: “CARTEIRA DE MAIOR RETORNO JÁ ATENDE A RESTRIÇÃO DE VAR”

Fim do Se

**Processo de convergência da TIRVaR – Parte 2 (bisseção)**

$v_{inf} = G$

$v_{sup} = G + P$

$best = 999999$

$best\_ret = G$

$best\_sol = X$

iteração = 0

Fazer enquanto  $TIRVaR < R^* - T$  ou  $TIRVaR > R^* + T$

Se iteração = *Niter* Então

$G = best\_ret$

$X = best\_sol$

Fim: “NÃO FOI POSSÍVEL ENCONTRAR UMA CARTEIRA COM O VAR ESPECIFICADO. SOLUÇÃO É A QUE POSSUI O VAR MAIS PRÓXIMO DO ESPECIFICADO”.

Fim do Se

$G = (v_{sup} + v_{inf}) / 2$

Otimiza Problema MM

Se  $TIRVaR > R^* + T$  Então

$v_{inf} = G$

Caso contrário

$v_{sup} = G$

Fim do Se

Se  $|TIRVaR - R^*| \leq best$  Então

$best = |TIRVaR - R^*|$

$best\_ret = G$

$best\_sol = X$

Fim do Se

iteração = iteração + 1

Loop

Fim: “SOLUÇÃO ÓTIMA ENCONTRADA = X”

**12.3.****Modelo CVaR – Algoritmo iterativo de convergência da TIRVaR****Variáveis do Modelo CVaR**

$\lambda$  = Coeficiente de aversão a risco (ajustado no processo de convergência da TIRVaR)

$\lambda_{MAX}$  = Coeficiente de aversão a risco máximo (input especificado)

$P$  = Passo (input especificado)

$T$  = Tolerância (input especificado)

$Niter$  = Número máximo de iterações (input especificado)

$R$  = Retorno médio da carteira

$R_{i,s}$  = Retorno do projeto  $i$  na série  $s$

$R^*$  = TIRVaR target (input especificado)

TIRVaR = Retorno *percentil-p* da carteira (resultado da solução do problema CVaR)

$1 - p$  = nível de confiança (input especificado)

$d_s$  = montante (% a.a.) abaixo de  $R^*$  na série  $s$  (resultado da solução do problema CVaR)

$S$  = total de séries (input especificado)

$1 - \alpha$  = percentual do número de séries em que  $d_s \neq 0$  (resultado do problema CVaR)

$\mathbf{X} = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$  vetor com os percentuais de participação em cada projeto

**Problema CVaR**

Objetivo: maximizar o retorno médio da carteira penalizado pelo CVaR

$$\max R - \lambda \frac{\sum_{s=1}^S \frac{1}{S} d_s}{1 - \alpha}$$

Vetor de decisão:  $\mathbf{X}$

Restrições:

- 1)  $\sum_{i=1}^n X_i R_{i,s} + d_s \geq R^* \quad , s = 1, 2, \dots, S$
- 2)  $\sum_{i=1}^n X_i = 100\%$
- 3)  $\mathbf{X} \geq 0$

**Processo de convergência da TIRVaR – Parte 1**

$\lambda = 0$

Otimiza Problema CVaR

contador = 0

Fazer enquanto  $1 - \alpha < 1 - p$

Se  $\lambda = \lambda_{MAX}$  Então

Fim: “NÃO É POSSÍVEL ATINGIR A RESTRIÇÃO DE VAR ESPECIFICADA”

Fim do Se

Se  $\lambda + P > \lambda_{MAX}$  Então

$$\lambda = \lambda + (\lambda_{MAX} - \lambda)$$

Caso contrário

$$\lambda = \lambda + P$$

Fim do Se

contador = contador + 1

Otimiza Problema CVaR

Loop

Se contador = 0 Então

Fim: “CARTEIRA DE MAIOR RETORNO ( $\lambda = 0$ ) JÁ ATENDE A RESTRIÇÃO DE VAR”

Fim do Se

### Processo de convergência da TIRVaR – Parte 2 (bisseção)

$v\_inf = \lambda - P$

$v\_sup = \lambda$

$best = 999999$

$best\_ret = \lambda$

$best\_sol = \mathbf{X}$

iteração = 0

Fazer enquanto  $(1 - \alpha) > (1 - p) + T$  ou  $(1 - \alpha) < (1 - p) - T$

Se iteração = *Niter* Então

$\lambda = best\_ret$

$\mathbf{X} = best\_sol$

Fim: “NÃO FOI POSSÍVEL ENCONTRAR UMA CARTEIRA COM O VAR ESPECIFICADO. SOLUÇÃO É A QUE POSSUI O VAR MAIS PRÓXIMO DO ESPECIFICADO”.

Fim do Se

$\lambda = (v\_sup + v\_inf) / 2$

Otimiza Problema CVaR

Se  $(1 - \alpha) < (1 - p) - T$  Então

$v\_inf = \lambda$

Caso contrário

$v\_sup = \lambda$

Fim do Se

Se  $|(1 - \alpha) - (1 - p)| \leq best$  Então

$best = |(1 - \alpha) - (1 - p)|$

$best\_ret = \lambda$

$best\_sol = \mathbf{X}$

Fim do Se

iteração = iteração + 1

Loop

Fim: “SOLUÇÃO ÓTIMA ENCONTRADA

## 13 Apêndice C – Especificação dos Riscos das Tecnologias Simuladas

As tabelas a seguir apresentam os fatores de risco e as respectivas probabilidades de ocorrência para cada tecnologia simulada no Capítulo 8.

Tabela 13.1 – Ciclo Combinado a Gás Natural

Investimento		Atraso na data de entrada em operação			Redução da Receita		
R\$/kW-inst	Probabilidade	Meses de atraso	Custo associado (MM R\$/mês)	Probabilidade	Mês da redução	Redução	Probabilidade
1300	60.0%	0	0	70.0%	0	0%	80.0%
+5%	15.0%	1	40	15.0%	36	2%	10.0%
+10%	10.0%	2	40	7.5%	48	5%	10.0%
+15%	5.0%	3	40	5.0%			
-5%	5.0%	6	40	2.5%			
-10%	5.0%						

Tabela 13.2 – Ciclo Combinado a GNL

Investimento		Atraso na data de entrada em operação			Redução da Receita		
R\$/kW-inst	Probabilidade	Meses de atraso	Custo associado (MM R\$/mês)	Probabilidade	Mês da redução	Redução	Probabilidade
1300	60.0%	0	0	50.0%	0	0.0%	40.0%
+5%	15.0%	1	40	15.0%	36	2.0%	10.0%
+10%	10.0%	2	40	10.0%	36	5.0%	10.0%
+15%	5.0%	3	40	10.0%	48	5.0%	10.0%
-5%	5.0%	6	40	10.0%	48	7.5%	10.0%
-10%	5.0%	9	40	5.0%	60	10.0%	10.0%
					60	15.0%	10.0%

Tabela 13.3 – Turbina a Vapor de Biomassa de Cana de Açúcar

Investimento		Atraso na data de entrada em operação			Redução da Receita		
R\$/kW-inst	Probabilidade	Meses de atraso	Custo associado (MM R\$/mês)	Probabilidade	Mês da redução	Redução	Probabilidade
2800	60.0%	0	0	50.0%	0	0.0%	50.0%
+5%	15.0%	1	4	15.0%	30	5.0%	10.0%
+10%	10.0%	2	4	10.0%	60	5.0%	20.0%
+15%	5.0%	3	4	10.0%	90	5.0%	20.0%
-5%	5.0%	4	4	5.0%			
-10%	5.0%	5	4	5.0%			
		6	4	5.0%			

Tabela 13.4 – Turbina a Vapor de Carvão Importado

TVCI

Investimento		Atraso na data de entrada em operação			Redução da Receita		
R\$/kW-inst	Probabilidade	Meses de atraso	Custo associado (MM R\$/mês)	Probabilidade	Mês da redução	Redução	Probabilidade
2200	60.0%	0	0	75.0%	0	0%	80.0%
+5%	10.0%	1	40	10.0%	36	2%	10.0%
+10%	10.0%	2	40	10.0%	48	5%	10.0%
-5%	10.0%	3	40	5.0%			
-10%	10.0%						

Tabela 13.5 – Turbina a Vapor de Carvão Nacional

TVCN

Investimento		Atraso na data de entrada em operação			Redução da Receita		
R\$/kW-inst	Probabilidade	Meses de atraso	Custo associado (MM R\$/mês)	Probabilidade	Mês da redução	Redução	Probabilidade
2800	50.0%	0	0	60.0%	0	0%	90.0%
+5%	20.0%	1	40	15.0%	36	2%	10.0%
+10%	10.0%	2	40	7.5%			
+20%	5.0%	3	40	5.0%			
-5%	5.0%	4	40	5.0%			
-10%	5.0%	5	40	5.0%			
-15%	5.0%	6	40	2.5%			

Tabela 13.6 – Hidrelétrica

UHEN

Investimento		Atraso na data de entrada em operação			Redução da Receita		
R\$/kW-inst	Probabilidade	Meses de atraso	Custo associado (MM R\$/mês)	Probabilidade	Mês da redução	Redução	Probabilidade
2500	50.0%	0	0	70.0%	0	0%	90.0%
+5%	20.0%	1	40	15.0%	36	5%	10.0%
+10%	10.0%	2	40	7.5%			
+20%	5.0%	3	40	5.0%			
+50%	5.0%	6	40	2.5%			
-5%	5.0%						
-10%	5.0%						