

7 ESTUDO DE CASO: PROJETO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM CONSUMIDOR COMERCIAL

7.1 INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta o estudo de caso, no qual é aplicada a metodologia proposta no capítulo 6 onde são apresentadas as distribuições triangulares para representar as incertezas técnicas e o processo estocástico de reversão à média para representar a incerteza de mercado (preço da commodity), juntamente com a simulação Monte Carlo e Algoritmos Genéticos, com o objetivo de se obter o valor da flexibilidade gerencial da espera e a avaliação do valor-em-risco nestas condições.

A fim de comparar os resultados do método proposto, este problema também foi resolvido aplicando-se a metodologia do manual da ANEEL, onde se considera o VPL e RCB como únicos indicadores para a tomada da decisão gerencial.

Este capítulo está organizado da seguinte forma:

- Descrição do problema de avaliação de Projetos de Eficiência Energética;
- Apresentação do estudo de caso do diagnóstico energético pela metodologia do manual da ANEEL (seção 2.3);
- Apresentação do estudo de caso pela metodologia proposta considerando os fatores de risco (experimentos);
- Comparação dos resultados pelas duas metodologias nos diferentes experimentos realizados.

7.2 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

Este trabalho busca modelar os fatores de risco na avaliação do investimento em Projetos de Eficiência Energética.

Considere a possibilidade de aplicação de medidas de economia em uma unidade consumidora através da substituição de equipamentos elétricos atuais por equipamentos tecnologicamente mais avançados e energeticamente mais eficientes. Tal análise produz um diagnóstico energético que implica em uma necessidade de investimento. Muitas vezes, as empresas declinam do projeto pela grandeza dos recursos necessários, uma vez que a metodologia utilizada no setor elétrico brasileiro em problemas de eficiência energética (segundo o Manual da ANEEL, seção 2.3), não apresenta um método de reavaliação dinâmica do projeto que permita otimizar o investimento de forma a adequá-lo ao limite de aptidão ao risco do investidor.

Conforme comentado anteriormente, outra limitação da avaliação tradicional da análise de investimentos em problemas de eficiência energética do Manual da ANEEL, é o fato desta não considerar as seguintes incertezas presentes nos Projetos de Eficiência Energética:

1. **Incertezas técnicas relativas às vidas úteis dos equipamentos propostos:**
Estas incertezas afetam diretamente o retorno do benefício de economia de cada equipamento (ou conjunto de equipamentos similares), uma vez que espera-se que os novos equipamentos retornem uma quantidade de energia economizada até o fim de suas vidas úteis.
2. **Incertezas técnicas relativas à manutenção dos equipamentos novos:**
Estas incertezas penalizam os benefícios de economia de energia em cada mês e referem-se aos custos de manutenção dos equipamentos novos até o final da vida útil do equipamento ou até o fim do contrato de desempenho do projeto.
3. **Incertezas de mercado relativas ao preço da energia elétrica:** Há uma incerteza sobre os preços de mercado de energia elétrica de curto prazo que apresentam um perfil estocástico. Tal incerteza econômica influencia diretamente no valor do fluxo de caixa dos benefícios de economia de energia em cada mês futuro (até o final da vida útil de cada equipamento ou fim da vigência do contrato de desempenho).

Finalizando a análise do problema atual, identificamos que a metodologia atual não considera o valor da flexibilidade gerencial da espera e, também, não quantifica o valor-em-risco nos possíveis cenários de incerteza econômica, associada ao preço da energia no mercado de curto prazo e de incertezas técnicas relativas à vida útil e à manutenção dos novos equipamentos.

7.3 EXPERIMENTO 1 – ESTUDO DE CASO EM CONSUMIDOR DA CLASSE COMERCIAL

Este estudo de caso considerará os dados levantados por uma equipe de engenheiros autônomos, em janeiro de 2009, para avaliar o potencial de eficiência energética de uma unidade consumidora de atividade comercial instalada na cidade do Rio de Janeiro e conectada à distribuidora Light Serviços de Eletricidade S.A no nível de tensão de 13,8kV (Subgrupo A4). Esta unidade tem perfil de cliente livre tendo aderido às regras do Ambiente de Contratação Livre (ACL), adquirindo a sua energia através de contratos bilaterais com comercializadoras do mercado brasileiro.

Neste estudo de caso (Experimento 1) não há restrição de investimento no Projeto de Eficiência Energética, ou seja, todas as ações levantadas no diagnóstico energético para os usos finais de iluminação e climatização serão implementadas.

Este levantamento conhecido como diagnóstico energético foi desenvolvido em duas frentes para avaliar os usos finais de Iluminação e Refrigeração de Ambientes (Climatização) da unidade consumidora.

As grandezas elétricas relativas aos equipamentos instalados, em operação, foram coletados por medições amostrais diretas (por tipo de equipamento). Outros dados relativos à operação foram obtidos através de entrevistas com os especialistas das áreas. Estes dados determinaram a linha base, a partir da qual se calculou os potenciais de economia de eficiência energética (seção 2.3).

As grandezas elétricas relativas aos novos equipamentos propostos foram obtidas nas Tabelas de Consumo/Eficiência na página da internet do INMETRO [80] onde são listados todos os equipamentos, por fabricantes, que estão inseridos no Programa Brasileiro de Etiquetagem – PBE, premissa básica para escolha do equipamento que integrará o projeto.

Os preços dos novos equipamentos elétricos propostos foram obtidos pela pesquisa em pelo menos três fornecedores conceituados no mercado, adotando-se as médias de preços praticados em janeiro de 2009 para cada tipo de equipamento.

A cotação dos valores de serviços de instalação, transporte e medição basearam-se na consulta à pelo menos três empresas prestadoras de serviços em projetos de iluminação e climatização, adotando-se o valor do homem-hora médio praticado no mercado em janeiro de 2009.

Para o Plano de Medição & Verificação, adotou-se a opção A (isolação da reforma, medição de parâmetros-chave, conforme seção 2.4) baseada no Protocolo Internacional para Medição e Verificação de Performance – PIMVP [5].

Os preços utilizados nos cálculos dos valores dos benefícios da energia economizada e da redução de demanda na metodologia tradicional (Capítulo 2), referem-se às tarifas vigentes para o consumidor na data do cálculo. Em janeiro de 2009, quando foi calculado o valor do projeto, as tarifas vigentes eram as seguintes:

- Tarifa de uso do sistema de distribuição (TUSD – cliente livre grupo A4) da concessionária Light S.A, onde o cliente está conectado: 40,62 R\$/kW, aplicada ao cálculo da redução de demanda;
- Tarifa de comercialização da energia no mercado de curto prazo (PLD), divulgados pela CCEE em dezembro de 2008, para aplicação em janeiro de 2009: 96,97 R\$/MWh, aplicada ao cálculo da energia economizada.

Para a metodologia proposta, adotou-se no cálculo da redução da demanda o mesmo preço da tarifa de uso do sistema de distribuição (TUSD), que é regulada pela ANEEL. Para o cálculo da energia economizada adotou-se processo estocástico que representa o preço da energia (PLD – preço de liquidação de

diferenças), com preço inicial para janeiro de 2009 de 96,97 R\$/MWh (seção 6.2.1.2).

7.3.1 Valor do Projeto pela Metodologia Tradicional para o Setor Elétrico Brasileiro

Seguindo a metodologia do diagnóstico energético apresentado na seção 2.3 (Manual do Programa de Eficiência Energética da ANEEL [3]), considerando o intervalo mensal como padrão para o cálculo da energia economizada. Foram calculados os potenciais de economia de energia (EE) e de redução de demanda na ponta (RDP) objetivando conhecer os valores dos Projetos de Eficiência Energética nos usos finais de Iluminação e Climatização para investimento imediato. A Figura 24 apresenta as atividades e módulos do fluxograma da metodologia proposta (Figura 20) que foram executadas nesta seção 7.3.1.

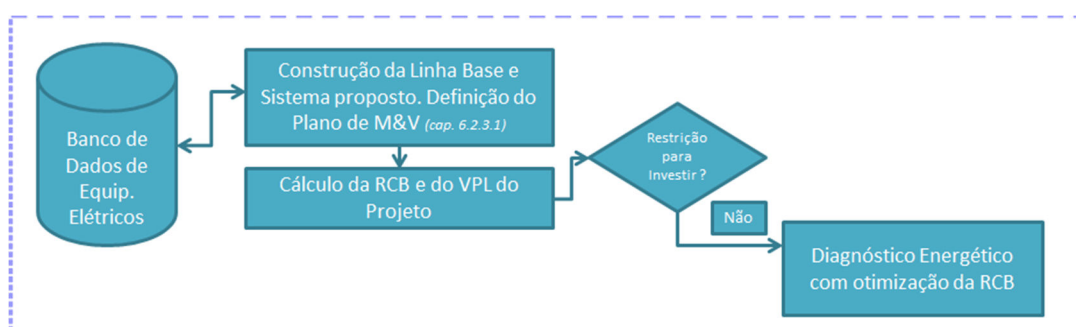


Figura 24 – Fluxo - Experimento 1 – Valor do Projeto pela Metodologia Tradicional

Para o consumidor comercial, a redução da demanda no horário de ponta é crítico, uma vez que para esta classe, há poucas oportunidades de modulação²³ da demanda neste posto horário (ponta – das 18h às 21h). As Tabela 9-Tabela 16, a seguir, apresentam em detalhe os cálculos.

Os cálculos são apresentados em detalhe nas subseções 7.3.1.1, 7.3.1.2 e 7.3.1.3.

²³ Define-se a “modulação de demanda” como sendo a capacidade da unidade consumidora de reduzir a demanda de energia elétrica em um determinado instante ou período de tempo.

7.3.1.1 Cálculo do Potencial de Economia de Energia e Redução de Demanda

O primeiro passo após o levantamento em campo dos potenciais de eficiência energética da unidade consumidora da classe comercial é o cálculo das estimativas de economia mensal, considerando as informações de operação de cada equipamento. Esta etapa é conhecida como diagnóstico energético.

A partir dos dados levantados no diagnóstico energético para o uso final de iluminação (Sistema Atual e Sistema Proposto) apresentados na Tabela 9, aplicaram-se as equações: (2-2) para o cálculo da energia economizada mensalmente e (2-3) para o cálculo da redução da demanda. A própria Tabela 9 apresenta os resultados destes cálculos (Resultados Esperados), onde se verificou que com o sistema proposto, a economia de energia mensal esperada será 71,0% em relação ao sistema atual para o uso final iluminação.

Seguindo o mesmo procedimento para o uso final climatização, A partir dos dados levantado no diagnóstico energético (Sistema Atual e Sistema Proposto) apresentados na Tabela 10, aplicaram-se as equações: (2-7) para o cálculo da energia economizada mensalmente e (2-8) para o cálculo da redução da demanda. A própria Tabela 10 apresenta os resultados destes cálculos (Resultados Esperados), onde se verificou que com o sistema proposto, a economia de energia mensal esperada será 25,6% em relação ao sistema atual para o uso final climatização.

Sistema Atual															Total
Tipo de lâmpada	1x20	2x20	4x20	1x40	2x40	4x40	1x110	2x110	40W	50W	60W	80W	100W	250W	
Quantidade	10			100								500		5	615
Potência (lâmpada + reator) (W)	32	55	110	53	95	204	120	230	40	50	60	80	100	250	
Potência Instalada (kW)	0,32	0,00	0,00	5,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	40,00	0,00	1,25	46,87
Fator de carga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Operação (h/mês) =horas.dias.mês	264	264	264	264	264	264	264	264	264	264	264	264	264	264	
Energia Consumida (MWh/mês)	0,08	-	-	1,40	-	-	-	-	-	-	-	10,56	-	0,33	12,37
Sistema Proposto															Total
Tipo de lâmpada	1x16	2x16	4x16	1x32	2x32	4x32	1x58	2x58	LFC8	LFC11	LFC15	LFC15	LFC23	VME70	
Quantidade	10	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	500	0	5	615
Potência (lâmpada + reator) (W)	16	32	32	32	64	128	58	116	8	11	14	20	23	83	
Potência Instalada (kW)	0,16	0,00	0,00	3,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,00	0,00	0,42	13,78
Fator de carga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Operação (h/mês) =horas.dias.mês	264	264	264	264	264	264	264	264	264	264	264	264	264	264	
Energia Consumida (MWh/mês)	0,04	-	-	0,84	-	-	-	-	-	-	-	2,64	-	0,11	3,64
Resultados Previstos															Total
Redução de potência (kW)	0,16	-	-	2,10	-	-	-	-	-	-	-	30,00	-	0,84	33,10
Energia Economizada (MWh/mês)	0,04	-	-	0,55	-	-	-	-	-	-	-	7,92	-	0,22	8,74
Economia (%)	50%			40%								75%		67%	71%

Tabela 9 – Iluminação - Sistema Atual x Sistema Proposto – Cálculo da Economia Esperada

Sistema Atual							Total
Tipo de equipamento	7500	10000	12000	17500	21000	30000	
Quantidade	300	300	150	200	150	100	1.200
Potencia (W)	1160	1450	1500	2600	2650	3340	
Potência / capacidade (Wh/kJ)	0,15	0,14	0,12	0,14	0,12	0,11	
Tempo de Utilização (horas/mês)	176	176	176	176	176	176	
Fator de Demanda	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	
Dias/mês	22	22	22	22	22	22	
Potência Instalada (kW)	278,67	348,34	180,18	416,41	318,31	267,46	1.809,38
Energia Consumida (MWh/mês)	61,31	76,64	39,64	91,61	70,03	58,84	398,06
Sistema proposto							Total
Tipo de equipamento	7500	10000	12000	17500	21000	30000	
Quantidade	300	300	150	200	150	100	1.200
Potencia (W)	670	970	1165	1900	2180	3150	
Potência / capacidade (Wh/kJ)	0,08	0,09	0,09	0,10	0,10	0,10	
Tempo de Utilização (horas/mês)	176	176	176	176	176	176	
Fator de Demanda	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	
Dias/mês	22	22	22	22	22	22	
Potência Instalada (kW)	160,96	233,03	139,94	304,30	261,86	252,25	1.352,33
Energia Consumida (MWh/mês)	35,41	51,27	30,79	66,95	57,61	55,49	297,51
Resultados Esperados							Total
Redução da Demanda (kW)	117,72	115,31	40,24	112,11	56,46	15,21	457,05
Redução de Consumo (MWh/mês)	25,90	25,37	8,85	24,66	12,42	3,35	100,55
Economia (%)	42,24%	33,10%	22,33%	26,92%	17,74%	5,69%	25,26%
Horas de Uso Diário	8						

Tabela 10 – Climatização - Sistema Atual x Sistema Proposto – Cálculo da Economia Esperada

7.3.1.2 Cálculo do Investimento

Nesta etapa, calcula-se o valor do investimento necessário para se executar todas as ações de substituição levantadas no diagnóstico energético. Consideram-se os custos para aquisição dos equipamentos, para execução dos serviços de transporte, instalação e medição dos resultados pós-reforma (Plano de M&V).

A Tabela 11 e a Tabela 12 apresentam os cálculos dos investimentos necessários para os usos finais iluminação e climatização, respectivamente. Os cálculos do investimento consideram o valor de aquisição dos novos equipamentos eficientes, o custo dos serviços de mão-de-obra (inclui transporte, instalação e descarte dos equipamentos obsoletos substituídos) e o custo do plano de medição & verificação (M&V).

O total do investimento esperado neste Projeto de Eficiência Energética é de R\$ 29.332,50 para as ações sobre o uso final de iluminação e de R\$2.006.020,00 para as ações sobre o uso final de climatização. Pode-se observar que os projetos de climatização são intensivos em investimento se comparados aos projetos de iluminação. Tal fato se deve, principalmente, aos custos superiores dos equipamentos novos e dos serviços de transporte, instalação e descarte.

Custos por categoria Contábil e Origem de Recurso - Iluminação

Grande Cliente Comercial

Tipo de Custo		Custos Totais	
		R\$	%
Custos Diretos			
Materiais e Equipamentos	Previsto	R\$ 11.895,00	40,6%
Mão-de-obra de terceiros	Previsto	R\$ 12.937,50	44,1%
Medição & Verificação	Previsto	R\$ 4.500,00	15,3%
Total		R\$ 29.332,50	100,0%

Código	Materiais e Equipamentos	QT	UN	Unit	Total	R\$ 11.895,00
1x16	1 Lâmpada Fluorescente tubular 16W + Reator + Luminária	10	un	R\$ 65,00	R\$ 650,00	
2x16	2 Lâmpadas Fluorescentes tubulares 16W + Reator + Luminária		un	R\$ 70,00		
4x16	4 Lâmpadas Fluorescentes tubulares 16W + Reator + Luminária		un	R\$ 80,00		
1x32	1 Lâmpada Fluorescente tubular 32W + Reator + Luminária	100	un	R\$ 67,00	R\$ 6.700,00	
2x32	2 Lâmpadas Fluorescentes tubulares 32W + Reator + Luminária		un	R\$ 74,00		
4x32	4 Lâmpadas Fluorescentes tubulares 32W + Reator + Luminária		un	R\$ 88,00		
1x58	1 Lâmpada Fluorescente tubular 58W + Reator + Luminária		un	R\$ 70,00		
2x58	2 Lâmpadas Fluorescentes tubulares 58W + Reator + Luminária		un	R\$ 80,00		
LFC9	Lâmpada Compacta 9W		un	R\$ 6,00		
LFC11	Lâmpada Compacta 11W		un	R\$ 6,50		
LFC14	Lâmpada Compacta 14W		un	R\$ 7,00		
LFC15	Lâmpada Compacta 15W	500	un	R\$ 7,50	R\$ 3.750,00	
LFC23	Lâmpada Fluorescente tubular 16W+ Reator + Luminária		un	R\$ 50,00		
VMET70	Lâmpada Vapor Metálico 70W + Refletor	5	un	R\$ 159,00	R\$ 795,00	
Mão-de-obra de terceiros		QT	horas	Unit	Total	R\$ 12.937,50
Execução da Obra		615	1	R\$ 21,04	R\$ 12.937,50	
Medição & Verificação		QT	horas	Unit	Total	R\$ 4.500,00
Execução do Plano de M&V		1	45	R\$ 100,00	R\$ 4.500,00	

Tabela 11 – Iluminação - Cálculo do Custo do Projeto – Aquisição de Equipamentos e Serviços

Custos por categoria Contábil e Origem de Recurso - Climatização

Grande Cliente Comercial

Tipo de Custo		Custos Totais	
		R\$	%
Custos Diretos			
Materiais e Equipamentos	Previsto	R\$ 1.670.020,00	83,3%
Medição & Verificação	Previsto	R\$ 300.000,00	15,0%
Mão-de-obra de terceiros	Previsto	R\$ 36.000,00	1,8%
Total		R\$ 2.006.020,00	100,0%

Materiais e Equipamentos	QT	UN	Unit	Total	R\$ 1.670.020,00	
7500	300	1	R\$ 837,10	R\$ 251.130,00		
10000	300	1	R\$ 1.113,20	R\$ 333.960,00		
12000	150	1	R\$ 1.312,30	R\$ 196.845,00		
17500	200	1	R\$ 1.631,30	R\$ 326.260,00		
21000	150	1	R\$ 1.972,30	R\$ 295.845,00		
30000	100	1	R\$ 2.659,80	R\$ 265.980,00		
Mão-de-obra de terceiros		QT	horas	Unit	Total	R\$ 300.000,00
Execução da Obra		1200	1	R\$ 250,00	R\$ 300.000,00	
Medição & Verificação		QT	horas	Unit	Total	R\$ 36.000,00
Execução do Plano de M&V		1	180	R\$ 200,00	R\$ 36.000,00	

Tabela 12 – Climatização - Cálculo do Custo do Projeto– Aquisição de Equipamentos e Serviços

7.3.1.3 Cálculo da Relação Custo Benefício (RCB)

Nesta etapa, calcula-se a relação Custo vs. Benefício (RCB) em consonância com a metodologia apresentada na Seção 2.3. O custo evitado é calculado com base nas tarifas vigentes para a unidade consumidora. Como já dito anteriormente, a metodologia tradicional aplicada em problemas de eficiência energética no setor elétrico brasileiro não considera os fatores de risco no preço da energia e as incertezas técnicas.

A Tabela 13 e a Tabela 14 apresentam a sequência de cálculos necessária a obtenção do valor da RCB para os usos finais de iluminação e climatização, respectivamente. As equações estão ilustradas em cada coluna das Tabelas para facilitar o entendimento dos cálculos. As referências às equações apresentadas na descrição da teoria (Capítulo 2) e utilizadas nas Tabelas, considerando o período de discretização mensal, são as seguintes:

- $CM_{TOTAL} = \sum_n CM_{equipm}$ calculado pela equação (2-34);
- CM_{equipm} , calculado pela equação (2.35);
- CPE_{equipm} , calculado pela equação (2.36);
- FRC , calculado pela equação (2.38);

Onde:

CM_{TOTAL} é o custo mensalizado total;

CM_{equip} é o custo mensalizado do equipamento eficiente;

CPE_{equip} é o custo ponderado do equipamento eficiente, incluídos os custos dos serviços de mão de obra;

FRC é o fator de recuperação de capital.

Para o cálculo do benefício mensal da eficiência energética aplica-se a equação (7-1):

$$\text{Benefício (R\$)} = (EE \times \text{tarifa livre kWh}) + RDp \times \text{tarifa TUSDp} \quad (7-1)$$

Onde:

- *EE* – refere-se ao valor de energia economizada mensal apresentado no campo *EE* da Tabela 13 e da Tabela 14;
- *RDp* - refere-se ao valor de redução de demanda na ponta apresentado no campo *RDP* da Tabela 13 e da Tabela 14;
- *tarifa livre kWh* – refere-se ao valor do *PLD* vigente na data do cálculo apresentada no campo *Custo Evitado Unitário* da Tabela 13 e da Tabela 14;
- *tarifa TUSDp* – refere-se ao valor da *TUSD* ponta vigente na data do cálculo apresentada no campo *Custo Evitado Unitário* das Tabela 13 e da Tabela 14.

Finalizando, para o cálculo da Relação Custo benefício (*RCB*) aplica-se a equação (7-2):

$$RCB = \frac{\text{Custos Mensalizados}}{\text{Benefícios Mensalizados}} \quad (7-2)$$

Onde:

Custos Mensalizados : refere-se ao campo *CM_{total}* da Tabela 13 e da Tabela 14;

Benefícios Mensalizados: refere-se ao campo *BENEFÍCIO* da Tabela 13 e da Tabela 14.

Embora as análises de potencial de eficiência energética sejam feitas de forma individualizada por uso final (p.ex. iluminação e climatização), é comum se avaliar o conjunto das ações objetivando investigar se o conjunto aumenta a viabilidade do projeto em comparação às ações por uso final. Para esta avaliação é considerado o peso da economia de cada uso final no total do projeto. A Tabela 15 apresenta o resumo da relação Custo vs. Benefício (*RCB*) para o projeto consolidado.

A Tabela 16 apresenta um resumo dos valores dos projetos de iluminação e climatização apurados na Tabela 13 e na Tabela 14. Para a tomada de decisão gerencial, com base na metodologia tradicional aplicada em problemas de eficiência energética no setor elétrico brasileiro, além da *RCB*, é necessário calcular o *VPL* e o tempo de retorno do investimento para o qual o *VPL* é zero, conhecido como ponto de equilíbrio (do inglês: *break-even point*). O *VPL* foi calculado pela aplicação da equação (2-21), enquanto que o tempo de retorno do investimento foi

calculado pela equação (2-22). Ambos os valores estão apresentados, também, na Tabela 16.

Pela aplicação da metodologia do Manual da ANEEL, que não considera as incertezas do problema, tem-se que os VPLs de ambos os Projetos (Iluminação e Climatização) são positivos (Tabela 16). Todavia, o indicador RCB não recomenda a execução do Projeto de Climatização, pois apresenta $RCB > 0,80$. Há estudos em andamento na ANEEL para que os Projetos de Eficiência Energética com $RCB \leq 0,90$ passem a ser recomendados para implantação (se aprovada a mudança, possivelmente, será implantada a partir de 2013). Ainda assim, o Projeto de Climatização com $RCB=0,969$ não seria recomendado para execução.

Tempo de Recuperação do Investimento Máximo Aceito pelo Investidor 120 meses											
USO FINAL - Climatização					USO FINAL - Climatização						
Cálculo do Custo Mensalizado de Equipamentos ou Materiais com a mesma vida útil											
Item	Descrição do Equipamento	Custo Unitário (R\$)	Qtd	Total - Custo Unitário x Qtd CE_{equipm} [A]	% do equipamento em relação ao Total $\frac{CE_{equipm}}{CTE}$ [C]	Custo por equipamento incluindo mão-de-obra $[E=A+CxD]$ CPE_{equipm}	Vida útil em meses (n)	Mínima Vida útil em meses (n)	Taxa de Desconto (i)	Fator de Recuperação de Capital [F] $FRC = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$	Custo Mensalizado Item (R\$) $[G=FXE]$ CM_{equipm}
1	7500	837,10	300	R\$ 251.130,00	15,0%	R\$ 301.656,15	120	120	0,95%	0,0140	4.223,91
2	10000	1.113,20	300	R\$ 333.960,00	20,0%	R\$ 401.151,15	120	120	0,95%	0,0140	5.617,08
3	12000	1.312,30	150	R\$ 196.845,00	11,8%	R\$ 236.449,27	120	120	0,95%	0,0140	3.310,86
4	17500	1.631,30	200	R\$ 326.260,00	19,5%	R\$ 391.901,94	120	120	0,95%	0,0140	5.487,57
5	21000	1.972,30	150	R\$ 295.845,00	17,7%	R\$ 355.367,59	120	120	0,95%	0,0140	4.976,00
6	30000	2.659,80	100	R\$ 265.980,00	15,9%	R\$ 319.493,90	120	120	0,95%	0,0140	4.473,68
SUBTOTAL MATERIAIS		[B]		R\$ 1.670.020,00	100,0%	R\$ 2.006.020,00					R\$ 28.089,08
				$\sum_n CE_{equipm}$	$\sum_n \frac{CE_{equipm}}{CTE} = 100\%$	$CT = \sum_n CPE_{equipm}$					$CM_{TOTAL} = \sum_n CM_{equipm}$
				$CTE = R\$ \dots\dots$		$CT = R\$ \dots\dots$					$CM_{TOTAL} = R\$ \dots\dots$
SUB TOTAL SERVIÇOS		[D]	(CT-CTE)	R\$ 336.000,00							
TOTAL DO PROJETO (R\$)		CT= [B]+[D]		R\$ 2.006.020,00							

Cálculo da RCB por uso		Climatização
RDP	457,0 kW	Custo Evitado Unitário
EE	100,55 MWh.mês	R\$ 42,07
BENEFÍCIO	R\$ 28.978,48	R\$ 96,97
RCB total Refrigeração	0,969	

Tabela 14 – Climatização - Cálculo da Relação Custo vs. Benefício (RCB)

Cliente: Grande Cliente Comercial

Cálculo da RCB Total do Projeto				
Uso Final	E.E.	RCB por Uso Final	% E.E.	RCB Parcial
Iluminação	8,7 MWh.mês	0,504	8,0%	0,040
Climatização	100,6 MWh.mês	0,969	92,0%	0,892
E.E. Total	109,3 MWh.mês	RCB Total		0,932

Tabela 15 – Cálculo da Relação Custo vs. Benefício (RCB) Total do Projeto

Ação/ Uso Final	Energia Economizada (MWh/mês)	Demanda Retirada (kW)	Investimento (R\$)	Benefícios (R\$)	VPL (R\$)	Ponto de Equilíbrio (meses)	RCB
Iluminação	8,74	33,1	29.332,50	58.226,90	28.894,40	14,82	0,504
Climatização	100,55	457,0	2.006.020,00	2.069.537,48	63.517,48	74,52	0,969
TOTAL	109,29	490,1	2.035.352,5	2.127.764,37	92.411,87	65,20	0,932

Tabela 16 – Indicadores do Projeto de Eficiência Energética

7.3.2 Valor do Projeto pela Metodologia Proposta

Nesta seção são apresentados os experimentos realizados considerando as incertezas técnicas da vida útil e manutenção dos equipamentos novos, além do fator de risco relativo à incerteza econômica do preço da energia no mercado de curto prazo.

Conforme detalhado no Capítulo 6 (seção 6.2.1.2) utilizou-se o modelo estocástico de reversão à média (MRM), apresentado por Alves (2011) [20] para representar o preço de curto prazo da energia elétrica no Brasil (PLD). A Figura 25 apresenta 3 cenários para o caminho dos preços da energia no mercado de curto prazo (PLD), considerando o preço inicial de curto prazo da energia (no instante t_0) em 96,97 R\$/MWh, conforme divulgado pela CCEE em dezembro de 2008, para aplicação em janeiro de 2009. Estes caminhos de preço do PLD serão utilizados para precificar mês-a-mês a energia economizada nos casos de estudo.

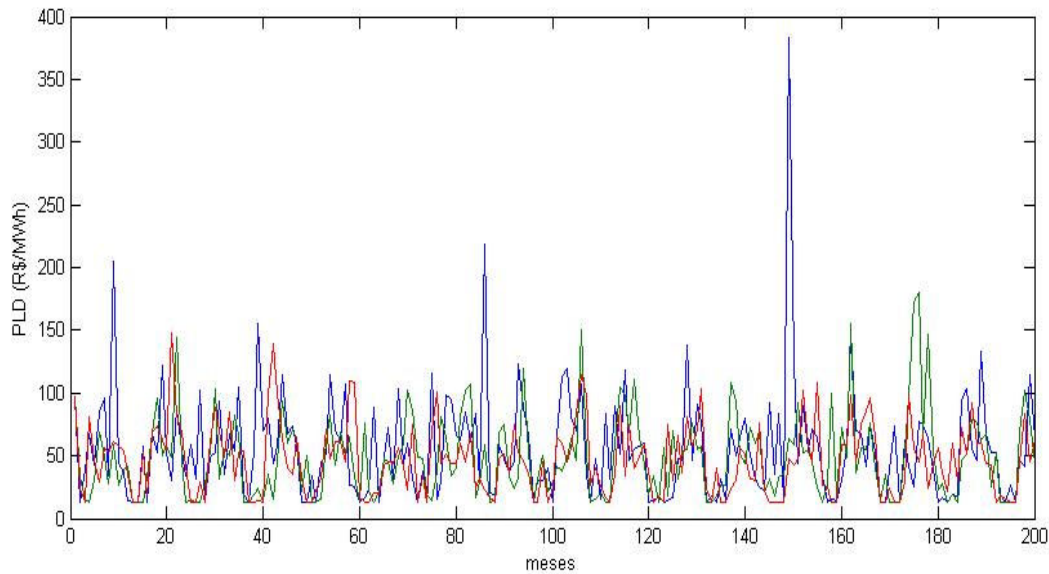


Figura 25 – Caminhos do preço da commodity – 2000 cenários

Conforme detalhado no capítulo 6 (seção 6.2.1.1), a seguir é apresentada as representações para as incertezas técnicas referentes à vida útil e à taxa de manutenção dos novos equipamentos. A Figura 26a) e a Figura 26b) apresentam as Distribuições de Probabilidade Triangular que representam as vidas úteis dos equipamentos de iluminação e climatização, respectivamente.

A Figura 26c) e a Figura 26d) apresentam a Distribuição de Probabilidade da Taxa de Manutenção dos equipamentos de iluminação e climatização, respectivamente.

A seguir são descritos os experimentos e comparados os resultados obtidos com a metodologia tradicional aplicada em problemas de eficiência energética no setor elétrico brasileiro. Foram simulados 2.000 caminhos para a *commodity* para seguir o mesmo padrão de geração de cenários do modelo NEWAVE²⁴ [32], que é utilizado oficialmente pelo setor elétrico brasileiro para o cálculo do PLD. No processo de geração de cenários comprovou-se que a geração de 350 cenários eram

²⁴ O modelo de planejamento de operação de médio prazo - NEWAVE - representa o parque hidroelétrico de forma agregada e o cálculo da política de operação baseia-se em Programação Dinâmica Dual Estocástica. Modelo oficial autorizado pela ANEEL para o setor elétrico brasileiro.

suficientes para representar a distribuição das incertezas técnicas. Assim, totalizando 700.000 cenários para análise.

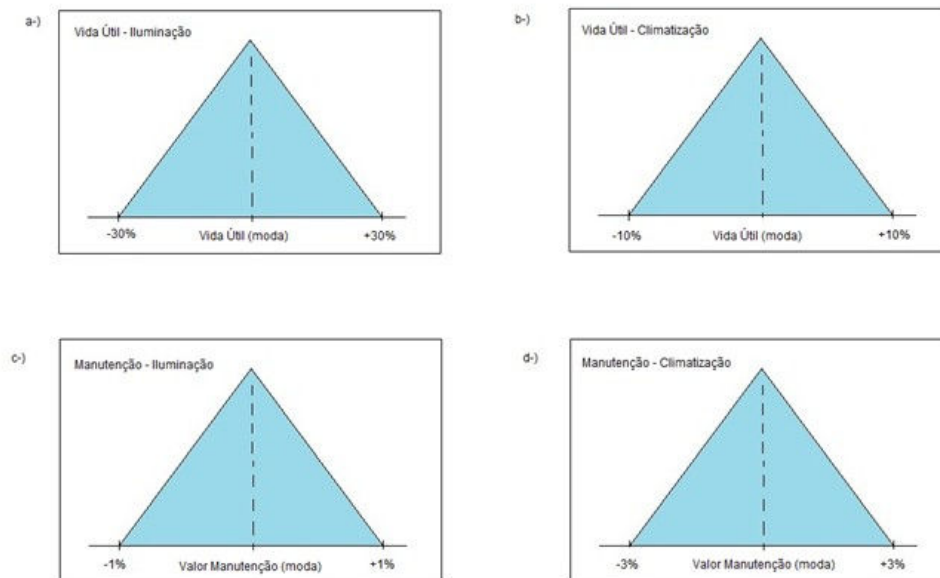


Figura 26 – Representação das Incertezas Técnicas

Nos experimentos foram avaliados:

- O ponto de equilíbrio no retorno do investimento (*do inglês: break-even point*);
- O valor da opção de espera europeia na data de expiração de 12 meses;
- O valor da opção de espera americana até a data de expiração de 12 meses;
- O Valor-em-Risco (*Value-at-Risk – VaR*);
- O Valor-em-Risco Condicional (*Conditional Value-at-Risk – CVaR*).

A Tabela 17, abaixo, apresenta os parâmetros utilizados no Experimento 1.

Experimento 1				
Investimento	Investir 100% do Orçamento			
Representação da Incerteza Econômica	Processo Estocástico		Reversão à Média (MRM)	
	Parâmetros do MRM	Período	Seco	Úmido
		Velocidade de Reversão à Média de Subida	3,46	4,572
		Velocidade de Reversão à Média de Descida	3,912	1,717
		Média de longo Prazo (R\$/MWh)	67,211	24,542
		Volatilidade Mensal	1,618	1,201
		Preço Atual da Energia (R\$/MWh)	96,97	96,97
		Taxa Livre de Risco (a.m.)	0,0064	0,0064
		Taxa Ajustada ao Risco (a.m.)	0,0095	0,0095
		Número de Simulações	2000	
Representação das Incertezas Técnicas	Vida Útil dos equipamentos de Iluminação		Triangular: T(vu-30%,vu+30%,vu)	
	Vida Útil dos equipamentos de Climatização		Triangular: T(vu-10%,vu+10%,vu)	
	Manutenção dos equipamentos de Iluminação		Triangular: T(m-3%,m+3%,m)	
	Manutenção dos equipamentos de Climatização		Triangular: T(m-1%,m+1%,m)	
Análise do Ponto de Equilíbrio	Uso Final de Climatização		60,90,97,110 e 120 meses	
	Uso Final de Iluminação		11,13,15,17 e 19 meses	
Valor da Espera	Opção Europeia	Expiração das Alternativas de Investimento	Valor da Opção para Exercício na Data de Expiração em 1 ano (t=12)	
		Discretização do Tempo de Vida da Opção	1 mês	
	Opção Americana	Expiração das Alternativas de Investimento	Valor da Opção para Exercício Antecipado até a Data de Expiração em 1 ano (t=12)	
		Discretização do Tempo de Vida da Opção	1 mês	
Valor em Risco	Intervalo de Confiança (IC)		95%	

Tabela 17 – Experimento 1 – Parâmetros

7.3.2.1 Determinação do Ponto de Equilíbrio no Retorno do Investimento (Payback)

As incertezas técnicas sobre cada vida útil dos equipamentos novos criam um cenário de incerteza sobre o tempo de retorno do investimento em Projetos de Eficiência Energética. Esta incerteza cresce à medida que se introduz no projeto mais equipamentos distintos de características operacionais específicas. Embora a análise do ponto de equilíbrio no retorno do investimento (*payback*) seja uma técnica pouco utilizada nos dias de hoje para decisão gerencial, em razão de suas falhas de avaliação [36], em Projetos de Eficiência Energética este indicador tem sido motivo de estudos.

Em 1990, Grubb (Energy and Environmental Programme, London, UK) [81] apresentou as principais barreiras enfrentadas para adoção de Projetos de Eficiência Energética no Reino Unido. Dentre elas, destacou os requisitos de retorno rápido (*payback*) imposto pelos gerentes que, mesmo tendo conhecimento dos benefícios, tendem a exigir uma taxa ajustada ao risco maior do que aquela praticada em outros projetos de energia, como, por exemplo, em projetos de geração.

Jaffe e Stavins (1994) [82] apresentaram um estudo sobre barreiras ao desenvolvimento de Projetos de Eficiência Energética, onde identificaram que uma das principais barreiras ao desenvolvimento de Projetos de Eficiência Energética, também, está associada às incertezas do *payback* dos projetos.

Em 2004, Anderson e Newell [83] desenvolveram um modelo econométrico onde apresentam a probabilidade de adoção de um Projeto de Eficiência Energética em relação ao *payback* esperado.

Neste primeiro experimento foram consideradas as influências das incertezas técnicas e do fator de risco do preço da energia elétrica no Projeto de Eficiência Energética no Brasil para o estudo de caso proposto, visando analisar o comportamento do VPL do projeto em determinados limites de tempo de retorno das ações de iluminação e climatização. Como já dito anteriormente, estes limites estão associados ao tempo definido no contrato de desempenho do Projeto de

Eficiência Energética (firmados entre o investidor e o executor do projeto) ou ao tempo de vida útil dos novos equipamentos, cuja incerteza está inserida no modelo.

No setor elétrico brasileiro, devido aos altos investimentos e em razão dos riscos políticos e regulatórios, é prática comum que o investidor defina o tempo de retorno do projeto (*payback*) como inferior à menor vida útil dos equipamentos propostos. Neste caso especial, dependendo da linha de corte, conforme ilustra a Figura 27, reduz-se ou elimina-se a incerteza técnica sobre o tempo de retorno dos benefícios do projeto.

Para avaliar a sensibilidade do VPL próximo ao ponto de equilíbrio, foram aplicados os seguintes passos:

1. Definiram-se três limites para o tempo de duração do projeto T (mínimo, médio e máximo). Sendo o ponto máximo necessariamente menor ou igual à vida útil do equipamento. Para o Projeto de Iluminação T é igual a 11 meses, 13 meses e 19 meses. Para o Projeto de Climatização T é igual a 60 meses, 90 meses e 120 meses;
2. A partir da análise da distribuição de probabilidades do VPL para cada um dos três limites de tempo em cada Projeto (passo 1) definiram-se mais dois pontos de análise: (i) o primeiro definido como próximo e inferior ao ponto de equilíbrio. (ii) o segundo definido como próximo e superior ao ponto de equilíbrio. Assim, para o Projeto de Iluminação foram também analisadas as distribuições dos VPLs considerando o tempo de duração do projeto para T igual a 15 meses e igual a 17 meses. Para o Projeto de Climatização, considerou-se, também, o tempo de duração do projeto para T igual a 97 meses e igual a 110 meses.

A Figura 28 apresenta as atividades e módulos do fluxograma da metodologia proposta (Figura 20) que foram executadas nesta seção 7.3.2.1.

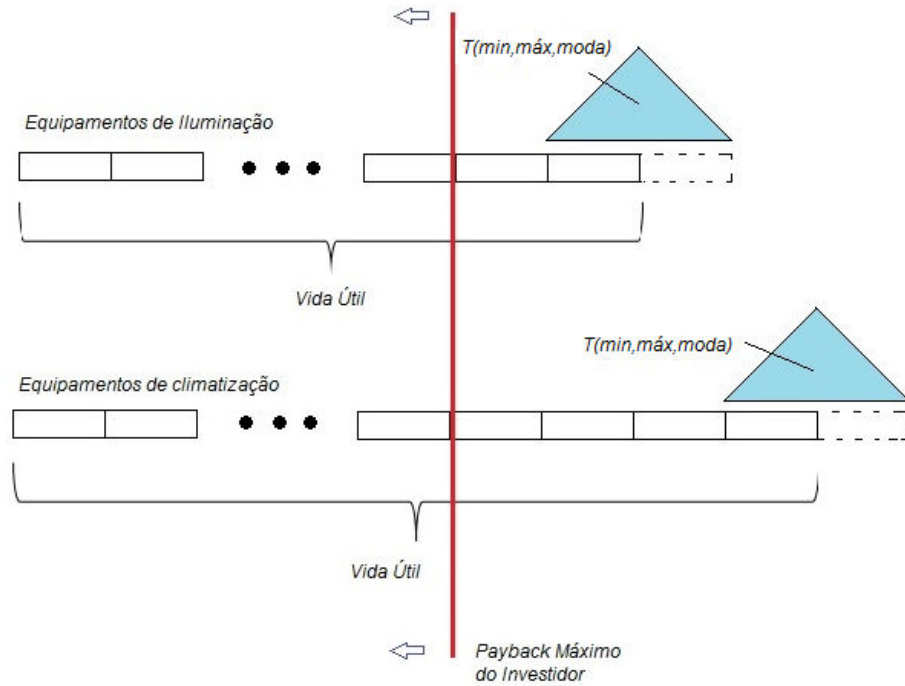


Figura 27 - Vida Útil dos Equipamentos vs. Tempo de Retorno (*Payback*) determinado pelo Investidor

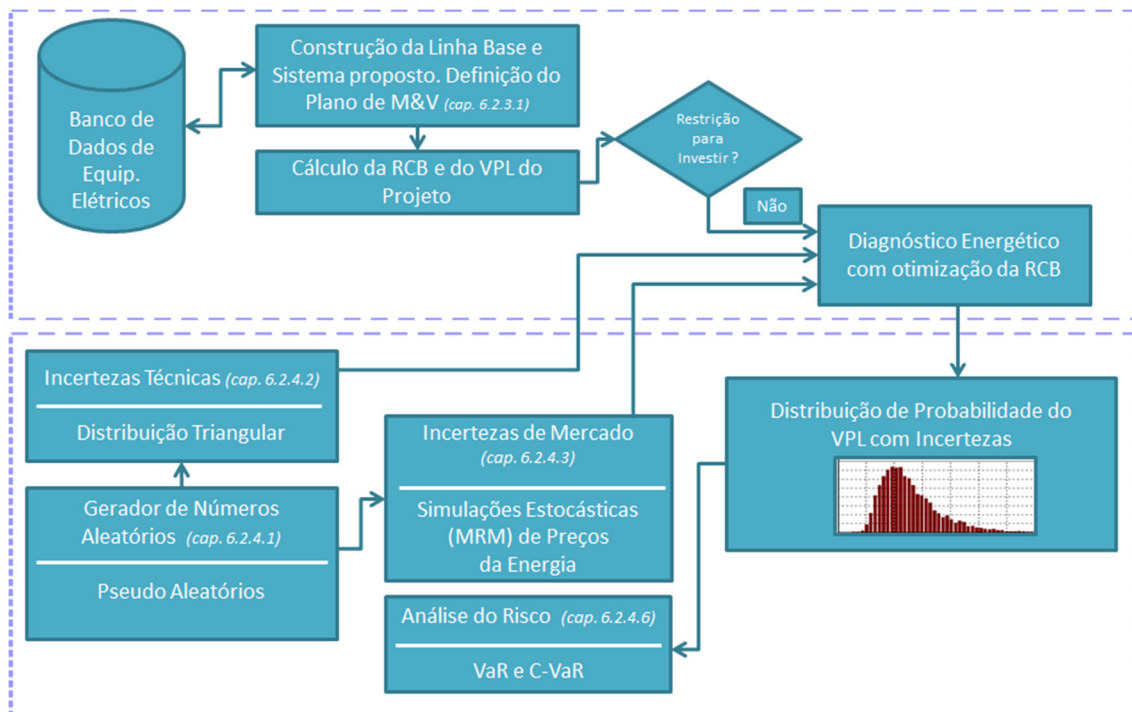


Figura 28 - Fluxo - Experimento 1 – Determinação do Ponto de Equilíbrio no Retorno do Investimento (*Payback*), VaR e C-VaR

Uso Final Climatização

A seguir são apresentados os resultados das análises das distribuições do VPL para o Projeto de Climatização em estudo, considerando os tempos máximos para retorno do Investimento em 60, 90, 97, 110 e 120 meses. As Figura 29-Figura 33, apresentam os respectivos histogramas. As Tabela 18-Tabela 22, apresentam as respectivas medidas estatísticas e de risco. O Investimento necessário para a implementação deste projeto, conforme o levantamento executado no diagnóstico energético (seção 2.3) é de R\$ 2.006.020,00.

a) Análise do Tempo de Retorno do Investimento: 60 meses

Da análise do histograma da Figura 29 depreende-se que no tempo máximo de 60 meses, o Projeto de Climatização é inviável, apresentando VPL negativo para todos os cenários. A Tabela 18 apresenta as medidas estatísticas da distribuição.

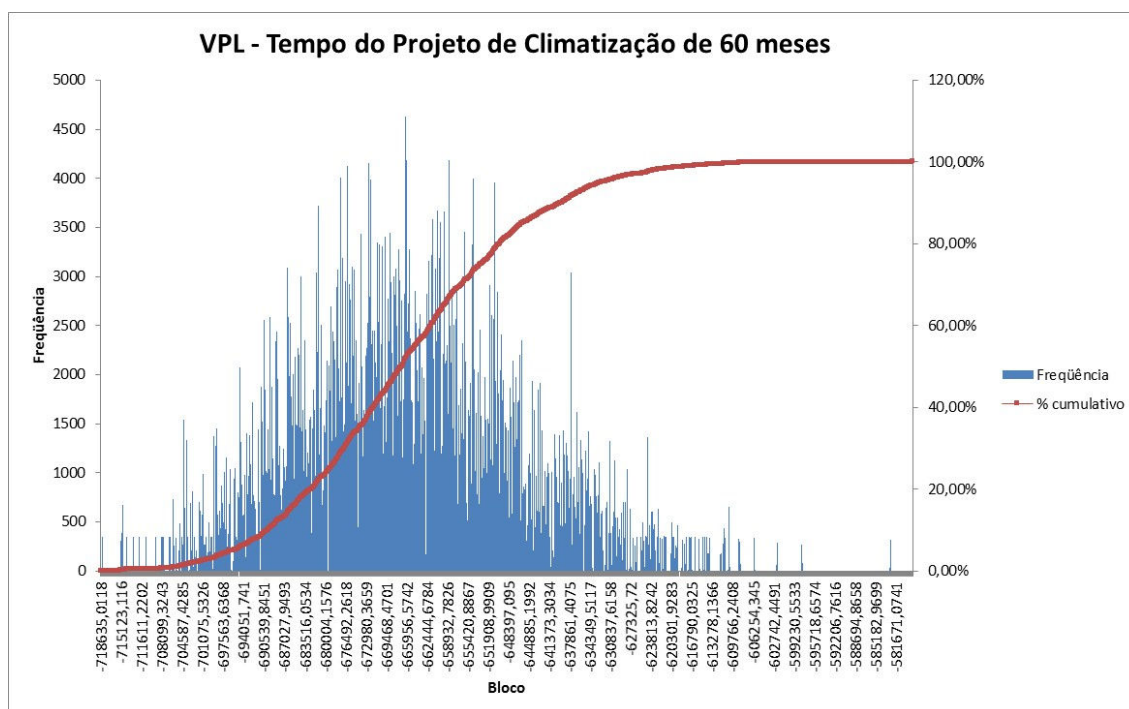


Figura 29 – Histograma da Distribuição do VPL - Tempo do Projeto de Climatização - 60 meses

Medidas Estatísticas	
Mínimo	- 718.635,01
Máximo	- 578.828,11
Média	- 665.711,55
Desv. Padrão	19.437,79
Variância	377.827.550,74

Tabela 18 – Medidas Estatísticas do VPL - Tempo do Projeto de Climatização - 60 meses

b) Análise do Tempo de Retorno do Investimento: 90 meses

Da análise do histograma da Figura 30 depreende-se que no tempo máximo de 90 meses, o Projeto de Climatização ainda permanece inviável, apresentando VPL negativo para todos os cenários. A Tabela 19 apresenta as medidas estatísticas da distribuição.

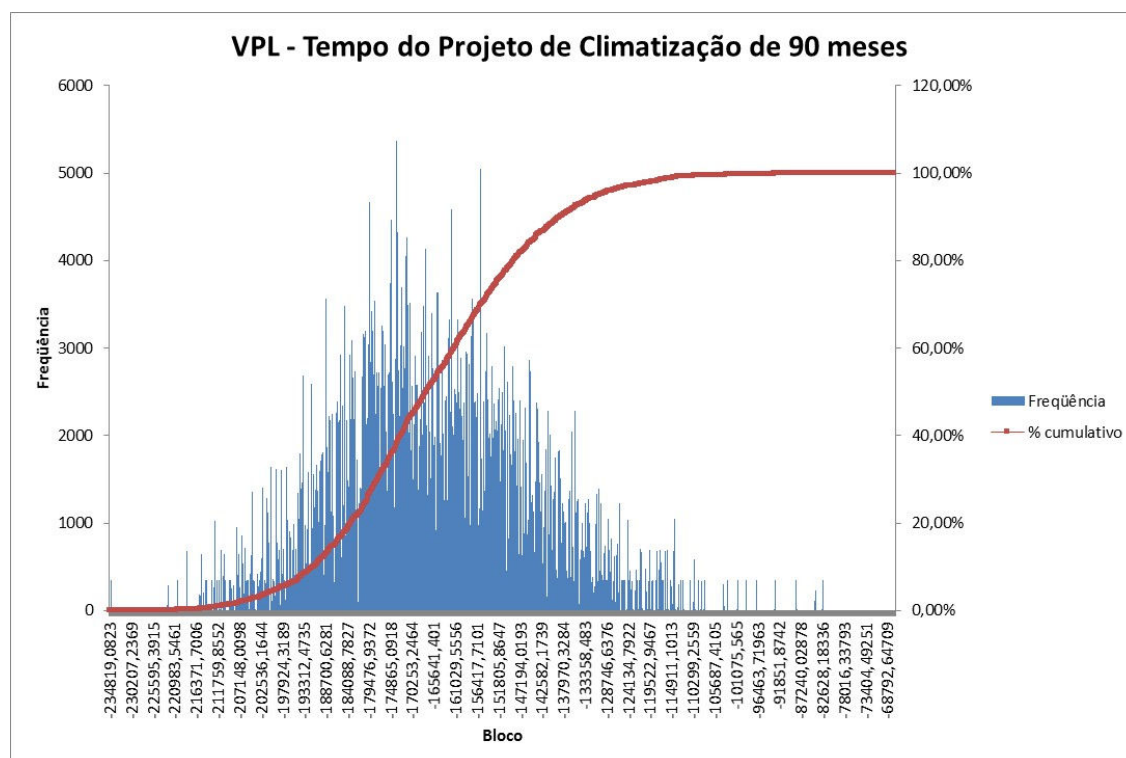


Figura 30 – Histograma da Distribuição do VPL - Tempo do Projeto de Climatização - 90 meses

Medidas Estatísticas	
Mínimo	- 234.819,08
Máximo	- 67.188,53
Média	- 165.696,37
Desv.Padrão	20.982,24
Variância	440.254.530,06

Tabela 19 – Análise do VPL - Tempo do Projeto de Climatização - 90 meses

c) Análise do Tempo de Retorno do Investimento: 97 meses

Da análise do histograma da Figura 31 observa-se que no tempo máximo de 97 meses, o Projeto de Climatização apresenta VPL negativo para 99,6% dos cenários. A Tabela 20 apresenta as medidas estatísticas da distribuição.

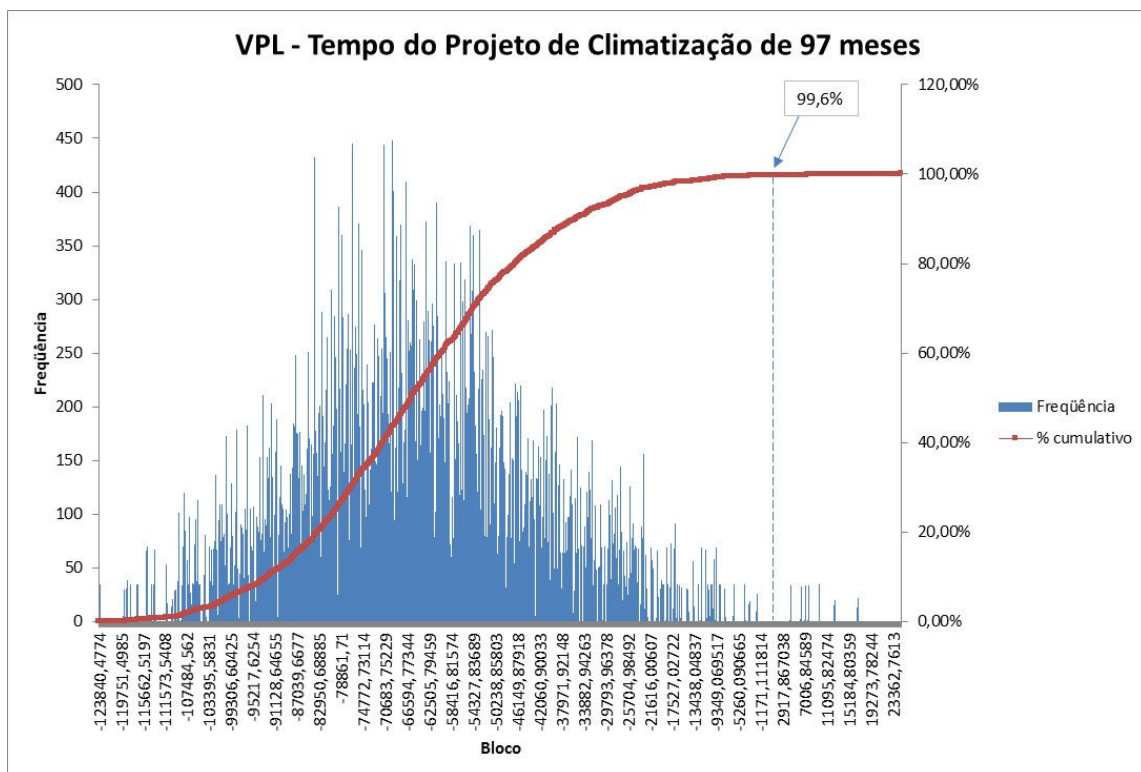


Figura 31 – Histograma da Distribuição do VPL - Tempo do Projeto de Climatização - 97 meses

Medidas Estatísticas	
Mínimo	- 123.840,48
Máximo	24.785,01
Média	- 64.727,56
Desv.Padrão	22.041,94
Variância	485.846.899,60

Tabela 20 – Análise do VPL - Tempo do Projeto de Climatização - 97 meses

d) Análise do Tempo de Retorno do Investimento: 110 meses

Da análise do histograma da Figura 32 e da Tabela 21a) observa-se que no tempo máximo de 110 meses, o Projeto de Climatização apresenta VPL positivo para 99,38% dos cenários e com um VPL médio positivo de R\$ 97.603,66. O fato de se estender o tempo do projeto de 97 meses para 110 meses, acrescenta um Benefício de economia de energia (EE) de 1430 MWh, cujo valor médio (para 700.00 cenários) é de R\$ 162.331.22 o que torna o VPL médio positivo. Pode-se evidenciar que a alta volatilidade do preço da energia elétrica no mercado de curto prazo (PLD) geram fortes oscilações no seu valor de um mês para outro, contribuindo de forma significativa para a alta precificação do Benefício.

Analisando o VaR pode-se concluir que há uma certeza de 95% de que não haverá VPLs menores que R\$ 50.528,00 para o Projeto de Eficiência Energética para o uso final de Climatização, considerando o tempo máximo de projeto em 110 meses. Da Tabela 21b) concluímos que existe uma probabilidade de 5% do VPL ser menor do que o VaR (R\$ 50.528,00), com um C-VaR positivo de R\$ 1.301,73.

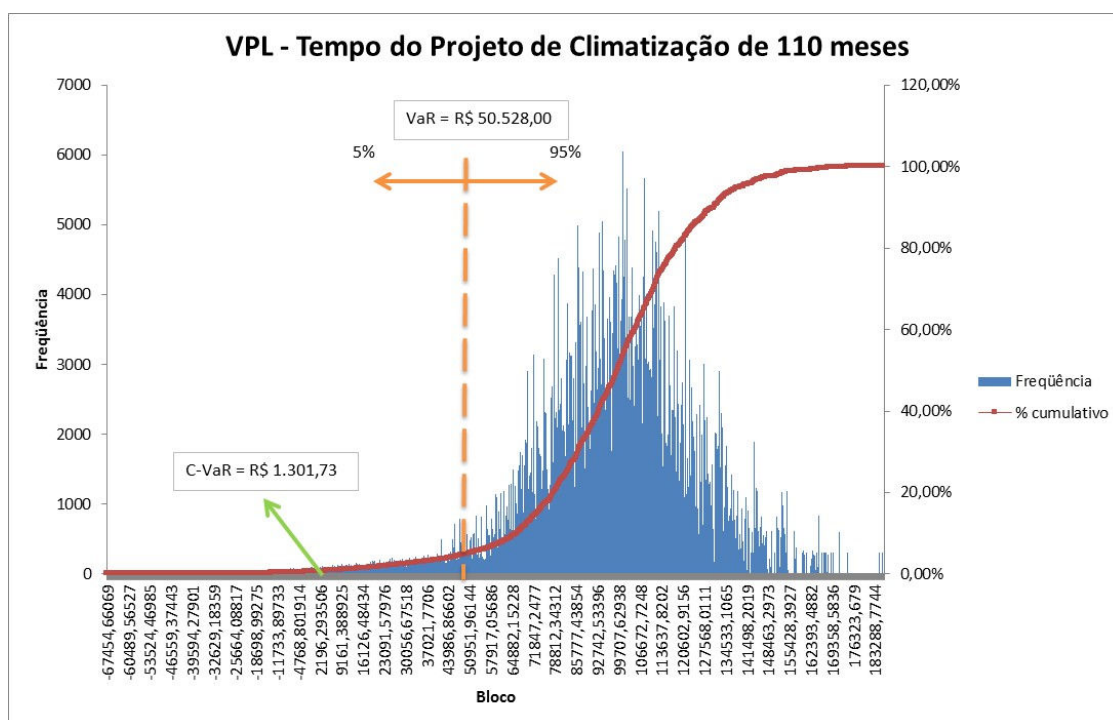


Figura 32 – Histograma da Distribuição do VPL - Tempo do Projeto de Climatização - 110 meses

a)

Medidas Estatísticas	
Mínimo	- 67.454,66
Máximo	185.711,42
Média	97.603,66
Desv.Padrão	27.774,88
Variância	771.443.928,37

b)

Medidas de Risco	
VaR	50.528,00
C-VaR	1.301,73

Tabela 21 – Análise do VPL - Tempo do Projeto de Climatização - 110 meses

e) Análise do Tempo de Retorno do Investimento: 120 meses

Da análise do histograma da Figura 33 e da Tabela 22a) observa-se que no tempo máximo de 120 meses, o Projeto de Climatização apresenta VPL positivo para 99,41% dos cenários e com um VPL médio positivo de R\$ 181.665,06 com RCB média igual a 0,92. Analisando o VaR pode-se concluir que há uma certeza de 95% de que não haverá VPLs menores que R\$ 55.341,68 (ou RCBs maiores do que 0,97) para o Projeto de Eficiência Energética para o uso final de Climatização, considerando o tempo máximo de projeto em 120 meses. Da Tabela 22b) concluímos que existe uma probabilidade de 5% do VPL ser menor do que o VaR (R\$ 55.341,68), com um C-VaR positivo de R\$ 1.376,29 e RCB média igual a 1,00.

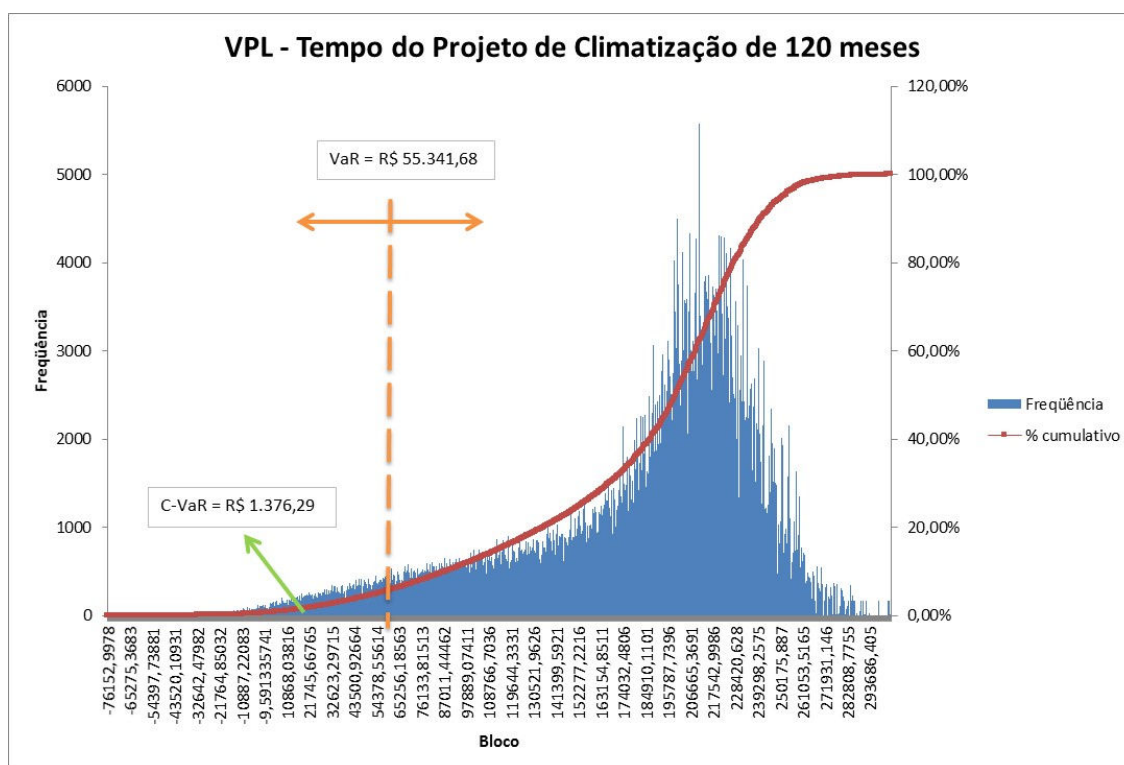


Figura 33 – Histograma da Distribuição do VPL - Tempo do Projeto de Climatização - 120 meses

Medidas Estatísticas	
Mínimo	- 76.153,00
Máximo	302.751,10
Média	181.665,06
Desv.Padrão	59.606,60
Variância	3.552.946.258,00

a)

Medidas de Risco	
VaR	55.341,68
C-VaR	1.376,29

b)

Tabela 22 – Análise do VPL - Tempo do Projeto de Climatização - 120 meses

f) Análise do Ponto de Equilíbrio

O histograma da Figura 34 apresenta a distribuição de probabilidades do ponto de equilíbrio (break-even point) do Projeto de Climatização. Observa-se na Tabela 23 que, em média, com 102,43 meses o projeto atinge o ponto de equilíbrio.

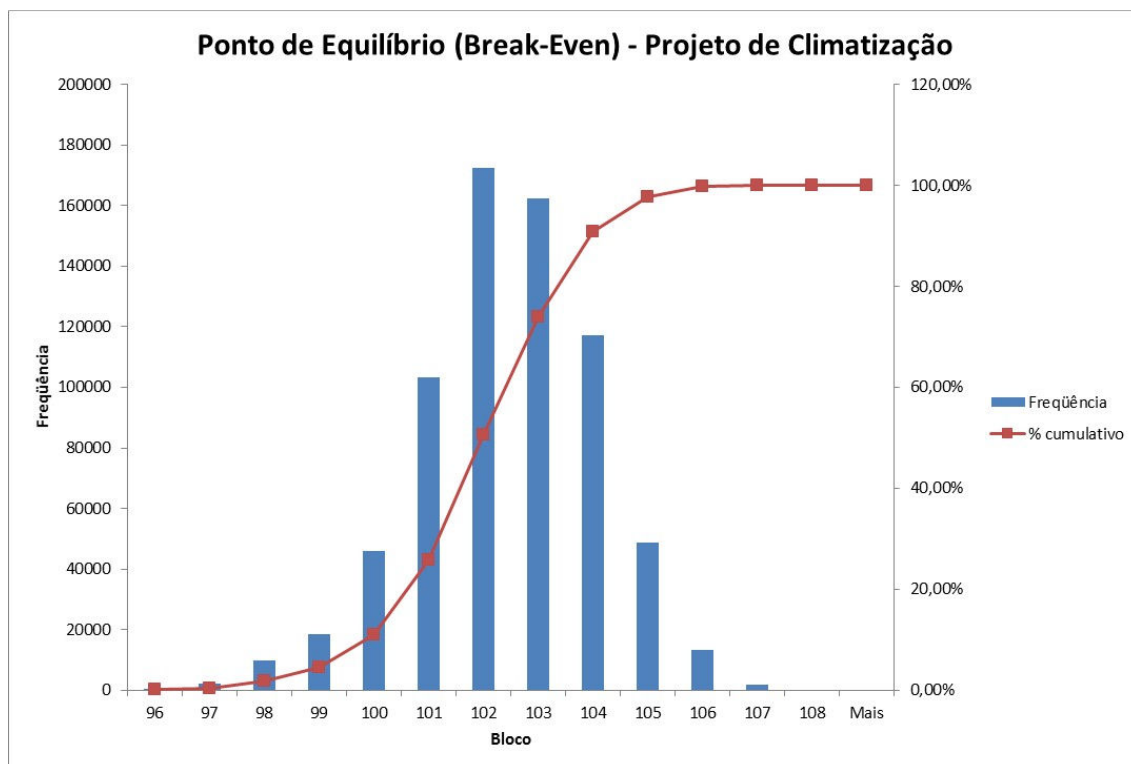


Figura 34 – Histograma - Tempo do Projeto de Climatização no Ponto de Equilíbrio

Medidas Estatísticas	
Mínimo	96,00
Máximo	107,00
Média	102,43
Desv.Padrão	1,64
Variância	2,69

Tabela 23 – Análise do Ponto de Equilíbrio - Projeto de Climatização

A Figura 35 apresenta uma síntese da sensibilidade do VPL em relação aos tempos de duração de Projeto de Climatização, a partir do acréscimo do Benefício de economia de energia (EE).

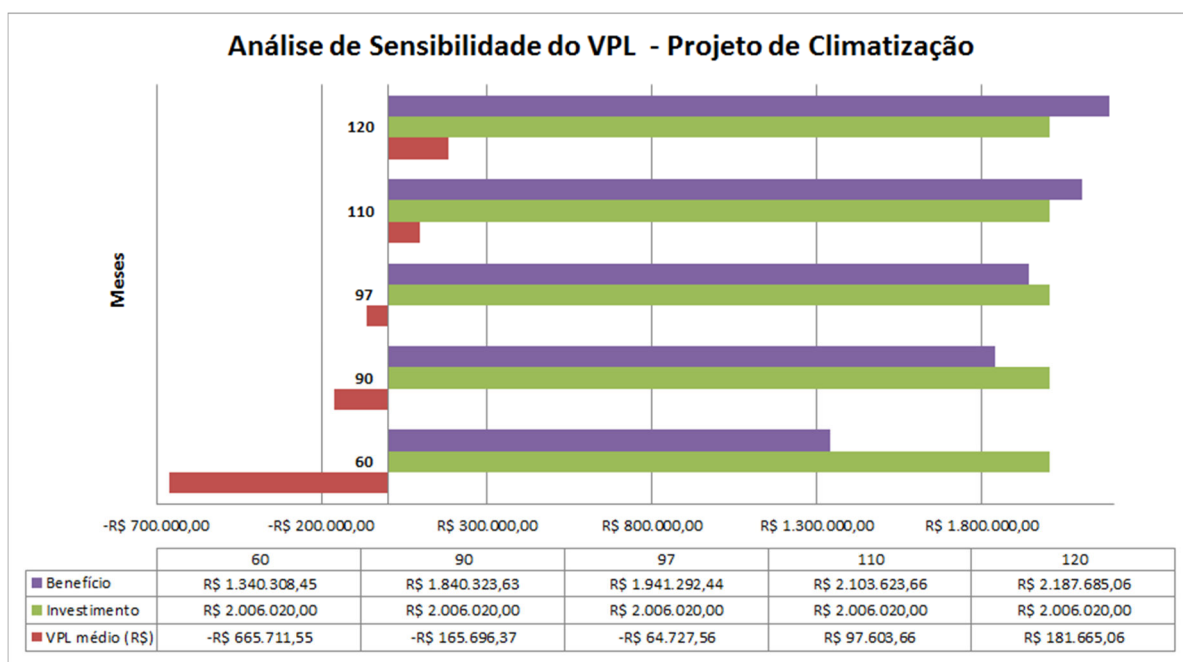


Figura 35 - Análise de Sensibilidade do VPL - Projeto de Climatização

Uso Final Iluminação

A seguir são apresentados os resultados das análises das distribuições do VPL para o Projeto de Iluminação em estudo, considerando o tempo máximo para retorno do Investimento em 11, 13, 15, 17 e 19 meses. As Figura 36-Figura 40 apresentam os respectivos histogramas. As Tabela 24-Tabela 28 apresentam as respectivas medidas estatísticas e de risco. O Investimento necessário para a implementação deste projeto, conforme o levantamento executado no diagnóstico energético (seção 2.3) é de R\$ 29.332,50.

g) Análise do Tempo de Retorno do Investimento: 11 meses

Da análise do histograma da Figura 36 depreende-se que no tempo máximo de 11 meses, o Projeto de Iluminação apresenta VPL negativo para todos os cenários. A Tabela 24 apresenta as medidas estatísticas da distribuição.

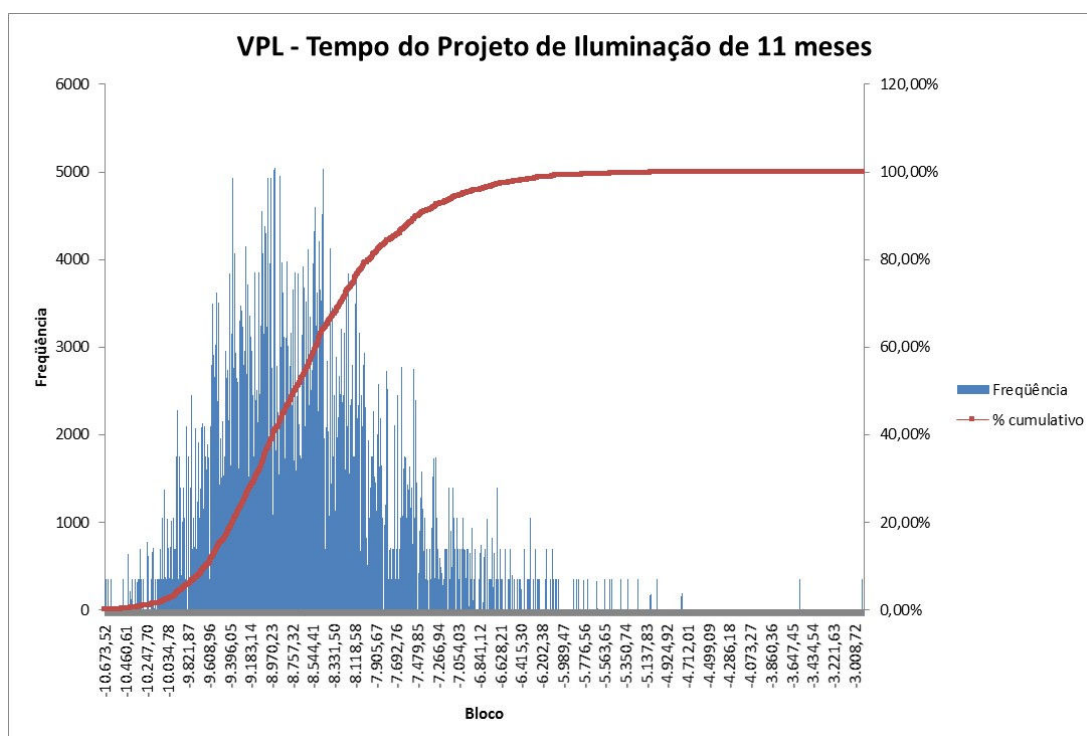


Figura 36 – Histograma da Distribuição do VPL - Tempo do Projeto de Iluminação - 11 meses

Medidas Estatísticas	
Mínimo	- 10.673,52
Máximo	- 2.934,66
Média	- 8.618,36
Desv.Padrão	893,37
Variância	798.106,55

Tabela 24 – Medidas Estatísticas do VPL - Tempo do Projeto de Iluminação - 11 meses

h) Análise do Tempo de Retorno do Investimento: 13 meses

Da análise do histograma da Figura 37 depreende-se que no tempo máximo de 13 meses, o Projeto de Iluminação apresenta VPL negativo para todos os cenários. A Tabela 25 apresenta as medidas estatísticas da distribuição.

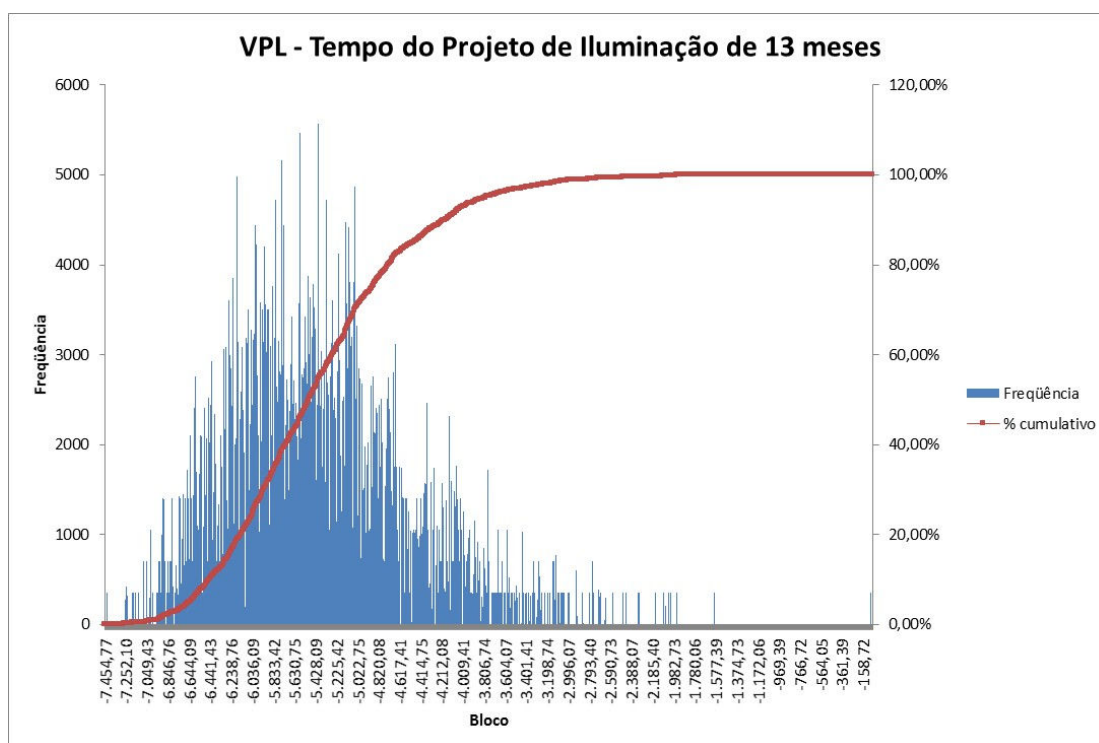


Figura 37 – Histograma da Distribuição do VPL - Tempo do Projeto de Iluminação - 13 meses

Medidas Estatísticas	
Mínimo	- 7.454,77
Máximo	- 88,22
Média	- 5.391,99
Desv.Padrão	889,34
Variância	790.922,55

Tabela 25 – Análise do VPL - Tempo do Projeto de Iluminação - 13 meses

i) Análise do Tempo de Retorno do Investimento: 15 meses

Da análise do histograma da Figura 38 observa-se que no tempo máximo de 15 meses, em 97,95% dos cenários, o Projeto de Iluminação apresentou VPL negativo, com VPL médio negativo igual a -R\$ 2.200,17, conforme apresentado na Tabela 26.

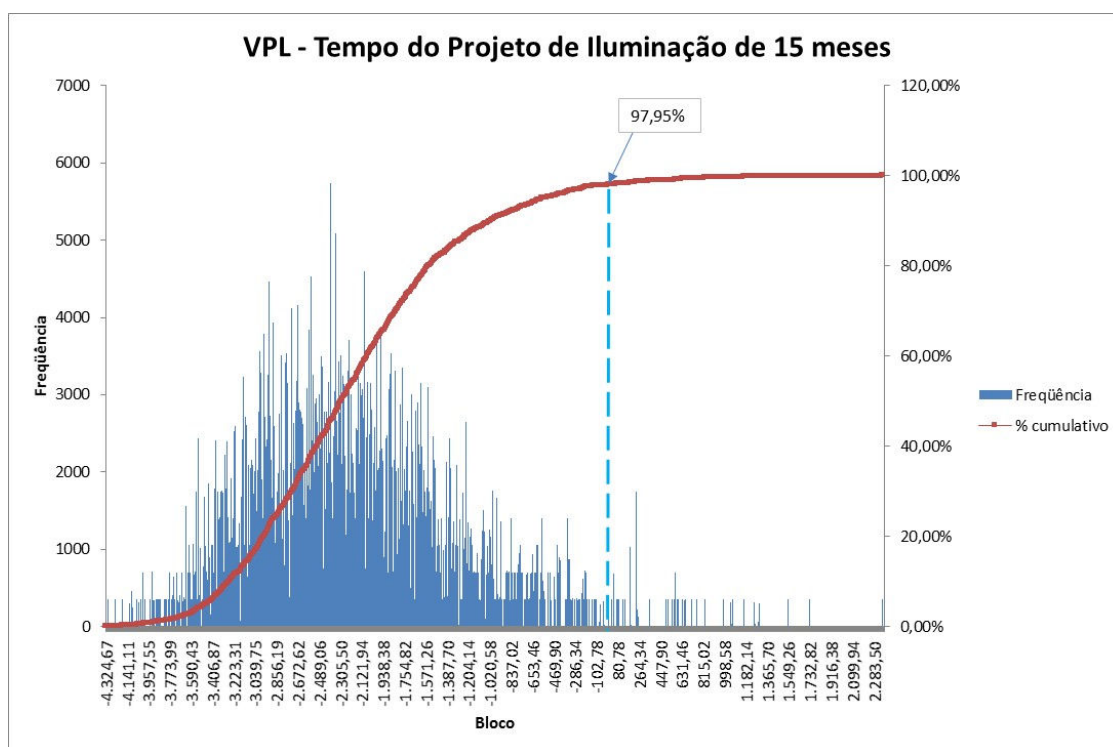


Figura 38 – Histograma da Distribuição do VPL - Tempo do Projeto de Iluminação - 15 meses

Medidas Estatísticas	
Mínimo	- 4.324,67
Máximo	2.347,35
Média	- 2.200,17
Desv.Padrão	899,28
Variância	808.701,44

Tabela 26 – Análise do VPL - Tempo do Projeto de Iluminação - 15 meses

j) Análise do Tempo de Retorno do Investimento: 17 meses

Da análise do histograma da Figura 39 e da Tabela 27a) observa-se que no tempo máximo de 17 meses, o Projeto de Iluminação apresenta VPL positivo para 95,30% dos cenários e com um VPL médio positivo de R\$ 1.413,64. O fato de se estender o tempo do projeto de 15 meses para 17 meses, acrescenta um benefício de economia de energia (EE) de 17,5 MWh, cujo valor médio (para 700.00 cenários) é de R\$ 3.613,81 o que torna o VPL médio positivo. Pode-se evidenciar que a alta volatilidade do preço da energia elétrica no mercado de curto prazo (PLD) geram fortes oscilações no seu valor de um mês para outro, contribuindo de forma significativa para a alta precificação do Benefício.

Analisando o VaR pode-se concluir que há uma certeza de 95% de que não haverá VPLs menores que R\$ 14,37 para o Projeto de Eficiência Energética para o uso final de Iluminação, considerando o tempo máximo de projeto em 17 meses. Da Tabela 27b) concluímos que existe uma probabilidade de 5% do VPL ser menor do que o VaR (R\$ 14,37), com um C-VaR negativo de -R\$ 11,01.

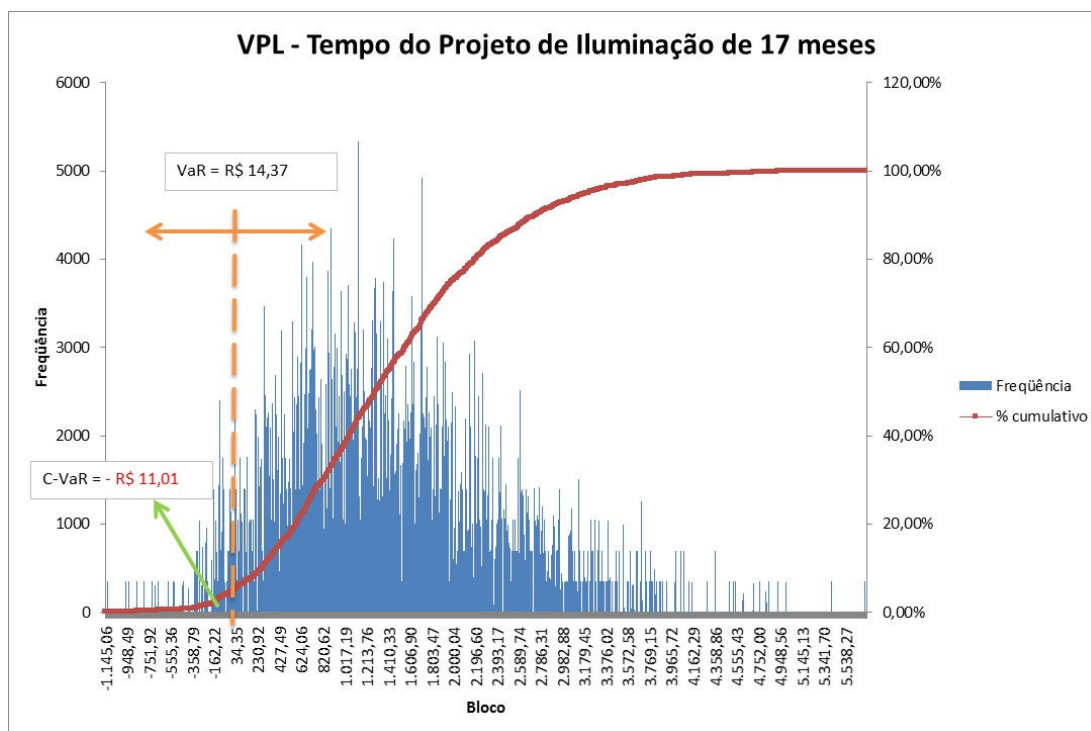


Figura 39 – Histograma da Distribuição do VPL - Tempo do Projeto de Iluminação - 17 meses

Medidas Estatísticas	
Mínimo	- 1.145,06
Máximo	5.702,08
Média	1.413,64
Desv.Padrão	980,20
Variância	960.788,34

a)

Medidas de Risco	
VaR	14,37
C-VaR	- 11,01

b)

Tabela 27 – Análise do VPL - Tempo do Projeto de Iluminação - 17 meses

k) Análise do Tempo de Retorno do Investimento: 19 meses

Da análise do histograma da Figura 40 e da Tabela 28a) observa-se que no tempo máximo de 19 meses, o Projeto de Iluminação apresenta VPL positivo em 100% dos cenários com VPL médio de R\$ 4.977,18 e RCB média igual a 0,85. Analisando o VaR pode-se concluir que há uma certeza de 95% de que não haverá

VPLs menores que R\$ 3.463,51 (ou RCBs maiores do que 0,89) para o Projeto de Eficiência Energética para o uso final de Iluminação, considerando o tempo máximo de projeto em 19 meses. Da Tabela 28b) concluímos que existe uma probabilidade de 5% do VPL ser menor do que o VaR (R\$ 3.463,51), com um C-VaR positivo de R\$ 158,40 e RCB média igual a 0,99.

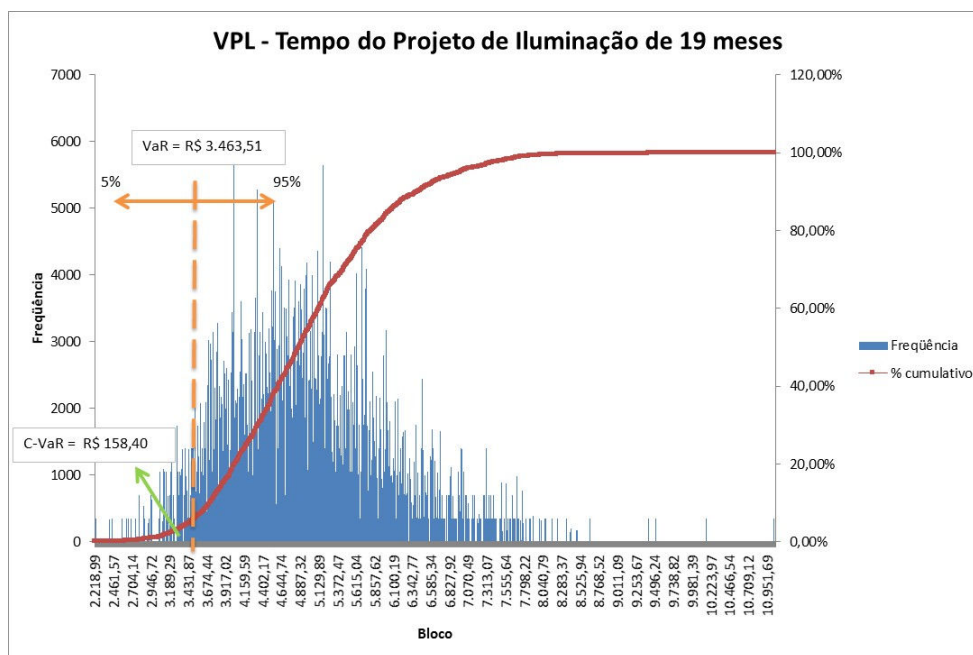


Figura 40 – Histograma da Distribuição do VPL - Tempo do Projeto de Iluminação - 19 meses

Medidas Estatísticas	
Mínimo	2.218,99
Máximo	11.036,06
Média	4.977,18
Desv.Padrão	1.070,80
Variância	1.146.621,53

a)

Medidas de Risco	
VaR	3.463,51
C-VaR	158,40

b)

Tabela 28 – Análise do VPL - Tempo do Projeto de Climatização - 19 meses

D) Análise do Ponto de Equilíbrio

O histograma da Figura 41 apresenta a distribuição de probabilidades do ponto de equilíbrio²⁵ (break-even point) do Projeto de Iluminação. Observa-se na Tabela 29 que em média com 16,72 meses o projeto atinge o ponto de equilíbrio.

²⁵ Ponto de equilíbrio (do inglês: break-even-point), é a denominação dada ao estudo, nas empresas, onde o total das receitas é igual ao total dos gastos (custos e despesas). Neste ponto o resultado, ou lucro final, é igual a zero.

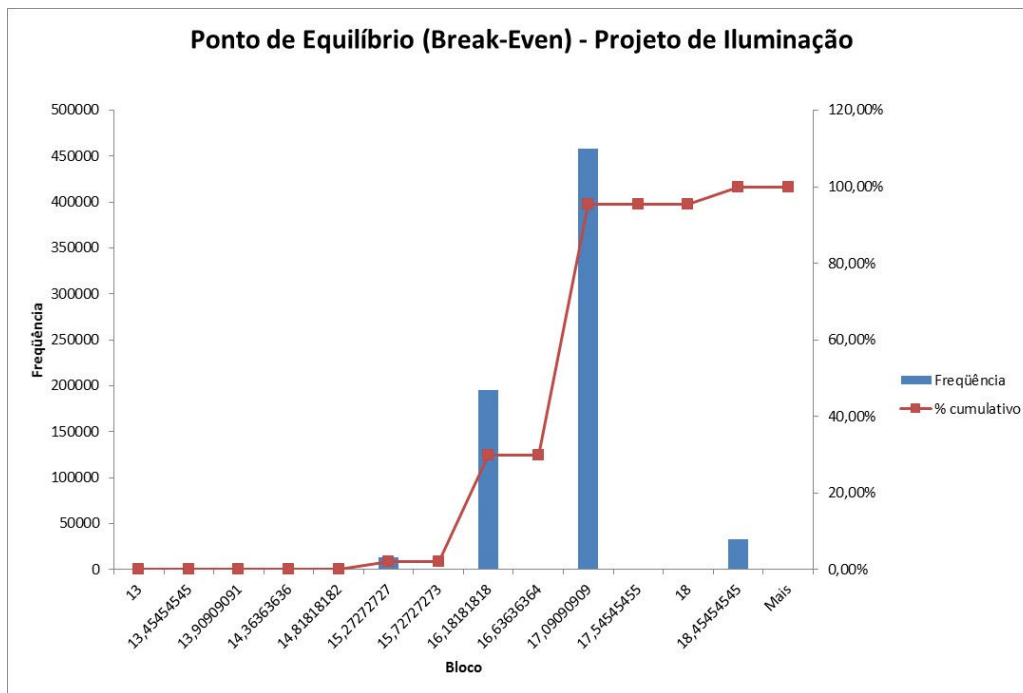


Figura 41 – Histograma - Tempo do Projeto de Iluminação no Ponto de Equilíbrio

Medidas Estatísticas	
Mínimo	13,00
Máximo	18,00
Média	16,72
Desv. Padrão	0,59
Variância	0,34

Tabela 29 – Análise do Ponto de Equilíbrio - Projeto de Iluminação

A Figura 42 apresenta uma síntese da sensibilidade do VPL em relação aos tempos de duração de Projeto de Iluminação, a partir do acréscimo do Benefício de economia de energia (EE).

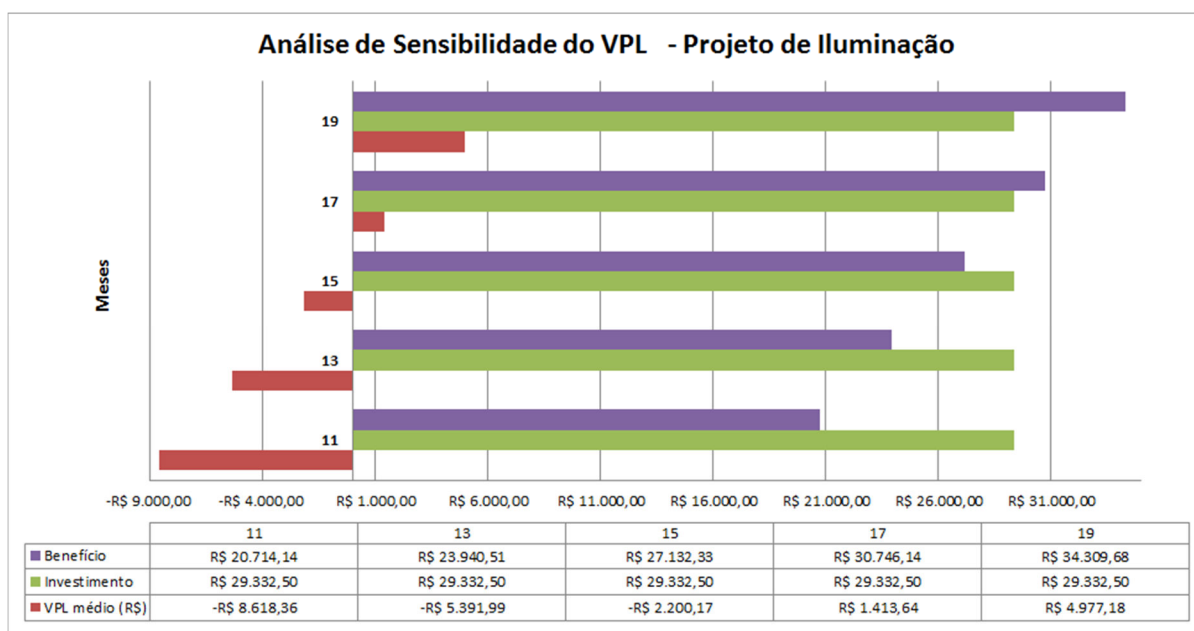


Figura 42 - - Análise de Sensibilidade do VPL - Projeto de Iluminação

Para o Projeto de Climatização obteve-se o ponto de equilíbrio (*break-even point*) em 102,43 meses, ou seja, a 85% da vida útil média esperada de 120 meses para os equipamentos, segundo seu fabricante. Este é um indicativo de um baixo potencial de eficiência energética para este consumidor, neste uso final.

Para o Projeto de Iluminação, destaca-se a descoberta do ponto de equilíbrio do projeto em 16,72 meses, ou seja, a 56% da vida útil média esperada de 30 meses para os equipamentos de iluminação, segundo seus fabricantes. Este é um indicativo de um ótimo potencial da ação de eficiência energética para este consumidor neste uso final.

Os estudos desenvolvidos neste experimento demonstraram que a metodologia proposta, que considera os fatores de risco no modelo, proporciona um ganho no gerenciamento do risco dos projetos estabelecendo uma clareza na valoração deste risco em apoio à decisão gerencial. Os experimentos relevaram que no Brasil os Projetos de Eficiência Energética dão um salto da inviabilidade para a viabilidade em poucos meses, considerando quase 90% dos cenários. Ou seja, a evolução de cenários negativos de VPL para cenários positivos de VPL é muito rápida, conforme se aumenta o tempo do projeto em meses. Logo, pelas características dos Projetos de Eficiência Energética no Brasil, é de suma

importância se conhecer o ponto de equilíbrio do projeto para que o investidor possa firmar um contrato com a rentabilidade esperada.

7.3.2.2 Valor da Espera - Opção Europeia

O investidor deseja avaliar a possibilidade de contratar o projeto de imediato ou de esperar um ano para tomar a decisão, na expectativa de que sejam reveladas algumas incertezas que podem influenciar os preços da energia, como por exemplo a afluência de chuvas, a curva de aversão ao risco (CAR) do Operador Nacional do Sistema Interligado (ONS) ou mudanças nos marcos regulatórios.

Este é um problema de valoração da opção de espera (ou do inglês: timing option). Vale destacar que esta é uma opção de compra do tipo europeia (*call*), ou seja, só poderá ser exercida na sua data de expiração, em t igual a 12 meses (um ano). É importante destacar que a partir de um ano, há uma grande probabilidade de que a empresa avaliada pelo diagnóstico energético tenha alterado seu modo operativo gerando a necessidade de ajustes no diagnóstico energético atual. Nestas circunstâncias é recomendado gerar um novo diagnóstico energético para capturar as mudanças implementadas. Além disso, após um ano, é possível que os preços dos equipamentos e serviços sofram alguma variação, o que, também, justificaria refazer o diagnóstico energético.

O valor desta opção de espera é o valor máximo entre zero e o valor do benefício em t_{12} (trazido ao valor presente) menos o investimento em t_{12} , calculado segundo a equação (7-3).

$$Call = Max[0; (B_{t_{12}} - I) \cdot e^{-rt}] \quad (7-3)$$

Onde o termo $VPL_{t_{12}} = (B_{t_{12}} - I) \cdot e^{-rt}$ é o valor da opção de espera “viva”.

Utilizando o método de Monte Carlo, após 700.000 simulações, obteve-se as distribuições probabilísticas do VPL para os usos finais Climatização e Iluminação, nos instante t_0 e t_{12} , considerando o tempo máximo de projeto em

função da vida útil esperada dos novos equipamentos eficientes (30 meses para os equipamentos de iluminação e 120 meses para os equipamentos de climatização). A seguir são apresentados os detalhes e os resultados do estudo. A Figura 43 apresenta as atividades e módulos do fluxograma da metodologia proposta (Figura 20) que foram executadas nesta seção 7.3.2.2.

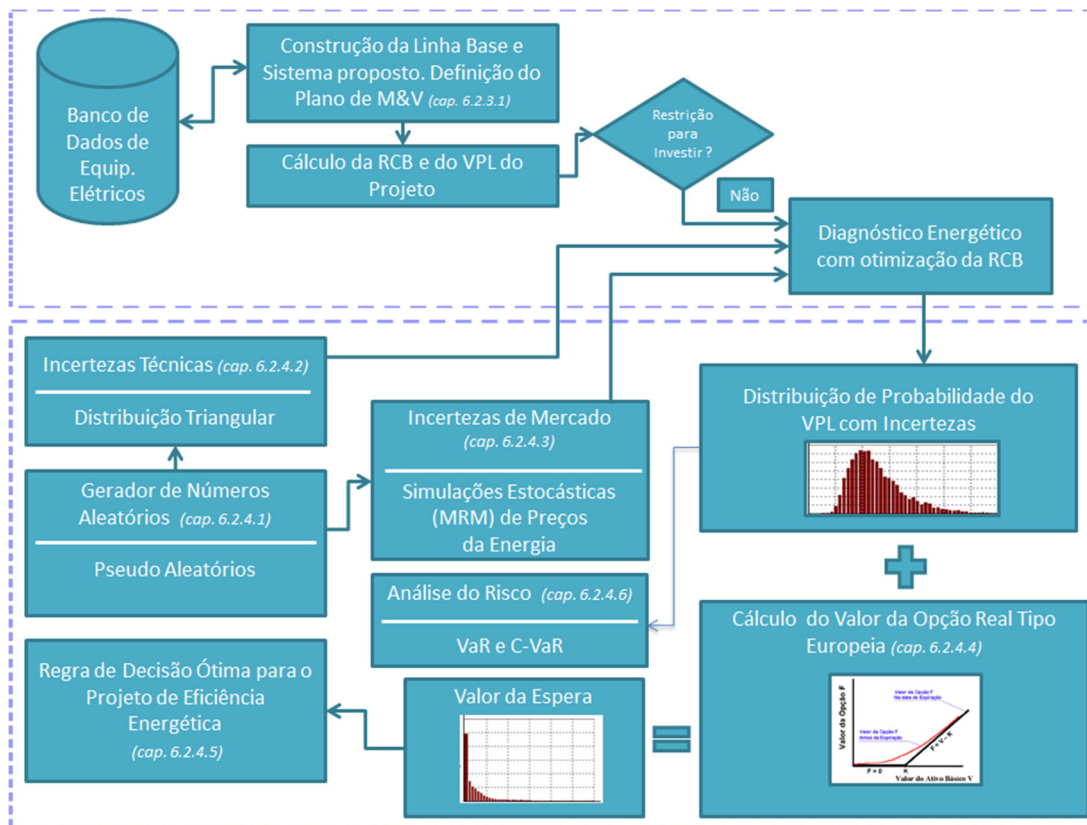


Figura 43 - Fluxo - Experimento 1 - Valor da Espera - Opção Europeia

Uso Final Climatização

A Figura 44 e a Figura 45 apresentam, respectivamente a distribuição do VPL no instante t_0 e a distribuição do VPL em t_{12} , ou seja, na data de expiração da opção. A Tabela 30a) apresenta as medidas estatísticas das distribuições. A Tabela 30b) apresenta as medidas de risco associadas à cada uma das distribuições para o intervalo de confiança de 95%.

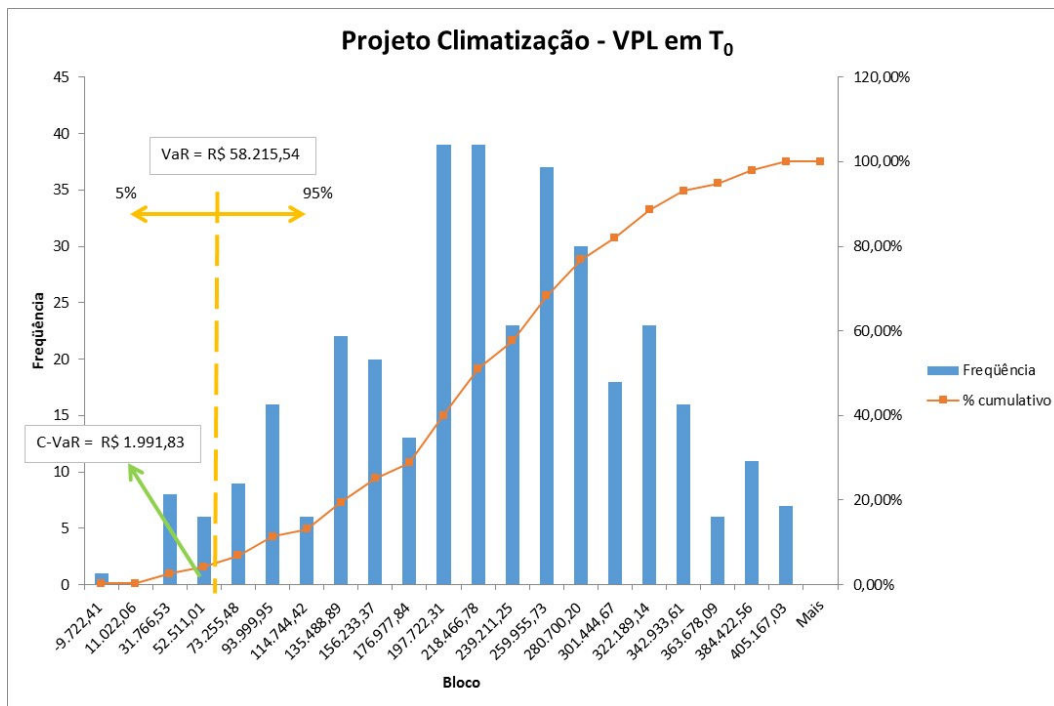


Figura 44 – Histograma da Distribuição do VPL em t_0 - Projeto de Climatização

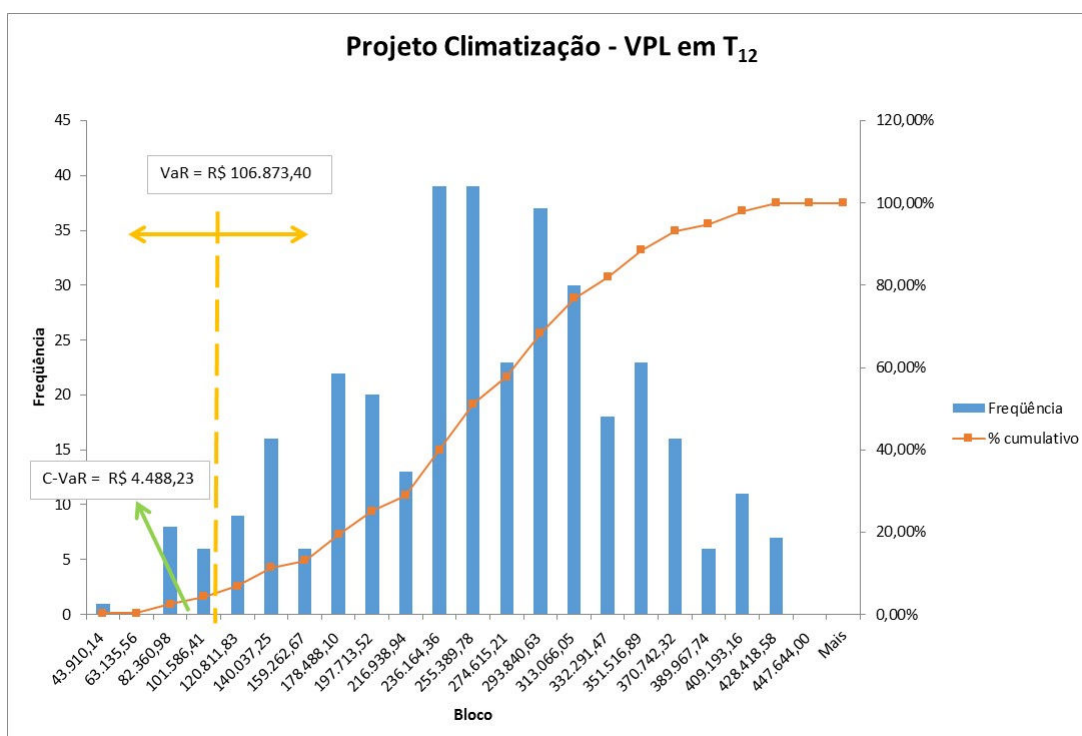


Figura 45 – Histograma da Distribuição do VPL na Data de Expiração da Opção (t_{12}) – Projeto de Climatização

Medidas Estatísticas			
VPL em t0		VPL em t12	
Mínimo	-9.722,41	Mínimo	43.910,14
Máximo	405.167,03	Máximo	428.418,58
Média	214.970,58	Média	252.250,95
Desv.Padrão	87.750,87	Desv.Padrão	81.317,39
Variância	7.700.214.941,30	Variância	6.612.517.719,44

a)

Medidas de Risco			
VPL em t0		VPL em t12	
<i>VaR</i>	58.215,74	<i>VaR</i>	106.873,40
<i>C-VaR</i>	1.991,83	<i>C-VaR</i>	4.488,23

b)

Tabela 30 – Análise do VPL em t0 e na Data de Expiração da Opção (t12) – Projeto de Climatização

A partir da equação (7-3), aplicando-se o valor do VPL t₁₂, tem-se o valor da opção de espera na data de expiração:

$$C_{\text{espera Europeia}} = \text{Max} [0; \text{VPL}_{t12}]$$

$$C_{\text{espera Europeia}} = \text{Max} [0 ; 252.250,95]$$

$$C_{\text{espera Europeia}} = \text{R\$ } 252.250,95$$

O valor da espera calculado pela opção é maior que o VPL em t₀ (R\$ 214.970,58), logo a Regra de Decisão Ótima é “esperar e ver”, exercendo a opção somente no cenário favorável.

Todavia, vale observar que o valor de espera supera o valor do VPL em t₀ em menos de 2% do total do valor do investimento. Logo, neste cenário, alguns gerentes poderão decidir pelo investimento imediato.

Da Tabela 30b) pode-se observar que o risco aumenta pela opção de espera em t₁₂ em comparação ao risco de se contratar de imediato o projeto em t₀. Todavia, concluímos que existe uma probabilidade de 5% do VPL, na data de expiração da opção, ser menor do que o VaR (R\$ 106.873,40), com um C-VaR positivo de R\$ 4.488,23.

Uso Final Iluminação

A Figura 46 e a Figura 47 apresentam, respectivamente a distribuição do VPL instante t_0 e a distribuição do VPL em t_{12} , ou seja, na data de expiração da opção. A Tabela 31a) apresenta as medidas estatísticas das distribuições. A Tabela 31b) apresenta as medidas de risco associadas à cada uma das distribuições para o intervalo de confiança de 95%.

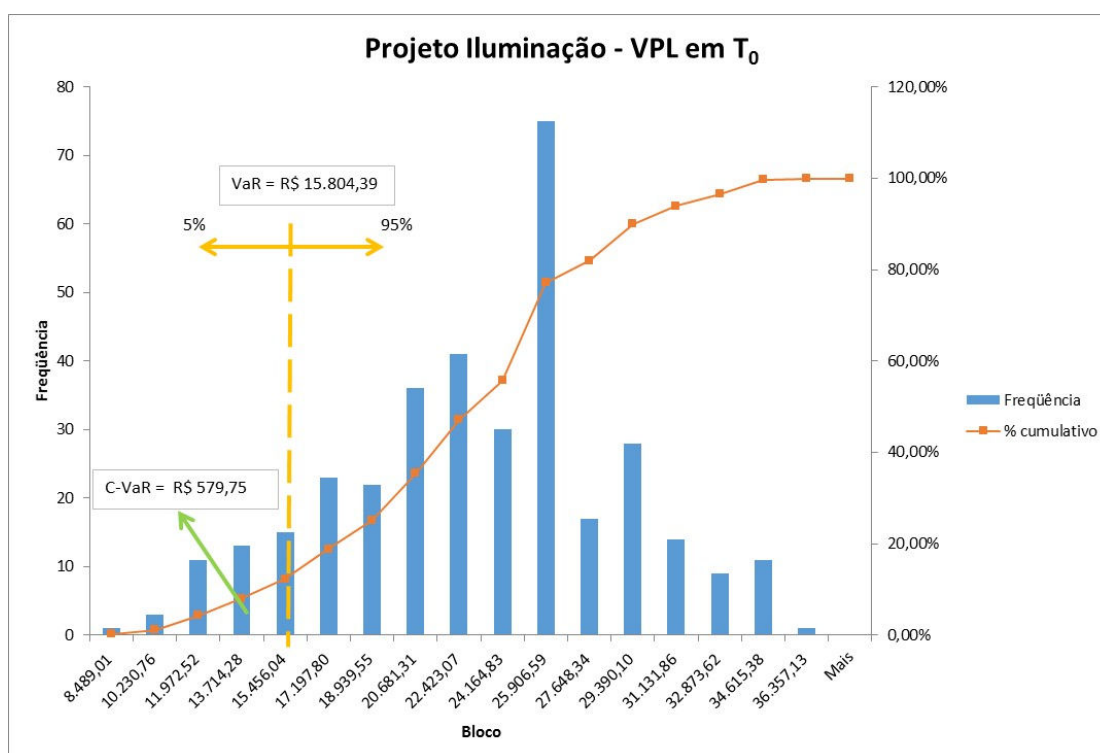


Figura 46 – Histograma da Distribuição do VPL em t_0 - Projeto de Iluminação

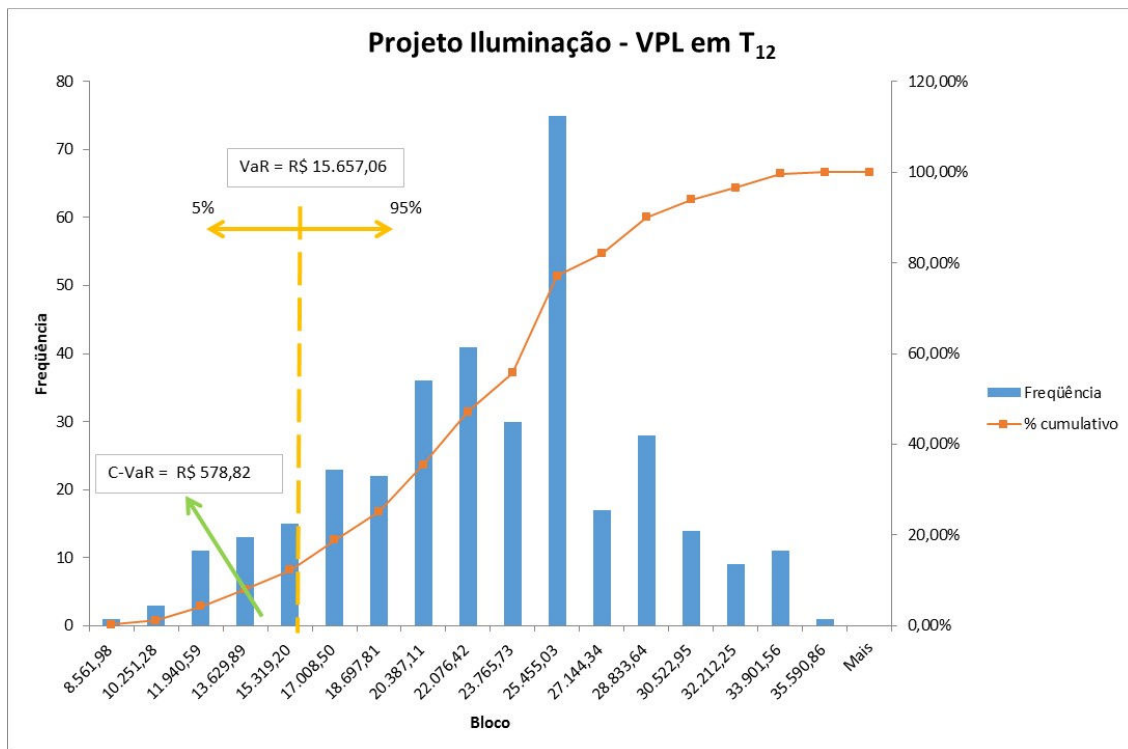


Figura 47 – Histograma da Distribuição do VPL na Data de Expiração da Opção (t12) – Projeto de Iluminação

Medidas Estatísticas			
VPL em t0		VPL em t12	
Mínimo	8.489,01	Mínimo	8.561,98
Máximo	34.615,38	Máximo	33.901,56
Média	22.338,59	Média	21.969,56
Desv. Padrão	5.634,27	Desv. Padrão	5.461,12
Variação	31.744.958,33	Variação	29.823.829,16

a)

Medidas de Risco			
VPL em t0		VPL em t12	
VaR	15.804,39	VaR	15.657,06
C-VaR	579,75	C-VaR	578,82

b)

Tabela 31 – Análise do VPL em t0 e na Data de Expiração da Opção (t12) – Projeto de Iluminação

A partir da equação (7-3), aplicando-se o valor do VPL em t₁₂, tem-se o valor da opção de espera na data de expiração:

$$C_{\text{espera Europeia}} = \text{Max} [0, \text{VPL}_{t12}] = 0$$

$$C_{\text{espera Europeia}} = \text{Max} [0 ; 21.969,53]$$

$$C_{\text{espera Europeia}} = \text{R\$ } 21.969,53$$

A opção de espera tem um valor menor do que o VPL em t_0 (R\$ 22.338,59). Logo, a Regra de Decisão Ótima neste estudo é o exercício imediato em t_0 , uma vez que a opção está madura (do inglês: *deep in the money*).

Da Tabela 31b) pode-se observar que o risco está praticamente inalterado pela opção de espera em t_{12} em comparação ao risco de se contratar de imediato o projeto em t_0 . Concluímos que existe uma probabilidade de 5% do VPL, na data de expiração da opção, ser menor do que o VaR (R\$15.804,39), com um C-VaR positivo de R\$ 579,75.

7.3.2.3 Valor da Espera - Opção Americana

O investidor deseja avaliar a possibilidade de exercer o direito de contratar os Projetos de Eficiência Energética a qualquer tempo até a data de expiração da opção de um ano (em t_{12} , considerando discretização mensal).

Este é um problema de valoração da opção de espera (ou do inglês: *timing option*). Vale destacar que esta é uma opção de compra do tipo americana (*call*), ou seja, pode ser exercida em qualquer momento até a data de expiração. Logo, cada caminho do preço é comparado com o preço crítico da regra de decisão (curva de gatilho) em cada instante t . Se o preço da opção superar a curva de gatilho (alcançar a região de exercício), o valor da opção no vencimento é calculado para esse preço em t pela equação (7-4):

$$Call_t = \text{Max}[0; (B_t - I) \cdot e^{-rt}] \quad (7-4)$$

Onde o termo $VPL_t = (B_t - I) \cdot e^{-rt}$ é o valor da opção de espera “viva”.

A Figura 48 apresenta as atividades e módulos do fluxograma da metodologia proposta (Figura 20) que foram executadas nesta seção 7.3.2.3.

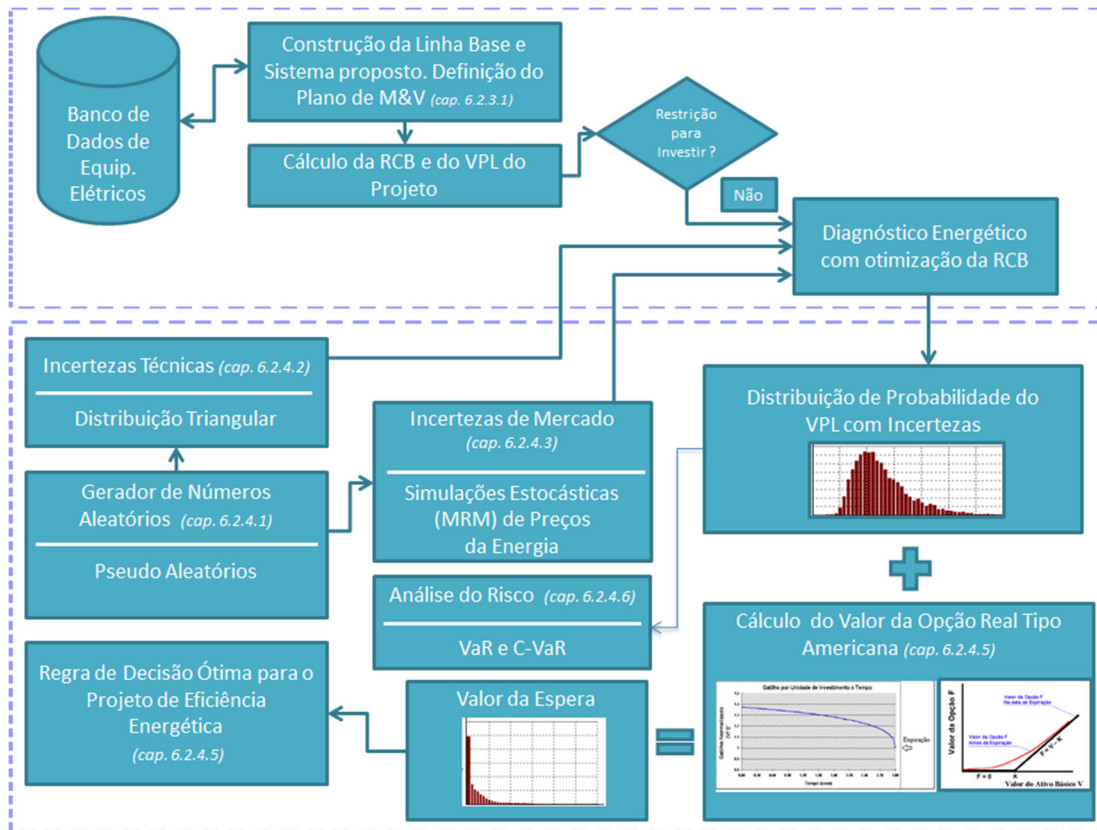


Figura 48 - Fluxo - Experimento 1 - Valor da Espera - Opção Americana

Primeiramente, pelo método de Grant, Vora e Weeks [54] (GVW), deverá-se obter a curva de gatilho que relaciona o preço da energia com o tempo. Todavia, o algoritmo GVW apresentou-se extremamente lento para o problema em análise. Após 2 horas, o algoritmo GVW convergiu apenas para os dois primeiros da curva de gatilho. No momento de se calcular a curva de gatilho o preço inicial fica muito baixo (próximo de zero) ou extremamente alto. Isto devido, também, ao tempo de retorno máximo estabelecido para o projeto.

Em função da dependência da velocidade de reversão à média, da volatilidade e da média de longo prazo, o cálculo do valor do Benefício (FCD em função da duração do tempo do projeto) não se vê impactado pelo preço inicial da commodity. Isto é, independentemente de qual seja o ponto inicial do preço da energia, o valor da velocidade de reversão à média (alto) assim como a volatilidade (alta) no preço da energia, fazem com que o preço mude drasticamente para qualquer direção. A Figura 49 apresenta três caminhos para a commodity preço de energia, considerando preços iniciais (t_0) para cada caminho iguais a R\$ 298,00,

R\$98,00 e R\$ 18,00. Pode-se observar já no primeiro instante (t_1) a influência da velocidade de reversão à média e da volatilidade sobre o modelo.

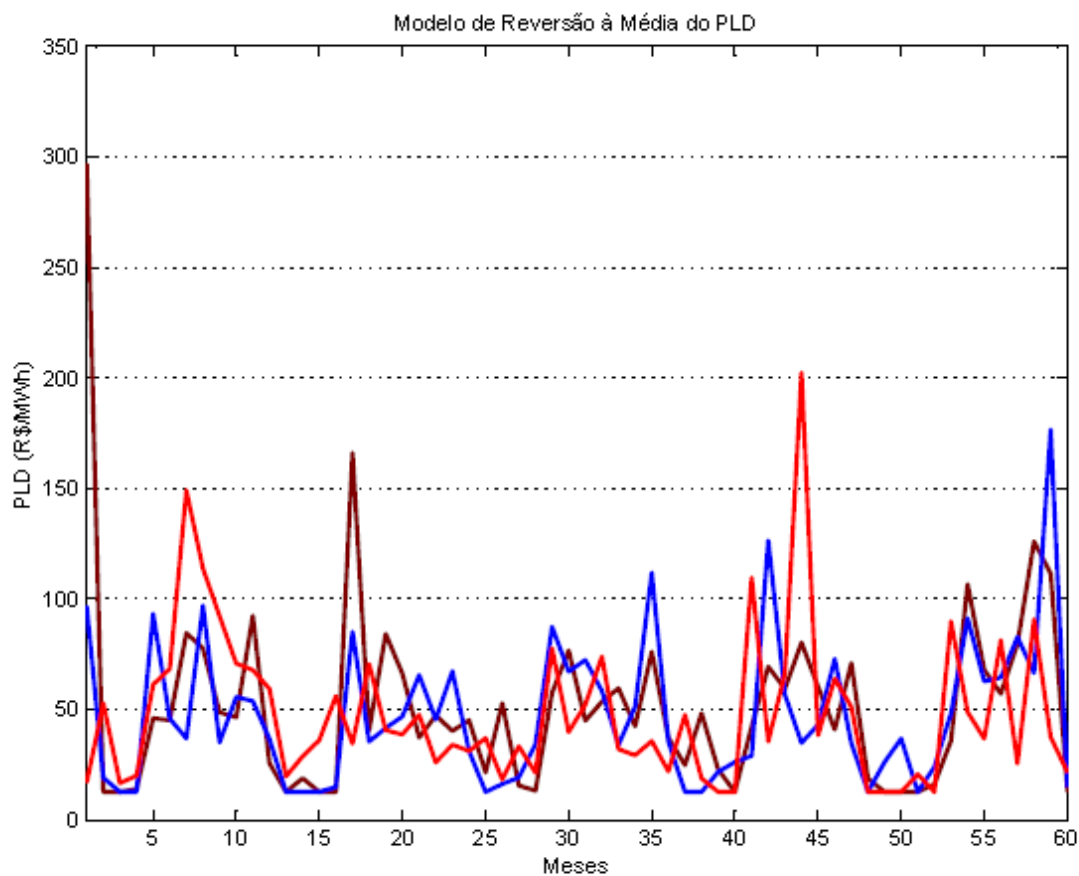


Figura 49 – Três Caminhos para o Preço da Energia pelo MRM

Os seguintes experimentos permitirão comprovar o acima comentado sobre o comportamento do algoritmo GVW (demora excessiva em convergir os pontos da curva de gatilho), em razão das características do problema em estudo.

Foi analisado o preço considerando as médias de longo prazo para os períodos úmido e seco, conforme as médias obtidas no trabalho de Alves (2011) [20]. O objetivo foi calcular o valor da opção considerando o preço da energia como sendo o preço médio de longo prazo (\bar{P}) nos períodos úmido e seco (Figura 50). Foi calculada a curva de gatilho que relaciona o preço de longo prazo com o tempo para \bar{P} , considerando que o Projeto de Eficiência Energética de Climatização poderá ser pago em 60, 90, 97, 110 e 120 meses. Foram consideradas as incertezas técnicas

(350 cenários). Os resultados dos experimentos realizados indicaram que para os prazos mais curtos de 60 meses o preço inicial da commodity fica muito elevado (acima de 100,00 R\$/MWh). Para 90 meses há uma queda abrupta no preço da commodity (abaixo de 40,00 R\$/MWh) para todos os cenários, mantendo a tendência de redução gradativa em 97 e 110 até atingir um valor muito pequeno em 120 meses (abaixo de 20,00 R\$/MWh).

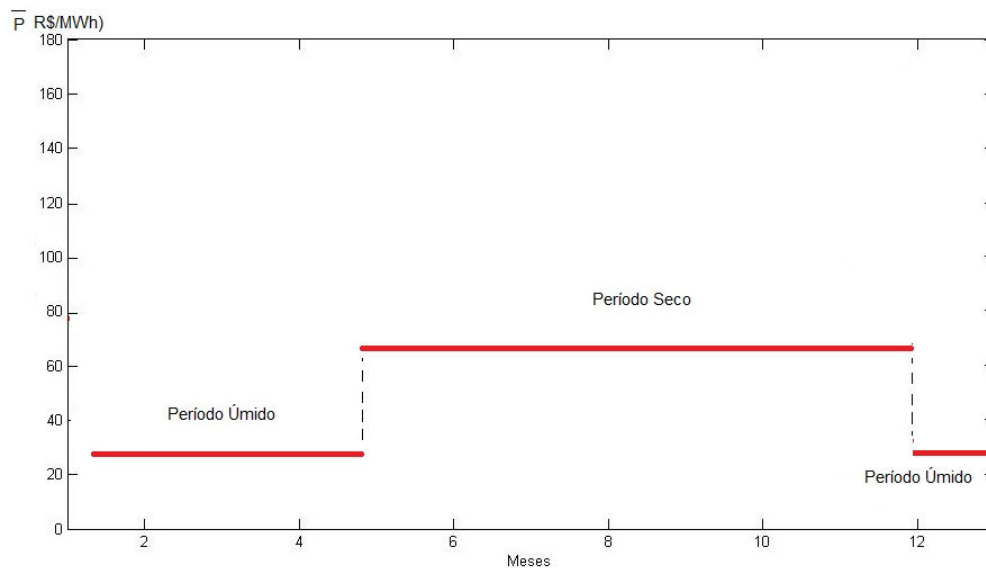


Figura 50 – Preço médio de longo prazo (\bar{P}) nos períodos úmido e seco

A partir de vários experimentos realizados, concluiu-se que a não obtenção da curva de gatilho é independente do número de incertezas, ou seja, depende unicamente das características do preço da energia elétrica no mercado de curto prazo brasileiro.

A Figura 51 ilustra o caso de um novo experimento do projeto de Climatização que considera apenas a incerteza no preço da energia (uma incerteza), esperar-se-ia poder obter uma curva de gatilho. O tempo de projeto considerado foi de 120 meses (determinístico) e não houve aplicação de penalização por custos de manutenção. A Figura 52, ilustra o caso do experimento, considerando o mesmo projeto de haver apenas a incerteza no preço da energia, para o tempo de duração do projeto de 60 meses.

Analisando o tempo do Projeto de Climatização com retorno em 120 meses (tempo em que o projeto é rentável) identificou-se que a curva de gatilho está muito abaixo das médias de longo prazo reais (Figura 51), logo a análise mostra que sempre a média de longo prazo do PLD estaria acima do gatilho, assim o exercício deve ser imediato em T_0 não existindo motivo para esperar. Analogamente, a Figura 52 apresenta o projeto com duração de 60 meses (tempo em que o projeto não é rentável), onde a curva de gatilho está muito acima das médias de longo prazo reais. Assim dificilmente a opção seria exercida, desta forma a espera não teria valor.

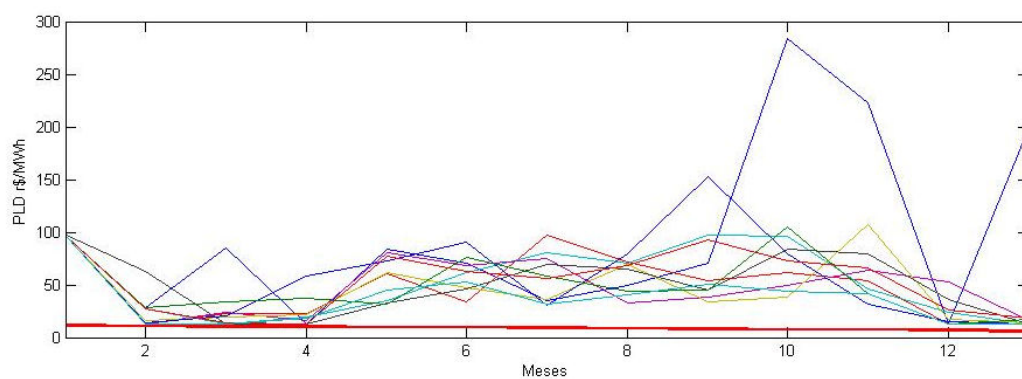


Figura 51 – Curva de Gatilho vs. Caminho da commodity – Tempo do Projeto de 120 meses

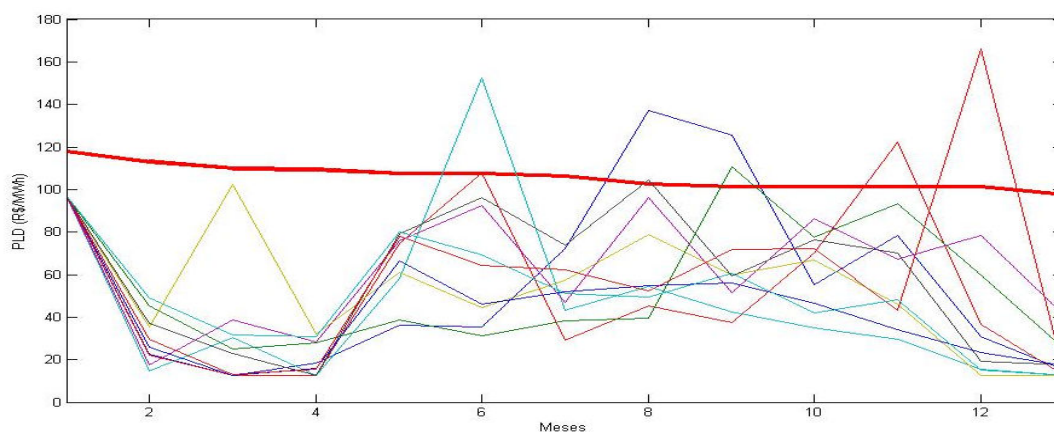


Figura 52 – Curva de Gatilho vs. Caminho da commodity – Tempo do Projeto de 60 meses

Alternativamente foi utilizado o método de Método dos Mínimos Quadrados de Monte Carlo (MQMC), desenvolvido por Longstaff e Schwartz (2001) [56] para o apreçamento de opções americanas tradicionais, também

conhecido como *Least Squares Monte Carlo*, ou LSM. Este método baseia-se na técnica de programação dinâmica e fundamenta-se na estimação dos valores de manter a opção viva (valor de continuação) para cada instante de tempo. A cada instante anterior à data de vencimento da opção americana o proprietário compara o valor obtido a partir do exercício antecipado com o seu valor de continuação, para então tomar a decisão ótima. A estratégia de exercício ótimo da opção americana é determinada fundamentalmente pela expectativa condicional do seu valor de continuação. A grande contribuição dos autores foi identificar que a expectativa condicional pode ser estimada a partir de informações obtidas na simulação usando o método dos mínimos quadrados ordinários. O LSM inova, frente aos demais métodos de avaliação baseados em simulações, ao incluir somente os caminhos onde a opção está *in-the-money* na regressão, o que aumenta a eficiência e a velocidade de convergência do algoritmo pelo fato do valor esperado da opção só precisar ser calculado uma única vez. Algumas vantagens do modelo são:

- Flexibilidade para avaliar opções envolvendo diferentes processos estocásticos e características específicas;
- Velocidade de processamento quando comparado com os demais modelos de apuração baseados em simulações;
- Avaliação de opções que dependem de múltiplos fatores;
- Avaliação de derivativos com características de opções americanas e dependentes do caminho;
- Precisão.

Com o objetivo de descrever o método LSM, suas etapas e procedimentos de implementação, é apresentada no Anexo III uma aplicação do mesmo para a avaliação de uma opção de venda americana, exemplo apresentado, também, no artigo de Schwartz e Longstaff.

Uso Final Climatização

Aplicando-se o método LSM e a partir da equação (7-4), tem-se o valor da opção de espera americana:

$$C_{\text{espera Americana}} = \text{Max} [0; \text{VPL}_t]$$

$$C_{\text{espera Americana}} = \text{Max} [0 ; 252.250,95]$$

$$C_{\text{espera Americana}} = \text{R\$ } 252.250,95$$

A precificação da opção americana pelo método LSM revelou não haver valor para o exercício antecipado, uma vez que seu valor é igual ao da opção europeia, indicando que o exercício é ótimo somente na data de expiração. O valor da espera calculado pela opção é maior que o VPL em t_0 (R\$ 214.970,58), logo a Regra de Decisão Ótima é “esperar e ver”, exercendo a opção somente no cenário favorável.

Todavia, vale observar que o valor de espera supera o valor do VPL em t_0 em menos de 2% do total do valor do investimento. Logo, neste cenário, alguns gerentes poderão decidir pelo investimento imediato.

Uso Final Iluminação

Aplicando-se o método LSM e a partir da equação (7-4), tem-se o valor da opção de espera americana:

$$C_{\text{espera Americana}} = \text{Max} [0; \text{VPL}_t]$$

$$C_{\text{espera Americana}} = \text{Max} [0 ; 22.264,00]$$

$$C_{\text{espera Americana}} = \text{R\$ } 22.264,00]$$

A opção de espera tem um valor menor do que o VPL em t_0 (R\$ 22.338,59). Logo, a Regra de Decisão Ótima neste estudo é o exercício imediato em t_0 , uma vez que a opção está madura (do inglês: *deep in the money*).

7.3.3 Comparação: Metodologia Tradicional vs. Metodologia

Proposta

Comparando os resultados da metodologia tradicional aplicada em problemas de eficiência energética no setor elétrico brasileiro (modelo sem incertezas) com a metodologia proposta, considerando o tempo de duração de 120 meses para o projeto de climatização e de 30 meses para o projeto de iluminação, pode-se destacar os pontos de fragilidade da metodologia tradicional, quando esta é utilizada pelo investidor como método de decisão:

Projeto de Iluminação:

- O VPL calculado na metodologia tradicional está superavaliado em cerca de 30% em relação ao VPL obtido pela metodologia proposta com incertezas, podendo criar expectativas de benefícios de economia que não serão alcançadas;
- O ponto de equilíbrio calculado pela metodologia tradicional é cerca de dois meses inferior, podendo levar o investidor a firmar contratos com prazos insuficientes ao retorno do investimento;
-

Projeto de Climatização:

- O VPL calculado na metodologia tradicional está subavaliado em cerca de 238% em relação ao VPL obtido pela metodologia proposta, induzindo o investidor a não contratar o projeto em um cenário pessimista;
- O ponto de equilíbrio calculado pela metodologia tradicional é cerca de 28 meses inferior, podendo levar o investidor a firmar contratos com prazos insuficientes para o retorno do investimento;

7.4 EXPERIMENTO 2 – ESTUDO DE CASO: OTIMIZAÇÃO DE DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO

Em relação ao Projeto de Eficiência Energética de Climatização apresentado na seção 7.3, foi considerado neste experimento que o investidor dispõe de 50% do orçamento do projeto original para investir em eficiência energética e deseja realizar um investimento na faixa de R\$ 900 mil a R\$ 1 milhão para o tempo de duração do projeto de 120 meses. Deseja, também, considerar a flexibilidade de optar pela espera, caso esta opção tenha valor. Como o investimento levantado para este projeto totaliza R\$ 2.006.020,00 (seção 7.3.1), trata-se de um problema de otimização do investimento. Busca-se minimizar o investimento, maximizando o retorno de benefícios de economia de energia. Para se atingir este objetivo utilizou-se a técnica de Algoritmos Genéticos (AG).

Com a saída otimizada do AG aplicou-se a metodologia tradicional aplicada em problemas de eficiência energética no setor elétrico brasileiro conforme apresentada na seção 7.4.1. A seção 7.4.2 apresenta a metodologia proposta com a aplicação do AG. Finalizando, a seção 7.4.3 apresenta a comparação dos resultados entre a metodologia tradicional e a metodologia a proposta com otimização por AG.

7.4.1 Valor do Projeto pela Metodologia Tradicional

A partir da saída do AG que apresenta as quantidades ótimas dos equipamentos atuais a serem substituídos por equipamentos eficientes aplicou-se a metodologia do diagnóstico energético apresentado na seção 2.3 (Manual do Programa de Eficiência Energética da ANEEL [3]). Da mesma forma que no experimento 1, considerou-se o intervalo mensal como padrão para o cálculo da energia economizada. Foram calculados os potenciais de economia de energia (EE) e de redução de demanda na ponta (RDP) objetivando conhecer o valor do Projeto de Eficiência Energética no uso final de Climatização para investimento imediato.

Para o consumidor comercial, a redução da demanda no horário de ponta é crítico, uma vez que para esta classe, há poucas oportunidades de modulação²⁶ da demanda neste posto horário (ponta – das 18h às 21h). As Tabela 32-Tabela 35, a seguir, apresentam em detalhe os cálculos.

Os cálculos são apresentados em detalhe nas subseções 7.4.1.1, 7.4.1.2 e 7.4.1.3. A Figura 53 apresenta as atividades e módulos do fluxograma da metodologia proposta (Figura 20) que foram executadas nesta seção 7.4.1.

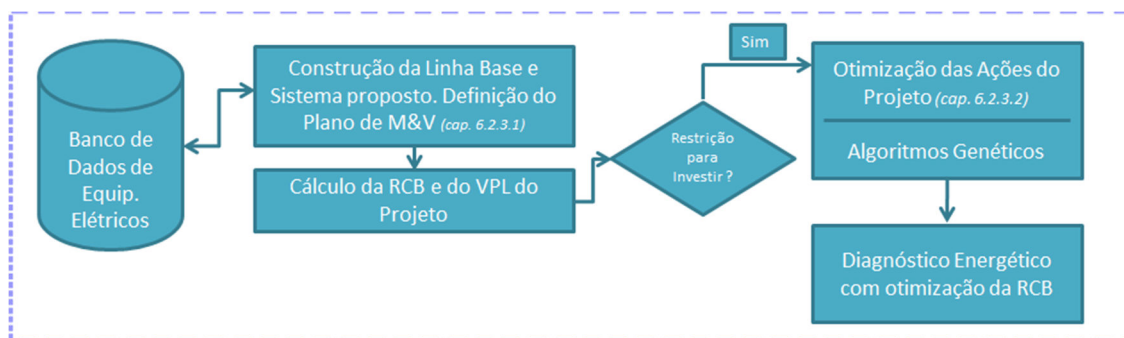


Figura 53 - Fluxo - Experimento 1 – Valor do Projeto pela Metodologia Tradicional Otimizado por AG

7.4.1.1 Cálculo do Potencial de Economia de Energia e Redução de Demanda

O primeiro passo após o levantamento em campo dos potenciais de eficiência energética da unidade consumidora da classe comercial é o cálculo das estimativas de economia mensal, considerando as informações de operação de cada equipamento. Esta etapa é conhecida como diagnóstico energético.

A partir dos dados levantados no diagnóstico energético (Sistema Atual e Sistema Proposto) apresentados na Tabela 32, aplicaram-se as equações: (2-7) para o cálculo da energia economizada mensalmente e (2-8) para o cálculo da redução da demanda. A própria Tabela 32 apresenta os resultados destes cálculos (Resultados Esperados), onde se verificou que com o sistema proposto, a economia

²⁶ Define-se a “modulação de demanda” como sendo a capacidade da unidade consumidora de reduzir a demanda de energia elétrica em um determinado instante ou período de tempo.

de energia mensal esperada será 25,6% em relação ao sistema atual para o uso final climatização.

Sistema Atual							Total
Tipo de equipamento	7500	10000	12000	17500	21000	30000	
Quantidade	91	193	92	118	67	33	594
Potencia (W)	1160	1450	1500	2600	2650	3340	
Potência / capacidade (Wh/kJ)	0,15	0,14	0,12	0,14	0,12	0,11	
Tempo de Utilização (horas/mês)	176	176	176	176	176	176	
Fator de Demanda	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	
Dias/mês	22	22	22	22	22	22	
Potência Instalada (kW)	84,53	224,10	110,51	245,68	142,18	88,26	895,26
Energia Consumida (MWh/mês)	18,60	49,30	24,31	54,05	31,28	19,42	196,96
Sistema proposto							Total
Tipo de equipamento	7500	10000	12000	17500	21000	30000	
Quantidade	91	193	92	118	67	33	594
Potencia (W)	670	970	1165	1900	2180	3150	
Potência / capacidade (Wh/kJ)	0,08	0,09	0,09	0,10	0,10	0,10	
Tempo de Utilização (horas/mês)	176	176	176	176	176	176	
Fator de Demanda	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	
Dias/mês	22	22	22	22	22	22	
Potência Instalada (kW)	48,82	149,92	85,83	179,54	116,96	83,24	664,31
Energia Consumida (MWh/mês)	10,74	32,98	18,88	39,50	25,73	18,31	146,15
Resultados Esperados							Total
Redução da Demanda (kW)	35,71	74,18	24,68	66,15	25,22	5,02	230,96
Redução de Consumo (MWh/mês)	7,86	16,32	5,43	14,55	5,55	1,10	50,81
Economia (%)	42,24%	33,10%	22,33%	26,92%	17,74%	5,69%	25,80%
Horas de Uso Diário	8						

Tabela 32 – Climatização - Sistema Atual x Sistema Proposto – Cálculo da Economia Esperada após Otimização por AG

7.4.1.2 Cálculo do Investimento

Nesta etapa, calcula-se o valor do investimento necessário para se executar todas as ações de substituição levantadas no diagnóstico energético. Considera-se os custos para aquisição dos equipamentos, para execução dos serviços de transporte, instalação e medição dos resultados pós-reforma (Plano de M&V).

A Tabela 33 apresenta os cálculos do investimento necessário para o uso final climatização. Os cálculos do investimento consideram o valor de aquisição dos novos equipamentos eficientes, o custo dos serviços de mão-de-obra (inclui transporte, instalação e descarte dos equipamentos obsoletos substituídos) e o custo do plano de medição & verificação (M&V).

O total do investimento (otimizado pelo AG) esperado neste Projeto de Eficiência Energética para as ações sobre o uso final de climatização é de R\$999.666,20.

Custos por categoria Contábil e Origem de Recurso - Climatização Grande Cliente Comercial

Tipo de Custo	Custos Totais		
	R\$	%	
Custos Diretos			
Materiais e Equipamentos	Previsto	R\$ 824.166,20	82,4%
Medição & Verificação	Previsto	R\$ 148.500,00	14,9%
Mão-de-obra de terceiros	Previsto	R\$ 27.000,00	2,7%
Total		R\$ 999.666,20	100,0%

Materiais e Equipamentos	QT	UN	Unit	Total	R\$ 824.166,20
7500	91	1	R\$ 837,10	R\$ 76.176,10	
10000	193	1	R\$ 1.113,20	R\$ 214.847,60	
12000	92	1	R\$ 1.312,30	R\$ 120.731,60	
17500	118	1	R\$ 1.631,30	R\$ 192.493,40	
21000	67	1	R\$ 1.972,30	R\$ 132.144,10	
30000	33	1	R\$ 2.659,80	R\$ 87.773,40	
Mão-de-obra de terceiros					
Mão-de-obra de terceiros	QT	horas	Unit	Total	R\$ 148.500,00
Execução da Obra	594	1	R\$ 250,00	R\$ 148.500,00	
Medição & Verificação					
Medição & Verificação	QT	horas	Unit	Total	R\$ 27.000,00
Execução do Plano de M&V	1	135	R\$ 200,00	R\$ 27.000,00	

Tabela 33 – Climatização - Cálculo do Custo do Projeto após Otimização por AG

7.4.1.3 Cálculo da Relação Custo Benefício (RCB)

Nesta etapa, calcula-se a relação Custo vs. Benefício (RCB) em consonância com a metodologia apresentada na Seção 2.3. O custo evitado é calculado com base nas tarifas vigentes para a unidade consumidora. Como já dito anteriormente, a metodologia tradicional aplicada em problemas de eficiência energética no setor elétrico brasileiro não considera os fatores de risco no preço da energia e as incertezas técnicas.

A Tabela 34 apresenta a sequência de cálculos necessária a obtenção do valor da RCB para o uso final de climatização. As equações estão ilustradas em cada coluna da Tabela para facilitar o entendimento dos cálculos. As referências às equações apresentadas na descrição da teoria (Capítulo 2) e utilizada na Tabela, considerando o período de discretização mensal, são as seguintes:

- $CM_{TOTAL} = \sum^n CM_{equipm}$, calculado pela equação (2-34);
- CM_{equipm} , calculado pela equação (2.35);
- CPE_{equipm} , calculado pela equação (2.36);
- FRC , calculado pela equação (2.38);

Onde:

CM_{TOTAL} é o custo mensalizado total;

CM_{equip} é o custo mensalizado do equipamento eficiente;

CPE_{equip} é o custo ponderado do equipamento eficiente, incluídos os custos dos serviços de mão de obra;

FRC é o fator de recuperação de capital.

Para o cálculo do benefício mensal da eficiência energética aplica-se a equação (7-5):

$$\text{Benefício (R\$)} = (EE \times \text{tarifa livre kWh}) + RDp \times \text{tarifa TUSDp} \quad (7-5)$$

Onde:

- EE – refere-se ao valor de energia economizada mensal apresentado no campo EE da Tabela 34;
- RDp - refere-se ao valor de redução de demanda na ponta apresentado no campo RDP da Tabela 34;
- tarifa livre kWh – refere-se ao valor do PLD vigente na data do cálculo apresentada no campo Custo Evitado Unitário da Tabela 34;
- tarifa TUSDp – refere-se ao valor da TUSD ponta vigente na data do cálculo apresentada no campo Custo Evitado Unitário da Tabela 34.

Finalizando, para o cálculo da Relação Custo benefício (RCB) aplica-se a equação (7-6):

$$RCB = \frac{\text{Custos Mensalizados}}{\text{Benefícios Mensalizados}} \quad (7-6)$$

Onde:

$\text{Custos Mensalizados}$: refere-se ao campo CM_{total} da Tabela 34;

Benefícios Mensalizados: refere-se ao campo BENEFÍCIO da Tabela 34.

A Tabela 35 apresenta um resumo dos valores do projeto de climatização otimizado por AG apurados na Tabela 34. Para a tomada de decisão gerencial, com base na metodologia tradicional aplicada em problemas de eficiência energética no setor elétrico brasileiro, além da RCB, é necessário calcular o VPL e o tempo de retorno do investimento para o qual o VPL é zero, conhecido como ponto de equilíbrio (do inglês: *break-even point*). O VPL foi calculado pela aplicação da equação (2-21), enquanto que o tempo de retorno do investimento foi calculado pela equação (2-22). Ambos os valores estão apresentados, também, na Tabela 35.

Os resultados apresentam que o projeto é viável para o tempo de projeto de 12º meses, todavia com um pequeno VPL (cerca de 2% do valor do investimento). Pode-se observar que o tempo para o ponto de equilíbrio do projeto é de 110 meses, caracterizando um investimento de longo prazo. Outro ponto relevante é o fato da RCB ser igual a 0,956, o que segundo o limite estabelecido pelo Manual da ANEEL ($RCB \leq 0,80$), inviabilizaria o projeto.

Tempo de Recuperação do Investimento Máximo Aceito pelo Investidor 120 meses											
Cálculo do Custo Mensalizado de Equipamentos ou Materiais com a mesma vida útil					USO FINAL - Climatização						
Item	Descrição do Equipamento	Custo Unitário (R\$)	Qtd	Total - Custo Unitário x Qtd CE_{equipm} [A]	% do equipamento em relação ao Total $\frac{CE_{equipm}}{CTE}$ [C]	Custo por equipamento incluindo mão-de-obra $R(\$)$ $[E=A+CxD]$ CPE_{equipm}	Vida útil em meses (n)	Mínima Vida útil em meses (n)	Taxa de Desconto (i)	Fator de Recuperação de Capital [F] $FRC = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$	Custo Mensalizado Item (R\$) $[G=FXE]$ CM_{equipm}
1	7500	837,10	91	R\$ 76.176,10	9,2%	R\$ 92.397,23	120	120	0,95%	0,0140	1.293,78
2	10000	1.113,20	193	R\$ 214.847,60	26,1%	R\$ 260.597,78	120	120	0,95%	0,0140	3.648,99
3	12000	1.312,30	92	R\$ 120.731,60	14,6%	R\$ 146.440,49	120	120	0,95%	0,0140	2.050,52
4	17500	1.631,30	118	R\$ 192.493,40	23,4%	R\$ 233.483,42	120	120	0,95%	0,0140	3.269,33
5	21000	1.972,30	67	R\$ 132.144,10	16,0%	R\$ 160.283,19	120	120	0,95%	0,0140	2.244,35
6	30000	2.659,80	33	R\$ 87.773,40	10,6%	R\$ 106.464,09	120	120	0,95%	0,0140	1.490,75
SUB TOTAL MATERIAIS CTE [B]				R\$ 824.166,20	100,0%	R\$ 999.666,20					
SUB TOTAL SERVIÇOS [D] (CT-CTE)				R\$ 175.500,00	$CT = \sum_n CPE_{equipm}$						
TOTAL DO PROJETO (R\$) $CT = [B]+[D]$				R\$ 999.666,20	$CT = \sum_n CPE_{equipm}$						
					$\sum_n \frac{CE_{equipm}}{CTE} = 100\%$	$CT = R\$ \dots\dots$		$CM_{TOTAL} = \sum_n CM_{equipm}$			
								$CM_{TOTAL} = R\$ \dots\dots$			
Cálculo da RCB por uso										Climatização	
RDPP		231,0 kW		R\$ 42,07							
EE		50,81 MWh.mês		R\$ 96,97							
BENEFÍCIO		R\$ 14.643,33									
RCB total Refrigeração		0,956									

Tabela 34 – Climatização - Cálculo da Relação Custo vs. Benefício (RCB) após Otimização por AG

Ação/ Uso Final	Energia Economizada (MWh/mês)	Demanda Retirada (kW)	Investimento (R\$)	Benefícios (R\$)	VPL (R\$)	Ponto de Equilíbrio (meses)	RCB
Climatização	50,81	231,0	999.666,20	1.045.773,64	46.107,44	110,60	0,956

Tabela 35 – Indicadores do Projeto de Eficiência Energética após Otimização por AG

7.4.2 Valor do Projeto pela Metodologia Proposta: Otimização por AG

Nesta seção são apresentados os experimentos realizados considerando as incertezas técnicas da vida útil e manutenção dos equipamentos novos, além do fator de risco relativo à incerteza econômica do preço da energia no mercado de curto prazo.

Em muitas situações o investidor não deseja (em função de seu perfil ao risco) investir valores acima de um determinado patamar financeiro pré-estabelecido. Ou, ainda, não dispõe de recursos financeiros para executar todas as ações apontadas no diagnóstico energético, mas deseja executar um projeto-piloto para conhecer o desempenho das medidas de economia esperadas. Os presentes experimentos consideram um cenário de investimento menor que o apurado no diagnóstico energético anterior (seção 7.3.1), otimizando as ações de substituição de equipamentos aplicando a técnica de Algoritmos Genéticos.

Seguindo os mesmos critérios aplicados no Experimento 1 (seção 7.3), utilizou-se o modelo estocástico de reversão à média (MRM), apresentado por Alves (2011) [20] para representar o preço de curto prazo da energia elétrica no Brasil (PLD) precificando mês-a-mês a energia economizada no caso deste estudo.

Igualmente ao Experimento 1, a Figura 26b) apresenta a Distribuição de Probabilidade Triangular que representa a vida útil dos equipamentos de climatização. A Figura 26d) apresenta a Distribuição de Probabilidade da Taxa de Manutenção dos equipamentos de climatização.

Representação do Cromossomo

Aplicando-se a técnica de Algoritmos Genéticos, constrói-se um cromossomo composto de 6 genes. Cada gene é formado por dois alelos. Os dois alelos de cada gene do cromossomo são números inteiros, que representam a potência em Btu e a respectiva quantidade de equipamentos novos que compõe o projeto, conforme ilustrado na Figura 54.

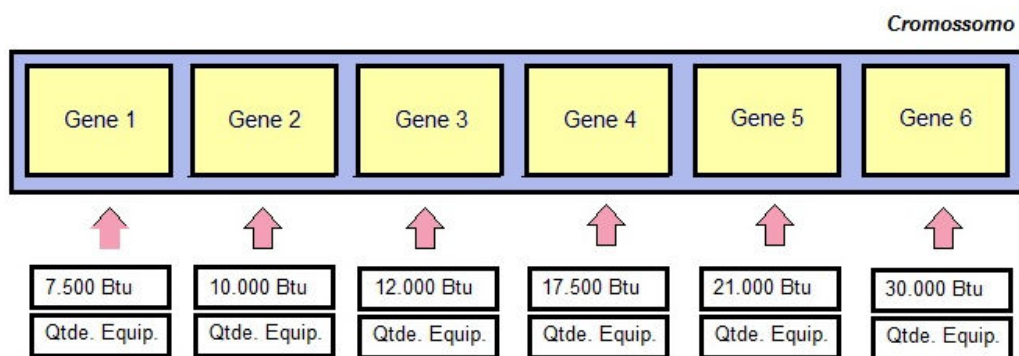


Figura 54 – Experimento 2 – Cromossomo

Estes equipamentos sujeitos a um conjunto de restrições que devem ser cumpridas no processo de geração de cada cromossomo. Estas restrições garantem que o cromossomo possa compor o projeto de climatização dentro das especificações do diagnóstico energético, bem como introduzem heurísticas sobre o problema de modo a reduzir o espaço de busca das soluções ótimas. Foram consideradas restrições de domínio para cada gene e para cada projeto avaliado.

Restrições de Domínio

As restrições de domínio de cada gene devem-se às características do projeto que constam no diagnóstico energético. Há uma quantidade mínima de equipamentos que devem ser instalados simultaneamente para cobrir uma determinada área ou setor da empresa avaliada. A Tabela 36 apresenta as restrições de domínio dos genes.

Equipamento	Restrições de Domínio
7.500 Btu	$50 \leq Qtde. Equip. 1 \leq 300$
10.000 Btu	$50 \leq Qtde. Equip. 2 \leq 300$
12.000 Btu	$50 \leq Qtde. Equip. 3 \leq 150$
17.500 Btu	$50 \leq Qtde. Equip. 4 \leq 200$
21.000 Btu	$25 \leq Qtde. Equip. 5 \leq 150$
30.000 Btu	$25 \leq Qtde. Equip. 6 \leq 100$

Tabela 36 – Restrição de Domínio para Cada Gene do Cromossomo

As restrições de domínio do projeto referem-se: (i) aos limites de investimento definidos pelo investidor para o qual o AG deverá buscar a solução ótima; (ii) ao mínimo do total de equipamentos que deverão ser adquiridos de forma que o fornecedor garanta o preço negociado. A Tabela 37 apresenta as restrições de domínio do projeto.

Projeto	Restrições de Domínio
Investimento	$900.000 \leq Invest. \leq 1.000.000$
Total de Equip.	$250 \leq Qtde. Total de Equip. \leq 1.200$

Tabela 37 – Restrições de Domínio para o Projeto

Os operadores genéticos utilizados no processo de evolução do algoritmo genético são os de cruzamento e mutação, descritos no livro de Michalewicz [23]. Estes operadores garantem que os indivíduos resultantes pertençam ao espaço de busca, permitindo acelerar a convergência e garantindo que a solução saia de um mínimo local, além de fazer uma busca local nas últimas gerações.

O algoritmo genético foi executado com o tamanho da população de 40 indivíduos para 100 gerações.

Avaliação do Cromossomo

O objetivo do Algoritmo Genético é maximizar o valor do benefício, referente à energia economizada, minimizando o investimento, atendendo às restrições do problema. Para este fim, emprega-se a simulação Monte Carlo com 700.000 iterações (2.000 cenários de preços * 350 cenários de incertezas técnicas), sendo que em cada iteração (i) é estimado o valor do benefício pela economia de energia do projeto.

A avaliação do cromossomo (j) inicia-se com a primeira iteração da simulação Monte Carlo (i = 1); para esta iteração tem-se: a) um caminho C_i do preço da energia elétrica; b) um cenário de vida útil dos equipamentos VU_i ; c) um cenário de manutenção do equipamento M_i . Para cada t deste C_i , é calculado o Fluxo de Caixa Descontado (FCD) do benefício da energia economizada até o horizonte da vida útil VU_i , penalizado pela taxa de manutenção M_i . Após, calcula-se o Benefício B_i e o Investimento I_i e passa-se para a próxima iteração. Este processo é repetido para cada iteração (i).

O valor de avaliação (fitness) para este cromossomo está determinado pela média dos Benefícios e pela média dos Investimentos encontrados para cada iteração expressos na Relação Custo vs. Benefício (RCB), eq. (7-7).

$$RCB_j = \sum_{i=1}^{700.000} \frac{I_i}{B_i} * \frac{1}{N^{\circ} \text{ de Iterações}} \quad (7-7)$$

O melhor cromossomo será aquele que maximize o valor de RCB_j . A Figura 55 apresenta o fluxograma do modelo proposto. Nele observa-se como cada

cromossomo gerado é validado de modo a satisfazer as restrições impostas, continuando até completar o número de indivíduos de uma população.

Em seguida, emprega-se a simulação Monte Carlo. Para cada iteração (i) de Monte Carlo, simula-se a sequência dos preços da energia, C_i com vida útil VU_i e com taxa de manutenção M_i . A avaliação do cromossomo é dada pela média das avaliações do cromossomo para cada cenário $\{C_i, VU_i, M_i\}$, até completar o total da população. A evolução do algoritmo genético prossegue com a aplicação dos operadores (cruzamento, mutação, etc.), aplicando-se o mesmo procedimento nas próximas gerações.

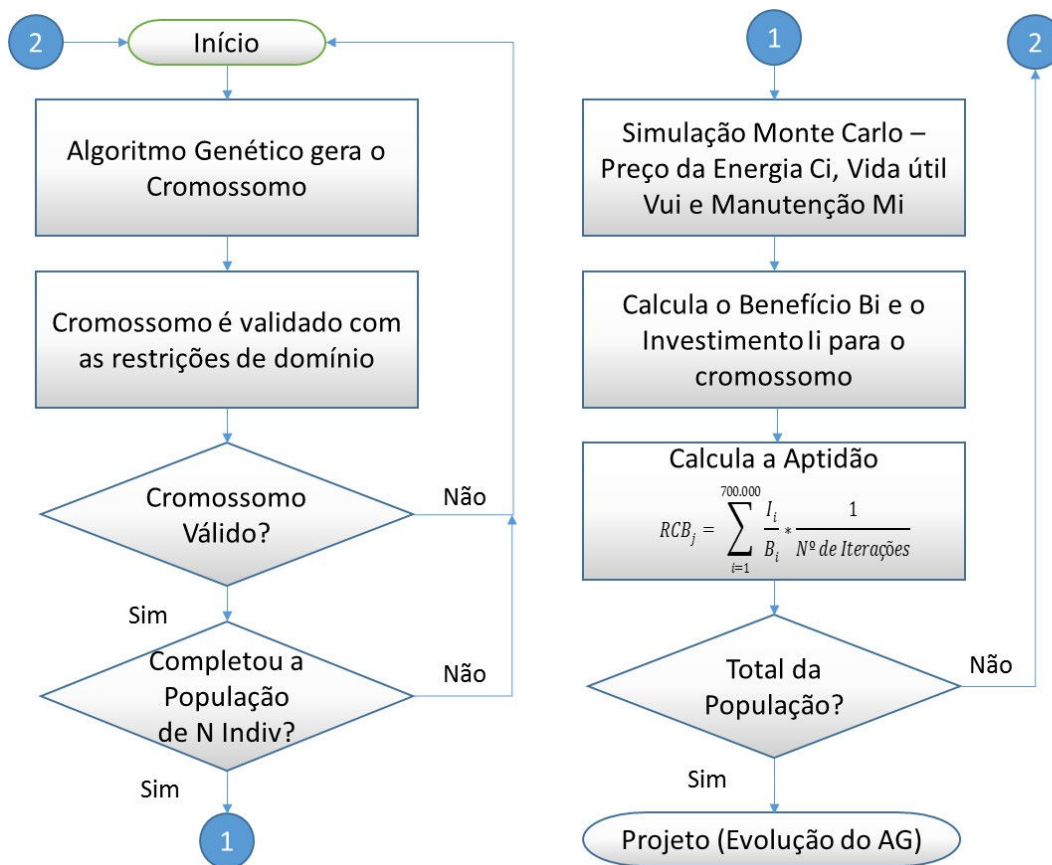


Figura 55 – Fluxograma do Modelo de Otimização do Diagnóstico Energético

A seguir são descritos os experimentos e comparados os resultados obtidos com a metodologia tradicional aplicada em problemas de eficiência energética no setor elétrico brasileiro.

Assim como no Experimento 1, neste experimento foram avaliados:

- O ponto de equilíbrio no retorno do investimento (*do inglês: break-even point*);
- O valor da opção de espera europeia na data de expiração de 12 meses;
- O valor da opção de espera americana até a data de expiração de 12 meses;
- O Valor-em-Risco (*Value-at-Risk – VaR*);
- O Valor-em-Risco Condicional (*Conditional Value-at-Risk – CVaR*).

A Figura 56, abaixo, apresenta o gráfico de desempenho do AG. Pode-se observar que a partir da 35ª geração o algoritmo convergiu para a solução ótima, onde a aptidão média da população (fitness médio) e igual à aptidão máxima (fitness máximo) da mesma população.

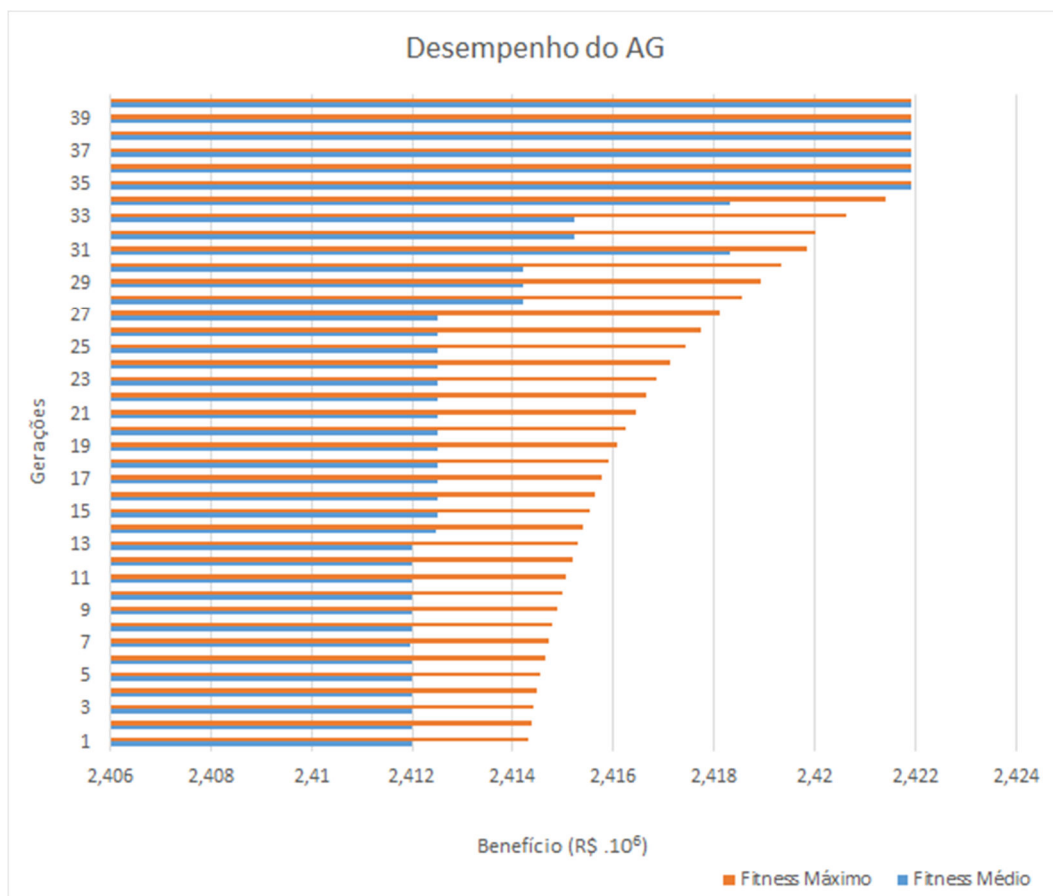


Figura 56 - Gráfico de Desempenho do AG

A Tabela 38, abaixo, apresenta os parâmetros utilizados no Experimento 2.

Experimento 2				
Investimento (Limitado em 50%)	Algoritmo Genético - Otimização para Investir 50% do Orçamento			
	Algoritmo Genético	Taxa de Crossover	Inicial: 0,8	Final: 0,65
		Taxa de Mutação	Inicial: 0,08	Final: 0,10
		Tamanho da população (Indivíduos)	40	
		Numero de Gerações	100	
Representação da Incerteza Econômica	Processo Estocástico		Reversão à Média (MRM)	
	Parâmetros do MRM	Período	Seco	Úmido
		Velocidade de Reversão à Média de Subida	3,46	4,572
		Velocidade de Reversão à Média de Descida	3,912	1,717
		Média de longo Prazo (R\$/MWh)	67,211	24,542
		Volatilidade Mensal	1,618	1,201
		Preço Atual da Energia (R\$/MWh)	96,97	96,97
		Taxa Livre de Risco (a.m.)	0,0064	0,0064
		Taxa Ajustada ao Risco (a.m.)	0,0095	0,0095
		Número de Simulações	2000	
Representação das Incertezas Técnicas	Vida Útil dos equipamentos de Iluminação		Triangular: T(vu-30%,vu+30%,vu)	
	Vida Útil dos equipamentos de Climatização		Triangular: T(vu-10%,vu+10%,vu)	
	Manutenção dos equipamentos de Iluminação		Triangular: T(m-3%,m+3%,m)	
	Manutenção dos equipamentos de Climatização		Triangular: T(m-1%,m+1%,m)	
Análise do Ponto de Equilíbrio	Uso Final de Climatização		11,13,15,17 e 19 meses	
Valor da Espera	Opção Europeia	Expiração das Alternativas de Investimento	Valor da Opção para Exercício na Data de Expiração em 1 ano (t=12)	
		Discretização do Tempo de Vida da Opção	1 mês	
	Opção Americana	Expiração das Alternativas de Investimento	Valor da Opção para Exercício Antecipado até a Data de Expiração em 1 ano (t=12)	
		Discretização do Tempo de Vida da Opção	1 mês	
Valor em Risco	Intervalo de Confiança (IC)		95%	

Tabela 38 – Experimento 2 – Parâmetros

7.4.2.1 Determinação do Ponto de Equilíbrio no Retorno do Investimento

Neste experimento foram consideradas as influências das incertezas técnicas e do fator de risco do preço da energia elétrica no Projeto de Eficiência Energética de Climatização (com duração de 120 meses) otimizado pelo AG para determinar o ponto de equilíbrio (*break-even point*).

A seguir são apresentados os resultados da análise da distribuição do VPL e do ponto de equilíbrio para o Projeto de Climatização em estudo, considerando o tempo máximo de para retorno do Investimento em função da vida útil do equipamento (120 meses). A Figura 58 e a Figura 59 apresentam os respectivos histogramas. A Tabela 39 e a Tabela 40 apresentam as respectivas medidas estatísticas e de risco. O Investimento necessário para a implementação deste projeto, conforme a otimização do AG no diagnóstico energético é de R\$ 999.666,20. A Figura 57 apresenta as atividades e módulos do fluxograma da metodologia proposta (Figura 20) que foram executadas nesta seção 7.4.2.1.

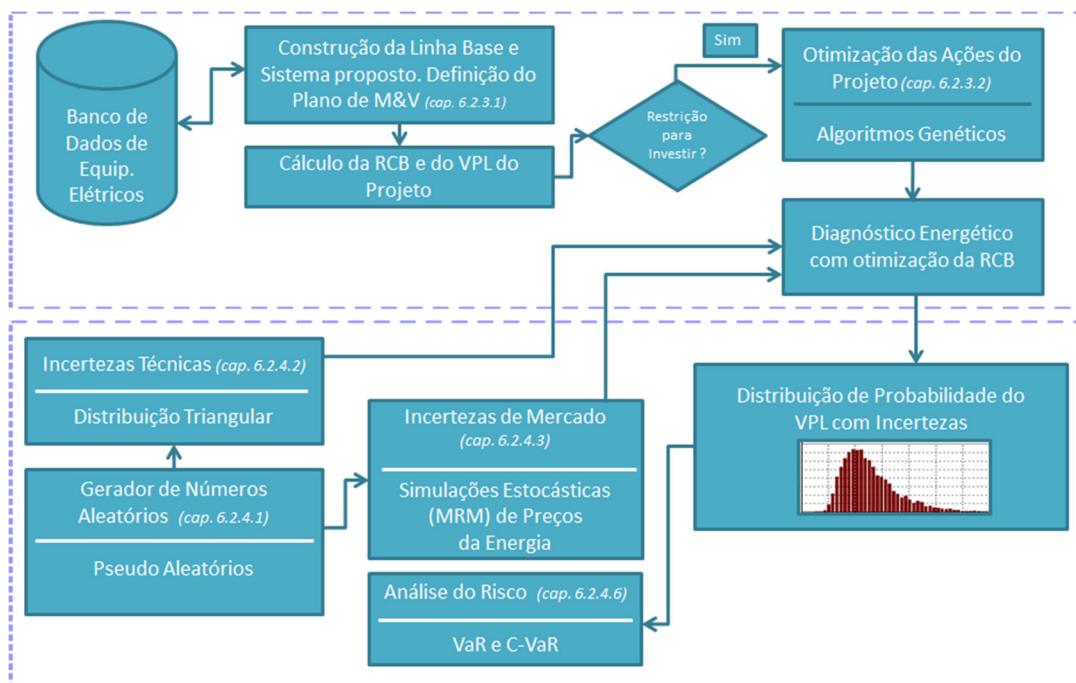


Figura 57 - Fluxo - Experimento 1 – Ponto de Equilíbrio no Retorno do Investimento (Payback), VaR e C-VaR – Otimizado por AG

a) Análise do Tempo de Retorno do Investimento

Da análise do histograma da Figura 58 e da Tabela 39a) observa-se que o Projeto de Climatização otimizado pelo AG apresenta VPL positivo para 99,92% dos cenários e com um VPL médio positivo de R\$ 122.339,35, com RCB média igual a 0,94. Analisando o VaR pode-se concluir que há uma certeza de 95% de que não haverá VPLs menores que R\$ 42.389,24 (ou RCBs maiores do que 0,98) para o Projeto de Eficiência Energética para o uso final de Climatização, considerando o tempo máximo de projeto limitado pela vida útil dos equipamentos de 120 meses. Da Tabela 39b) concluímos que existe uma probabilidade de 5% do VPL ser menor do que o VaR (R\$ 42.389,24), com um C-VaR positivo de R\$ R\$ 1.419,12 e RCB média igual a 1,00.

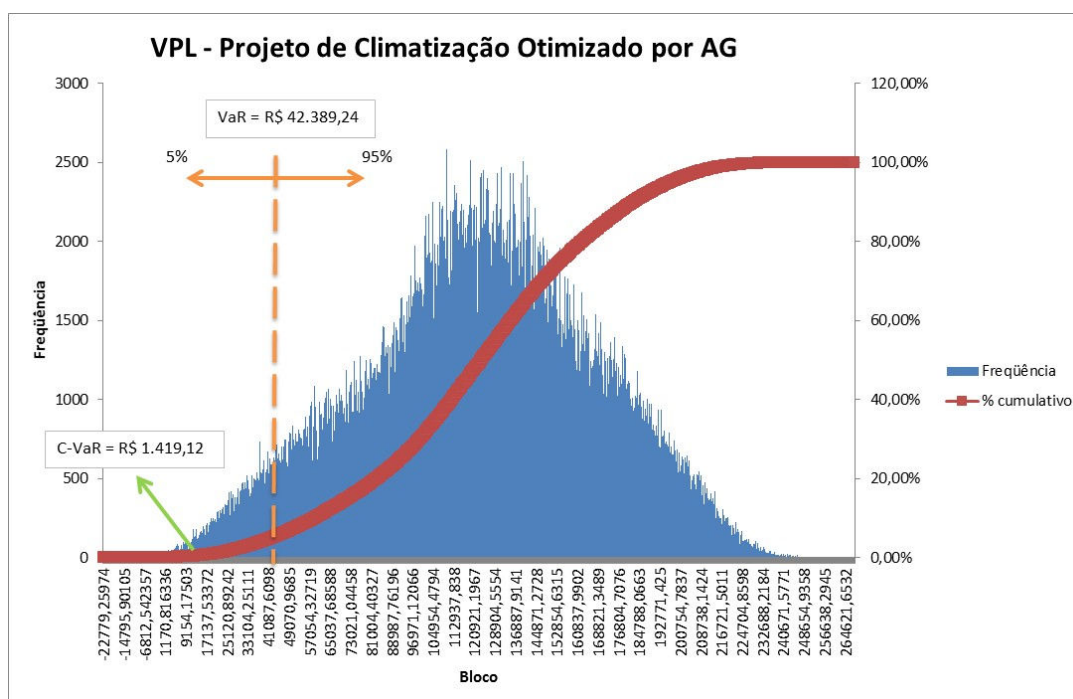


Figura 58 – Histograma da Distribuição do VPL - Projeto de Climatização Otimizado por AG

Medidas Estatísticas	
Mínimo	- 22.779,26
Máximo	267.398,47
Média	122.339,35
Desv.Padrão	45.749,52
Variância	2.093.018.928,65

a)

Medidas de Risco	
VaR	42.389,24
C-VaR	1.419,12

b)

Tabela 39 – Análise do VPL - Projeto de Climatização Otimizado por AG

b) Análise do Ponto de Equilíbrio

O histograma da Figura 59 apresenta a distribuição de probabilidades do ponto de equilíbrio (break-even point) do Projeto de Climatização otimizado pelo AG. Observa-se na Tabela 40 que, em média, com 100,24 meses o projeto atinge o ponto de equilíbrio.

Os estudos desenvolvidos neste experimento demonstraram que a metodologia proposta, que considera os fatores de risco no modelo, proporciona um ganho no gerenciamento do risco dos projetos estabelecendo uma clareza na valoração deste risco em apoio à decisão gerencial.

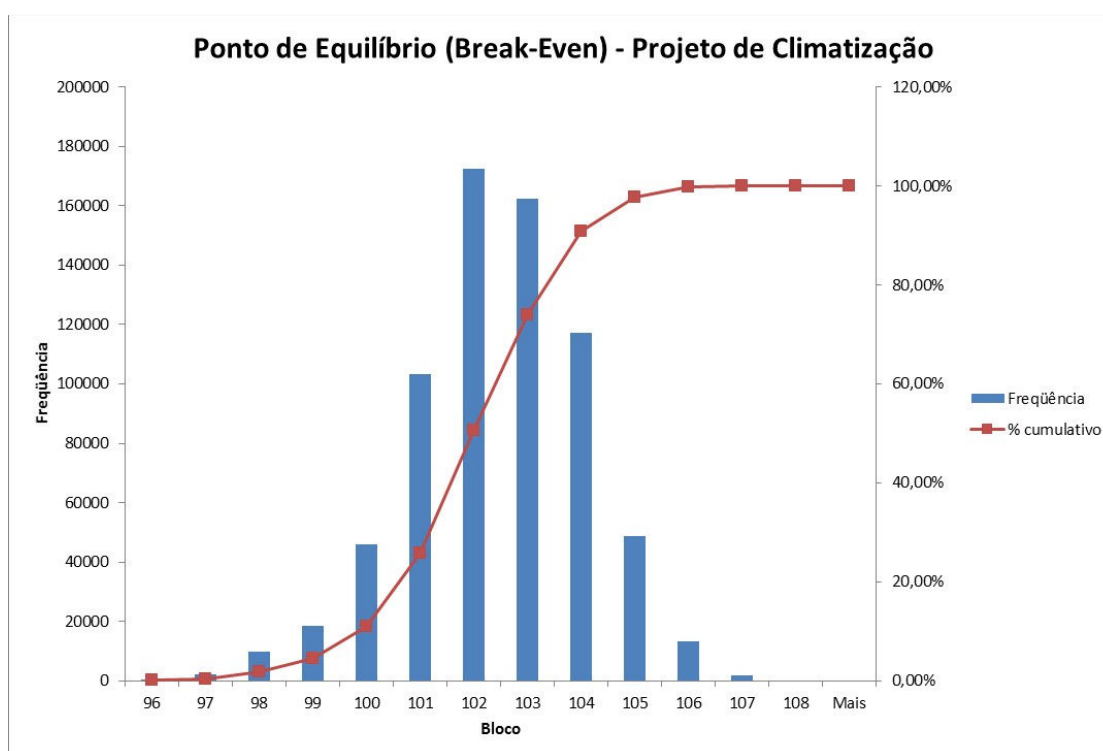


Figura 59 – Histograma – Tempo do Projeto de Climatização Otimizado por AG no Ponto de Equilíbrio

Medidas Estatísticas	
Mínimo	93,00
Máximo	105,00
Média	100,24
Desv.Padrão	1,63
Variância	2,66

Tabela 40 – Análise do Ponto de Equilíbrio - Projeto de Climatização Otimizado por AG

Para o Projeto de Climatização obteve-se o ponto de equilíbrio (*break-even point*) em 100,24 meses, ou seja, a 84% da vida útil média esperada de 120 meses para os equipamentos, segundo seu fabricante. Este é um indicativo de um potencial regular de eficiência energética para este consumidor, neste uso final.

7.4.2.2 Valor da Espera – Opção Europeia

Considerando o diagnóstico energético otimizado pelo AG, o investidor deseja avaliar a possibilidade de contratar o projeto de imediato ou de esperar um ano para tomar a decisão, na expectativa de que sejam reveladas algumas incertezas que podem influenciar os preços da energia, como por exemplo a afluência de chuvas e a curva de aversão ao risco (CAR) do Operador Nacional do Sistema Interligado (ONS) ou mudanças nos marcos regulatórios.

Este é um problema de valoração da opção de espera (ou do inglês: *timing option*). Vale destacar que esta é uma opção de compra do tipo europeia (*call*), ou seja, só poderá ser exercida na sua data de expiração, em t igual a 12 meses (um ano). É importante destacar que a partir de um ano, há uma grande probabilidade de que a empresa avaliada pelo diagnóstico energético tenha alterado seu modo operativo gerando a necessidade de ajustes no diagnóstico energético atual. Nestas circunstâncias é recomendado gerar um novo diagnóstico energético para capturar as mudanças implementadas. Além disso, após um ano, é possível que os preços dos equipamentos e serviços sofram alguma variação, o que, também, justificaria refazer o diagnóstico energético.

Conforme já apresentado no Experimento 1, o valor desta opção de espera é o valor máximo entre zero e o valor do benefício em t_{12} (trazido ao valor presente) menos o investimento em t_{12} , calculado segundo a equação (7-3).

Utilizando o método de Monte Carlo, após 700.000 simulações, obteve-se as distribuições probabilísticas do VPL nos instante t_0 e t_{12} , considerando o tempo máximo de projeto em função da vida útil esperada dos novos equipamentos eficientes de 120 meses. A seguir são apresentados os detalhes e os resultados do estudo.

A Figura 61 e a Figura 62 apresentam, respectivamente, a distribuição do VPL no instante t_0 e a distribuição do VPL em t_{12} , ou seja, na data de expiração da opção. A Tabela 41a) apresenta as medidas estatísticas das distribuições. A Tabela 41b) apresenta as medidas de risco associadas à cada uma das distribuições para o intervalo de confiança de 95%. A Figura 60 apresenta as atividades e módulos do fluxograma da metodologia proposta (Figura 20) que foram executadas nesta seção 7.4.2.2

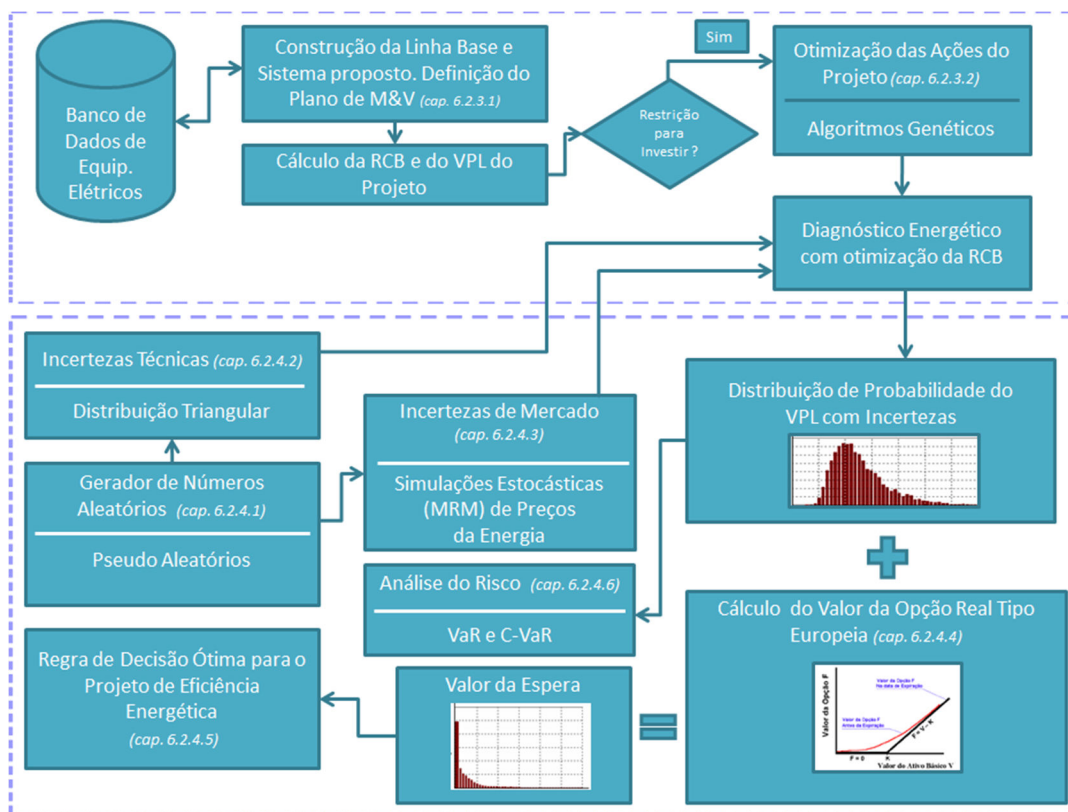


Figura 60 - Fluxo - Experimento 1 - Valor da Espera - Opção Europeia Otimizado por AG

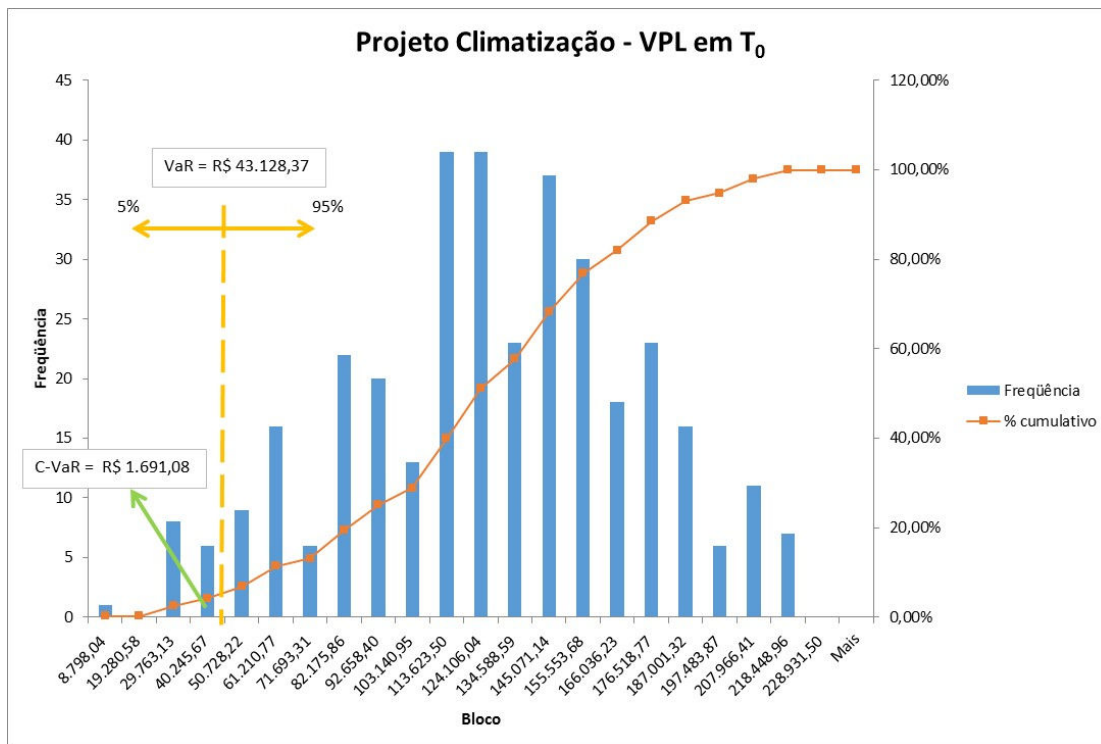


Figura 61 – Histograma da Distribuição do VPL em t_0 - Projeto de Climatização Otimizado por AG

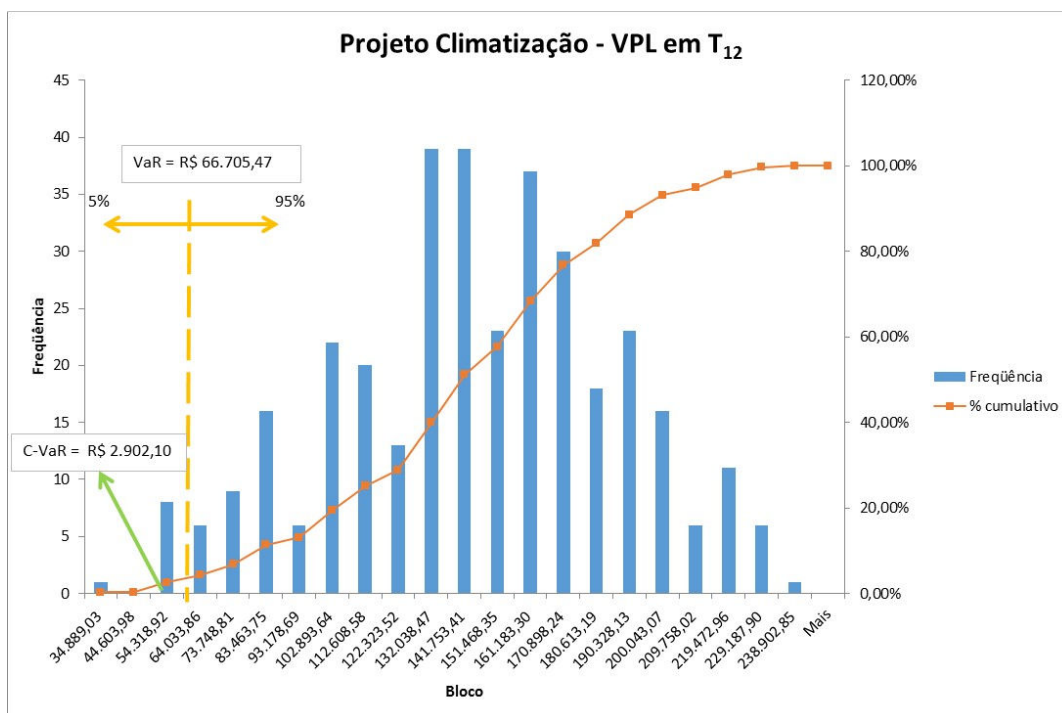


Figura 62 – Histograma da Distribuição do VPL na Data de Expiração da Opção (t_{12}) – Projeto de Climatização Otimizado por AG

Medidas Estatísticas			
VPL0		VPL12	
Mínimo	8.798,04	Mínimo	34.889,03
Máximo	218.448,96	Máximo	229.187,90
Média	122.339,35	Média	140.167,30
Desv.Padrão	44.342,06	Desv.Padrão	41.091,10
Variância	1.966.217.860,85	Variância	1.688.478.898,87

a)

Medidas de Risco			
RCB em t0		RCB em t12	
<i>VaR</i>	43.128,37	<i>VaR</i>	66.705,47
<i>C-VaR</i>	1.691,08	<i>C-VaR</i>	2.902,10

b)

Tabela 41 – Análise do VPL em t0 e na Data de Expiração da Opção (t12) – Projeto de Climatização Otimizado por AG

A partir da equação (7-3), aplicando-se o valor do VPL em t12, tem-se o valor da opção de espera:

$$C_{\text{espera Europeia}} = \text{Max} [0; \text{VPL}_{t12}]$$

$$C_{\text{espera Europeia}} = \text{Max} [0; 140.167,30]$$

$$C_{\text{espera Europeia}} = \text{R\$ } 140.167,30$$

O valor da espera calculado pela opção é maior que o VPL em t0 (R\$ 122.339,35), logo a Regra de Decisão Ótima é “esperar e ver”, exercendo a opção somente no cenário favorável.

Todavia, vale observar que o valor de espera supera o valor do VPL em t0 em menos de 2% do total do valor do investimento. Logo, neste cenário, alguns gerentes poderão decidir pelo investimento imediato.

Este experimento vem a confirmar o resultado obtido no Experimento 1, onde se constatou que os Projetos de Eficiência Energética no Brasil podem apresentar valores de opção de espera. Esta possibilidade de flexibilidade gerencial introduz um novo paradigma na avaliação dos Projetos de Eficiência Energética no Brasil que não são capturados pelo modelo tradicional de cálculo baseado no Manual da ANEEL.

Da Tabela 41b) pode-se observar que o risco aumenta pela opção de espera em t_{12} em comparação ao risco de se contratar de imediato o projeto em t_0 . Todavia, concluímos que existe uma probabilidade de 5% do VPL, na data de expiração da opção, ser menor do que o VaR (R\$ 66.705,47), com C-VaR positivo de R\$ 2.902,10.

7.4.2.3 Valor da Espera - Opção Americana

O investidor deseja avaliar a possibilidade de exercer o direito de contratar os Projetos de Eficiência Energética a qualquer tempo até a data de expiração da opção de um ano (em t_{12} , considerando discretização mensal). A Figura 63 apresenta as atividades e módulos do fluxograma da metodologia proposta (Figura 20) que foram executadas nesta seção 7.4.2.3.

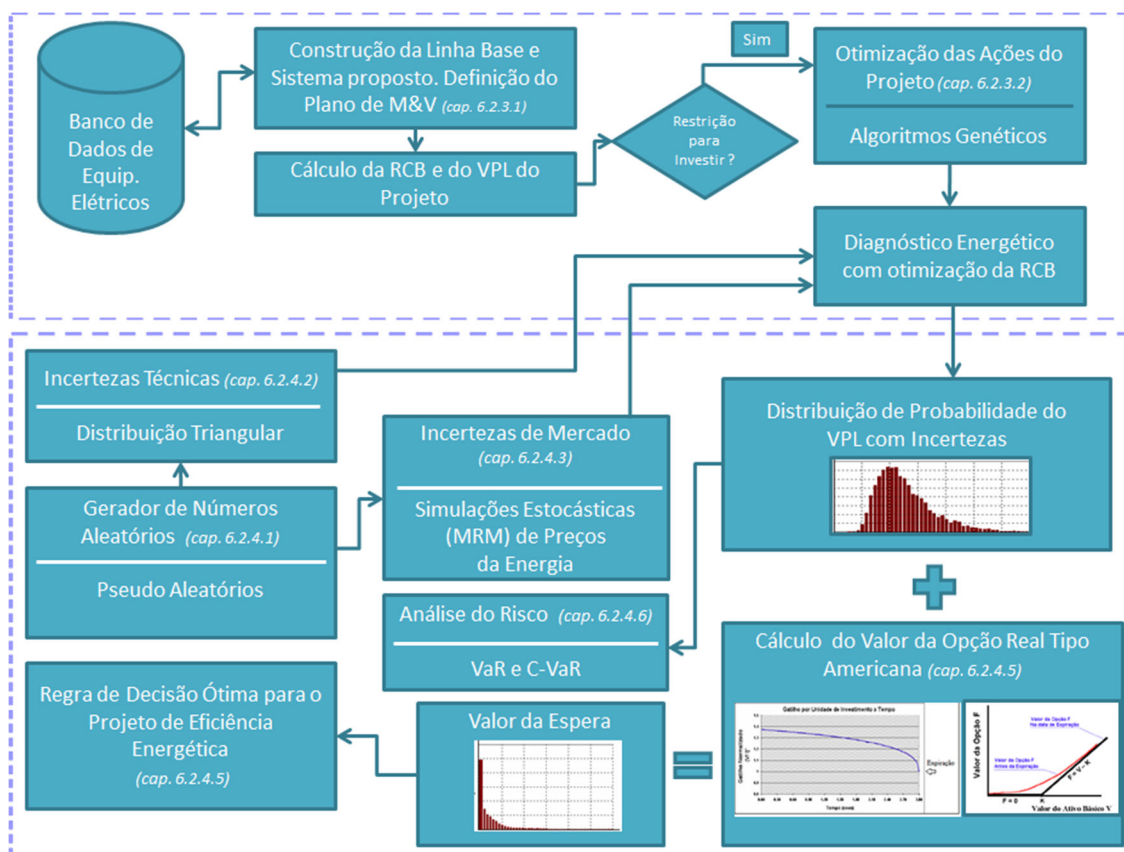


Figura 63 - Fluxo - Experimento 1 - Valor da Espera - Opção Americana Otimizado por AG

Este é um problema de valoração da opção de espera (ou do inglês: timing option). Vale destacar que esta é uma opção de compra do tipo americana (*call*), ou seja, pode ser exercida em qualquer momento até a data de expiração.

Aplicando-se o método LSM e a partir da equação (7-2), tem-se o valor da opção de espera americana:

$$C_{\text{espera Americana}} = \text{Max} [0; \text{VPL}_t]$$

$$C_{\text{espera Americana}} = \text{Max} [0 ; 140.167,30]$$

$$C_{\text{espera Americana}} = \text{R\$ } 140.167,30$$

A precificação da opção americana pelo método LSM revelou não haver valor para o exercício antecipado, uma vez que seu valor é igual ao da opção europeia, indicando que o exercício é ótimo somente na data de expiração. O valor da espera calculado pela opção é maior que o VPL em t_0 (R\$ 122.339,35), logo a Regra de Decisão Ótima é “esperar e ver”, exercendo a opção somente no cenário favorável.

Todavia, vale observar que o valor de espera supera o valor do VPL em t_0 em menos de 2% do total do valor do investimento. Logo, neste cenário, alguns gerentes poderão decidir pelo investimento imediato.

7.4.3 Comparação: Metodologia Tradicional vs. Metodologia

Proposta com Otimização por AG

Comparando os resultados da metodologia tradicional aplicada em problemas de eficiência energética no setor elétrico brasileiro (modelo sem incertezas) com a metodologia proposta com otimização por AG, considerando o tempo de duração de 120 meses para o projeto de climatização, pode-se destacar os

pontos de fragilidade da metodologia tradicional, quando esta é utilizada pelo investidor como método de decisão:

Projeto de Climatização:

- O VPL calculado na metodologia tradicional está subavaliado em cerca de 165% em relação ao VPL obtido pela metodologia proposta, induzindo o investidor a não contratar o projeto em um cenário pessimista;
- O ponto de equilíbrio calculado pela metodologia tradicional é cerca de 10 meses superior, podendo levar o investidor a firmar contratos com prazos estendidos além do necessário para o retorno do investimento;

A eficiência do AG na busca de um projeto melhor que o projeto original pela otimização do diagnóstico energético pode ser confirmada ao se comparar o ponto de equilíbrio do projeto otimizado (100,24 meses) em relação ao projeto anterior (102,40 meses). Quanto menor o ponto de equilíbrio, maior é a capacidade do benefício em pagar o investimento. A RCB menor de 0,806 contra 0,817, também, reflete este ganho de desempenho.