



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL,
ARQUITETURA E URBANISMO

**Análise de Risco Aplicada a Sistemas Urbanos de Abastecimento de Água com
Suporte na Teoria das Opções Reais.**

Luiz Carlos Alves de Souza

Campinas

março / 2010

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA, ARQUITETURA E URBANISMO**

Luiz Carlos Alves de Souza

**Análise de Risco Aplicada a Sistemas Urbanos de Abastecimento de Água com
Suporte na Teoria das Opções Reais.**

Tese apresentada à Comissão de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil, na área de concentração de Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Sérgio Franco Barbosa

**Campinas
março / 2010**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

So85a

Souza, Luiz Carlos Alves de

Análise de risco aplicada a sistemas urbanos de abastecimento de água com suporte na teoria das opções reais / Luiz Carlos Alves de Souza. --Campinas, SP: [s.n.], 2010.

Orientador: Paulo Sérgio Franco Barbosa.

Tese de Doutorado - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo.

1. Análise de riscos. 2. Abastecimento de água. 3. Investimentos, Projetos de. I. Barbosa, Paulo Sérgio Franco. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. III. Título.

Título em Inglês: Risk analysis of urban water supplying systems based on real options theory

Palavras-chave em Inglês: Risk analysis, Water supply, Investment projects

Área de concentração: Recursos Hídricos, Energéticos e Ambientais

Titulação: Doutor em Engenharia Civil

Banca examinadora: Ariovaldo Denis Granja, Renato Carlos Zambon, Ricardo de Lima Isaac, Sueli do Carmo Bettinne

Data da defesa: 30/03/2010

Programa de Pós Graduação: Engenharia Civil

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO**

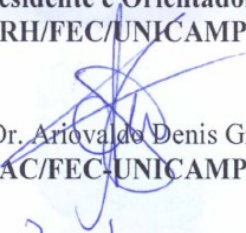
**ANÁLISE DE RISCO APLICADA A SISTEMAS URBANOS DE
ABASTECIMENTO DE ÁGUA COM SUPORTE NA TEORIA DAS
OPÇÕES REAIS**

Luiz Carlos Alves de Souza

Tese de Doutorado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:



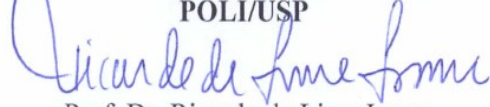
Prof. Dr. Paulo Sérgio Franco Barbosa
**Presidente e Orientador
DRH/FEC/UNICAMP**



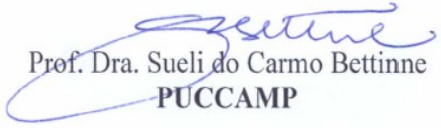
Prof. Dr. Ariovaldo Denis Granja
DAC/FEC-UNICAMP



Prof. Dr. Renato Carlos Zambon
POLI/USP



Prof. Dr. Ricardo de Lima Isaac
DSA/FEC-UNICAMP



Prof. Dra. Sueli do Carmo Bettinne
PUCAMP

Campinas, 30 de março de 2010.

A Elen,
pelo amor, incentivo e compreensão.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Paulo Sérgio Franco Barbosa, orientador deste trabalho, pela dedicação, incentivo e apoio ao desenvolvimento deste estudo.

Ao Prof. Dr. Alberto Luiz Francato, pela colaboração e sugestões para elaboração das rotinas de cálculo utilizadas no presente trabalho.

À minha esposa Elen, pelo amor, apoio, companheirismo, e, acima de tudo, paciência desde o início deste projeto.

Aos meus pais Luis e Honesta (*in memoriam*) que pela sua sabedoria e simplicidade me ensinaram o valor da educação.

SOUZA, L. C. A. Análise de Risco Aplicada a Sistemas Urbanos de Abastecimento de Água com Suporte na Teoria das Opções Reais. Tese (Doutorado). Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, 152p. Campinas. Março de 2010.

RESUMO

Os sistemas urbanos de abastecimento de água são fundamentais para a qualidade de vida de milhões de pessoas que habitam os grandes centros urbanos. Portanto, a gestão e o planejamento para implantação e expansão desses sistemas, requerem cada vez mais uma abordagem dinâmica, tendo em vista que são limitados os recursos financeiros disponíveis para investimentos nesse setor. Para superar as dificuldades que se apresentam, é primordial que sejam consideradas e, na medida do possível, aplicadas técnicas gerenciais que permitam lidar com as variáveis intervenientes na avaliação das opções mais adequadas para implantação ou expansão dos sistemas de abastecimento de água potável. Os tomadores de decisão precisam se orientar em análises que possibilitam apresentar um panorama mais abrangente sobre o presente, assim como cenários futuros que podem influenciar as decisões sobre quando e como investir nos sistemas de abastecimento de água. Na literatura relacionada ao assunto, há muitas técnicas que visam estabelecer o nível de risco associado aos sistemas de abastecimento assim como são propostos métodos para mensuração dos riscos. A metodologia proposta aborda um aprimoramento na maneira de avaliar como podem ser implantados os projetos e analisa os riscos físicos e econômicos que incidem sobre o investimento. O processo de tomada de decisão incorpora o gerenciamento dinâmico sobre as incertezas que atuam sobre o investimento a realizar, e se baseia nos conceitos da teoria das Opções Reais, de forma que as decisões possam ser tomadas baseadas em cenários nos quais são consideradas as variáveis mais importantes, que são combinadas e as estimativas são calculadas e apresentadas tendo como referência o valor presente líquido, assim como são apresentados os valores dos prejuízos evitados esperados para cada projeto avaliado. É apresentado um estudo de caso com propósito de demonstrar a abordagem das Opções Reais utilizando dados de um sistema de abastecimento urbano que deverá ter sua capacidade expandida.

Palavras-chave: Análise de Risco, Sistemas de Abastecimento de Água, Avaliação de Investimentos, Opções Reais.

ABSTRACT

The water supply systems play fundamental role for the quality of life of the millions people that live in large urban centers. Therefore, planning and managing to build and expand these systems require a dynamic approach, due to limited financial resources available to invest in this sector. To overcome these hardships that face the investment is primordial to consider and apply as possible managing techniques that allow struggling with intervening variables in the more adequate options to build or expand water supplying systems. The decision variables to allow evaluation of the expansion plan options should be considered by using appropriate management techniques. Decision makers need consider assessment analysis that allows to present a wide perspective about the current situation, as well as future scenarios that may impact on decision making process about how and when investing in water supply systems. In the literature review there are many techniques aiming at setting the risk level related to water supply system as well as available methods to measure risks. The proposed methodology addresses the enhancement of the evaluation process about how expansion plans can be implemented taking economic and physical risks into account. The decision making process takes into account the dynamic managing about uncertainties on future investments. This is supported on Real Options Theory, so that decisions can be taken considering multiple scenarios which consider the most important variables, by combining to create a composite scenario. Thus, the net economic value is calculated for each composite scenario, as well as the expected avoided damage related to any expansion plan option. A case study is presented with the purpose to show up the Real Options theory approach. The actual data taken into account in case study are considered from a water supply system that will be expanded.

Key-words: Risk analysis, water supplying systems, Investment Valuation, Real Options.

SUMÁRIO

Resumo.....	v
Abstract.....	vi
Lista de Figuras	ix
Lista de Tabelas	xii
Lista de Quadros	xiii
Lista de Variáveis	xiv
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Panorama Geral	1
1.2 Contextualização da pesquisa	2
2 O PLANEJAMENTO DA EXPANSÃO DE SISTEMAS DE ABASTECIMEN- TO DE ÁGUA.	5
2.1 Composição típica de um sistema de abastecimento de água.	5
2.2 Fontes de suprimento de água (superficial/ subterrânea/ reúso).....	6
2.3 O processo de planejamento da expansão.....	11
3 ANÁLISE CRÍTICA DOS FATORES DE RISCO PARA ATENDIMENTO DA OFERTA/DEMANDA.	37
3.1 Situação Brasileira – alguns exemplos	37
3.2 Situação internacional – alguns exemplos.....	41
3.3 Métricas para mensuração dos riscos.	45
3.4 Formulação de alternativas para medir os riscos associados	49
3.5 Variáveis Econômicas sujeitas a volatilidade com impacto no setor de Saneamento	54
3.6 Flexibilidade	58
4 METODOLOGIA	59

4.1	Introdução.....	59
4.2	Construção de Cenários das Variáveis sujeitas a Incertezas	62
4.3	Cenários Combinados das Variáveis.....	67
4.4	Formulação de alternativas de Expansão	69
4.5	Importância de construir alternativas por meio da execução em módulos flexibilização.....	69
4.6	Avaliação do desempenho das alternativas sob os diferentes cenários –VPL.....	68
4.7	Aplicação da Teoria de Opções.	69
4.8	Prejuízo Evitado.	73
4.9	Valor da Flexibilidade.....	77
4.10	Analogia com Decisão via Opções Reais.	80
4.11	Analogia entre Opções Reais e Opções Financeiras.	87
4.12	Justificativa para aplicação da Teoria das Opções Reais ao problema de expansão da capacidade do sistema de abastecimento.	90
4.13	Proposta de metodologia de soluções integradas com boas características de flexibilidade / proteção contra risco.....	91
4.13.1	Avanços na Projeção de Demandas: Técnica de geração de cenários	91
4.13.2	O que caracteriza uma solução robusta / flexível	96
5	ESTUDO DE CASO	97
5.1	Alternativas para expansão da capacidade de adução e tratamento do sistema de abastecimento de água descrito	97
6	CONCLUSÕES e RECOMENDAÇÕES	127
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	132
	APÊNDICE	140
	Apêndice A Exemplos de planilha de cálculo para determinação dos VPLs em função das alternativas consideradas	141
	ANEXO	146
	Anexo A Avaliação econômico-financeira das Alternativas de Expansão — métodos tradicionais	147

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Configuração típica de um sistema de abastecimento de água.	6
Figura 2.2	Localização dos sistemas de aquíferos no estado de São Paulo.	7
Figura 2.3	Percentual de municípios abastecidos por manancial subterrâneo e superficial nas regiões metropolitanas brasileiras.	11
Figura 2.4	Resultados da previsão de crescimento populacional linear.	20
Figura 2.5	Resultados da previsão de crescimento populacional geométrico.....	21
Figura 2.6	Resultados da previsão de crescimento populacional logarítmico.....	22
Figura 2.7	Resultados da previsão de crescimento populacional logístico.	23
Figura 2.8	Evolução populacional – HIBRACE e Censo IBGE.	25
Figura 2.9	Demanda média, demanda projetada da região metropolitana de Washington D.C.....	27
Figura 2.10	População e projeção da população da região metropolitana de Washington D.C.....	28
Figura 2.11	Seqüência de implantação dos mananciais – Alternativa 5.	31
Figura 2.12	Evolução e atendimento da demanda ao longo do período de planejamento – cenário tendencial.	33
Figura 2.13	Evolução dos cenários tendencial e dirigido ao longo do período de planejamento.	34
Figura 2.14	Índice médio de perdas na distribuição dos sistemas de abastecimento de água operados pela SABESP.	37
Figura 3.1	Níveis do grau de controle do risco em função grau de severidade do evento sob risco.	46
Figura 3.2	Variação da taxa de câmbio livre.....	54
Figura 3.3	Variação da taxa de juros de longo prazo – TJLP	55
Figura 3.4	Evolução da taxa de juros SELIC	56
Figura 3.5	Evolução do Índice Nacional da Construção do Mercado	56
Figura 3.6	Taxa de reajuste tarifário da CAESB entre 2001 e 2010.....	57

Figura 3.7	Taxa de reajuste tarifário da SABESP entre 2000 e 2009	57
Figura 4.1	Fluxograma da metodologia empregada para realização da pesquisa.....	62
Figura 4.2	Combinação das variáveis para formação dos cenários para cálculo do VPL.	68
Figura 4.3	Fluxograma para determinação do valor esperado do prejuízo evitado.....	77
Figura 4.4	Equivalência entre Opções Reais e Opções Financeiras.	83
Figura 4.5	Representação esquemática do método de cálculo de projeção de cenários.	93
Figura 4.6	Representação da frequência de ocorrência em função da taxa média de crescimento da demanda calculada para diferentes cenários projetados.....	94
Figura 4.7	Frequência de ocorrência em função da demanda calculada.....	95
Figura 4.8	Representação da evolução das demandas calculadas para os diferentes setores de abastecimento de uma mesma área.....	95
Figura 5.1	Esquema simplificado do sistema de captação, adução, tratamento e reservação da água proveniente do rio Atibaia, Valinhos-SP.....	100
Figura 5.2	Valores de VPL em função dos cenários avaliados das alternativas a, b, c, d, e, f, g, h, i e j.	108
Figura 5.3	VPLs ordenados de forma crescente em função dos cenários considerados.....	109
Figura 5.4	Valores de VPL em função dos cenários avaliados das alternativas a, b, c, d, e, f, g, h, i e j.	110
Figura 5.5	VPLs ordenados de forma crescente em função dos cenários considerados.	110
Figura 5.6	Valores de VPL em função dos cenários avaliados das alternativas a, b, c, d, e, f, g, h, i e j.....	111
Figura 5.7	Valores de VPL em função dos cenários avaliados das alternativas a, b, c, d, e, f, g, h, i e j.....	112
Figura 5.8	Esquema simplificado para expansão flexibilizada do sistema de abastecimento de água.	113

Figura 5.9	Prejuízo evitado esperado da alternativa A em função do VPL de referência.....	119
Figura 5.10	Diferença entre os valores dos prejuízos evitados esperados para as duas opções de materiais a serem empregados na adutora de água bruta.....	119
Figura 5.11	Diferença percentual entre os prejuízos evitados esperados para alternativa A com opções de execução da adutora com ferro fundido e PRFV.....	120
Figura 5.12	Prejuízos evitados esperados das alternativas A e E+G, em função do VPL de referência.....	122
Figura 5.13	Probabilidade do VPL superar o VPL de referência da alternativa A com valor de investimento de R\$ 6.457.000,00.....	123
Figura 5.14	Probabilidade do VPL superar o VPL de referência da alternativa A com valor de investimento de R\$ 7.457.500,00.....	123
Figura 5.15	Probabilidade do VPL superar o VPL de referência da alternativa G com valor de investimento de R\$ 3.327.250,00.....	124
Figura 5.16	Probabilidade do VPL superar o VPL de referência da alternativa G com valor de investimento de R\$ 3.439.375,00.....	125
Figura 5.17	Valores presentes líquidos para as alternativas A e E para os cenários considerados.....	126

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	Evolução dos principais parâmetros para os municípios do sistema Integrado da RMSP	29
Tabela 3.1	Perdas de água por unidade de extensão de rede em diferentes regiões do mundo	38
Tabela 3.2	Índice perda de faturamento de água em 7 capitais nordestinas.	38
Tabela 3.3	Matriz qualitativa de priorização dos riscos.	51
Tabela 3.4	Escala de probabilidade de ocorrência de um perigo.	52
Tabela 3.5	Escala de probabilidade de ocorrência de um perigo.	52
Tabela 3.6	Matriz de classificação dos riscos.	53
Tabela 4.1	Exemplos de empresas que utilizaram Opções Reais.	85
Tabela 4.2	Categorias de Opções.	86
Tabela 5.1	Fluxo de caixa típico para cálculo do valor presente líquido (VPL) para opção “A” de investimento.....	107

LISTA DE QUADROS

Quadro 3.1	Critério do grau de pressão sobre os recursos hídricos	40
Quadro 3.2	Projeções de demanda para cidade do Recife/PE	41
Quadro 4.1	Valores das tarifas médias de água praticadas por região	65

LISTA DE VARIÁVEIS

p_0	: população no ano t_0 (habitantes)
p_1	: população no ano t_1 (habitantes)
p_2	: população no ano t_2 (habitantes)
p_t	: população no ano t (habitantes)
t	: tempo (anos)
dp/dt	: taxa de crescimento da população em função do tempo (habitantes por ano)
k_a	: coeficiente angular de regressão linear (habitantes por ano)
k_g	: coeficiente de regressão geométrica (habitantes por ano)
k_d	: coeficiente de regressão logarítmica (habitantes por ano)
k_l	: coeficiente de regressão logística (habitantes por ano)
Q	: Demanda (L/s)
I	: Investimento (R\$)
B	: Benefício anual (R\$)
C	: Custo anual (R\$)
TAR	: Tarifa de água (R\$/m ³)
T_j	: Taxa de anual de juros (%)
T_e	: Taxa anual de reajuste da Tarifa TAR (%)
n	: número de anos
$FVP_{i,e,n}$	: Fator de valor presente considerando os benefícios líquidos ao longo do tempo n
$FVP_{i,n}$	: Fator de valor presente para uma série uniforme de benefícios e custos
FEP	: Fator de equivalência parcelar
FRC	: Fator de recuperação de capital
VAL	: Valor anual líquido
B/C	: Ralação benefício/custo
VPL	: Valor presente líquido (R\$)
VPL_{ref}	: Valor presente líquido de referência (R\$)
μ	: Valor médio do VPL para o conjunto completo de cenários (R\$)
σ	: Desvio padrão do VPL para o conjunto completo de cenários (R\$)
p	: probabilidade de ocorrência para o cenário considerado

n : Número de cenários considerados
 p_{evitar} : Probabilidade de evitar o prejuízo esperado
 p_i : Probabilidade de ocorrência do VPL menor que o VPL de referência
PEE : Prejuízo evitado esperado (R\$)

1 - INTRODUÇÃO

1.1 – Panorama geral

O adequado abastecimento de água potável da população urbana se configura, atualmente, como um dos maiores desafios a serem superados pelos gestores — de todas as esferas de governo assim como da iniciativa privada —, responsáveis pelo setor de saneamento nacional. Esse setor, por se tratar da área de infra-estrutura, requer muito capital para investimento com vistas a manter ou ampliar a cobertura pelos serviços de abastecimento de água e de esgotamento e tratamento de esgotos. O aporte intensivo de capital impõe dificuldades significativas à maioria dos serviços e empresas atuantes no setor de saneamento do Brasil, uma vez que os recursos financeiros necessários aos investimentos nem sempre estão disponíveis.

Quando se recorre a financiamentos para alavancar os investimentos necessários, os juros praticados nos empréstimos, mesmo em trajetória descendente, ainda são muito elevados, encarecendo sobremaneira os custos finais, pois são, inevitavelmente, embutidos nos preços das tarifas a serem cobradas para amortização dos investimentos.

Logo, o planejamento da expansão dos sistemas urbanos de abastecimento de água impõe a busca por novas metodologias, que permitam selecionar da maneira mais precisa possível as melhores alternativas do ponto de vista técnico-econômico.

Outros fatores conjunturais tais como os de ordem político-institucional contribuem, em muitos casos, para indefinição dos investimentos a realizar, ou até a paralisação dos investimentos em andamento, resultando em descontinuidades em programas pré-estabelecidos e gerando atrasos inconvenientes na conclusão de obras vitais para atendimento da população e a consequente elevação dos custos finais das mesmas.

Embora seja um fator complicador para a solução de muitos problemas no setor de abastecimento de água, a conjuntura político-institucional não será abordada no presente trabalho, podendo, entretanto, ser objeto de estudos adicionais a serem realizados no futuro com vistas a

definir um arranjo mais adequado para tornar o setor de saneamento menos susceptível a instabilidades e, assim, minimizar os riscos intrínsecos nesse complexo campo.

As incertezas por vezes não fazem parte dos estudos e do planejamento de expansão dos projetos relativos aos sistemas de abastecimento de água. Logo, os riscos praticamente são ignorados nesse setor.

A proposição de obras em estágios, a modularização ou etapalização são estratégias que podem ser adotadas para viabilizar a expansão dos sistemas, adequando o fluxo de caixa das empresas aos investimentos necessários garantindo também um nível de proteção contra incertezas presentes nas projeções superestimadas das demandas, quando for o caso. É fundamental que haja flexibilidade na implantação dos sistemas produtores, pois sistemas flexíveis podem ser tecnicamente eficientes e economicamente viáveis. Destaca-se a importância do balanceamento geográfico da oferta da água, e os condicionantes sócio-políticos-ambientais que influenciam a exploração dos mananciais.

A adoção do conceito de Momentos de Decisão pode auxiliar de forma significativa o gerenciamento dos sistemas de abastecimento, uma vez que possibilita a correção do planejamento conferindo flexibilidade para apoiar as tomadas de decisão na gestão da expansão dos sistemas.

Portanto, a busca por soluções robustas com baixa vulnerabilidade, alta confiabilidade e alta resiliência, as quais se caracterizam por não trazer arrependimento futuro, se mostra como uma tarefa primordial nesse trabalho. Dependendo da característica da solução adotada, é possível que a mesma tenha reversibilidade, conferindo maior flexibilidade na solução proposta em virtude de possibilitar a modificação de suas funções segundo o interesse que pode ser diferente do previsto no passado e o desejado no presente.

As soluções que contemplam implantações progressivas também devem ser consideradas, uma vez que, geralmente, são adotadas em projetos de engenharia.

1.2 – Contextualização da pesquisa

O setor público brasileiro tem tido dificuldades para definir um arcabouço robusto de planejamento que dê conta das complexidades técnicas, políticas e institucionais, para atendimento com água potável, com vistas a universalizar esse serviço que é elementar ao bem-estar da população. Essa impropriedade, entretanto, não é só particular do contexto brasileiro.

Mas no Brasil, é acentuada em razão: da dinâmica de crescimento populacional e da ocupação urbana ocorrida, principalmente, nas últimas 3 décadas; não há cultura e capacitação técnica para gestão de risco de suprimento de água; falta melhor capacidade técnica e metodológica para o adequado tratamento desse problema.

O objetivo da pesquisa é propor um método que permita expandir o sistema de água com pleno atendimento da demanda, evitar a ociosidade operacional, avaliar os potenciais prejuízos que podem ser evitados e valorar a flexibilidade, com base na Teoria das Opções Reais. Dessa forma, a pesquisa é estruturada nas seguintes etapas tendo como foco o setor de abastecimento urbano de água:

- Revisão histórica das metodologias de planejamento;
- Definição de métricas de risco;
- Avaliação das alternativas de expansão pelo Método das Opções Reais e proposição de um método para expansão de sistemas de abastecimento de água. Também são objetivos da pesquisa a prevenir contra a ociosidade operacional, avaliar os potenciais prejuízos que podem ser evitados e valorar a flexibilidade com base na Teoria das Opções Reais.

O presente trabalho é apresentado em capítulos conforme a seguir:

O capítulo 2 aborda o planejamento da expansão de sistemas de abastecimento de água, de acordo com os métodos comumente empregados. São apresentados os principais aspectos referentes às fontes de suprimento de água com a apresentação de algumas situações existentes relativas ao uso de água subterrânea, reúso da água, uso de água superficial. Destaca também, como o plano diretor se mostra como referência para definição das estratégias de expansão de sistemas urbanos de abastecimento de água com a demonstração de exemplos de planejamento realizados para o abastecimento de água da região metropolitana de São Paulo/SP, reconhecida pelo nível crítico de exploração dos mananciais para abastecimento de água.

No capítulo 3 são analisados os fatores de risco que incidem sobre o atendimento da oferta/demanda. É apresentado um panorama sobre o nível de perdas de alguns sistemas de abastecimento de empresas brasileiras assim como são apresentados dados de outros países relativos às perdas. São apresentadas também, algumas situações em que ocorreram eventos críticos relativos ao suprimento de água em outros países cuja consequência foi a falta de água

potável, evidenciando que a questão tem caráter mundial, requerendo, portanto, métodos mais adequados para estabelecer estratégias que visem a superação, ou pelo menos, a redução de eventos mais agudos que afetam o abastecimento de milhares ou até milhões de pessoas que residem nos centros urbanos. Além disso, são sugeridos critérios para classificação de riscos associados aos sistemas urbanos de abastecimento de água. Também nesse capítulo, é analisado como os fatores riscos ocorrem nos sistemas de abastecimento; podem ser originados desde falhas no planejamento de longo prazo, e mesmo, até a cobrança de tarifas insuficientes de água que não possibilitam cobrir de forma adequada todos os custos de operação, manutenção, e investimentos nos sistemas de abastecimento.

O capítulo 4 apresenta a metodologia proposta com enfoque na teoria das opções reais. É mostrada uma analogia entre as opções (financeiras) e as opções reais, e são apresentados exemplos de estudos que foram realizados para avaliação de investimentos. São identificados os tipos de opções mais adequados para utilização na análise de projetos de investimento na expansão de sistemas de abastecimento de água.

No capítulo 5 é apresentado o estudo de caso para avaliação do projeto de investimento na expansão de um sistema de abastecimento de água. Os dados apresentados se referem a um sistema existente para qual são propostas alternativas para expansão da capacidade de adução e tratamento de água. As estratégias abordadas consideram que a adutora de água bruta seja construída com tubos de materiais alternativos ao clássico ferro fundido; propõe a utilização de tubos de plástico reforçado com fibra de vidro para a adutora de água bruta. Também é proposta uma estratégia de executar a ampliação em estágios de acordo com a projeção da demanda a ser atendida. Essas alternativas são consideradas como opções reais, para quais são apresentados o método utilizado para avaliação da estratégia, tendo como referência o prejuízo evitado esperado. São avaliados diversos cenários de acordo com as alternativas (ou opções) consideradas. As variáveis econômicas e físicas foram adotadas com vistas a refletir as condições do setor de saneamento e, em especial, a área de abastecimento de água.

O capítulo 6 apresenta as conclusões que podem extraídas do estudo de caso. Destaca, principalmente, que o valor esperado de prejuízo evitado é um importante indicador obtido por meio de simulações que consideram os cenários atribuídos ao projeto de expansão do sistema de abastecimento, e pode auxiliar sobremaneira os tomadores de decisão a optarem por um determinado projeto e a estratégia de implantação do mesmo. As recomendações sugerem

alguns tópicos que podem ser objeto de pesquisa com objetivo de introduzir um refinamento no método proposto na presente tese. Indica também, que é um campo de pesquisa acadêmica que apresenta potencial para futuras pesquisas, pois são raros ou quase inexistentes trabalhos acadêmicos voltados a aplicação da teoria das opções reais em sistemas de abastecimento de água ou no setor de saneamento básico.

2 – O PLANEJAMENTO DA EXPANSÃO DE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA.

2.1 – Composição típica de um sistema de abastecimento de água

Os sistemas de abastecimento de água que utilizam mananciais de superfície, de maneira geral, são constituídos, principalmente, de captação de água bruta que pode ser a fio d'água (diretamente de rios) ou em reservatórios de regularização; adutora de água bruta (por gravidade ou por recalque), estação de tratamento de água, reservatório de água tratada, adutora de água tratada (redes primárias) e rede de distribuição (redes secundárias). O sistema de distribuição pode ter ainda reservatório de jusante (reservatório de sobra), booster para aumento da pressão disponível em trechos da rede distribuidora de água que se localizam nos extremos do sistema ou em partes altas do mesmo; sub-setores, cujo abastecimento de água é controlado por válvula redutora de pressão quando a rede de distribuição desses sub-setores situa-se em cotas baixas, sujeitas, portanto, a ocorrência de pressões elevadas que podem causar vazamentos ou rompimentos das tubulações.

Há arranjos mais complexos que dependem do porte do sistema e da disponibilidade dos recursos hídricos utilizados para abastecimento, que exigem soluções de engenharia mais complicadas, como por exemplo, o sistema de abastecimento da região metropolitana de São Paulo que atende aproximadamente 18 milhões de pessoas. Entretanto, a maioria dos sistemas de abastecimento, independentemente do porte, possui uma configuração como a descrita anteriormente, com variantes cujas características são definidas basicamente pela localização do centro urbano em relação ao manancial, topografia, população atendida, etc. A figura 2.1 apresenta a configuração mais comum de um sistema quando se utiliza manancial superficial para de abastecimento de água.

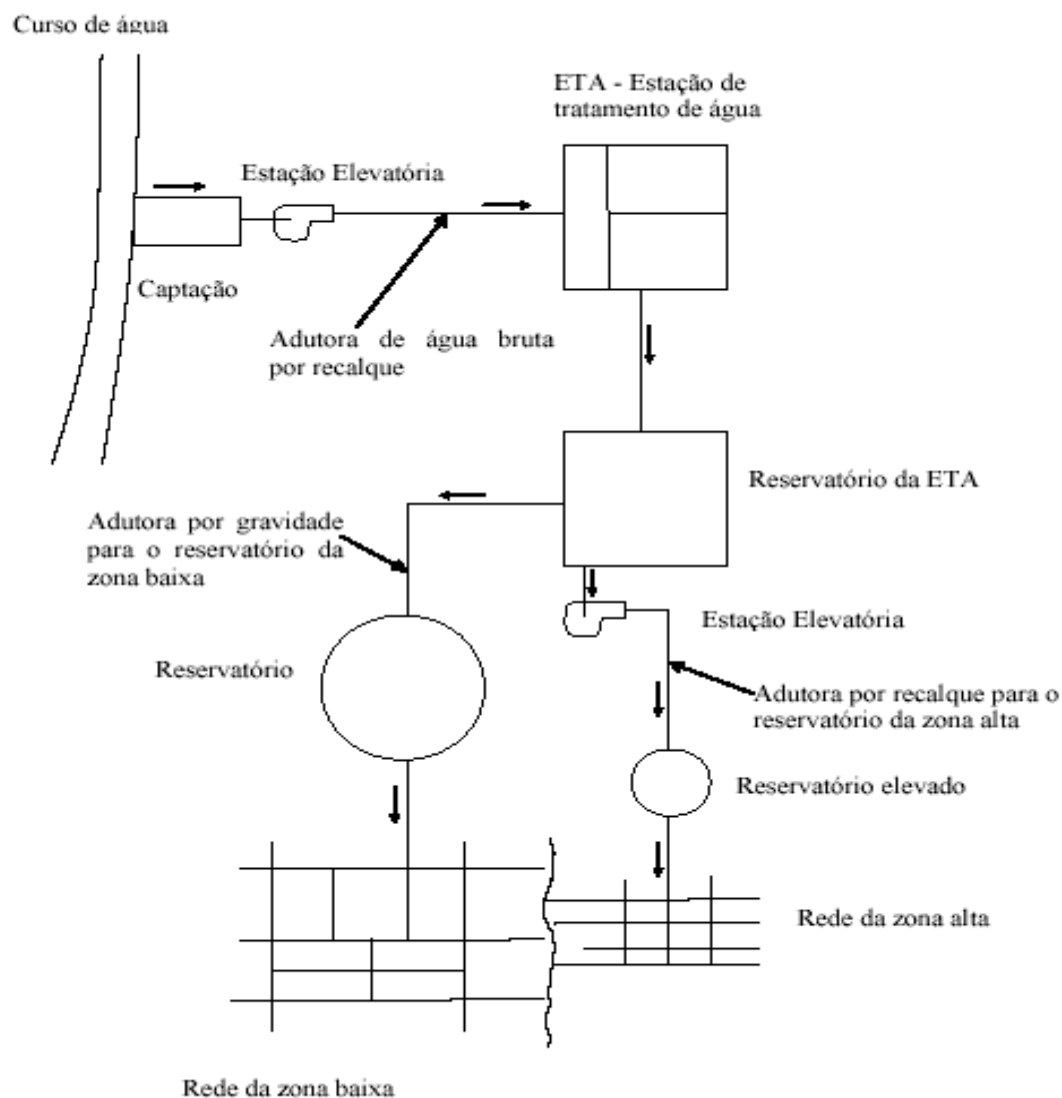


Figura 2.1 – Configuração típica de um sistema de abastecimento de água
 Fonte: Parcialmente adaptado de Orsini (1996) apud Tsutiya (2004)

2.2 - Fontes de suprimento de água (superficial/ subterrânea/ reúso)

Dependendo da região os mananciais superficiais se constituem a fonte mais comum para suprimento de água para abastecimento urbano. No estado de São Paulo, por exemplo, praticamente todas as cidades que se situam na região leste captam água de mananciais de superfície, empregando o arranjo típico apresentado na figura 2.1.

Quando são utilizados mananciais subterrâneos, os sistemas de abastecimento são constituídos de captação, por intermédio de poço tubular profundo, adutora de água, reservatório de água tratada, sendo que a configuração e os demais componentes do sistema a partir do

reservatório possuem basicamente o mesmo arranjo dos sistemas que captam água dos mananciais de superfície. Pode-se citar como exemplo as cidades que se localizam na região oeste do estado de São Paulo onde há presença dos aquíferos Bauru e Guarani dos quais água é captada para distribuição à população. Nessa região várias cidades tais como Lins, Catanduva, Fernandópolis, São José do Rio Preto, Ribeirão Preto, dentre outras, têm cerca de 80% de suas redes atendidas pelo manancial subterrâneo. Os poços tubulares profundos existentes possuem elevada capacidade específica que permite captar altas vazões de exploração. A figura 2.2 apresenta a localização dos sistemas de aquíferos Bauru e Guarani no estado de São Paulo.

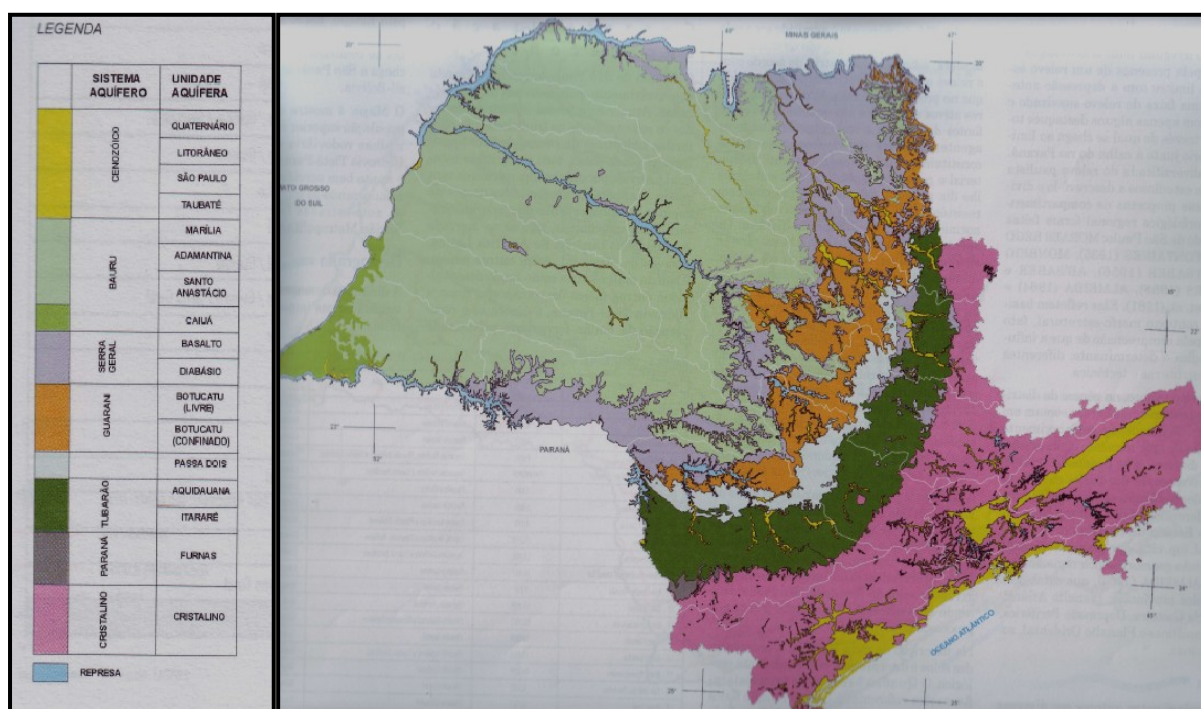


Figura 2.2 – Localização dos sistemas de aquíferos no estado de São Paulo
 Fonte: Relatório de Situação dos Recursos Hídricos do Estado de São Paulo
 Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (1999)

Os sistemas de abastecimento podem ainda ser do tipo misto, ou seja, captam água de mananciais superficiais e aquíferos subterrâneos. Há casos em que os aquíferos atendem aglomerados isolados bem como áreas rurais, cujo abastecimento por intermédio do sistema principal de uma dada localidade é inviável técnica e economicamente. São sistemas independentes, de maneira geral, operados e mantidos por um único concessionário local.

No Brasil 23,5% da água consumida são oriundos de mananciais subterrâneos, dos quais 37% são destinados ao abastecimento municipal (SHIKLOMANOV, 1997). Nos Estados Unidos, por exemplo, aproximadamente 50% da água potável são provenientes de mananciais subterrâneos assim como 96% da água consumida em áreas rurais (UNEP, 1996). Em países como Alemanha, Áustria, Bélgica, Holanda e Suécia, quase a totalidade da população é atendida por água subterrânea (UNESCO, 1998). Nas bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí, as sub-bacias dos rios Jaguari e Piracicaba apresentam boas disponibilidades hídricas. O aquífero Cristalino Pré-Cambriano sob a sub-bacia do rio Atibaia apresenta disponibilidade hídrica de 2300 L/s. Entretanto, essas disponibilidades exigem cautela uma vez que resultam de estimativas obtidas por intermédio de uma metodologia para avaliação da disponibilidade hídrica e não considera, sobretudo, as dificuldades técnico-econômicas para aproveitamento desses aquíferos (Relatório de Situação 2002/2003 das Bacias Hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí).

O reúso da água para abastecimento público tem despertado interesse da comunidade técnica e científica, principalmente em virtude da possibilidade de escassez dos recursos hídricos, que leva à busca por novas formas de melhor utilização da água. Considera-se reúso direto quando o esgoto recuperado por meio de tratamento avançado é injetado diretamente no sistema de água potável. Situações em que eventos hidrológicos extremos são observados conduzem os pesquisadores à reflexão e apontam para necessidade de desenvolver métodos e técnicas confiáveis e cientificamente aceitáveis.

Um exemplo clássico de reúso potável é descrito por MEICHES (1964) e se refere à cidade de Chanute, no estado de Kansas – EUA que, em virtude de uma severa seca que ocorreu em 1956, o manancial utilizado para abastecimento daquela cidade secou. As autoridades sanitárias autorizaram a utilização do efluente da estação local de tratamento de esgotos (nível secundário) como manancial de água bruta para tratamento e distribuição de água potável à população. O efluente, após oxidação com cloro e detenção por dezessete dias, era tratado por coagulação, decantação e filtração, e posteriormente, distribuído para consumo. Os padrões de qualidade então vigentes foram atingidos, exceção feita à cor. Todavia, nenhuma doença ocorrida naquela localidade foi associada ao consumo dessa água (MANCUSO & SANTOS, 2003).

O sistema de reúso potável direto da cidade de Windhoek, Namíbia, foi descrito por POUND e CULP (1977). Nessa cidade, o esgoto tratado em nível secundário é conduzido a uma

estação de tratamento formada por nove lagoas interligadas em série, caracterizando um sistema de maturação com tempo de detenção hidráulica de quatorze dias. Decorrido esse período, o efluente das lagoas, cuja capacidade de armazenamento é de 1500 m³/dia, é submetido à filtração para remoção de algas, fracionamento de espumas, cloração, adsorção em carvão ativado e posterior mistura com água tratada proveniente de manancial de superfície. O sistema de Windhoek — constituído de 15% de esgotos tratados e 85% de água tratada —, está em operação a aproximadamente 10 anos sendo que a água produzida atende aos padrões atuais de qualidade estabelecidos pela Organização Mundial de Saúde (MANCUSO & SANTOS,2003).

Na cidade Denver, Colorado – EUA, foi construída uma estação de tratamento para demonstração com capacidade de 44 L/s. A estação foi idealizada para utilizar como água bruta o efluente de um sistema de tratamento de esgoto doméstico, tratado em nível secundário. A concepção do sistema foi planejada para estudar a viabilidade técnico-econômica do reúso potável direto, com emprego de tecnologia de ponta na potabilização de água de má qualidade. O projeto foi desenvolvido para permitir o desenvolvimento de metodologias científicas de monitoramento de qualidade de água, tendo como referência os mais modernos indicadores. Como o projeto é bastante avançado, há um programa sistematizado e intensivo de amostragem que tem como objetivo monitorar, além dos parâmetros normais de controle, determinar a capacidade de remoção dos denominados elementos traços e, também, avaliar os efeitos sobre a saúde por intermédio de estudos crônicos e subcrônicos em animais, de acordo com trabalhos de LAUER et al. (1984) (MANCUSO & SANTOS, 2003).

O reúso indireto é caracterizado quando o esgoto, após tratamento, é disposto em cursos d'água superficiais ou subterrâneos para diluição, purificação natural, e subsequente captação, tratamento e utilizado como água potável. MONTGOMERY (1985), descreve como um típico exemplo de reúso potável indireto planejado o caso do Occoquan, Virgínia – EUA, cujas águas são constituídas de 12% de esgotos domésticos, quando se tem como referência a vazão mínima. Os esgotos são submetidos a tratamento avançado antes de serem lançados no rio, o que garante uma boa qualidade da água.

Outro exemplo de reúso indireto é o caso da Estação Experimental de Tratamento de Água do Rio Potomac, que foi projetada para reúso potável indireto. O sistema é composto por uma estação de demonstração que utiliza como água bruta o efluente nitrificado da estação de tratamento de esgotos Blue Plains, que se situa próxima a Washington, misturado com água do

rio Potomac. O objetivo desse projeto é estudar a possibilidade de utilizar a água dessa estação como reforço para abastecimento da região metropolitana de Washington (MANCUSO & SANTOS, 2003).

Na região metropolitana de Campinas/SP, se considerado o conceito já descrito de reúso indireto, pode-se afirmar que os sistemas urbanos de abastecimento de água utilizam o reúso indireto. Devido à proximidade das cidades e seus respectivos sistemas sanitários, o esgoto tratado que é lançado nas coleções de água, é captado e tratado logo a jusante, após mistura e relativa diluição nos cursos d'água, para distribuição de água potável das cidades. Um exemplo que pode ser citado é o caso das cidades de Vinhedo e Valinhos que lançam seus esgotos tratados no ribeirão Pinheiros, afluente do rio Atibaia, cuja captação de água para abastecimento de 90% da população de Campinas se localiza nesse rio, aproximadamente, 1,5 km a jusante da foz do ribeirão Pinheiros.

O reúso da água tende a se desenvolver com maior velocidade, na medida em que a exploração dos recursos hídricos se aproxima do limite da capacidade de fornecimento dos aquíferos superficiais e subterrâneos. Como forma de atender a demanda sempre crescente, o reúso se apresenta como uma das alternativas para o melhor aproveitamento da água. Entretanto, pesquisas devem ser realizadas com vistas a estabelecer as melhores técnicas e métodos, observando-se, contudo, os riscos eventualmente associados bem como a cultura e hábitos da população, assim como o nível de conscientização da mesma.

A Agência Nacional de Águas – ANA (2009), apresentou um estudo pioneiro que abordou a situação de 430 municípios que se situam em 14 regiões metropolitanas brasileiras, onde o abastecimento urbano apresenta condições críticas do ponto de vista de suprimento de água. O estudo identificou que os mananciais superficiais são os mais utilizados como fonte para abastecimento de água, com exceção para região Nordeste, onde os mananciais subterrâneos são responsáveis pelo suprimento da água consumida em 52% dos municípios situados nas regiões metropolitanas. A síntese da situação por tipo de manancial utilizado como fonte de suprimento de água nos municípios é apresentada na figura 2.3 mostrada a seguir.

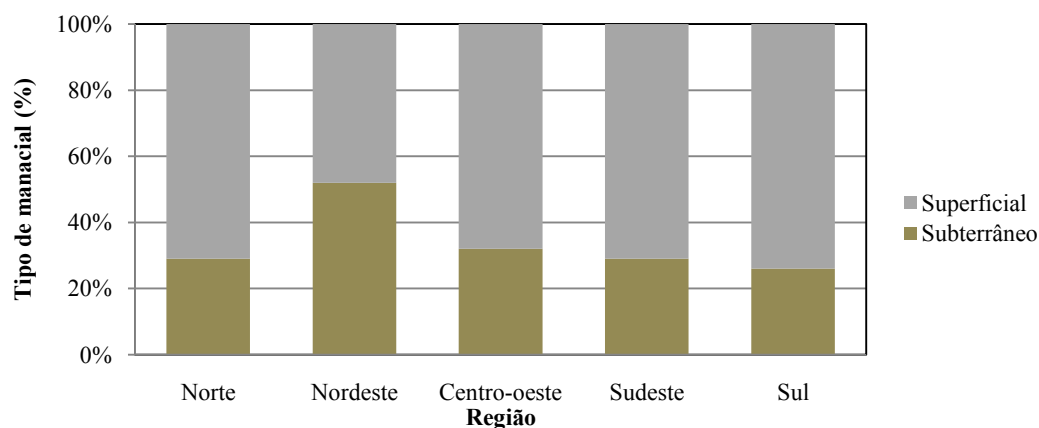


Figura 2.3 – Percentual de municípios abastecidos por manancial subterrâneo e superficial nas regiões metropolitanas brasileiras.

Fonte: Agência Nacional de Águas – ANA (2009).

2.3 — O processo de planejamento da expansão

Os sistemas de abastecimento de água, na maioria dos municípios, são planejados por intermédio de planos diretores de abastecimento de água (PDAA). Os planos diretores são uma das ferramentas que têm como objetivo auxiliar a gestão dos sistemas de abastecimento, indicando estratégias para expansão e investimentos, incluindo, mais recentemente, orientações para ações não estruturais tais como: redução de perdas físicas e de faturamento, reúso da água, racionalização do uso da água, entre outros.

Algumas empresas possuem plano diretor específico para combate às perdas, indicando uma tendência em abordar determinados tópicos com maior grau de detalhamento, adotando programas especializados para diagnóstico, prognóstico e estabelecimento de metas a serem atingidas, como no caso das perdas, uma vez que trata-se de um indicador extremamente importante que reflete o nível de desempenho operacional bem como afeta diretamente a receita financeira das empresas. Além disso, um nível baixo de perdas induz a um menor custo operacional e pode postergar elevados investimentos na expansão dos sistemas de abastecimento.

Em nações desenvolvidas o planejamento é um processo de ajuste; em nações em desenvolvimento o planejamento tem como objetivo criar as condições necessárias para o desenvolvimento. CAMPOS (2005), avaliou as várias metodologias aplicadas nos estudos de

planejamento de recursos hídricos e do sistema de abastecimento de água para RMSP. A autora procurou identificar os conceitos, formas e fatores intervenientes no planejamento, a caracterização da RMSP e a problemática do abastecimento de água nessa região. No trabalho realizado pela pesquisadora foram contextualizados os diferentes cenários vividos no Brasil a partir da década de 1960, os quais influenciaram a maneira de como planejar os investimentos com vistas ao adequado abastecimento de água da RMSP.

Uma sucessão de vários planos e crises macroeconômicas causaram a redução dos investimentos na área de infra-estrutura, particularmente na área de saneamento, cujo impacto resultou na preocupante elevação na taxa de mortalidade infantil, quadro esse que exigiu — e ainda exige — uma ação mais eficaz na gestão e no planejamento na área de saneamento e dos recursos hídricos. Contudo, uma legislação mais abrangente ainda está em discussão na qual se buscará a universalização dos serviços de saneamento básico bem como a regulação do setor, com estabelecimento de metas de atendimento pelos sistemas de abastecimento de água, coleta e tratamento de esgoto sanitário.

Independentemente de uma legislação federal que estabeleça competências e responsabilidades, os gestores dos sistemas de abastecimento de água devem se orientar por intermédio de planos diretores que se destacam como um importante instrumento de planejamento.

O plano diretor é resultado de estudos elaborados com objetivo de diagnosticar a atual situação de um dado sistema de água, admitindo-se diferentes cenários e estabelecimento de alternativas para o atendimento da demanda em virtude do crescimento populacional e pela tendência de aumento do consumo de água. Deve indicar metas de atendimento, controle de perdas e promoção do uso racional da água. Deve priorizar ações escalonadas no espaço e no tempo, com estimativas de custos e orientações de ações de curto, médio e longo prazos. Como instrumento de planejamento não se encerra com a elaboração de um documento consolidado. De acordo com CAMPOS (2005) é um processo que permite a inserção de modificações e ajustes de forma que possa ser permanentemente atualizado. Não se trata, portanto, de um rígido e imutável instrumento de planejamento que contém exatamente uma série de futuros eventos; é um elemento de planejamento básico, com muitas variáveis podendo intervir ao longo do horizonte de planejamento.

Uma série de conflitos entre usuários dos diversos setores e municípios resultou na elaboração, de diversos trabalhos voltados ao planejamento na área de recursos hídricos e saneamento no estado de São Paulo, em especial, na região metropolitana de São Paulo (RMSP). Os trabalhos foram desenvolvidos em períodos distintos, fornecendo diferentes soluções influenciadas por critérios metodológicos diferentes, resultantes de cenários econômicos e sociais adotados em cada estudo (CAMPOS, 2005).

Entre 1968 e 1987 foram elaborados 11 trabalhos entre Planos Diretores e Relatórios Técnicos, para Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), com ênfase na abordagem de projeção populacional e de demanda. Observa-se que nesse período todos os estudos superestimaram a população a ser atendida e como consequência a demanda por água potável, o que não se configurou decorrido o horizonte de planejamento previsto nesses estudos. Tal fato sugere que houve a adoção de cenários macroeconômicos, de migração e de taxas de crescimento populacional diferentes das hipóteses consideradas quando da elaboração dos estudos.

Na realidade, a contextualização da região metropolitana de São Paulo é muito mais complexa e envolve a abordagem de mais variáveis que torna a tarefa de planejamento extremamente laboriosa e em muitos casos relativamente imprecisa se os estudos não forem periodicamente atualizados. Na pesquisa realizada por CAMPOS (2005), ficou caracterizada a necessidade de retro-alimentação dos dados observados para ajustar as projeções e, por conseguinte, as projeções e respectivas ações a serem desenvolvidas para atendimento da demanda. Dada a incerteza envolvida no planejamento verificou-se que houve um refinamento na metodologia que passou a considerar cenários diferentes tais como: tendencial, dirigido, induzido, não-desestimulado, entre outros. Em cada um desses cenários foram consideradas premissas que permitiram estimar a população futura dentro de uma faixa de tolerância de acordo com cada cenário. Para a demanda foram consideradas a redução (paulatina e realista) do índice de perdas, a redução do consumo em função do uso racional bem como do reúso da água.

Outro aprimoramento da metodologia parece seguir na direção da gestão da demanda e a inevitável abordagem das questões de ordem ambiental. A metodologia desenvolvida pela EMPLASA (1985) incluiu o Método dos Componentes Demográficos para projeção da população, tornando a estimativa mais confiável, tendo como base os Censos Demográficos do IBGE e dados obtidos do Registro Civil do Estado de São Paulo. De acordo com CAMPOS (2005), não há ainda metodologia desenvolvida para a definição adequada da

distribuição da população total, em unidades menores como no caso de setores de abastecimento na RMSP. É importante salientar que em todos os estudos não foram definidos os valores de consumo para servirem como referência para atendimento da população bem como o estabelecimento do equilíbrio entre a oferta e a demanda, levando-se em consideração as particularidades econômicas, sociais, climáticas e ambientais da RMSP.

O planejamento deve ser um processo dinâmico. Dessa forma, planos diretores deveriam conter um mecanismo de verificação da evolução das estimativas de crescimento populacional e de demanda; não devem apenas conter programa pré-fixado de obras em função das previsões determinadas nos estudos de evolução populacional e de demanda. Deve-se, portanto, proceder adequações e ajustes em função da verificação da compatibilidade entre o crescimento previsto e o constatado, tal procedimento permite a reavaliação periódica dos investimentos impondo uma característica mais dinâmica no planejamento. Esse dinamismo deve estar implícito na metodologia dos futuros planos diretores e estudos correlatos, pois as incertezas sobre as variáveis sempre estarão presentes, principalmente em grandes aglomerados urbanos como é o caso da RMSP.

O estabelecimento de uma faixa de tendência com limites inferiores e superiores aceitáveis surge como alternativa para flexibilizar o planejamento dos sistemas de abastecimento de água dessas áreas, em especial da RMSP.

Os horizontes típicos de planejamento para expansão dos sistemas de abastecimento de água podem variar de acordo com as especificidades dos projetos. De maneira geral, se considera para sistemas de menor porte, o alcance do projeto entre 8 a 12 anos, com uma média de 10 anos. Para sistemas de abastecimento de maior porte, na fase de concepção, recomenda-se a avaliação de diferentes opções para quais se desenvolvem estudos econômico-financeiros com vistas a estabelecer o melhor desempenho financeiro, tomando-se como referência o custo marginal.

Logo a alternativa selecionada dentre as opções consideradas seria aquela que apresentasse o menor custo marginal (HELLER e PÁDUA, 2006).

O planejamento de um sistema de abastecimento de água fundamenta-se, basicamente, no binômio demanda – oferta. Logo, alterações no cenário político-administrativo e econômico do País influenciam significativamente a política de infra-estrutura, dentre outras, impactando na oferta assim como na demanda por serviços elementares (LOW-BEER, 2000).

No Brasil, as alterações nos cenários político e econômico definiram diferentes posturas do Estado em relação às políticas públicas, tanto pela conduta estatal como pelo modo de financiamento de investimentos no setor, provocando impacto significativo na maneira de planejar e de implementar os sistemas de abastecimento de água e esgoto sanitário.

LOW-BEER (2000), descreve a trajetória das políticas públicas no âmbito nacional:

(...) “ é possível reconhecer dois momentos distintos: (i) o Estado desenvolvimentista (da década de 1930) ao final da década de 1960; seguido por (ii) um período marcado por uma atuação intervencionista, encaminhando — segundo alguns e veementemente refutado por outros — em direção a um Estado com características neo-liberais (década de 1990) ”.

Na década de 1960, o Estado se caracterizou como regulador, investindo na centralização e regulamentação dos serviços de utilidade pública e criando instâncias de planejamento e coordenação tais como o Banco Nacional de Habitação – BNH e o Serviço Federal de Habitação e Urbanismo – SERFHAU, que representavam um novo momento na gestão das questões urbanas, especialmente para a habitação e saneamento. Naquela ocasião foi lançado o Plano Nacional de Saneamento – PLANASA, com destaque para o surgimento de um corpo burocrático capacitado para o planejamento e para gestão setorial.

As funções de planejamento, investimento e de responsabilidade pelas questões sociais fundamentadas na universalização dos sistemas de infra-estrutura, levaram a um modelo concentrador de renda que se exauriu na década seguinte de 1970, o que forçou uma mudança de direção, focando uma política capitalista voltada para exportação, com crescente endividamento. O setor de saneamento passou a receber investimento com recursos do Fundo de Garantia por Tempo de Serviço – FGTS.

Na década de 1980 se caracterizou o fracasso do modelo desenvolvimentista, com brutal perda da capacidade financeira do Estado e a consequente redução dos investimentos em praticamente todos os setores da economia, expressivo aumento da dívida externa e elevação do dólar e abrupto crescimento da inflação. Esse cenário provocou uma crise nas empresas estatais de saneamento, uma vez que ficaram sem linhas de financiamento para continuidade dos investimentos. A Caixa Econômica Federal passou a ser o agente financiador, ao mesmo tempo em que o setor passou a ser supervisionado por uma sucessão de diversos ministérios.

A década de 1990 foi caracterizada em seu período inicial por uma elevada concentração de renda, aumento do desemprego e perda do poder aquisitivo da classe média. O Estado reduziu seu papel como provedor das necessidades sociais; prorizou a regulação assim como a presença de novos atores nessa tarefa; maior autonomia foi dada aos estados e municípios nos assuntos relativos ao desenvolvimento urbano e questões setoriais, dentre elas o saneamento. O governo federal passou a definir as grandes linhas de ação e as diretrizes de regulação e controle dessas políticas.

A redução de investimentos resultou na deterioração da estrutura existente e a consequente degradação do saneamento e a queda da qualidade dos serviços de saúde pública, resultando em aumento da taxa de mortalidade infantil. Para programas de investimentos de maior porte, o setor de saneamento passou a receber recursos de organismos internacionais tais como o Banco Interamericano de Desenvolvimento BID e o Banco Mundial – BIRD.

A região metropolitana de São Paulo já recebeu recursos desses organismos para investimentos em saneamento. Todavia, o FGTS ainda é o principal provedor de recursos para o saneamento, porém, dependente do nível de atividade econômica e seu impacto sobre o emprego e endividamento público (LOW BEER, 2000).

As demandas a serem atendidas pelos sistemas de abastecimento se constituem de uma das variáveis mais difíceis de serem previstas, pois são dependentes da população — fixa e flutuante — a ser atendida, do padrão de vida dessa população, das características da localidade a ser atendida (cidades turísticas), da presença de indústrias potencialmente consumidoras de água, do nível de perdas do sistema de abastecimento, das condições climáticas, etc.

Além disso, fatores demográficos podem influenciar e alterar significativamente a demanda visto que uma dada região, dependendo de sua atividade econômica, pode atrair pessoas em busca de novas oportunidades de trabalho com consequente transferência de domicílio. Essas transferências provocam demandas por água potável, além de pressionarem por outros serviços básicos nas localidades em que se fixam.

CARMO (2001), observa que a disponibilidade hídrica per capita está em declínio em virtude do crescimento demográfico e ao aumento da demanda — urbana, industrial ou agrícola. A associação desses fatores leva ao surgimento de previsões catastróficas as quais indicam que a água é um fator capaz de inviabilizar o crescimento demográfico e o desenvolvimento econômico.

Ainda, este mesmo pesquisador, que estudou a distribuição espacial da população e os recursos hídricos, pressupõe que todas as formas de organização social possuem estreita relação com os recursos hídricos; são influenciadas pela água e deixam na mesma marcas que permitem identificar a maneira que estão organizadas.

A Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos Alto Tietê, que corresponde praticamente à Região Metropolitana de São Paulo, expõe uma situação-limite. A enorme concentração populacional permanece em crescimento, notadamente em sua periferia. Um considerável pólo industrial, associado a uma grande concentração populacional, fazem com que haja uma demanda crescente. Esses fatores levaram a super-exploração dos mananciais, que muitas vezes provocaram rodízios de abastecimento de água (CARMO, 2001).

Em virtude das características e das condições críticas da região metropolitana de São Paulo, verifica-se um razoável volume de estudos sobre a gestão e o aproveitamento dos recursos hídricos para abastecimento de água dessa região.

O Plano Estadual de Recursos Hídricos 2004/2007, foi elaborado com objetivo de fornecer diretrizes para atenuar as situações de escassez hídrica, recuperar e preservar a qualidade dos recursos hídricos, promover e incentivar a utilização racional das águas, propondo um programa de investimentos considerando vários cenários (Departamento de Águas e Energia Elétrica do estado de São Paulo – DAEE 2006).

Alguns dos principais problemas apontados no estudo foram: cobertura de coleta de esgotos insuficiente; baixo índice de tratamento de esgotos; grandes áreas suscetíveis à inundação, bem como escorregamentos de encostas devidos ao uso inadequado do solo; cerca de 70% dos municípios da UGRHI 06 necessitam de intervenções para adequar suas disposições de resíduos sólidos e também, quando for o caso, recuperação de antigo(s) lixão(ões) e solução para os passivos ambientais existentes. A relação entre as demandas globais e as disponibilidades hídricas superficiais (dentro dos limites da UGRHI 06) expressa pela vazão mínima $Q_{7,10}$ é da ordem de 4,30, evidenciando o nível crítico que se encontra o suprimento das demandas da região, (DAEE, 2006).

Para realização dos investimentos de acordo com os cenários considerados, os recursos financeiros que estariam disponíveis conforme a seguir: para o cenário desejável deveriam ser investidos R\$ 979.332.000,00; seria recomendado o investimento de, no mínimo,

R\$ 949.082.000,00; provavelmente, porém, seria possível investir apenas 434.646.000,00 (DAEE, 2006).

Portanto, além das condições desfavoráveis sob o ponto de vista hídrico, observa-se também que, há um descompasso entre os recursos financeiros necessários e os recursos financeiros que seriam disponibilizados para realização dos investimentos. A associação dos (dois) fatores anteriormente descritos apenas agrava a situação de abastecimento da região, pois impõe pressão ainda maior sobre os recursos hídricos, conforme citado por CARMO (2001).

A Agência Nacional de Águas – ANA (2009), publicou um amplo trabalho de diagnóstico e planejamento focado no abastecimento urbano de água. O trabalho — apresentado na forma de ATLAS - Regiões Metropolitanas — incluiu 23 regiões metropolitanas do Brasil. O estudo abrange uma população de aproximadamente 73 milhões de habitantes e compreende os seguintes componentes da área de produção dos sistemas urbanos de abastecimento: captação da água bruta, adução da água bruta e tratamento da água bruta; os sistemas de reservação e de distribuição de água potável não foram abordados nos estudos realizados pela Agência Nacional de Águas. O horizonte de planejamento se estende até o ano de 2025.

O estudo destaca que, apesar de representarem uma parcela ínfima do território brasileiro, as regiões metropolitanas juntas reúnem aproximadamente 28% da população urbana brasileira. Dessa forma, a ampliação abrupta das populações urbanas representa, além da mudança de grau ou de estatística, uma alteração da natureza da questão que deve ser enfrentada: por um lado, os grandes aglomerados urbanos concentram importantes segmentos econômicos; por outro lado, as regiões metropolitanas possuem grande parcela dos problemas urbanos. O completo entendimento gramático ainda está por ser dominado assim como suas interações são de difícil compreensão (ANA, 2009).

Uma vez que a demanda está diretamente ligada à população a ser atendida pelo sistema de abastecimento, é fundamental buscar boas metodologias para previsão de crescimento populacional que disponham de um bom grau de aderência entre população prevista e observada, para que as obras a serem projetadas e implantadas sejam compatíveis com a realidade da população (quantidade) presente, e o mais próximo possível da população futura.

Para elaboração da previsão populacional há diversos tipos de métodos que podem ser empregados. Basicamente, são utilizados os seguintes modelos para projeção populacional:

- crescimento aritmético;
- crescimento geométrico;
- regressão multiplicativa;
- taxa decrescente de crescimento;
- curva logística;
- comparação gráfica entre cidades similares ;
- método da razão e correlação ;
- previsão com base nos empregos.

Os métodos destacados a seguir são apresentados de forma mais detalhada em virtude de serem comumente aplicados para projeções de crescimento populacional em estudos voltados aos sistemas de abastecimento urbano de água.

a) A projeção do crescimento da população pode ser feita por meio da adoção de uma taxa de constante de aumento. O método é utilizado para previsões de menor prazo e o ajuste da curva pode ser feito por análise de regressão. As equações mostradas a seguir são utilizadas quando se emprega o método de crescimento aritmético.

A equação da projeção é:

$$P_t = P_0 + K_a \cdot (t - t_0) \quad (\text{eq. 2.1})$$

A equação da taxa constante de crescimento é:

$$\frac{dP}{dt} = K_a \quad (\text{eq. 2.2})$$

Quando não se efetua a análise de regressão, o coeficiente angular K_a pode ser expresso de acordo com a seguinte equação:

$$K_a = \frac{P_2 - P_0}{t_2 - t_0} \quad (\text{eq 2.3})$$

Os resultados obtidos quando mostrados em gráfico apresentam a forma linear conforme a figura 2.4 a seguir:

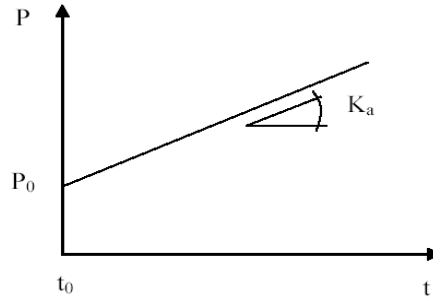


Figura 2.4 – Resultados da previsão de crescimento populacional linear.

b) Quando a projeção de crescimento populacional considera aumento geométrico e, a população é considerada a cada instante t , podem ser utilizadas as equações mostradas a seguir. O ajuste da curva pode ser feito por análise de regressão.

A equação da projeção é:

$$P_t = P_0 \cdot e^{K_g (t - t_0)} \quad (\text{eq. 2.4})$$

ou

$$P_t = P_0 \cdot (1 + i)^{(t-t_0)} \quad (\text{eq. 2.5})$$

A equação da taxa geométrica de crescimento é:

$$\frac{dP}{dt} = K_g \cdot P \quad (\text{eq. 2.6})$$

Quando não se efetua a análise de regressão, os coeficientes K_g e i podem ser expressos de acordo com as seguintes equações:

$$K_g = \frac{\ln P_2 - \ln P_0}{t_2 - t_0} \quad (\text{eq. 2.7})$$

ou

$$i = e^{K_g} - 1 \quad (\text{eq. 2.8})$$

Os resultados obtidos quando mostrados em gráfico apresentam a forma exponencial conforme a figura 2.5 a seguir:

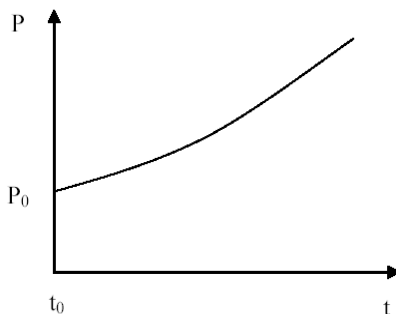


Figura 2.5 – Resultados da previsão de crescimento populacional geométrico.

c) Para projeções de crescimento populacional em que se considera que já houve uma determinada ocupação, assume-se a premissa de que a cidade cresce, porém, à uma taxa menor de crescimento. A população tende a um valor de indivíduos assintoticamente a um valor de saturação. Os parâmetros podem ser estimados por regressão não linear. As equações apresentadas a seguir explicitam o método projeção de crescimento logarítmico:

A equação da projeção é:

$$P_t = P_0 + (P_s - P_0) \cdot [1 - e^{-K_d(t - t_0)}] \quad (\text{eq. 2.9})$$

A equação da taxa logarítmica de crescimento é:

$$\frac{dP}{dt} = K_d \cdot (P_s - P) \quad (\text{eq. 2.10})$$

Quando não se efetua a análise de regressão, o coeficiente P_s e K_d podem ser expressos de acordo com as seguintes equações:

$$P_s = \frac{2 \cdot P_0 \cdot P_1 \cdot P_2 - P_1^2 \cdot (P_0 + P_2)}{(P_0 \cdot P_2 - P_1^2)} \quad (\text{eq. 2.11})$$

$$K_d = \frac{-\ln[(P_s - P_2)/(P_s - P_0)]}{t_2 - t_0} \quad (\text{eq. 2.12})$$

Os resultados obtidos quando mostrados em gráfico apresentam a forma logarítmica conforme a figura 2.6 a seguir:

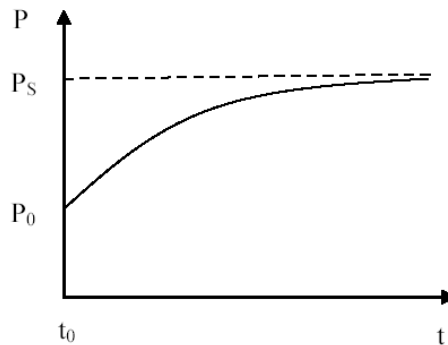


Figura 2.6 – Resultados da previsão de crescimento populacional logarítmico.

d) Outro método para projeção do crescimento populacional busca aproximar o aumento da população associado a uma relação matemática a qual estabelece uma curva “S” denominada logística. A população tende assintoticamente a um valor de saturação. Os parâmetros podem ser estimados por regressão não linear.

As condições necessárias para aplicação do método de projeção descrito são: $P_0 < P_1 < P_2$ e $P_0 \cdot P_2 < P_1^2$. O ponto de inflexão na curva ocorre no tempo $[t_0 - \ln(c)/K_d]$ e com $P_t = P_s/2$. Para aplicação das equações, os dados devem ser equidistantes no tempo. As equações apresentadas a seguir explicitam o método projeção de crescimento logístico:

A equação da projeção é:

$$P_t = \frac{P_s}{1 + c \cdot e^{K_d(t - t_0)}} \quad (\text{eq. 2.13})$$

A equação da taxa logística de crescimento é:

$$\frac{dP}{dt} = K_1 \cdot P \cdot \left(\frac{P_s - P}{P_s} \right) \quad (\text{eq. 2.14})$$

Quando não se efetua a análise de regressão, os coeficientes P_s , c e K_1 podem ser expressos de acordo com as seguintes equações:

$$P_s = \frac{2 \cdot P_0 \cdot P_1 \cdot P_2 - P_1^2 \cdot (P_0 + P_2)}{(P_0 \cdot P_2 - P_1^2)} \quad (\text{eq. 2.15})$$

$$c = (P_s - P_0)/P_0$$

$$K_1 = \frac{1}{t_2 - t_1} \cdot \ln \left[\frac{P_0 \cdot (P_s - P_1)}{P_1 \cdot (P_s - P_0)} \right] \quad (\text{eq. 2.16})$$

Os resultados obtidos quando mostrados em gráfico apresentam a forma logística conforme a figura 2.7 a seguir:

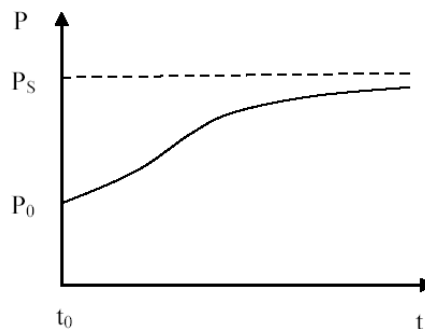


Figura 2.7 – Resultados da previsão de crescimento populacional logístico.

As variáveis e parâmetros mostrados nas equações descritas anteriormente têm o seguinte significado:

dp/dt = taxa de crescimento da população em função do tempo;

p_0, p_1, p_2 = populações nos anos t_0, t_1, t_2 (as fórmulas para taxa decrescente e crescimento logístico exigem valores equidistantes, caso não sejam baseadas na análise da regressão) hab;

p_t = população estimada no ano t (hab); p_s população de saturação (hab);

k_a, k_g, k_d, k_l, i, c = coeficientes (a obtenção dos coeficientes pela análise de regressão é preferível, já que pode utilizar toda a série de dados existentes, e não apenas p_0, p_1, p_2).

Fonte: adaptado parcialmente de QASIM (1985) apud HELLER e PÁDUA (2006).

e) O método da comparação envolve a projeção gráfica dos dados históricos da população em estudo. Os dados populacionais de outras cidades similares, porém maiores, são plotados de maneira que as curvas sejam coincidentes no valor atual da população da cidade em estudo. Estas curvas são utilizadas como referências na projeção futura da cidade em questão.

f) No método da razão e correlação assume-se que a população da cidade em estudo possui a mesma tendência da região (física ou política) na qual se encontra.

Com base nos registros censitários a razão “população da cidade/população da região é calculada e projetada para os anos futuros. A população da cidade é obtida a partir da projeção populacional da região (efetuada em nível de planejamento por outro órgão) e da razão projetada.

g) O método de previsão de empregos e serviços de utilidades estima a população utilizando-se a previsão de empregos (efetuada por outro órgão). Com base nos dados passados da população e pessoas empregadas, calcula-se a relação “emprego/população”, a qual é projetada para os anos futuros. A população da cidade é obtida a partir da projeção do número de empregos da cidade. O procedimento é similar ao método da razão. Pode-se adotar a mesma metodologia a partir da previsão de serviços de utilidade tais como: eletricidade, água, telefone etc. As companhias de serviços de utilidade normalmente efetuam estudos e projeções da expansão de seus serviços com relativa confiabilidade (QASIM, 1985).

As projeções de população para longo prazo provavelmente são as que apresentam os maiores desafios aos planejadores. Dependendo da dinâmica local podem ocorrer alterações significativas com impactos importantes sobre as populações projetadas. O Desenvolvimento Global dos Recursos Hídricos das Bacias do Alto Tietê e Cubatão – Plano Diretor de Obras – Convênio HIBRACE (1968) foi um importante estudo que teve como objetivo estabelecer um plano de obras até 2000, compreendendo um período de planejamento de 32 anos (CAMPOS, 2005). Por ser um período longo, seria impossível estabelecer

“uma previsão exata dos inúmeros fatores que deverão influir sobre o desenvolvimento das demandas hídricas, ou antecipar a ocorrência de possíveis inovações tecnológicas ou científicas que venham a ampliar consideravelmente a gama de alternativas técnicas para assegurar os correspondentes suprimentos”.

O trabalho foi elaborado com o propósito de disponibilizar uma ferramenta que se tornasse um elemento de coordenação básico para uma estratégia de desenvolvimento, considerando a água como um recurso natural imprescindível ao ser humano. Dessa forma, exigia tomada de decisão com grande antecedência para preservação dos recursos hídricos. O estudo de projeção populacional delimitou a área edificada da Grande São Paulo e a evolução da população nessa área, dando uma característica dinâmica à Metrópole. Foram utilizados métodos que consideraram tanto o crescimento da população quanto da área edificada, incorporando novos núcleos, sem definir uma área pré-determinada.

A figura 2.8 apresenta a projeção populacional prevista confrontada com os dados dos Censos IBGE. Os dados demonstram que a projeção realizada, apesar do longo período considerado, apresentou uma boa aderência em relação aos dados observados nos censos do IBGE, indicando que o planejamento de investimentos sugerido para atendimento da demanda foi proposto com boa precisão, pelo menos no que diz respeito à população a ser atendida.

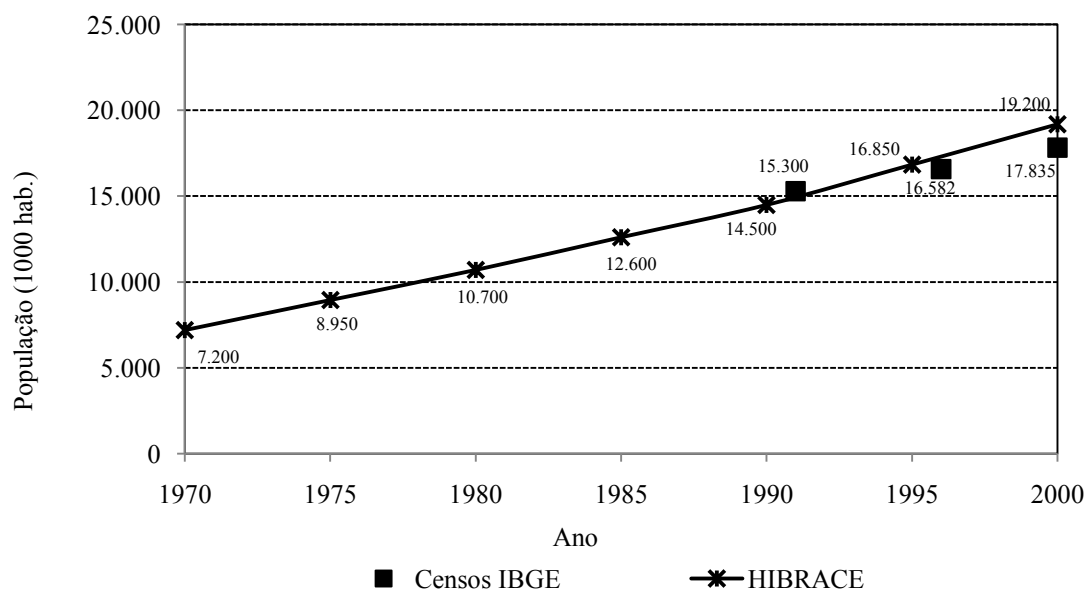


Figura 2.8 – Evolução populacional – HIBRACE e Censo IBGE
Fonte: CAMPOS (2005)

A projeção de demanda para longo prazo se constitui uma tarefa cujo nível de incerteza é alto em muitos casos. A previsão de crescimento populacional e de demanda requer a

aceitação de que pode haver distorção entre os valores projetados e os valores observados. Esse grau de incerteza é tanto menor quanto maior for o estágio de desenvolvimento da população. Assim, projeções mais previsíveis são esperadas para localidades onde há uma boa cobertura pelo sistema de abastecimento de água.

Comunidades em processo de desenvolvimento e com indicadores sociais e econômicos regulares ou baixos podem apresentar alterações significativas no padrão de consumo per capita, assim como induzir ou atrair novos habitantes oriundos de outras localidades em busca de oportunidades. Nessas circunstâncias, as projeções de população e de demanda, apresentarão discrepâncias maiores, sendo necessário corrigir o planejamento para buscar o equilíbrio na relação oferta-demanda.

Mesmo em sociedades mais desenvolvidas observam-se discrepâncias entre projeções e valores observados. Além disso, dependendo da metodologia empregada, os valores projetados resultam díspares.

A figura 2.9 apresenta os dados relativos às projeções e observações da demanda feitas para a região metropolitana de Washington, D.C., EUA. Observa-se uma tendência de que, quanto mais antiga for a previsão, maior será o desvio em relação aos valores observados. Essa constatação sugere a necessidade de, periodicamente, realizar a atualização das projeções.

Tal procedimento daria uma característica mais dinâmica ao planejamento, permitindo identificar as possíveis alterações nos cenários adotados nas projeções, por intermédio da retroalimentação dos dados, e indicar correções a serem implantadas no planejamento dos investimentos.

A figura 2.9 demonstra que as projeções de demanda são realizadas com periodicidade, em intervalos regulares de cinco anos em média. As alterações no padrão de consumo e na demanda podem ser detectadas em função das eventuais modificações na atividade local. As projeções para longo prazo podem ser refinadas com aprimoramento das metodologias empregadas, tendo como referência, evidentemente, a relação dados projetados e dados observados.

A figura 2.10 mostra a população de acordo com censo demográfico realizado pelo Bureau de Censo dos Estados Unidos em 2004 bem como a projeção dessa população para o ano de 2025 de acordo com KAME'ENUI et al (2005). De maneira análoga à previsão da demanda, a previsão da população futura também pode conter distorções que serão observadas ao longo dos

anos. Logo é fundamental que sejam revistas as projeções tal como para a demanda, com vistas a obter valores mais próximos da realidade, pois as projeções numéricas nem sempre incorporam a dinâmica do desenvolvimento econômico e social das cidades ou das regiões metropolitanas como no exemplo apresentado nas figuras 2.9 e 2.10.

A adoção de possíveis cenários futuros introduz flexibilidade e melhores possibilidades de acerto nas projeções, pois levam em consideração as eventuais melhorias de desempenho operacional do sistema de abastecimento (redução de perdas, por exemplo) e eventuais modificações na atividade local, para as quais o sistema deve estar preparado para o adequado atendimento da demanda resultante.

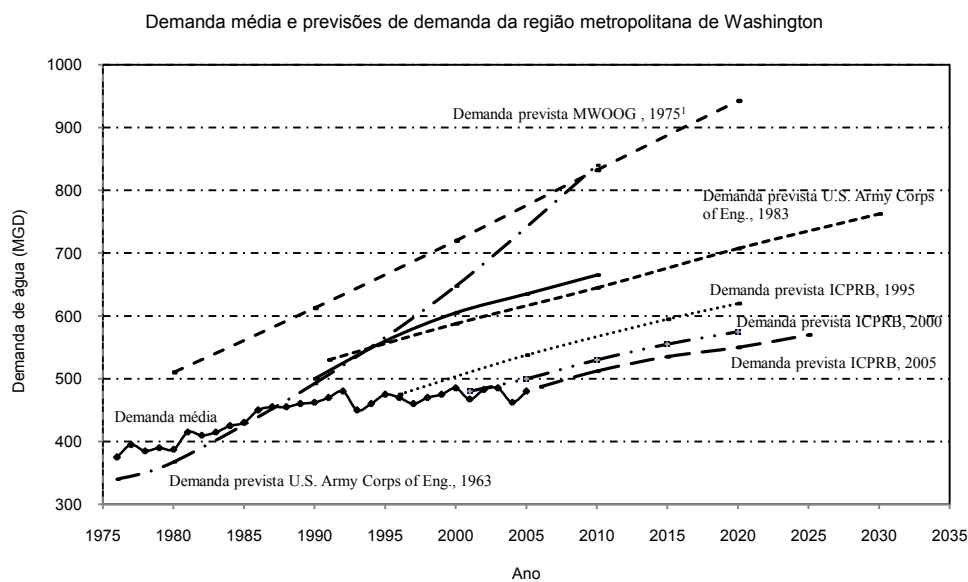


Figura 2.9 – Demanda média, demanda projetada da região metropolitana de Washington D.C.
Fonte: HAGEN et al. (2005)

Observação: as siglas constantes no gráfico se referem às seguintes instituições e unidades:

MWOOG: Metropolitan Washington Council of Governments.

ICPRB: Interstate Commission on the Potomac River Basin.

MGD: Demanda expressa em milhões de galões por dia.

U.S. Army Corps of Eng: United States Army Corps of Engineers.

¹ Como citado em U.S. Army Corps of Engineers, 1975.

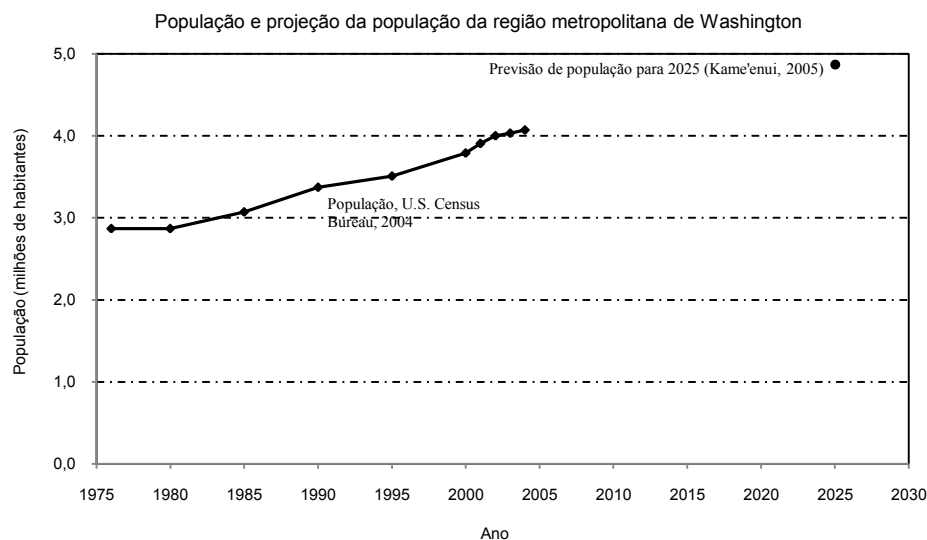


Figura 2.10 – População e projeção da população da região metropolitana de Washington D.C.
 Fonte: HAGEN et al. (2005)

As soluções para expansão da capacidade do sistema de abastecimento envolvem o estabelecimento de um planejamento que evite o descompasso entre oferta e demanda de água. Todavia, dependendo do porte do sistema, a manutenção de um adequado nível de abastecimento requer a adoção de um programa continuado de investimentos, uma vez que os custos das obras, de maneira geral, são elevados e podem ser demorados até a efetiva entrada em operação da unidade ou parte constituinte do sistema em implantação ou ampliação.

O estagiamento das obras, a modularização ou etapalização são estratégias adotadas para viabilizar a expansão dos sistemas, adequando o fluxo de caixa das empresas para execução dos investimentos. Assim, o planejamento das obras deve ser definido com base na evolução da demanda e da população a ser atendida, mas, sobretudo, deve ser seguido conforme o cronograma proposto, caso contrário, o nível de atendimento ficará comprometido e, em um dado momento, os investimentos terão que ser realizados, porém, de uma só vez, o que implicará no aporte de mais recursos financeiros, possivelmente, além da capacidade da empresa ou do gestor do sistema. Tal situação colocará em risco a sustentabilidade técnica do sistema de abastecimento, comprometendo o atendimento com água, tanto em quantidade como em qualidade da localidade ou região a ser servida pelo sistema.

Portanto, um adequado planejamento busca evitar, ou pelo menos minimizar o risco da ocorrência de situações que levem a um nível inadequado de atendimento pelo sistema de abastecimento.

Com o objetivo de evidenciar as principais estratégias que foram abordadas nos planos diretores, foi elaborado em 1991 o estudo “Consolidação do Plano Diretor de Abastecimento de Água da Região Metropolitana de São Paulo - RMSP”, realizado pela empresa Figueiredo Ferraz Consultoria e Engenharia de Projeto Ltda., com vistas a garantir o atendimento futuro da demanda projetada, tendo como ponto inicial o ano de 1991. O trabalho teve como premissa fundamental o estabelecimento de projeções do crescimento da população atendida e da demanda, a partir de 1991, em intervalos regulares de 5 anos (quinquênios), cujo horizonte de projeto foi o ano de 2010. Dessa forma, foram avaliados os mananciais disponíveis na RMSP e verificadas as melhores alternativas dentre as quais foi selecionada a de menor custo marginal total. O estudo determinou uma sequência ordenada para realização das obras, sendo que cada etapa teria como meta o atendimento da demanda para um dado ano ou mesmo quinquênio. A tabela 2.1 a seguir apresenta a evolução dos principais parâmetros para os municípios do sistema integrado.

Tabela 2.1 – Evolução dos principais parâmetros para os municípios do sistema integrado da RMSP.

DISCRIMINAÇÃO	ANO				
	1990	1995	2000	2005	2010
População Total (1000 hab)	16.140	17.773	19.284	20.710	22.027
Índice de atendimento (%)	91	92	94	97	97
População atendida (1000 hab)	14.613	16.283	18.150	20.081	21.366
Nº de ligações atendidas (1000 lig)	2.676	2.982	3.324	3.678	3.913
Demanda média com déficit operacional (m³/s)	50,81	53,33	59,83	68,56	79,92
Déficit operacional (m³/s)	1,63	1,09	0,54	-	-
Demanda média (m³/s)	49,18	52,24	58,83	68,56	79,92
Índice de perdas (%)	26,6	25,7	25,8	25,8	25,8
Consumo médio (m³/s)	36,10	38,81	43,65	50,87	59,30
Consumo médio por ligação (m³/lig. x mês)	34,97	33,73	34,04	35,85	39,28

Fonte: Consolidação do Plano Diretor de Abastecimento de Água da RMSP (1991)
Figueiredo Ferraz Consultoria e Engenharia de Projeto Ltda.

O trabalho apresenta a situação do sistema integrado de abastecimento da RMSP em 4 quinquênios: 1991-1995, 1996-2000, 2001-2005 e 2006-2010, sendo que em cada um desses quinquênios foram previstas obras no sistema integrado desde a execução de reservatórios de regularização de vazão em mananciais que ainda dispunham de capacidade e condições de aproveitamento, que poderiam fornecer vazão de 28,22 m³/s, bem como construção ou ampliação de estações de tratamento de água, reservação e adução de água tratada. Os mananciais considerados no estudo foram: Baixo Capivari e Médio Monos, Itatinga, Itapanhaú, Biritiba e Paraitinga, Rosas, Billings e Cabuçu (Barrocada). As possíveis combinações entre os mananciais considerados para futuro aproveitamento resultaram em 19 seqüências alternativas, das quais 3 alternativas foram consideradas como mais viáveis para as quais foram realizadas análises técnicas e econômicas. A análise econômico-financeira foi realizada considerando o custo marginal de cada alternativa selecionada.

Os dados indicaram que os custos marginais totais das três alternativas eram muito próximos (alternativa 1 – 0,61894 BTN²/m³; alternativa 5 – 0,58843 BTN/m³; alternativa 14 – 0,63234 BTN/m³). A alternativa 5 apresentou o menor custo marginal sendo adotada como a melhor solução para ampliação do sistema integrado de abastecimento da RMSP. O custo total estimado das obras previstas para alternativa 5 foi 4.549.849.000 BTN ou US\$ 2.623.650.000,00 que deveriam ser investidos no período de 1991 a 2010. Observou-se que houve um estagiamento das obras em 10 etapas propostas em uma seqüência ordenada, partindo do ano 1991 com obras nos mananciais Taiaçupeba e Jundiaí e terminando coma segunda etapa da Billings em 2010 e outros mananciais (mais distantes), que devem ser pesquisados após a total utilização dos mananciais já considerados, sendo que esses últimos deverão fornecer ao sistema integrado de abastecimento 3,14 m³/s no ano de 2010.

A magnitude dos investimentos necessários para atendimento da demanda implicou na execução das obras em estágios, procurando manter o equilíbrio na relação oferta-demanda, bem como evitar a ociosidade dos diversos componentes do sistema. Além disso, as projeções de demanda e da população atendida podem ser aferidas a cada quinquênio, permitindo que ajustes possam ser incorporados no planejamento, tornando o Plano Diretor mais dinâmico e sensível a possíveis alterações nas projeções.

² BTN: *Bonus do Tesouro Nacional*

A figura 2.11 apresenta a sequência de execução das obras de aproveitamento dos mananciais estudados e as vazões médias acrescentadas ao longo do horizonte de planejamento até o ano de 2010. A sequência foi estabelecida para alternativa 5 que apresentou o menor custo marginal total. Como resultado dessa estratégia, pode ser possível identificar a postergação ou antecipação das obras mediante a comparação dos dados previstos e os observados para o quinquênio subsequente (Consolidação do Plano Diretor de Abastecimento de Água da RMSP, (1991)). A estratégia proposta para atendimento da demanda somente terá êxito se a execução das obras for rigorosamente seguida conforme o cronograma estabelecido, pois o estudo procurou evitar a execução de obras que viessem a operar de forma ociosa quando efetivada a implantação das mesmas. Logo, eventuais atrasos podem implicar na impossibilidade (risco) do contínuo e adequado abastecimento. Isso requer um programa contínuo de execução de obras ao longo do horizonte de planejamento, sendo necessário para tanto compatibilizar o fluxo de caixa e disponibilizar os recursos financeiros com vistas a garantir a continuidade do programa de execução das obras propostas no ritmo definido no cronograma proposto.

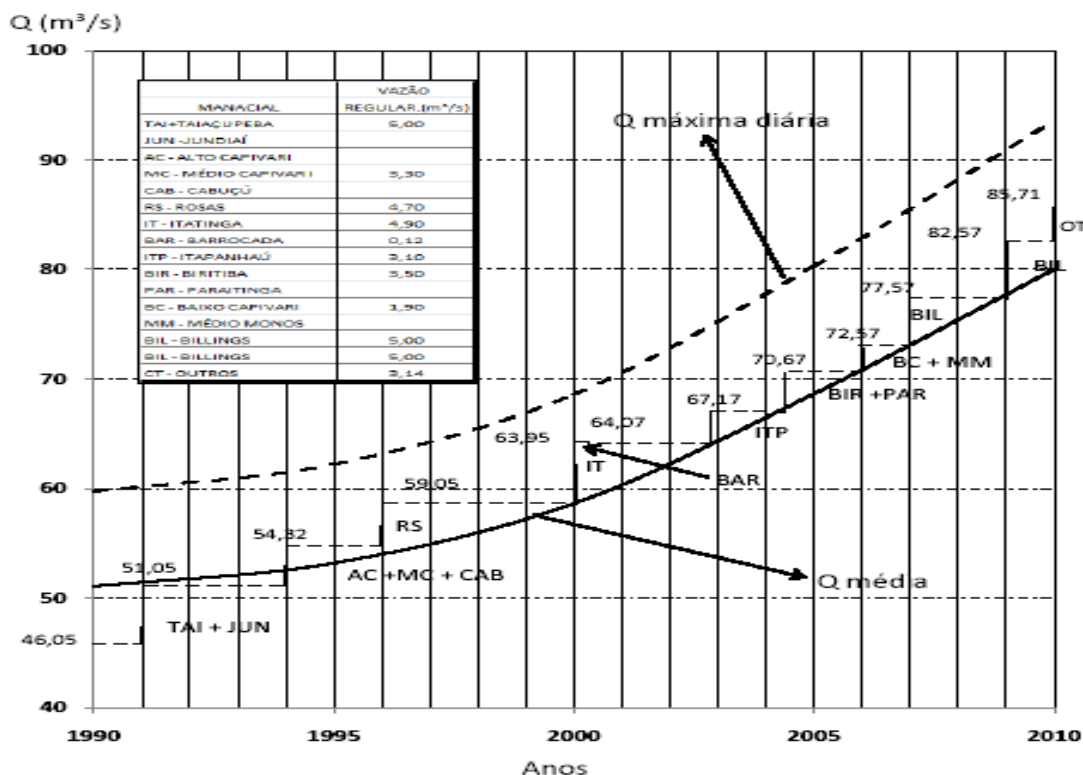


Figura – 2.11 Sequência de implantação dos mananciais – Alternativa 5.

Fonte: Consolidação do Plano Diretor de Abastecimento de Água da RMSP (1991)
Figueiredo Ferraz Consultoria e Engenharia de Projeto Ltda.

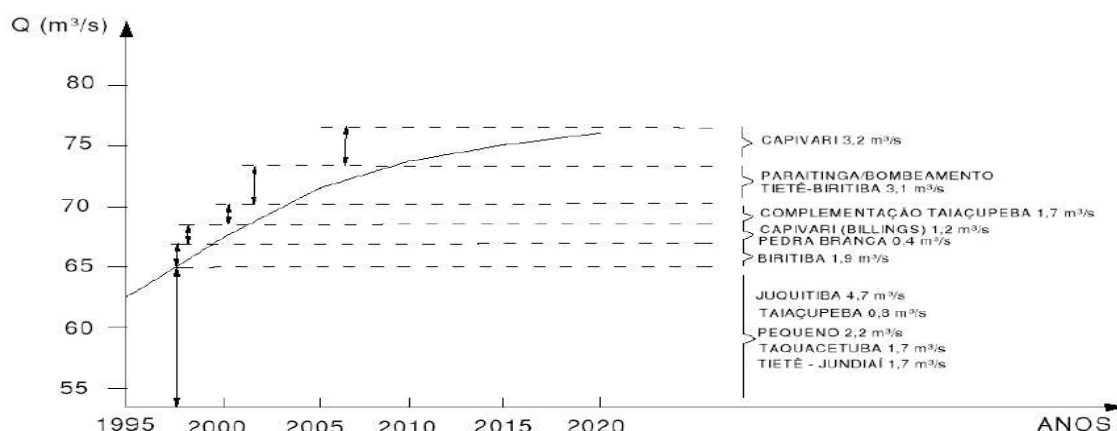
O Consórcio HIDROPLAN constituído pelas empresas de consultoria COPLASA, ETEP, FIGUEIREDO FERRAZ, HIDROCONSULT e MAUBERTEC apresentou em 1995 os estudos para o DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica, órgão da Secretaria de Recursos Hídricos, Saneamento e Obras do Governo do Estado de São Paulo, com vistas a estabelecer o Plano Integrado de Aproveitamento e Controle dos Recursos Hídricos das Bacias do Alto Tietê, Piracicaba e Baixada Santista.

Pode-se constatar a importância do Plano Integrado ao se considerar a extensão das bacias, suas complexidades bem como a população de 20 milhões de pessoas que nelas residem, e ainda, a existência do maior parque industrial da América Latina.

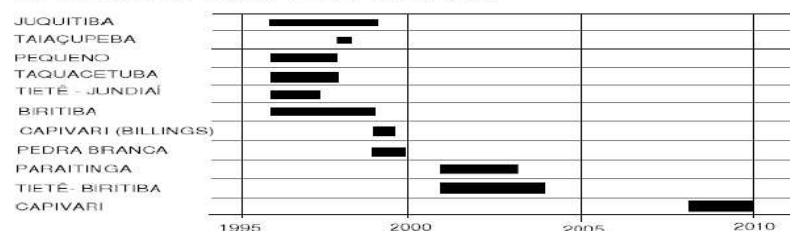
Em relação ao abastecimento de água o Plano Integrado propôs alternativas para atendimento da demanda por intermédio da realização de obras e, também, alternativas para atuação sobre as demandas (HIDROPLAN, 1995).

A demanda de água a ser atendida pelo sistema público foi projetada para o ano 2020, tendo como base o crescimento da população, referenciado no censo de 1991, e o consumo per capita efetivo de 254 L/hab.dia. Dessa forma, foi estabelecido um cenário tendencial no qual se pressupõe o mesmo padrão atual de consumo de água e que não haverá significativa alteração de procedimentos e práticas em vigor no gerenciamento dos recursos hídricos, bem como no desempenho dos sistemas de abastecimento.

São apresentadas na figura 2.12 a evolução e atendimento da demanda ao longo do período de planejamento.



CRONOGRAMA DE OBRAS



CENÁRIO	1995	2000	2005	2010	2015	2020
TENDENCIAL	62,3	67,5	71,5	73,5	75,1	76,1

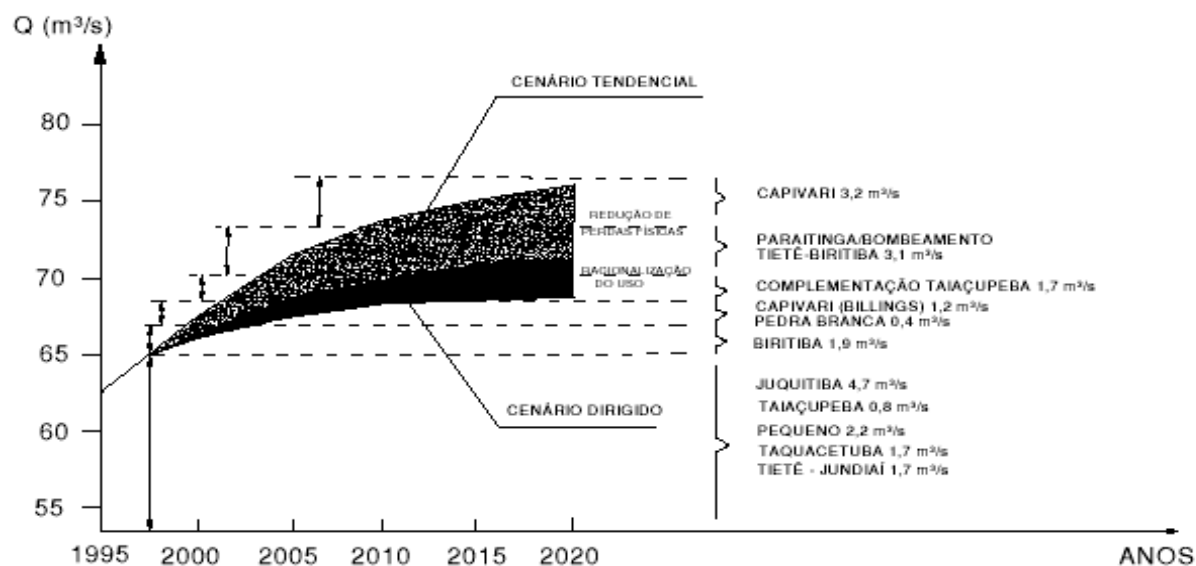
Demandas médias nas captações (m³/s) - Sistema Integrado e Sistemas Isolados

Figura 2.12 - Evolução e atendimento da demanda ao longo do período de planejamento – cenário tendencial.

Fonte: Consórcio HIDROPLAN (1995)

Outra hipótese considerada no Plano Integrado foi a consolidação do Plano Estadual de Recursos Hídricos, por intermédio dos instrumentos que buscam a racionalização do uso das águas. Sendo assim, o estudo abordou um cenário dirigido no qual foi considerada a possibilidade de redução progressiva das perdas físicas de 20% em 1995 para 15% em 2020, que resultará em uma redução de 4,4 m³/s, correspondente a 6% da vazão produzida em 2020.

Como resultados de ações não estruturais, foram consideradas possíveis reduções de consumo em virtude da racionalização nas categorias de consumidores domésticos e industriais. Os estudos concluíram que será atingida uma redução de 2,6 m³/s em 2020. A figura 2.13 apresenta a evolução dos cenários tendencial e dirigido durante o período de planejamento até o ano 2020. Por se tratar de planejamento de longo prazo onde há inúmeras variáveis intervenientes, cujo comportamento em muitos casos não é conhecido, pode-se esperar que as demandas previstas para fim de plano tenham valores discrepantes dos previamente estimados.



CENÁRIO	1995	2000	2005	2010	2015	2020
TENDENCIAL	62,3	67,5	71,5	73,5	75,1	76,1
DIRIGIDO Só recuperação de perdas	62,3	66,6	69,0	70,0	70,8	71,7
DIRIGIDO Perdas físicas mais racionalização do uso	62,3	66,3	68,1	68,5	68,8	69,1

Demandas médias nas captações (m³/s) - Sistema Integrado e Sisitemas Isolados

Figura 2.13 - Evolução dos cenários tendencial e dirigido ao longo do período de planeamento.

Fonte: Consórcio HIDROPLAN (1995)

Logo, o gestor do sistema deve ter condições de aferir as previsões e dispor de alternativas para o atendimento da demanda, principalmente, se ocorrer desvio no sentido de acréscimo da mesma em relação à prevista.

É fundamental que haja disponibilidade de flexibilidade na implantação de sistemas produtores, e também proceder de forma sistemática o balanceamento geográfico da oferta de água e os condicionantes sócio-políticos-ambientais que influenciam a exploração dos mananciais. Para essas situações o conceito de “Momentos de Decisão” pode ser adequadamente empregado: são ocasiões previamente estabelecidas em que é aferida a posição da demanda, bem a tendência de seu futuro desenvolvimento.

A aferição deve indicar a eventual necessidade de se alterar o planejamento das obras e das ações não estruturais, indicando o novo rumo a ser seguido.

Para o caso da bacia do Alto Tietê, considerado o cenário tendencial, o estudo sugeriu haver boa aderência às previsões adotadas no curto e médio prazos (2005), em virtude dos componentes inerciais envolvidos no estabelecimento da curva de demanda. O estudo propôs uma primeira aferição após a divulgação dos resultados do Censo Demográfico e Sócio-Econômico do ano 2000, que permitiria a avaliação das novas tendências de crescimento populacional e sua distribuição espacial. Essa ocasião corresponderia ao primeiro momento de decisão.

As ações não estruturais e o controle de perdas físicas nos sistemas de abastecimento público também seriam aferidos com vistas a averiguar a efetividade das ações voltadas a esses tópicos. O estudo indicou que as outras aferições seriam realizadas nas datas censitárias de 2010 e 2020 (Consórcio HIDROPLAN, 1995).

Porém, devido ao dinamismo da região onde se inserem as bacias hidrográficas estudadas, seria mais adequado estabelecer aferições intermediárias entre as datas censitárias para detectar possíveis alterações no crescimento, principalmente da demanda e da população e sua distribuição espacial, e assim corrigir as eventuais distorções eventualmente constatadas.

O estudo sugeriu soluções para o caso de não se verificar redução do índice de perdas físicas e pouca eficácia das ações não estruturais e, ao mesmo tempo, aumento sensível da demanda, resultando num afastamento da curva de demanda do cenário tendencial.

A curva de demanda (hipotética) prevista indica um limite acima do qual haveria um crescimento exponencial do binômio população – cota per capita, fora de qualquer contexto na época da elaboração dos estudos.

Para o caso da ocorrência hipotética de afastamento da curva de demanda, os estudos indicam soluções a serem implementadas para atendimento da demanda.

A introdução do conceito de momentos de decisão possibilita a correção do planejamento, abrangendo obras e ações não estruturais conhecidas previamente e de custos já estimados, assim o plano proposto tem flexibilidade necessária para apoiar as tomadas de decisão do gestor do sistema de abastecimento (Consórcio HIDROPLAN, 1995).

Para comparar a evolução do índice de perdas admitido no estudo com índices mais recentes, a figura 2.14 apresenta dados obtidos através do SNIS (2007) relativos ao período de

1998 a 2005, que representam o índice médio de perdas na distribuição dos sistemas de abastecimento de água operados pela SABESP.

Os dados se referem a todos os sistemas incluindo a Região Metropolitana de São Paulo, na qual se insere aproximadamente 50% da população atendida pela SABESP, e, portanto, indica que o índice médio de perdas sofre forte influência do desempenho do sistema de abastecimento de água da RMSP.

Os dados sugerem que o nível de perdas está muito acima do índice assumido no estudo elaborado pelo Consórcio HIDROPLAN (1995). Essa distorção deve impor um redirecionamento no planejamento das ações não estruturais uma vez que a eficiência operacional do sistema, notadamente em relação às perdas, de acordo com os dados demonstrados na figura 2.14, é muito inferior à considerada no estudo elaborado pelo Consórcio HIDROPLAN (1995).

Como resultado, caso permaneça a tendência de estabilização do índice de perdas totais em patamar acima de 35%, ocorrerá déficit no atendimento da demanda projetada, independentemente do cenário considerado — tendencial ou dirigido —, pois as projeções feitas tiveram como referência inicial uma perda física de 20% em 1995, cuja evolução seria decrescente ao longo do período de planejamento, sendo que a hipótese assumida para o ano de 2020 seria de uma perda física média de 15%, muito distante ainda da realidade atual.

Destaca-se que, atualmente, as perdas são classificadas em duas categorias: perdas físicas que decorrem de vazamentos existentes — visíveis e não visíveis — no sistema de abastecimento; perdas aparentes que se referem aos volumes entregues ao consumidor final, porém não medidos ou sub-medidos. À soma dessas duas categorias denomina-se perda total.

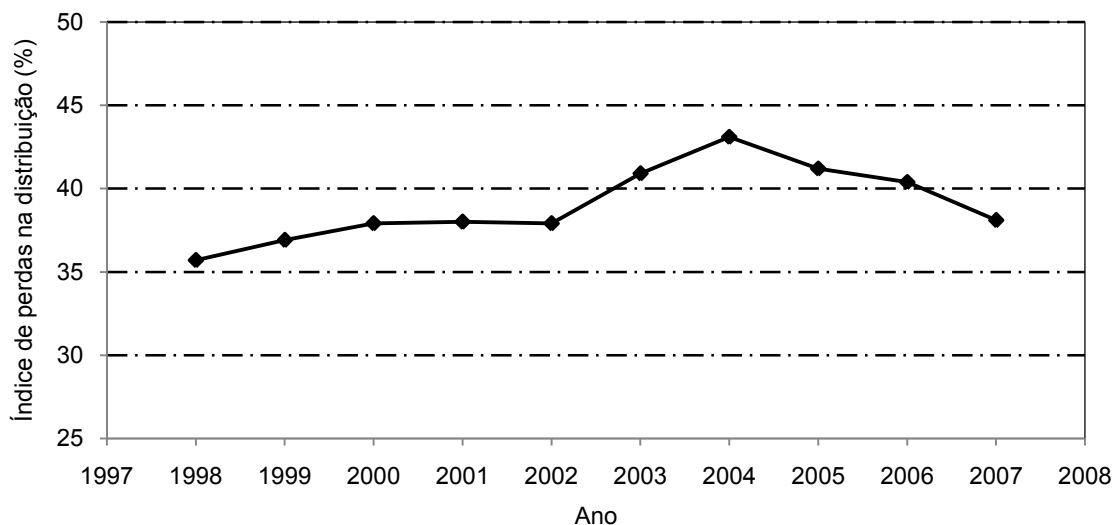


Figura 2.14 – Índice médio de perdas totais na distribuição dos sistemas de abastecimento de água operados pela SABESP.

Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS (2007)

3 – ANÁLISE CRÍTICA DOS FATORES DE RISCO PARA ATENDIMENTO DA OFERTA/DEMANDA.

3.1 — Situação brasileira — alguns exemplos

SOUZA (2003), realizou estudos sobre o planejamento integrado de recursos no fornecimento de água tratada para o sistema de abastecimento da região metropolitana de Fortaleza. O pesquisador observou em uma de suas conclusões que o consumo de água da região metropolitana de Fortaleza em 2010 seria menor que o consumo de água observado em 2001, quando são eliminadas as perdas do sistema de abastecimento.

No estudo para projeção da demanda foi estimado um nível de conservação da água em 5%. As perdas no sistema de abastecimentos foram consideradas em 50% para os anos 2001 e 2002; 45% para os anos 2003, 2004 e 2005; 40% para os anos 2006 e 2007; e 35% nos anos 2008 e 2009.

Para as hipóteses adotadas, não foi demonstrada a estratégia a ser seguida para redução do nível de perdas do patamar de 50% para 35%, uma vez que a obtenção de um melhor

desempenho no sistema distribuidor, depende, fundamentalmente, do gestor desse sistema, que envolve um gerenciamento mais abrangente voltado também para metas de longo prazo. Todavia, os níveis adotados de perdas sugerem que, pelo menos entre os anos 2001 a 2005, o indicador de perdas não despertou a atenção do gestor do sistema de abastecimento.

SILVA (2005), apresentou estudo relativo à perda de água em sistemas públicos de abastecimento do Ceará no qual demonstrou que o índice médio de perda das redes distribuidoras dos sistemas analisados resultou em 1,21 m³/h.km. O estudo evidenciou que, como a maioria dos sistemas brasileiros de abastecimento de água, os sistemas das cidades pesquisados apresentam elevados níveis de perdas, se comparados com sistemas de outros continentes.

A tabela 3.1 apresenta dados relativos a alguns valores médios de perdas na distribuição de outros continentes.

Tabela 3.1 – Perdas de água por unidade de extensão de rede em diferentes regiões do mundo

Região	m³/h.Km
Europa Setentrional	0,5
Europa Ocidental	0,5
Europa Meridional	0,7
Europa Oriental	1,9
Extremo Oriente	3,7
África do Sul e Nova Zelândia	0,8

Fonte: SILVA et al. (2004)

No trabalho são mostrados também os níveis de perdas de faturamento dos sistemas de abastecimento de sete capitais de estados situados na região nordeste do Brasil. Os dados apresentados na tabela 3.2 mostrada a seguir se referem ao ano de 2004.

Tabela 3.2 – Índice perda de faturamento de água em 7 capitais nordestinas.

Capital	Índice de Perda de Faturamento (%)
Maceió	57,8
Salvador	52,9
Fortaleza	35,5
São Luiz	63,0
João Pessoa	46,7
Recife	53,0
Natal	46,6

Fonte: CARVALHO et al. (2004)

Os dados apresentados na tabela 3.2 evidenciam a provável situação delicada das empresas de saneamento devido ao elevado nível de perdas de faturamento da maior parte das empresas do setor. Os dados indicam que o modelo de gestão comercial das empresas precisa ser revisto assim como a parte técnica voltada à medição e ao cadastro técnico; a política de arrecadação sugere que há um equívoco nos procedimentos e métodos de cobrança das tarifas de água e esgoto. Dificilmente uma empresa pode sobreviver com tamanha fuga de receitas, sem comprometer a qualidade dos serviços prestados bem como da oferta de água.

Em relação às águas subterrâneas, as quais poderiam ser uma alternativa para atendimento parcial da demanda, observa-se uma situação crítica na região metropolitana de Fortaleza. Os sistemas aquíferos Dunas e Barreiras, pertencentes à Bacia Costeira, são utilizados conjuntamente e intensivamente no abastecimento da região metropolitana de Fortaleza (RMF). Os sistemas aquíferos das bacias do Araripe representam importante manancial hídrico na região semi-árida.

Alguns aquíferos do estado do Ceará apresentam restrições quanto à qualidade das águas subterrâneas. Aproximadamente 70% dos poços construídos no cristalino apresentam águas salinizadas, sendo necessário o uso de dessalinizadores para seu aproveitamento. Os sistemas aquíferos Barreiras e Dunas apresentam riscos de salinização, causados pelo avanço da cunha salina, associada à exploração descontrolada de poços. Além disso, nas regiões densamente povoadas, como na RMF, existe uma grande vulnerabilidade destes aquíferos à contaminação (Agência Nacional de Águas – ANA, 2002). Entretanto, outras importantes regiões metropolitanas também apresentam dificuldades na infra-estrutura de abastecimento de água. Um estudo de cenários possíveis para o atendimento da população das capitais da região nordeste do Brasil apontou um nível crítico de atendimento para um conjunto de cenários projetados até o ano 2025 (Agência Nacional de Águas – ANA, 2002).

Projeções realizadas para cidade do Recife/PE, a partir do ano de 2005, indicam que há um nível crítico em relação aos mananciais disponíveis para abastecimento da cidade. O Grupo de Recursos Hídricos da Universidade Federal de Pernambuco realizou um estudo para determinação das potencialidades hídricas superficiais das unidades de planejamento adotadas no estado. A metodologia utilizada para determinação das potencialidades hídricas consistiu, basicamente, na extensão e geração de séries históricas de dados fluviométricos em estações existentes nas bacias estaduais, com o emprego de um modelo chuva/vazão mensal desenvolvido

pelo GRH/UFPE. Para as unidades de planejamento que não dispunham de estações fluviométricas, suas potencialidades foram determinadas pela aplicação do mesmo modelo, que foi transportado de bacias com características hidrológicas semelhantes. O estudo demonstrou que aproximadamente 80% do volume aproveitável de água do estado localizam-se nas bacias do litoral pernambucano e zona da mata. O estado de Pernambuco não possui reservatórios com elevada capacidade de armazenamento, exceção da barragem de Itaparica que se localiza no rio São Francisco e não nas bacias hidrográficas estaduais. Tal limitação ocorre particularmente em virtude da morfologia predominante, que não possibilita a presença de vales e áreas de bacias contribuintes para grandes aproveitamentos (Agência Nacional de Águas – ANA, 2002).

Dessa forma, tendo como referência as disponibilidades hídricas e as demandas totais em cada sub-bacia, avaliou-se o grau de pressão sobre os recursos hídricos de acordo com os critérios apresentados no quadro 3.1 a seguir.

Quadro 3.1 – Critério do grau de pressão sobre os recursos hídricos

Demanda Total "D" / Q média por UP (%)	SITUAÇÃO
$D/Q < 5\%$	Água considerada um bem livre, com pouca atividade de gerenciamento sendo praticada
$5\% < D/Q < 10\%$	Situação ainda confortável, com necessidade de gerenciamento para solução de abastecimentos locais
$10\% < D/Q < 20\%$	Atividade de gerenciamento indispensável, com investimentos médios
$D/Q > 20\%$	Situação crítica, exigindo intensa atividade de gerenciamento e grandes investimentos

Fonte: Agência Nacional de Águas – ANA (2002).

Q média: Descarga média do rio principal da Unidade de Planejamento, em m^3/s ;

Demanda Total: Somatória das demandas para abastecimento humano, abastecimento industrial, irrigação e dessedentação animal, em cada Unidade de Planejamento, em m^3/s .

As demandas foram estimadas adotando-se dois cenários distintos: “otimista” e “tendencial”. Para o cenário “otimista” foram assumidas hipóteses que permitiriam a redução da demanda em longo prazo, embora não descritas explicitamente, indicam a atuação sobre o gerenciamento do sistema distribuidor com significativa melhoria nos indicadores de desempenho desse sistema. Provavelmente, deverão ser empregadas uma série de ações não estruturais para alcançar um melhor desempenho operacional do sistema.

Para o cenário tendencial, observa-se um aumento relativamente pequeno da demanda para o período considerado de 20 anos, ou seja, a demanda projetada para 2025 é apenas 8,64% maior que a demanda de 2005. Essa variação sugere, provavelmente, uma tendência de saturação da cidade, levando a um pequeno crescimento projetado, mesmo para um período de longo prazo.

As projeções de demanda realizadas para os cenários “otimista” e “tendencial” são apresentadas no quadro 3.2 apresentado a seguir.

Quadro 3.2 – Projeções de demanda para cidade do Recife/PE

Ano	Cenário “otimista” Demanda (L/s)	Cenário Tendencial Demanda (L/s)
2005	5.706	5.706
2015	5.548	5.998
2025	5.324	6.199

Fonte: Agência Nacional de Águas – ANA (2002).

3.2 — Situação internacional — alguns exemplos

A falta de água pode comprometer a qualidade (potabilidade) devido ao fato que as frequentes interrupções no abastecimento podem causar na água potável: aumento da turbidez e cor, elevação do teor de sólidos em suspensão pelo desprendimento de depósitos eventualmente existentes nas tubulações de distribuição, etc. Um exemplo apresentado por GENIUS e TSAGARAKIS (2006) se refere à cidade de Herakion (Grécia) onde as interrupções periódicas no abastecimento de água passaram a ser parte integral do cotidiano dos moradores daquela cidade.

Os cortes de água são muito frequentes e longos nos meses de verão, quando a demanda é alta em virtude da temporada de turismo, porém não são incomuns durante os outros períodos do ano. Nessa cidade há uma particularidade: muitas residências possuem cisternas ou tanques de armazenamento de água, que permitem atender o consumo doméstico em virtude das interrupções no fornecimento de água pelo sistema público. Conseqüentemente, as interrupções

no abastecimento de água feitas pela municipalidade não se configuram como falta de água para as residências.

Entretanto, as ocorrências dos cortes no abastecimento, têm um efeito imediato no consumo da água potável das torneiras uma vez que os consumidores são relutantes em tomar a água, a despeito dos responsáveis pelo abastecimento confirmarem a boa qualidade da mesma. Outro agravante que compromete muito a adequada distribuição de água na cidade é que as perdas estimadas no sistema distribuidor são de 35%. O reflexo do abastecimento deficiente também ocorre por causa da insuficiência de reservatórios que não cobrem a demanda durante os períodos de pico de consumo.

A combinação de todos os fatores descritos resulta no abastecimento intermitente no verão — um dia com água e um dia sem água; no inverno o abastecimento é contínuo por alguns dias, com no máximo um período de 24 horas sem abastecimento de água. Os autores propuseram um método para avaliação do contingente que é utilizado para deduzir cenários hipotéticos onde os entrevistados são questionados a colocar sua disposição para pagar por uma mudança para uma situação melhor.

Muitos estudos têm sido conduzidos em países desenvolvidos e em desenvolvimento para estimar a disposição para pagar para melhorias na qualidade da água ou na confiabilidade da mesma sob o aspecto de abastecimento. Em países desenvolvidos os estudos relacionados com a qualidade da água focaram mais a redução dos cenários de riscos para saúde, enquanto estudos dirigidos à confiabilidade, geralmente, foram focados na disposição para pagar pela redução da frequência ou da duração das faltas de água. A questão foi colocada da seguinte maneira aos entrevistados: “Admita que é possível assegurar o fornecimento contínuo de água, e assim a qualidade da água entre a fonte (municipal) e sua torneira permanece estável, você estaria disposto a pagar “x %” extra na sua conta para que isso aconteça?”

As conclusões mais importantes obtidas pelo estudo indicam que em situações onde as deficiências de quantidade no abastecimento também afetam a qualidade da água, as percepções de qualidade são fatores determinantes importantes na disposição para pagar para evitar falta de água. No caso de Herakion, onde a maioria dos residentes instala tanques para enfrentar falta de água, o comportamento sobre a água potável é fortemente afetado pela falta da mesma. O estudo indicou que ambas as experiências com falta de água e água potável de outras fontes que das torneiras, são fatores determinantes importantes na disposição para pagar, com

média muito maior no valor para residências que confiam o suprimento de água potável engarrafada.

Muitos são os exemplos que podem ser citados quando são analisadas as perdas de água em sistemas de distribuição de água. Um caso excepcional, quer seja do ponto de vista de porte do sistema de distribuição, quer sob o ponto de vista da quantidade de pessoas atendidas, se refere à cidade do México. Com uma população que chegou aos 22,3 milhões de habitantes em 2000, com demanda de água superior a 40 m³/s, essa metrópole estava no limiar de sua capacidade para atendimento de água de seus habitantes.

Um agravante é que, embora a captação de água se situava no patamar de 40 m³/s, a capacidade de recarga do aquífero era de 25 m³/s (a água para abastecimento da cidade do México é essencialmente proveniente de aquífero subterrâneo), o que causa o contínuo rebaixamento do nível d'água do aquífero. Há outro agravante da situação que se refere ao índice de perdas do sistema, pois 40% da água captada são perdidos ao longo do sistema (16 m³/s), situação que evidentemente coloca em risco sob todos os aspectos a confiabilidade do sistema existente de distribuição de água (HIGHAM, 1998).

Há uma longa tradição dos governos municipais de fundamentarem planos de abastecimento de água associados aos cenários de alto crescimento, condições extremas de estiagem e apenas um modesto nível de conservação de água (BAUMANN et al., 1998). Nesse pior cenário de planejamento, o risco de experimentar falta de água e falhas nas políticas que acompanham tais eventos é sempre limitado. Por essa razão muitos habitantes das cidades dos Estados Unidos, mesmo em regiões áridas ou semi-áridas, raramente experimentam falta de água nas torneiras (KENNEY et al., 2004).

Torna-se verdadeiramente um teste de resiliência dos sistemas municipais de abastecimento de água passando de uma situação comum para uma mais séria. No verão de 2002, os habitantes da região metropolitana de Denver experimentaram algo fora do comum: a seca mais forte já registrada, ultrapassando até mesmo a seca de 1954, geralmente utilizada para objetivos de planejamento. Foram impostas restrições de uso, campanhas públicas de educação e elevação dos preços da água, ações estas feitas por muitos municípios da região metropolitana de Denver. Em cada cidade ou região, as economias mais significativas de águas foram associadas aos programas de restrição obrigatória do uso da água, fornecendo uma confirmação evidente da eficácia das restrições obrigatórias adotadas. Por outro lado, as restrições voluntárias, com poucas

exceções, foram decepcionantes. As maiores economias (em porcentagem) foram encontradas em cidades que adotaram restrições obrigatórias mais agressivas. Durante as restrições obrigatórias, os resultados indicaram que as limitações de usos externos da água resultaram nas maiores economias. Cada cidade pesquisada no estudo foi capaz de reduzir o consumo per capita mediante a aplicação de restrições obrigatórias de uso da água. O estudo indicou que as restrições de uso externo, particularmente as obrigatórias, são meios efetivos de reduzir a demanda de água durante os períodos de secas, dentre as municipalidades afetadas por aquele evento (KENNEY et al., 2004).

HAGEN e colaboradores (2005) utilizaram um modelo computacional para avaliar, por intermédio de simulação determinística, regras operativas diárias que poderiam ser aplicadas ao sistema de reservatórios da região metropolitana do Distrito de Columbia, de Maryland e da Virginia que compartilham o abastecimento municipal do rio Potomac, o qual é o principal manancial utilizado para abastecimento de água dessas localidades.

As secas de 1999 e 2002 que ocorreram durante a estação quente e seca de verão, causaram aumento do interesse no gerenciamento do abastecimento de água. Esses eventos combinados com o crescimento contínuo da demanda por água, possíveis quedas (futuras) dos recursos hídricos induziram ao aumento da participação dos interessados no planejamento dos recursos hídricos. Um acordo entre os órgãos gestores do sistema de metropolitano de Washington D.C. propôs em 1990 a avaliação a cada 5 anos das demandas e dos recursos hídricos, com uma previsão futura para 20 anos.

Um dado interessante observado se refere às previsões de demanda a partir de 1970 até 1990 para região metropolitana de Washington D.C. que superestimaram a demanda. Os planejadores parecem preferir elaborar planos com base em demandas futuras altas em reflexo às suas responsabilidades em proporcionar fontes seguras e confiáveis de abastecimento de água. Citam também a variabilidade do clima e a possibilidade de secas piores que as registradas como justificativa para estimar de forma conservadora as demandas futuras.

Enquanto esses fatores são conservativos, os responsáveis pelo abastecimento têm que balancear o risco de serviços inadequados de abastecimento e a possibilidade de excesso de capacidade associada a elevados e desnecessários custos.

O modelo proposto pelos pesquisadores pode ser utilizado para determinar como o sistema atual ou modificado de reservatórios e do rio Potomac responderiam às demandas atuais

e futuras, dados os procedimentos atuais na operação e com base em registros históricos de vazão. Há também conflitos que dificultam a completa utilização dos recursos hídricos disponíveis. O reservatório denominado Little Sêneca não é utilizado para abastecimento de água desde que foi construído em 1981. A área ao redor do reservatório foi desenvolvida e ocupada por vilas residenciais e casas de família, e o lago por si só, se tornou um local valorizado e fonte de recreação.

Políticos do condado de Montgomery preferem não utilizar o reservatório para abastecimento de água até que os consumidores de Maryland, Washington D.C., e Virginia (cujos residentes pagaram pela construção do reservatório) restrinjam o seu consumo de água.

Estudos de demanda futura e fontes de abastecimento continuarão a considerar análises estocásticas para quantificar os riscos de ocorrência de secas mais extremas que as historicamente observadas, para melhor quantificação da versatilidade de sistemas existentes. Enquanto tais análises não indicarem diretamente, ou quantificarem possíveis mudanças devido à variabilidade do clima ou alterações climáticas, essas análises poderão indicar incerteza adicional introduzida por potenciais alterações do clima no gerenciamento dos recursos hídricos, e permitirão o teste de alternativas de projetos e de políticas contra uma ampla faixa vazões, além da simples sequência histórica de vazões observadas (LOUCKS et al., 1981).

3.3 — Métricas para mensuração dos riscos

Como forma de facilitar a hierarquização das condições possíveis de controle dos fatores de risco e de suas conseqüências, propõem-se a utilização de ábaco que resume do ponto de vista prático os fatores de risco e suas conseqüências. Basicamente uma determinada situação seria posicionada em um dos nove cenários possíveis, considerando os níveis do grau de controle do risco (baixo, médio e alto) em função do grau de severidade das conseqüências do evento sob risco (baixo, médio e alto).

Com base nesse recurso o gestor de um sistema de abastecimento de água poderá tomar as decisões sobre a execução de melhorias, realizar investimentos, adotar políticas de redução das perdas no sistema de abastecimento, redução do consumo de água em situações críticas ou emergenciais, planejamento da expansão bem como a adoção de um programa de

medidas não-estruturais abrangentes, contínuo e de longo prazo, com vistas a maximizar a eficiência técnica — operacional, de planejamento e financeira — das empresas do setor de saneamento.

Cada setor do ábaco é determinado por métodos análises de risco de acordo com a adoção de condições de controle (ou condições de contorno) e respectivos resultados obtidos (grau de severidade dos riscos associados às consequências dos eventos sob risco).

A figura 3.1 apresentada a seguir mostra como os graus de controle de risco e o grau de severidade das consequências do evento sob risco, são organizados para facilitar a identificação e interpretação dos mesmos.

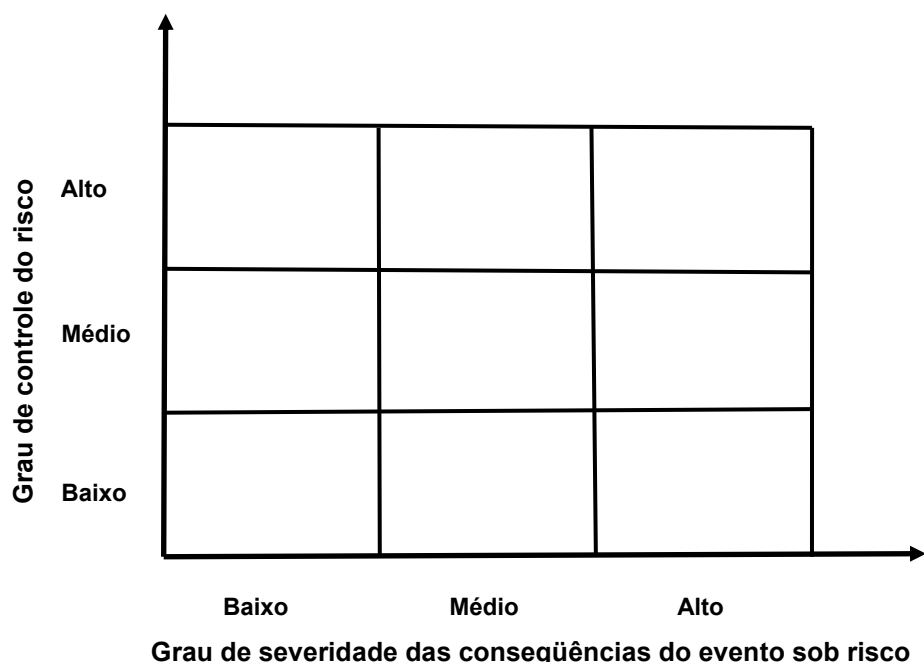


Figura 3.1 – Níveis do grau de controle do risco em função grau de severidade do evento sob risco.

Fonte: BARBOSA e CASTRO (2005)

De acordo com a figura 3.1, a situação mais confortável para um dado sistema de abastecimento seria aquela em que há um alto grau de controle do risco e suas consequências consideradas de baixa severidade. O oposto seria a condição em que é baixo controle de risco e elevada a severidade das consequências do evento sob risco. Contudo, cada sistema de

abastecimento pode ter sua situação deslocada ao longo do tempo dentro das situações apresentadas na figura 3.1.

Várias seriam as razões para tal fato:

1. Falhas de planejamento de longo prazo que colocarão o sistema em situação vulnerável;
2. Falhas operacionais devido ao elevado índice de perdas do sistema cujo impacto pode ser verificado no presente e com possíveis agravamentos no futuro;
3. Ocorrência de eventos hidrológicos extremos para os quais não há estratégias emergenciais bem definidas e;
4. Existência de tarifas (receitas) que impossibilitam a adequada operação e manutenção do sistema por falta de recursos financeiros, que permitam manter o sistema de abastecimento em boas condições operacionais e viabilizem a ampliação quando necessário.

Qualquer sistema, por melhor que seja, é vulnerável a riscos bem como incertezas e, dessa maneira, estará inserido em uma região do ábaco apresentado na figura 3.1. Quanto melhor e mais eficaz for o planejamento do sistema, o gerenciamento operacional e a gestão para contornar possíveis eventos que venham a causar falhas dos diversos componentes do sistema de abastecimento, mais confiável será o atendimento à população.

Logo, é de grande importância determinar em que nível de confiabilidade se enquadram os sistemas de abastecimento existentes, com vistas a fornecer uma real situação de exposição aos possíveis riscos inerentes na atividade de abastecimento de água. Evidentemente, deve-se buscar a mitigação de eventos extremos, estabelecendo-se qual a probabilidade e período de recorrência de tais eventos.

HOWARD (2002), sugere que o risco é uma medida das potenciais perdas quando o sistema falha em relação ao desempenho esperado. Pode ser utilizado como uma métrica de sustentabilidade. Se a probabilidade dos vários níveis de potencial de falha pode ser identificada, o valor esperado, ou qualquer outro nível de risco pode ser calculado. O risco é o resultado do custo das falhas multiplicado por sua probabilidade de ocorrência. É a medida de custo em unidades monetárias, produtividade de ecossistemas, incidentes relativos à saúde pública, ou qualquer outra medida de sucesso ou falha. Entretanto, de maneira geral, os riscos não são

calculados, — são assumidos como baixos, ou os planos são projetados para tornar os riscos baixos, ou são desprezados.

Em gerenciamento de recursos hídricos, especialmente em relação às águas superficiais, a sustentabilidade como medida de risco tem três principais componentes:

1. Probabilidade de falta de água (abastecimento);
2. Os custos quando há falta de abastecimento; e
3. O nível de aceitabilidade dos riscos.

A medida do nível do serviço de abastecimento de água poderia ser a frequência e a duração das reais interrupções para demandas irrestritas. Essa é uma importante informação para os consumidores. Se os consumidores sabem o quanto têm de pagar pelo nível de serviço, eles podem se planejar para utilizar a água de forma eficaz, pagando mais por ela, ou aceitando um nível de serviço mais baixo e lidando com as contingências quando essas ocorrem (HOWARD, 2002).

Há muitos métodos para análise de variabilidade e incertezas. O método mais empregado para abordagem dessa natureza é o método da simulação de Monte Carlo. Os resultados da análise podem ser expressos em termos probabilísticos. Em virtude de sua relativa facilidade de aplicação a simulação de Monte Carlo é especialmente atraente (HOWARD, 2002).

Uma aplicação adequada do método de Monte Carlo requer o seguinte:

1. Todas as possíveis fontes de incerteza e variabilidade do problema em estudo sejam identificadas;
2. São determinadas as variáveis mais importantes que influenciam na análise probabilística; e
3. São assumidas as distribuições de probabilidade para essas variáveis mais importantes (tarefa nem sempre fácil).

Outro aspecto que também deve ser considerado se refere às variáveis assumidas como independentes, porém, na realidade podem conter um determinado grau de dependência, e dessa forma, interferirem nos resultados assim como nas análises do método.

Na realidade, cada informação, e cada resultado de um modelo de aplicação deveriam ser vistos em uma estrutura multidimensional. Uma visão restrita dessas informações no modelo resultam na “correta “ resposta. Uma visão mais abrangente considera cada parte ou resultado do modelo como uma observação tirada de uma distribuição probabilística. Aquela observação pode ser considerada como o valor mais comum, mas há outros possíveis valores com algum nível de probabilidade que devem ser considerados em qualquer análise. Uma vez aceito e utilizado esse conceito, os engenheiros se tornarão mais sensíveis às implicações e impactos que podem resultar devido à incerteza (GRAYMAN, 2005).

Nas duas últimas décadas modelos de análise de incerteza têm recebido maior atenção em pesquisas de recursos hídricos. Entretanto, boa parte da comunidade ainda continua relutante a adotar modelos de estimativa de incerteza em pesquisas e aplicações nas áreas de Hidráulica e Hidrologia. PAPPENBERGER e BEVEN (2006), propõem a utilização da estimação de incerteza como rotina nas ciências da hidráulica e da hidrologia.

A despeito de todos os métodos que têm sido pesquisados no campo da hidrologia e da hidráulica, ainda não ocorre o uso dessa técnica como parte inerente dessas pesquisas. Um modelo é uma construção abstrata de um dado sistema com o objetivo de reproduzi-lo, simplificá-lo, analisá-lo e compreendê-lo.

Qualquer modelo usado é baseado na percepção (resumo de nossas percepções pessoais de como o sistema responde) o qual é transformado em um modelo conceitual (descrição matemática) e implementado como modelo a ser processado (código computacional). Há vários métodos que competem entre si dentro de diferentes estruturas filosóficas, que podem ser mais ou menos apropriados para diferentes situações com diferentes dimensionalidades e fontes de incertezas. Isso torna difícil a escolha do método, e dificuldade para o usuário final interpretar os resultados das incertezas fornecidas pelo modelo. (PAPPENBERGER e BEVEN, 2006).

Porém, há um ponto chave na análise de incerteza: o custo e os recursos necessários. A análise de incertezas é comumente considerada como um custo extra, em vez de ser parte esperada e intrínseca de qualquer trabalho de modelagem. As incertezas nesse processo deveriam ser documentadas como parte da garantia da qualidade de desenvolvimento do modelo e tornarem-se disponíveis aos usuários, incluindo um arquivo de casos testados. Esse é o produto natural da estimação de incertezas (PAPPENBERGER e BEVEN, 2006).

Um exemplo muito interessante de modelo de previsão de risco é o emprego de curvas de aversão a risco aplicadas ao gerenciamento dos reservatórios do Sistema Cantareira que atende cerca de 9 milhões de pessoas da região metropolitana de São Paulo. A população residente nessa região depende essencialmente do fornecimento de água desse sistema, sendo necessário contar com regras operativas que evitem o colapso de abastecimento das regiões envolvidas (Agência Nacional de Águas - ANA, 2004).

Para a operação do Sistema Cantareira foi selecionado o método das curvas de aversão a risco, que tem como base a previsão de afluências nos meses subseqüentes a partir de vazões observadas, consideradas representativas denominadas de cenário hidrológico. Na elaboração das curvas de aversão a risco, considerou-se que ao final do período de previsão representado pelo cenário hidrológico deveria haver uma reserva estratégica no Sistema Equivalente, ou seja, um volume mínimo desejável no final de um dado biênio.

A análise dos períodos críticos da alta bacia do rio Piracicaba, notadamente o evento hidrológico do período de 1953 e 1954, indicaram a necessidade de os cenários hidrológicos terem período de 2 anos. Dessa forma as curvas de aversão a risco foram elaboradas a partir de uma vazão fixa qualquer que representa a vazão de retirada para atendimento da demanda (região metropolitana de São Paulo e bacia do rio Piracicaba situada a jusante do Sistema Cantareira).

Estabeleceu-se uma reserva estratégica desejável para o armazenamento do Sistema Cantareira ao final de um período de 2 anos. Concluiu-se que a vazão de retirada máxima para 83% do tempo é de 36 m³/s. A vazão com garantia de 95% é de 30,7 m³/s e a vazão mínima é de 25,8 m³/s. A operação do Sistema Cantareira é realizada tendo premissa os dados obtidos pelo modelo adotado, porém ao longo dos anos poderá ser modificada se for caracterizada eventual melhora no desempenho do sistema associada a outras medidas com enfoque no gerenciamento compartilhado do Sistema Cantareira e disponibilização dos dados hidrológicos, pluviométricos e fluviométricos para os interessados e público em geral (Agência Nacional de Águas - ANA, 2004).

A revisão bibliográfica preliminar apresentada demonstrou que a projeção de demanda pode apresentar distorções significativas as quais, em tese, podem introduzir equívocos no planejamento das soluções para atendimento da demanda. Portanto, conclui-se que a projeção de demanda se constitui em um fator de risco que deve ser levado em consideração nas análises

de risco aplicadas a sistemas urbanos de abastecimento. Dessa forma, propõe-se a realização de uma pesquisa que seja fundamentada em novos modelos de projeção de demanda.

3.4 — Formulação de alternativas para medir os riscos associados

As soluções alternativas para atendimento da demanda implicam na adoção de estratégias que busquem robustez, flexibilidade, modularidade, etapalização, etc. Os riscos associados a essas alternativas têm que ser medidos, e assim, fornecer uma métrica que permita a identificação dos pontos críticos. Além disso, deve haver uma forma de priorização na qual a severidade das consequências do risco seja relacionada com a probabilidade de ocorrência do evento que leve à exposição a esse risco.

A tabela 3.3 mostrada a seguir, apresenta uma forma de classificação qualitativa do risco.

Tabela 3.3 – Matriz qualitativa de priorização dos riscos

Probabilidade de Ocorrência	Severidade das consequências				
	Insignificante	Pequena	Moderada	Grande	Catastrófica
Quase certa	Baixo	Moderado	Elevado	Extremo	Extremo
Muito provável	Baixo	Moderado	Elevado	Extremo	Extremo
Provável	Baixo	Moderado	Moderado	Elevado	Elevado
Pouco provável	Baixo	Baixo	Moderado	Moderado	Moderado
Raro	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo

Fonte: VIEIRA (2004)

A priorização dos riscos tem como objetivo avaliar o risco a cada perigo identificado, e assim estabelecer a probabilidade de ocorrência do mesmo, assim como as consequências para o sistema de abastecimento de água, por intermédio de uma escala de severidade das consequências.

A pontuação utilizada para classificação da probabilidade de ocorrência de um perigo pode ser estabelecida em uma escala crescente de 1 a 5, como demonstrado na tabela 3.4, apresentada a seguir.

Tabela 3.4 – Escala de probabilidade de ocorrência de um perigo

Probabilidade de ocorrência	Descrição	Pontuação
Quase certa	Espera-se que ocorra 1 vez por dia	5
Muito provável	Vai acontecer provavelmente 1 vez por semana	4
Provável	Vai ocorrer 1 vez por mês	3
Pouco provável	Pode ocorrer 1 vez por ano	2
Raro	Pode acontecer em situações excepcionais (1 vez em 10 anos)	1

Fonte: VIEIRA (2004)

Para a avaliação das consequências para o sistema de abastecimento de água, os perigos podem ser classificados de acordo com a escala proposta na tabela 3.5 mostrada a seguir.

Tabela 3.5 – Escala de probabilidade de ocorrência de um perigo

Probabilidade de ocorrência	Descrição	Pontuação
Quase certa	Potencialmente danosa para uma grande parte do sistema de abastecimento	5
Muito provável	Potencialmente danosa para uma pequena parte do sistema de abastecimento	4
Provável	Potencialmente perigosa para uma grande parte do sistema de abastecimento	3
Pouco provável	Potencialmente perigosa para uma pequena parte do sistema de abastecimento	2
Raro	Sem qualquer impacto detectável	1

Fonte: Parcialmente adaptado de VIEIRA (2004)

A priorização de riscos é determinada após a classificação de cada perigo com base nas tabelas 3.3, 3.4 e 3.5, construindo-se a matriz de classificação de riscos. As pontuações dessa matriz são obtidas por intermédio do cruzamento das escalas de probabilidade de ocorrência (coluna) com a escala de severidade das consequências (linha).

A matriz de priorização resultante é mostrada na tabela 3.6 apresentada a seguir.

Tabela 3.6 – Matriz de classificação dos riscos

Probabilidade de Ocorrência	Severidade das conseqüências				
	Insignificante	Pequena	Moderada	Grande	Catastrófica
Quase certa	5	10	15	20	25
Muito provável	4	8	12	16	20
Provável	3	6	9	12	15
Pouco provável	2	4	6	8	10
Raro	1	2	3	4	5

Fonte: VIEIRA (2004)

Tomando-se como referência a tabela 3.6, é possível definir um valor mínimo de classificação a partir do qual os perigos serão considerados pontos críticos a serem observados no sistema de abastecimento.

Ressalta-se que a classificação de riscos proposta não se aplica a redes distribuidoras (secundárias) de água, em virtude de a metodologia focar nos componentes principais do sistema de abastecimento. A rede distribuidora, de maneira geral, apresenta configuração malhada (em anéis) que possibilita o abastecimento dos consumidores localizados no entorno de um trecho que apresenta falha.

Portanto, o restabelecimento da condição normal de operação de um determinado trecho de rede pode ser realizado — pelo fechamento de válvulas de bloqueio —, permitindo a execução de reparos, e após, o trecho é recolocado em operação, abrindo-se as mesmas válvulas. Essa característica das redes distribuidoras confere um elevado grau de redundância ao sistema de distribuição, resultando na redução dos riscos associados a interrupções mais prolongadas com grande severidade das conseqüências, embora apresentem um índice de probabilidade de ocorrência descrito na matriz apresentada pela tabela 3.6.

3.5 – Variáveis Econômicas sujeitas a volatilidade com impacto no setor de saneamento

Os investimentos no setor de saneamento são afetados por fatores econômicos, assim como em qualquer setor da economia. Em virtude da contratação de financiamentos para projetos de implantação ou de expansão de sistemas urbanos de abastecimento de água, evidentemente, os contratos de financiamento são afetados por variáveis econômicas que apresentam volatilidade. Essas variáveis influem substancialmente na viabilidade dos projetos, e seus impactos devem ser cuidadosamente avaliados. A seguir são apresentadas algumas das principais variáveis econômicas que influem nos projetos do setor de saneamento e que apresentam volatilidade.

3.5.1 – Taxa de câmbio.

Trata-se de uma variável que incide principalmente sobre os custos de insumos e de produtos que são importados, ou dependem de matérias primas importadas. Destacam-se os materiais de PVC utilizados em adutoras e redes distribuidoras de água; insumos para tratamento de água; material e instrumentos de laboratório de processos e de controle de qualidade da água.

A figura 3.2 mostrada a seguir apresenta a variação da taxa de câmbio a partir de janeiro de 1994, onde pode ser observado o comportamento volátil da variável em questão.

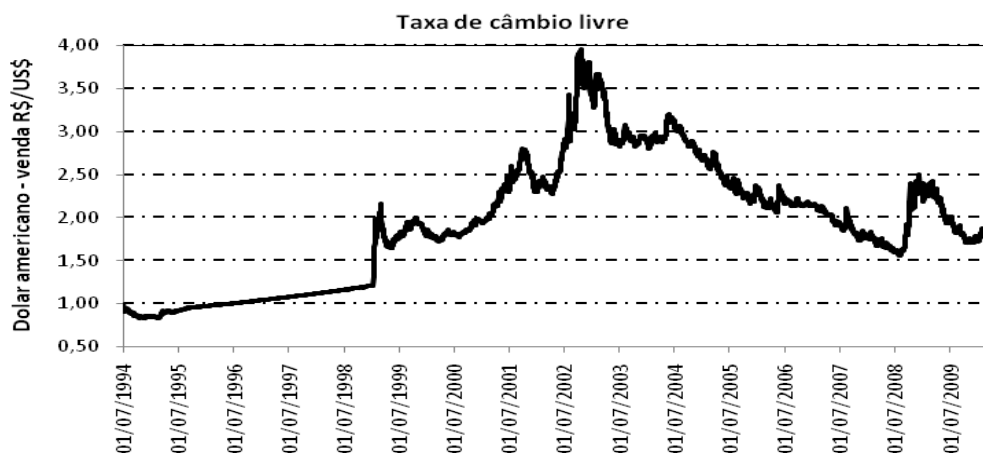


Figura 3.2 – Variação da taxa de câmbio livre.

Fonte: Banco Central do Brasil (2010).

3.5.2 – Taxa de Juros de Longo Prazo – TJLP

Os valores da taxa de juros aplicados em contratos de financiamento são referenciados na Taxa de Juros de Longo Prazo, pois em muitos casos, os financiamentos são contratados para um período compreendido de 10 a 20 anos, geralmente. Essa variável apresenta volatilidade em virtude de depender de cenários futuros previstos para economia. Atualmente, apresenta tendência de estabilização, porém, pode oscilar em função de indicadores macroeconômicos. A figura 3.3 apresentada a seguir mostra a evolução da TJLP a partir de janeiro de 1995.

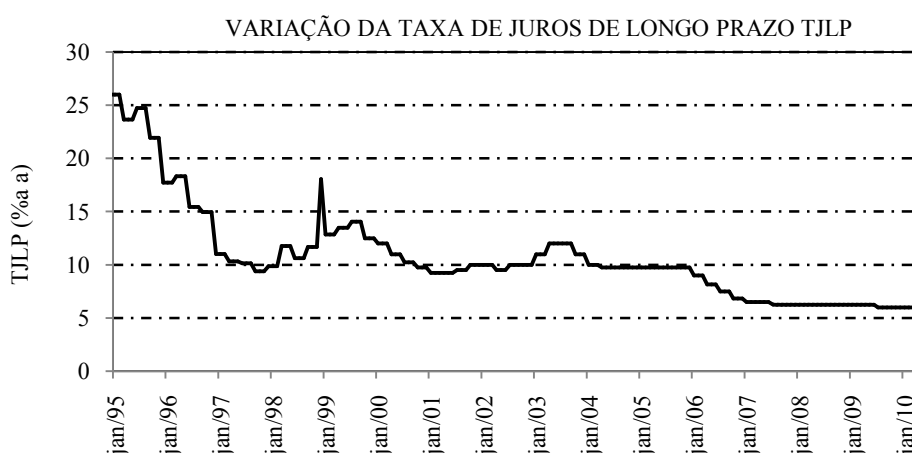


Figura 3.3 – Variação da Taxa de Juros de Longo Prazo – TJLP.

Fonte: Banco Central do Brasil (2010).

3.5.3 – Taxa SELIC

A taxa SELIC³ é utilizada como taxa de referência para contratos com validade entre curto e médio prazo. É conhecida também como taxa básica de juros e baliza muitas transações e contratos. Dessa forma, é uma variável com volatilidade que pode influenciar os resultados econômicos dos investimentos no setor de saneamento.

A figura 3.4 apresentada a seguir mostra a evolução da taxa de juros SELIC a partir de janeiro de 2004. Os valores empregados no presente trabalho foram considerados com base nos dados divulgados pelo Banco Central do Brasil, de acordo com a série histórica mais recente e, portanto, mais condizente com a atual realidade econômica vigente no Brasil.

³ SELIC – Sistema Especial de Liquidação e Custódia.

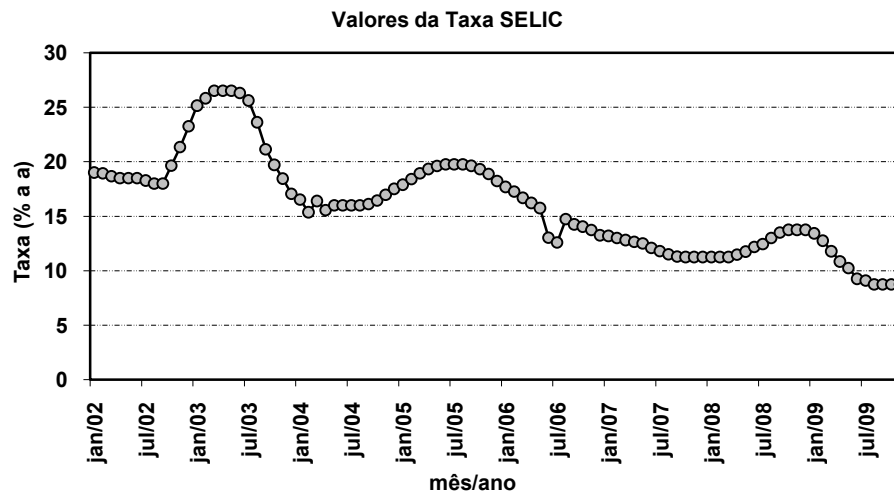


Figura 3.4 – Evolução da taxa de juros SELIC.
Fonte: Banco Central do Brasil (2009).

3.5.4 – Índice Nacional da Construção do Mercado – INCC

É um indicador econômico específico para o setor da construção civil. A variação desse índice impacta sobre o setor de saneamento, pois os investimentos em obras, basicamente, quando voltados à infra-estrutura, requerem a execução de obras civis cujas variações de preços são refletidas por esse índice. O INCC apresenta volatilidade conforme demonstra a figura 3.5 mostrada a seguir.

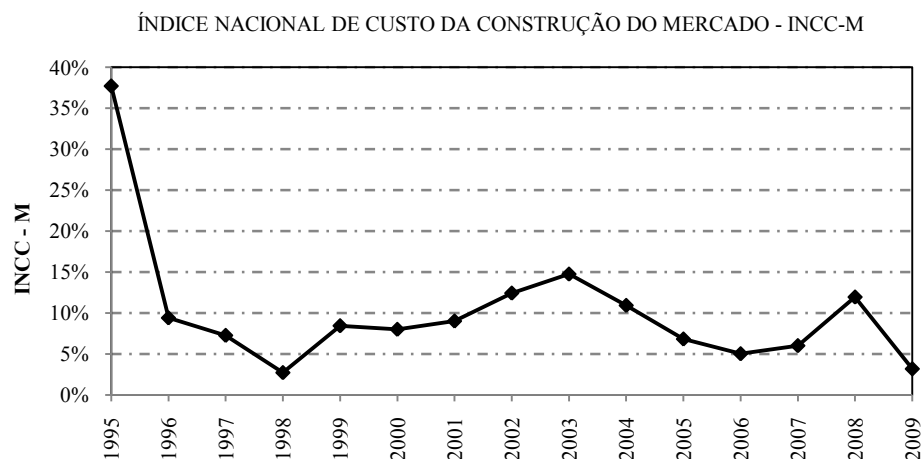


Figura 3.5 – Evolução do Índice Nacional da Construção do Mercado.
Fonte: Fundação Getúlio Vargas (2010).

3.5.5 – Taxa de reajuste tarifário de água e esgoto

Os reajustes tarifários anuais podem apresentar variações consideráveis em virtude dos custos das empresas do setor de saneamento dependerem dos custos dos insumos, dos valores dos investimentos a realizar, dos valores de mão-de-obra, das tarifas de energia elétrica, entre outros fatores. Todos esses componentes apresentam variações que são dependentes das condições do mercado, e, portanto, apresentam volatilidade. Para demonstrar essa característica são apresentadas nas figuras 3.6 e 3.7 mostradas a seguir, as variações das taxas de reajuste tarifário da CAESB aplicadas no período de 2001 a 2010 e da SABESP para a cidade de São Paulo/SP, respectivamente.

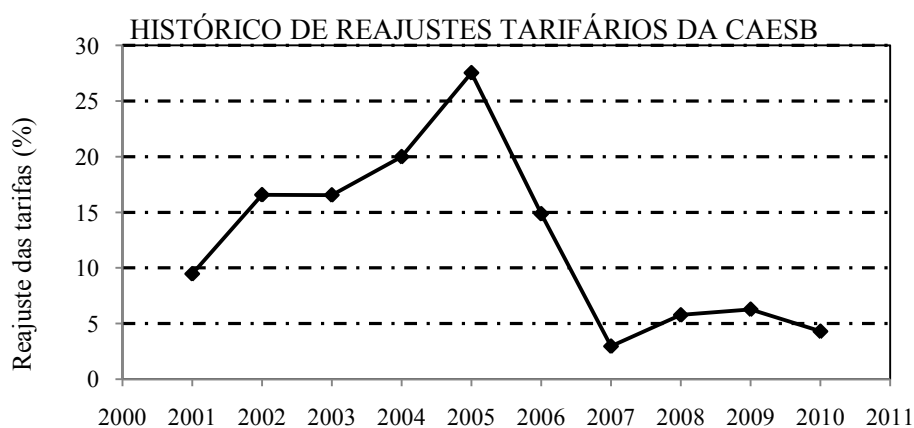


Figura 3.6 – Taxa de reajuste tarifário da CAESB entre 2001 e 2010.
Fonte: ADAFA (2010).

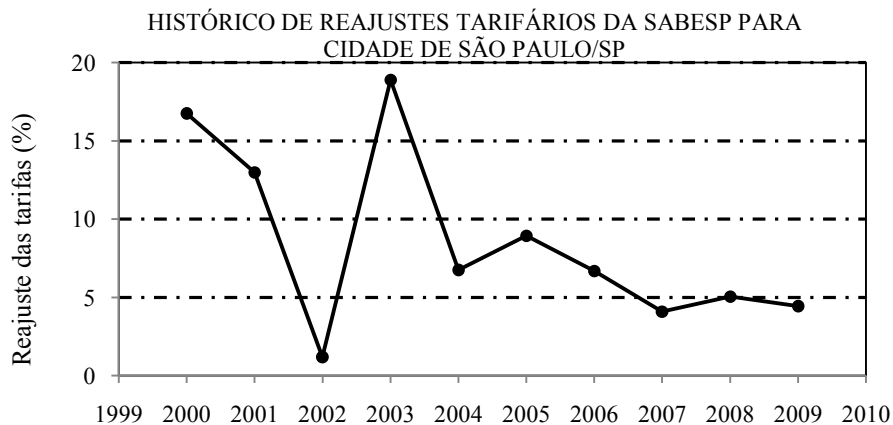


Figura 3.7 – Taxa de reajuste tarifário da SABESP entre 2000 e 2009.
Fonte: DIEESE (2010).

3.6 – Flexibilidade

A flexibilidade se refere à possibilidade de rever a estratégia prevista, inicialmente, para um dado plano de investimento, de acordo com as novas condições econômicas ou novas informações que são obtidas a respeito do mercado. A essa estratégia denomina-se flexibilidade gerencial. As flexibilidades gerenciais possibilitam tanto capitalizar futuras oportunidades favoráveis ao investimento ao mesmo tempo em que podem reduzir eventuais perdas; possibilitam a expansão do valor das oportunidades de um dado investimento, em virtude melhorar o potencial de ganhos, pois limitam as perdas resultantes de um gerenciamento passivo atrelado às expectativas originais Minardi (2004).

A flexibilidade (no planejamento) pode ser incorporada nos projetos de engenharia ao permitir, por exemplo, que uma dada adutora de água possa ser operada inicialmente por gravidade, e, posteriormente, passe a ser operada como parte de um sistema de recalque; em uma estação de tratamento de água possam ser previstos diferentes tipos de coagulante que podem ser utilizados, de acordo com as condições ou com os preços de mercado. Ainda, uma adutora de água pode ser construída com diferentes tipos de tubos, os quais são selecionados segundo a pressão atuante nos mesmos (parte da adutora pode ser de tubo ferro fundido onde há maior pressão; parte pode ser de tubo de PRFV ou PVC onde há menor pressão). Ao compatibilizar essas possibilidades emprega-se uma solução de engenharia que é flexível e robusta. A robustez da solução evita arrependimentos, pois impede que soluções irreversíveis sejam adotadas (no exemplo descrito anteriormente seria executar toda a adutora com tubos de ferro fundido que poderia resultar em um investimento inicial maior).

4 – METODOLOGIA

4.1 – Introdução

O capítulo em questão apresenta os métodos utilizados no trabalho de pesquisa, assim como destaca a abordagem com base na teoria das opções reais, cujos fundamentos foram aplicados, com os ajustes necessários, tendo em vista que alguns aspectos da teoria não podem ser diretamente aplicados ao caso em estudo o qual versa sobre a expansão de um dado sistema de abastecimento de água.

É necessário destacar, inicialmente, que as decisões tomadas por engenheiros, gerentes, presidentes de corporações e indivíduos, de maneira geral, são o resultado da escolha de uma alternativa em detrimento de outra. As decisões refletem, frequentemente, uma escolha bem fundamentada sobre como melhor investir os fundos financeiros, também denominados capitais. A quantidade de capital em geral é restrita, da mesma forma que o caixa de que uma pessoa dispõe, habitualmente, é limitado. A decisão a respeito de como investir o capital, invariavelmente, será modificada no futuro, de preferência para melhor, ou seja, agregar-se-á valor a ela. Os engenheiros desempenham um papel importante nas decisões de investimento, tendo como base suas análises, sínteses e esforços de projeto. No processo de tomada de decisão são considerados vários aspectos assim como são combinados diversos fatores econômicos e não econômicos. Fatores adicionais podem ser intangíveis tais como: conveniência, disposição, entre outros (BLANK, 2008).

Fundamentalmente, a engenharia econômica envolve a formulação, a estimação e a avaliação dos resultados econômicos, quando estão disponíveis várias alternativas para realizar

determinado projeto. A engenharia econômica pode ser considerada como um conjunto de técnicas matemáticas que visa simplificar a comparação econômica. A correta utilização das técnicas de engenharia econômica é notadamente importante, pois é provável que qualquer projeto — local, nacional ou internacional — afete os custos e/ou as receitas do investidor (BLANK, 2008).

Pessoas tomam decisões. Os computadores, a Matemática e as outras ferramentas, não. As técnicas e os modelos de engenharia econômica auxiliam as pessoas a tomarem decisões. Em virtude de que essas decisões afetam aquilo que será feito, o intervalo de tempo da engenharia econômica é, essencialmente, o futuro. Dessa forma, os números utilizados em uma análise de engenharia econômica são estimativas que se espera que ocorram. Essas estimativas, geralmente, envolvem três variáveis fundamentais: fluxo de caixa, tempo de ocorrência e taxa de juros. Como estão ligadas ao futuro, podem ser bem diferentes do que ocorre, principalmente em virtude das modificações nas circunstâncias e devido a eventos não planejados. Ou seja, a natureza estocástica das estimativas provavelmente fará com que o valor observado no futuro seja diferente do valor estimado no presente. Analogamente, a engenharia econômica pode ser utilizada para analisar resultados passados. Os dados observados são avaliados para determinar se os resultados atenderam ou não um critério especificado, tal como a necessidade de se obter determinada taxa de retorno (BLANK, 2008).

A metodologia proposta no presente trabalho, basicamente, se fundamenta nesses conceitos, porém, busca a associação entre a flexibilidade e a estimação das decisões com vistas a determinar o valor esperado de uma dada alternativa (opção) de projeto.

Para avaliação dos investimentos na ampliação do sistema de abastecimento foi utilizado o valor presente líquido (VPL), já amplamente empregado em análises de viabilidade econômica de projetos. Entretanto, buscou-se incluir nas análises diversos cenários que propiciam um contexto dinâmico, mediante a realização de diversas simulações, as quais permitem focar não apenas o valor presente líquido, mas também, de que maneira os investimentos podem ser realizados, e ainda como pode ser avaliada a flexibilidade em vista das diversas possibilidades de levar adiante o projeto.

O projeto de expansão do sistema de abastecimento tem como horizonte de análise um período de até 15 anos. Dessa forma, em virtude dos inevitáveis riscos associados a esse tipo

de investimento, a forma mais adequada de minimizar tais riscos é dotar o projeto de investimento de alguns recursos de flexibilidade.

Esta tese assume que um projeto pouco flexível (projeto que não minimiza decisões ou soluções irreversíveis), certamente, elimina as oportunidades de redução nos custos de investimentos, e, portanto, de ganhos econômicos, e, ao mesmo tempo, aumenta os riscos de não atingir a plena eficiência econômica, tendo nesse caso como parâmetro de referência o valor presente líquido (VPL). Porém, não há uma expressão algébrica que defina o valor da flexibilidade e seu valor não está explícito nos fluxos de caixa que visam avaliar a viabilidade dos investimentos.

De maneira geral, os valores são calculados de forma indireta por meio de comparações entre diferentes opções de projetos que são implantados em diferentes períodos a partir de uma data de referência. É necessário destacar que o valor presente líquido é o parâmetro elementar das análises, uma vez que são várias as alternativas (opções) no arranjo do projeto de expansão em estudo. Logo, pela abordagem tradicional, deve ser adotado aquele projeto que resulta no maior VPL; projetos com VPL negativo devem ser desconsiderados como opção de investimento.

A metodologia proposta visa, justamente, empregar uma análise dinâmica por meio da adoção de cenários e busca evitar a gestão passiva para tomada de decisão sobre qual opção de projeto deve ser adotado e, se houver execução em etapas, qual sequência a ser seguida e quando os projetos devem ser executados.

A figura 4.1 mostrada a seguir apresenta o fluxograma da metodologia a ser empregada na pesquisa em questão.

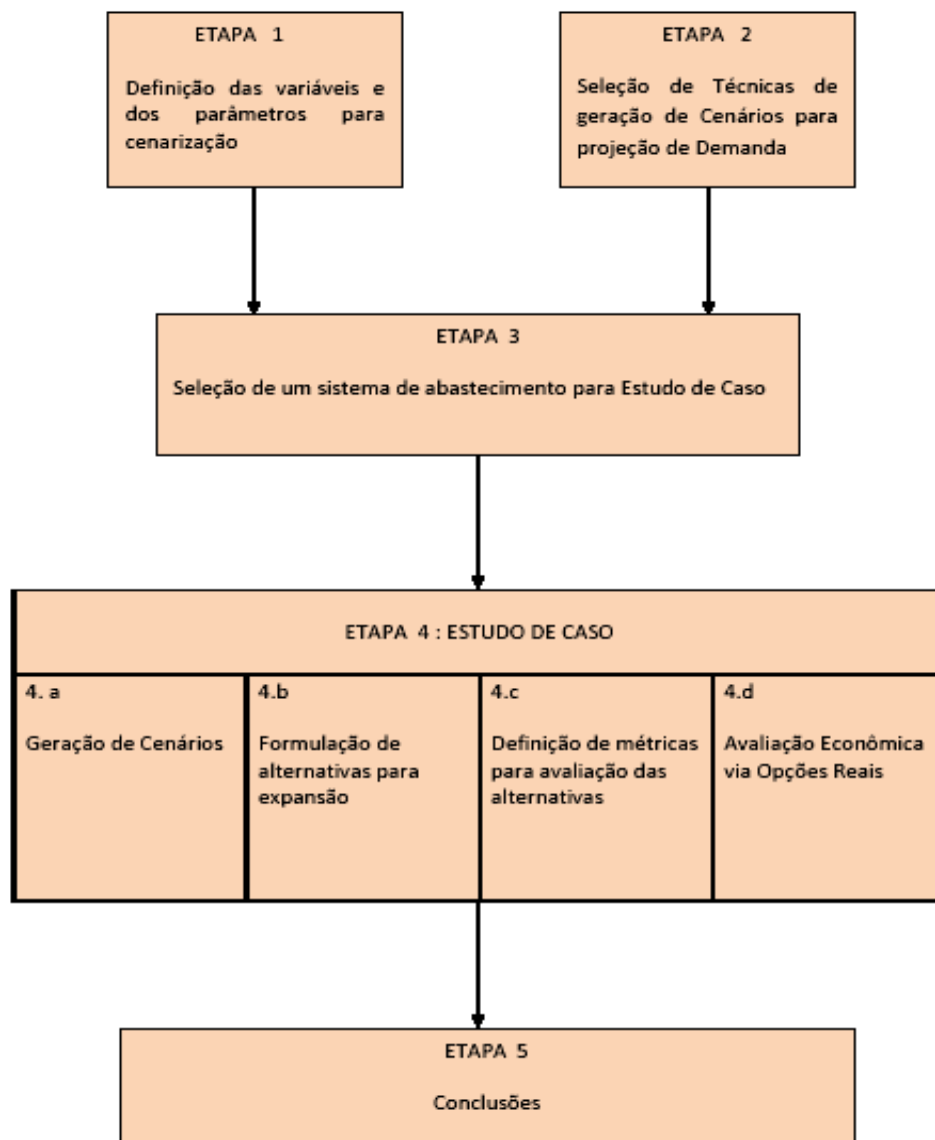


Figura 4.1 – Fluxograma da metodologia empregada para realização da pesquisa.

4.2 – Construção de Cenários das Variáveis sujeitas a Incertezas

Para possibilitar uma análise mais abrangente propõe-se a avaliação do projeto de investimento por intermédio de cenários os quais são construídos com as variáveis sujeitas a incertezas. O método em questão tem como princípio fundamental empregar, além do consagrado valor presente líquido (VPL), uma abordagem dinâmica, por meio da flexibilização no projeto de

expansão. Busca-se, portanto, incluir no processo de tomada de decisão um enfoque diferente da avaliação determinística, pois se o comportamento das variáveis fosse perfeitamente conhecido, o tomador de decisão optaria, certamente, pelo projeto que resultasse no maior VPL, sendo que apenas um cenário seria preponderante, com valores atribuídos às variáveis absolutamente favoráveis para o melhor resultado do VPL; a avaliação feita dessa maneira seria extremamente simplista em virtude das reais incertezas que incidem sobre o projeto de investimento.

Propõe-se, portanto, a seleção das variáveis principais que influenciam no resultado do VPL, destacando-se as seguintes:

a) Variáveis Econômicas

Os projetos de investimentos geralmente estão inseridos em um contexto no qual alguns condicionantes de ordem econômica podem determinar o grau de eficiência do projeto. Os condicionantes, ou seja, as variáveis econômicas a serem consideradas na metodologia proposta são:

Taxa de juro (Tj): taxa de desconto anual aplicada ao fluxo de caixa do projeto de investimento. Na metodologia proposta é considerada constante ao longo do horizonte do projeto.

Taxa de reajuste tarifário (Te): se refere à atualização anual do valor da tarifa. Na metodologia proposta é considerada constante ao longo do horizonte do projeto.

Para referenciar os valores considerados nas simulações, foram pesquisados alguns índices de reajustes aplicados nas tarifas de água de empresas do setor de saneamento básico os quais são apresentados a seguir:

A SANASA – Sociedade de Abastecimento de Água e Saneamento, empresa que opera os sistemas de água e esgotos de Campinas/SP, reajustou as tarifas de água e esgotos em 11,8% a partir de 30 de junho de 2009 (Portal Saneamento Básico, o SITE!, 03/07/2009).

A SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo, empresa que opera os serviços de água de mais de 200 municípios paulistas, aplicou um reajuste nas tarifas de água e esgotos de 4,43% a partir de setembro de 2009 (ARSEP – Agência Reguladora de Saneamento e Energia do Estado de São Paulo, agosto/2009).

A COMPESA – Companhia Pernambucana de Saneamento reajustou as tarifas de água e esgotos em 8,6% a partir de 21 de novembro de 2009 (Portal Saneamento Básico, o SITE!, 26/10/2009).

O DAE S/A Água e Esgoto de Jundiaí/SP, reajustou em 5,4% as tarifas de água e esgotos a partir de dezembro de 2009 (Portal Saneamento Básico, o SITE!, 26/11/2009).

O SAEMA – Serviço de Água, Esgoto e Meio Ambiente de Araras/SP – anunciou a aplicação de reajuste nas tarifas de água e esgotos a partir de janeiro de 2010. A correção é relativa ao IPCA-E (Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo Especial) dos anos de 2007 cujo valor foi 4,36%; de 2008 resultou em 6,10% e 2009 em 4,42%. A correção, portanto, se refere ao acumulado no período que compreende o triênio 2007-2009 e corresponde a 15,66% (Portal Saneamento Básico, o SITE!, 01/12/2009).

A COPASA – Companhia de Saneamento de Minas Gerais reajustou as tarifas de água das categorias comercial e industrial em 11,5%; a tarifa da categoria residencial foi reajustada em 7,56%, a partir de março de 2009 (Revista Água – Gestão e Sustentabilidade, março/2009).

A Prefeitura de Tubarão/SC, responsável pela operação do sistema de água daquela cidade recebeu autorização para reajustar em 5,92% as tarifas de água a partir de 01 de outubro de 2009 (Secretaria de Comunicação da Prefeitura do Município de Tubarão/SC, setembro/2009).

Tarifa da água (TAR): valor médio por metro cúbico de água. Nas análises de viabilidade estabelecidas pela metodologia em questão, o valor médio da tarifa engloba todas as categorias comumente aplicadas no setor de abastecimento de água (residencial, comercial, industrial e pública).

Os valores para a tarifa de água TAR que foram utilizados na pesquisa em questão têm como base os valores da tarifa média praticada pelas empresas de saneamento brasileiras, cuja natureza organizacional se assemelha às condições e ao contexto descrito no estudo de caso que será apresentado no próximo capítulo.

Dessa forma, levando-se em consideração a tarifa média praticada pelas empresas prestadoras de serviços de saneamento de abrangência local e de direito público, por região geográfica, foram encontrados os valores apresentados no quadro 4.1 a seguir:

Quadro 4.1 – Valores das tarifas médias de água praticadas por região.

Região	Tarifa média de água praticada (R\$/m³)
Sudeste	1,13
Centro-oeste	1,08
Nordeste	0,95
Norte	0,51

Fonte: SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (2007).

A tarifa média praticada pelas empresas prestadoras de serviços de saneamento de abrangência local e de direito público, quando são consideradas todas as regiões descritas acima equivale a R\$ 1,19/m³ (SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, 2007).

FIGUEIREDO JÚNIOR (2008), realizou pesquisa sobre o custo da água com vistas à sustentabilidade dos sistemas urbanos de abastecimento e concluiu que, para a cidade de Natal/RN, a tarifa média sustentável deveria ser de R\$ 3,67/m³, considerando o ano de 2006. Todavia, o pesquisador destaca que, para o ano em referência, a tarifa média cobrada pela empresa responsável pelo abastecimento de água era de R\$ 1,54/m³, portanto abaixo do valor ideal sob o ponto de vista sustentável, considerando-se os aspectos financeiros, econômicos, ambientais e de escassez de recursos hídricos. Para o mesmo ano de 2006, a tarifa média cobrada na cidade de Florianópolis/SC era de R\$ 2,64/m³, a maior entre as praticadas por empresas de saneamento no Brasil. Ainda assim, o valor da tarifa sustentável resultou 39% superior à tarifa média de Florianópolis. Logo, observa-se que as empresas do setor de abastecimento de água ou de saneamento, não possuem liberdade para praticar as tarifas ideais, uma vez que os valores tarifários, se considerada a sustentabilidade, resultariam muito superiores aos praticados e

certamente incompatíveis com a realidade sócio-econômica da população. Trata-se, portanto, de uma restrição que deve ser levada em consideração nos estudos de viabilidade dos projetos de investimentos em sistemas urbanos de abastecimento de água.

b) Variáveis de Natureza Física

Basicamente, um projeto de implantação de um dado sistema de abastecimento de água está sujeito às variáveis de natureza física que contém um grau de incerteza. A tendência da evolução das variáveis ao longo do horizonte de projeto submete o investimento à incerteza; pode recair sobre a demanda cujo comportamento ao longo do período de projeto pode variar e refletir diretamente sobre o fluxo de caixa do projeto de investimento.

Por outro lado, a concepção do projeto também pode influenciar os resultados do VPL, pois se a opção recai, por exemplo, sobre uma alternativa que exige menor investimento inicial, obviamente, o efeito dessa opção de menor custo impactará de forma positiva o resultado do VPL. Logo, a opção do projeto a ser executado pode ser considerada como uma variável física, porém, para esse caso, o nível de incerteza é baixo.

As variáveis físicas a serem consideradas na metodologia proposta são:

Demanda: na metodologia em questão considera-se que a demanda ocorre ao longo do período do projeto com incremento similar para cada ano. Para o incremento anual assume-se, portanto, que a taxa de crescimento da demanda será a mesma ao longo do horizonte de projeto. Porém, em termos de cenarização, propõe-se no método que o incremento anual da demanda terá três níveis (cenários): baixo, médio e alto, cada um com valor estipulado de acordo com as estimativas de crescimento do consumo de água;

Investimento: está associado ao projeto de engenharia selecionado como opção de execução da obra. O projeto pode ser implantado em etapas que pode se caracterizar como flexibilidade na implantação.

O projeto pode conter opções de materiais a serem empregados, por exemplo, na execução da adutora de água. Para cada opção há um valor a ser investido que depende do tipo de

material e da capacidade da adutora, da capacidade das unidades que compõem a estação de tratamento de água, da quantidade de reservatórios a implantar, etc.

Dependendo do número de opções a ser considerado, a análise de viabilidade econômica pode se tornar complexa, uma vez que, não é somente o valor inicial a ser investido, mas também as demais variáveis descritas anteriormente, que combinadas em possíveis cenários, refletem nos resultados do VPL.

4.3 – Cenários Combinados das Variáveis

Para avaliar a viabilidade do projeto, o método proposto tem como objetivo explorar, por meio de simulações, os possíveis resultados econômico-financeiros em função dos diversos cenários que podem ser criados com base nas variáveis selecionadas, segundo o interesse do estudo. Para os diversos cenários resultantes da combinação das variáveis de interesse, admitiu-se que há independência entre essas variáveis, assim como os mesmos são equiprováveis. Todavia, é necessário destacar que dependendo das características do projeto, pode ocorrer dependência entre as variáveis, e a distribuição das probabilidades de ocorrência não seja equiprovável, caso em que a análise torna-se mais complexa, pois exigirá o estabelecido da distribuição da probabilidade, e o grau de dependência entre as variáveis. O parâmetro de referência para análise dos resultados é o valor presente líquido (VPL). A combinação entre as variáveis permite formular as opções nas quais o tomador de decisão pode se fundamentar para realizar o investimento. Cada opção apresenta uma gama de resultados de VPL, conforme os cenários estabelecidos para a opção.

Os cenários são estabelecidos em função das variáveis já descritas:

Variáveis econômicas: Taxa de juro (T_j), taxa de reajuste tarifário (T_e), e Tarifa da água (TAR);

Variáveis físicas: Demanda e Investimento. O investimento, ou seja, o valor a ser desembolsado em uma data de referência, está associado à alternativa de projeto a ser executado.

Logo, tal valor apesar de ser financeiro, é diretamente dependente da concepção do projeto a ser executado, razão pela qual atribui-se ao investimento a característica de variável física.

Devido ao elevado número de cenários em virtude da combinação de todas as variáveis, as simulações podem resultar em muitos valores de VPL, o que pode dificultar a definição da opção mais adequada, pois não se trata de um processo de seleção com enfoque apenas determinístico, uma vez que o comportamento das variáveis T_j , T_e , TAR , e Demanda não é plenamente conhecido.

Dessa forma, pretende-se enfatizar a abordagem na qual a flexibilidade seja incorporada no projeto e no processo de tomada de decisão com vistas a auxiliar na seleção da opção mais adequada, que evite a exposição a possíveis prejuízos, e, ao mesmo tempo, apresente condições de atendimento da demanda ao longo do horizonte de projeto.

Os possíveis prejuízos podem ser evitados com uma determinada probabilidade, tendo como referência o VPL alvo, no qual são comparados os VPLs obtidos dos diversos cenários estabelecidos. A decisão sobre qual opção (alternativa de projeto) deve ser executada está associada, portanto, a aceitação um determinado nível de risco.

A flexibilidade se apresenta, portanto, como um instrumento de gestão ativa e extremamente eficaz para lidar com questões em ambiente que contém incertezas, como no caso do estudo em questão. A figura 4.2 apresentada a seguir mostra de maneira esquemática a combinação das variáveis para a formação dos cenários para os quais são calculados os VPLs.

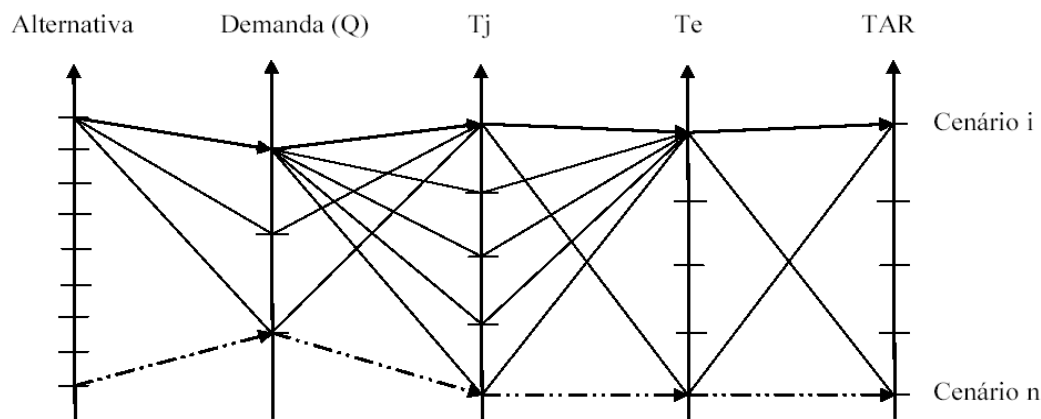


Figura 4.2 – Combinação das variáveis para formação dos cenários para cálculo do VPL.

4.4 – Formulação de alternativas de Expansão

A expansão de um dado sistema de abastecimento pode conter diversas alternativas de projeto. É necessário destacar que cada caso é um caso. Não é possível estabelecer de maneira generalizada como pode ser expandido um determinado sistema de abastecimento. É provável, inclusive, que alguns sistemas, devido às suas concepções, não apresentem possibilidades de diferentes alternativas e arranjos para expansão.

Portanto, no projeto, fundamentalmente, é essencial que sejam incorporadas alternativas e possibilidades flexíveis para expansão, quer sob o ponto de vista de arranjo das unidades, quer sob o ponto de vista do emprego de materiais alternativos.

Como exemplo, pode-se citar a execução da adutora de água com material diferente do tradicional Ferro Fundido, empregando-se tubos fabricados com materiais alternativos tais como PRFV ou RPVC, classificados de forma genérica como PVC reforçado, cuja normatização foi recentemente publicada no Brasil. Os tubos fabricados com esses materiais apresentam, de maneira geral, menor custo de aquisição; para a mão-de-obra de assentamento não há diferenças significativas de custo. Porém, o valor do investimento da adutora pode ser menor em virtude da simples troca de material dos tubos. Obviamente, assume-se neste caso, que ambos os materiais são equivalentes para as condições operacionais da adutora.

É necessário destacar que não é o material alternativo que importa, mas sim o conceito de flexibilizar o projeto em busca de outras soluções viáveis para realização do investimento, criando-se opções de arranjos no projeto e empregando-se materiais alternativos, ou ambos. O impacto dessas opções na expansão do sistema deve ser investigado, uma vez que os valores a ser investidos são diferentes entre as opções, que associados às demais variáveis consideradas anteriormente, modificam os resultados do VPL.

4.5 – Importância de construir alternativas por meio da execução em módulos / flexibilização

Em virtude da impossibilidade do pleno conhecimento do comportamento das variáveis que influem nos resultados do VPL, é fundamental que o projeto de expansão seja desenvolvido de forma que contemple alternativas com soluções modulares.

A execução em etapas ou módulos permite que o investidor observe a tendência das variáveis sujeitas a incertezas, e dessa forma, possa gerenciar a expansão ao longo do horizonte do projeto. Essa possibilidade pode ser caracterizada como flexibilidade por meio da qual as potenciais oportunidades identificadas com base nas informações e nos dados observados, permitem ao gestor ou ao tomador de decisão, modificar o projeto de expansão com vistas a ajustar o investimento às condições reais que podem ser bem diferentes daquelas inicialmente previstas, principalmente, se o projeto for desenvolvido para atendimento de condições operacionais de longo prazo. Evita-se, portanto, o gerenciamento passivo do projeto de investimento, no qual a rigidez e a irreversibilidade são substituídas pela flexibilidade, que, em termos econômicos, pode significar uma proteção contra potenciais prejuízos, se for considerado o horizonte de expansão do projeto.

Portanto, para se obter as vantagens que a flexibilidade pode propiciar, é fundamental que no projeto da expansão do sistema sejam previstas soluções que permitam a modulação da expansão, que, associada à flexibilidade, fornecerão as melhores condições para gestão do projeto, e, em especial, para a tomada de decisão sobre o momento mais adequado para expandir o sistema, de posse das informações mais atualizadas sobre o comportamento das principais variáveis intervenientes no projeto, destacadas anteriormente. Na terminologia da área de otimização sob incerteza, a abordagem proposta caracteriza o enfoque de aguardar a “revelação da incerteza” ou pelo menos parte dela, para decidir ampliar ou não a capacidade do sistema.

4.6 – Avaliação do desempenho das alternativas sob os diferentes Cenários –VPL

Na pesquisa em questão procura-se explorar diversos cenários possíveis para o projeto de investimento. A combinação entre as variáveis resulta em muitos cenários que devem ser analisados e selecionados de acordo com parâmetros comuns a todos eles. No estudo do projeto de expansão, o valor presente líquido – VPL foi adotado como parâmetro de avaliação econômica para comparação entre as alternativas de expansão.

As variáveis de maior interesse para a pesquisa — econômicas: taxa de juro (T_j), taxa de reajuste da tarifa (T_e) e tarifa (TAR); físicas: Demanda e Investimento (associado à alternativa a ser executada) —, são organizadas de forma que possa ser determinado o fluxo de

caixa descontado do projeto de investimento. Uma vez estabelecidos os valores para as variáveis consideradas, calcula-se o VPL para cada alternativa, com vistas a permitir a comparação entre as alternativas para expansão do sistema de abastecimento.

O desempenho das alternativas sob os diferentes cenários formulados é comparado com base no VPL de cada uma, para cada cenário considerado. Evidentemente, valores maiores do VPL indicam alternativas melhores; resultados negativos do VPL apontam as alternativas que devem ser desconsideradas no projeto de expansão, segundo a abordagem tradicional para análise de viabilidade econômica de projetos de investimentos.

Dependendo do número de alternativas possíveis para execução do projeto de expansão, associadas às demais variáveis descritas anteriormente, pode ser gerada uma enorme quantidade de VPLs, o que dificulta a análise para determinação da melhor alternativa a ser executada.

É necessário destacar que a simples análise do resultado do VPL não permite identificar a flexibilidade que pode ser incorporada no projeto de expansão. Por isso, a metodologia em questão apresenta uma proposta para avaliação da flexibilidade com objetivo de complementar a análise por meio de indicadores que se baseiam no VPL, porém, permitem estimar o valor potencial dos possíveis prejuízos, caso o cenário previsto para o projeto não seja concretizado.

Dessa forma, o tradicional VPL é calculado e utilizado como parâmetro de métrica para avaliação do desempenho das alternativas consideradas, entretanto, é complementado com outros parâmetros que visam avaliar e valorar a flexibilidade e a prevenção contra potenciais riscos e prejuízos aos quais o projeto de expansão pode estar exposto.

4.7 – Aplicação da Teoria de Opções

A metodologia proposta se fundamenta em alguns dos conceitos estabelecidos pela Teoria das Opções Reais. Ressalta-se que nem todos os princípios formulados se aplicam ao problema de expansão da capacidade do sistema de abastecimento de água em estudo. Todavia, há conceitos que podem ser utilizados adequadamente ao estudo, cujos resultados permitem evidenciar as potencialidades da aplicação da Teoria das Opções no projeto de investimento em análise.

TRIGEORGIS (1996) apresenta diversas categorias de opções as quais apresentam plenas possibilidades de ser empregadas em projetos de expansão de capacidade. Essas categorias de opções também podem ser aplicadas aos mais diversos segmentos da economia. Analogamente, se constituem em possibilidades perfeitamente aplicáveis ao estudo em questão.

A seguir são apresentados os tipos de opções que podem ser empregados em projetos de expansão da capacidade de sistemas de abastecimento de água.

a) Opção de adiar: Permite aguardar um determinado período para confirmar se vale à pena construir um prédio, uma planta ou o desenvolvimento de uma jazida. Na pesquisa em questão pode ser comparada com a implantação em duas fases de uma mesma etapa de expansão de um sistema.

A execução da segunda fase fica condicionada à observação da evolução da demanda, pois se a tendência for diferente da prevista, aguarda-se um período para verificar se é adequado construir as unidades complementares que compõem o sistema de abastecimento de água;

b) Opção de investir em fases: Realiza o investimento em parcelas ou etapas. Cria a opção de abandonar a empreitada caso surja informação desfavorável. Cada parcela do investimento pode ser interpretada como uma opção sobre as etapas seguintes e valorada como uma opção combinada. Essa opção sugere que o investimento na expansão do sistema de abastecimento seja realizado em fases. Procura-se, dessa forma, compatibilizar a execução das instalações com a demanda a ser atendida, evitando-se a ociosidade operacional do sistema;

c) Opção de alterar a escala de operação: Se as condições de mercado forem mais favoráveis que o esperado, a empresa pode expandir a escala de produção ou aumentar a utilização de um determinado recurso. Contrariamente, sob condições desfavoráveis, a escala de operações pode ser reduzida, ou até paralisada e recomeçada. Para essa opção, o sistema de abastecimento deve ser projetado para operar com diferentes vazões. De acordo com a demanda, dentro de uma faixa viável de vazão, ajusta-se a produção para atender a demanda;

d) Opção de mudar: Se os preços das matérias primas ou a demanda mudarem, a mesma produção pode ser feita utilizando diferentes tipos de matéria prima. Esse

tipo de opção pode ser caracterizado, por exemplo, a admissão de materiais alternativos para execução da adutora de água bruta. Analogamente, na operação da estação de tratamento de água, podem ser utilizados coagulantes e polímeros alternativos (mais baratos) desde que a qualidade da água final (potável) seja adequada e condizente com a legislação em vigor.

e) Opção de crescimento: Um investimento anterior é pré-requisito para projetos inter-relacionados, possibilitando oportunidades futuras de crescimento. Dentro de certos limites pode-se considerar para essa opção a possibilidade de implantar a expansão do sistema de água com relativa folga para atendimento da demanda futura. Porém, nesse caso é necessário um refinamento na definição da capacidade e da demanda a ser atendida para evitar ociosidade operacional com reflexos negativos sobre os resultados econômicos do investimento;

f) Opções múltiplas: De maneira geral, projetos admitem uma gama de opções. Opções de expansão do potencial positivo e opções de proteção contra queda são apresentadas em combinação. O valor destas combinações pode ser diferente da soma dos seus valores separados. Na pesquisa em pauta, as opções compreendem uma gama de alternativas de projetos que são combinados de forma que haja garantia de atendimento da demanda, e, em contrapartida, ocorra proteção contra potenciais prejuízos decorrentes da demanda não concretizada, ocorrendo nesse caso, a ociosidade operacional.

4.8 – Prejuízo Evitado

Dadas as incertezas que incidem sobre o projeto de expansão do sistema de abastecimento, não é possível estabelecer de forma exata qual será o real resultado financeiro a ser obtido com a expansão da capacidade.

Devido ao longo prazo considerado no projeto, é provável que algumas das variáveis consideradas apresentem valores muito diferentes dos previstos inicialmente. Se for realizada a expansão irreversível da capacidade do sistema com base em uma demanda que no futuro não se concretize, o sistema será operado com ociosidade no período considerado para análise da viabilidade do investimento. Para essa condição, a metodologia em questão sugere a

identificação dos cenários que podem levar à ociosidade operacional e avaliar o impacto sobre o resultado do valor presente líquido (VPL) para esses cenários.

Na hipótese de realizar a expansão do sistema sem a previsão de execução em fases ou etapas, implica em adotar uma decisão de natureza irreversível. Desse modo, é eliminada a possibilidade de observar a evolução dos valores assumidos para a demanda, e de posse desses valores, continuar ou não a expansão. Logo, o sistema estará exposto ao risco de operar de forma ociosa no caso da demanda prevista não se concretizar.

Por outro lado, se a implantação da expansão for realizada em etapas, é possível evitar potenciais prejuízos em caso da não concretização da demanda para qual foi realizada a expansão. O prejuízo evitado pode ser calculado para os cenários de interesse, tomando-se como base o VPL obtido para cada um dos cenários considerados. São definidos VPLs de referência para os quais são calculados os potenciais prejuízos a serem evitados.

Os cenários considerados são definidos com as variáveis apresentadas anteriormente, as quais são combinadas (realização conjunta das variáveis) e então são calculados os VPLs. Para esses valores, são definidos os VPLs de referência para as seguintes situações:

Valor médio de VPL (para o conjunto completo de cenários)

$$\mu; \quad (\text{eq. 4.1})$$

Valor médio de VPL + ½ Desvio Padrão (para o conjunto completo de cenários)

$$\mu + 0,5\sigma; \quad (\text{eq. 4.2})$$

Valor médio de VPL + 1 Desvio Padrão (para o conjunto completo de cenários)

$$\mu + \sigma; \quad (\text{eq. 4.3})$$

Valor médio de VPL + 1,5 Desvio Padrão (para o conjunto completo de cenários)

$$\mu + 1,5\sigma; \quad (\text{eq. 4.4})$$

Valor médio de VPL + 2 Desvio Padrão (para o conjunto completo de cenários)

$$\mu + 2\sigma, \quad (\text{eq. 4.5})$$

em que:

μ : valor médio da série de VPLs obtidos dos cenários considerados; e

σ : desvio padrão da série de VPLs obtidos dos cenários considerados.

O valor do *prejuízo evitado esperado (PEE)* é calculado para $VPL < VPL$ de referência, de acordo com a expressão apresentada a seguir:

$$PEE = \sum_{i=1}^n (VPL \text{ referência} - VPL_i) \times p_i, \quad (\text{eq. 4.6})$$

em que:

i: cenário

n: número de cenários considerados

VPL referência: Valor presente líquido (VPL) calculado com base na média e no desvio padrão da série de VPLs de todos os cenários considerados;

VPL: Valor presente líquido calculado para o cenário i;

p: probabilidade de ocorrência do cenário i.

Para a probabilidade de ocorrência do cenário considerado é assumida uma distribuição equiprovável de probabilidade. Assim, o valor da probabilidade de ocorrência é calculado pelo valor inverso do número de cenários considerados de acordo com a equação mostrada a seguir:

$$p = \frac{1}{n}, \quad (\text{eq. 4.7})$$

em que:

p: probabilidade de ocorrência do cenário;

n: número de cenários considerados na simulação.

A possibilidade de se evitar o prejuízo esperado em função do VPL de referência é determinada pela expressão apresentada a seguir:

$$p_{evitar} = \sum p_i , \quad (\text{eq. 4.8})$$

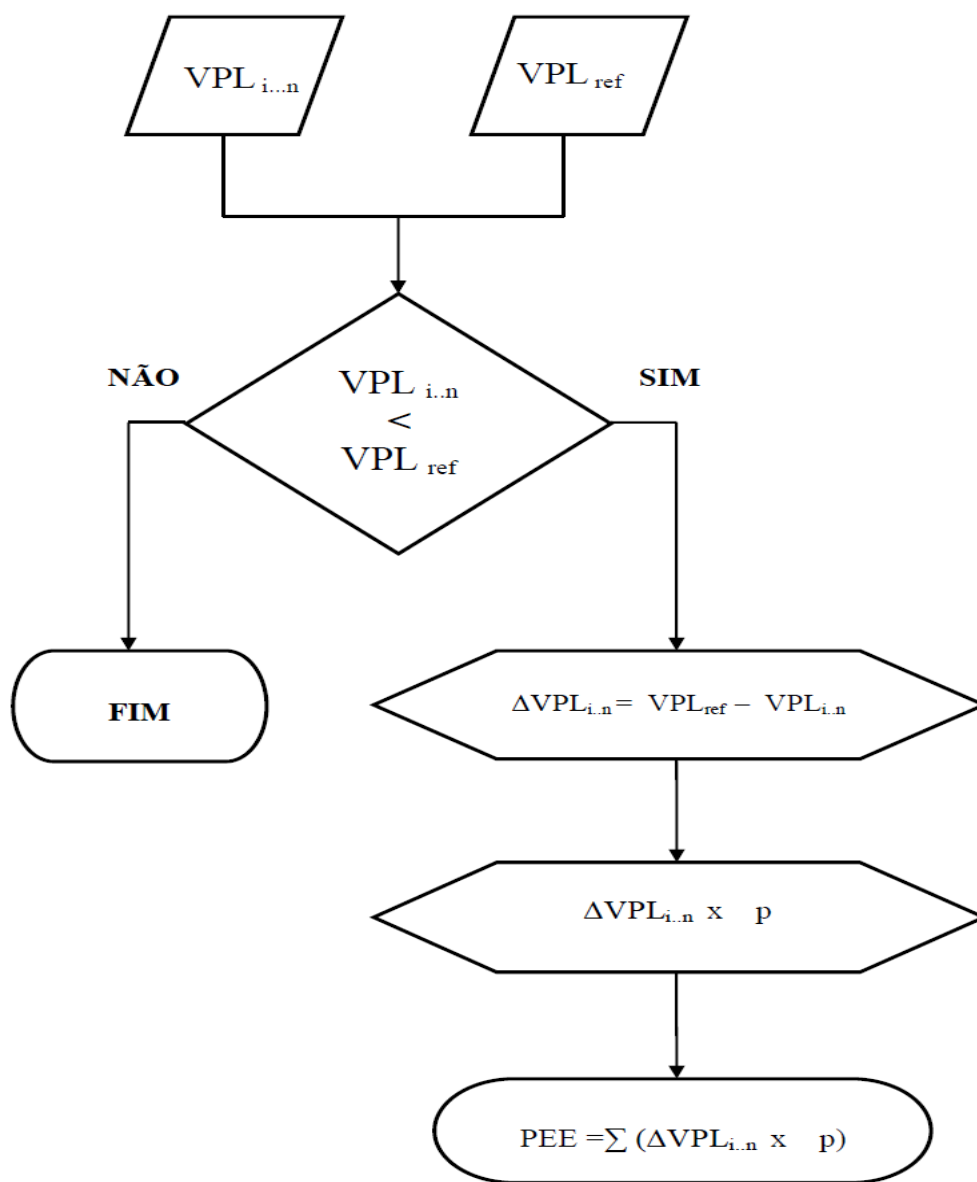
em que:

p_{evitar} : probabilidade de se evitar o prejuízo esperado;

p_i : probabilidade de ocorrência do VPL menor que o VPL de referência.

Portanto, a probabilidade de ocorrência depende do número de cenários considerados; o número de cenários a ser considerado depende da alternativa (opção) a ser avaliada. De qualquer maneira, haverá sempre muitos cenários para os quais serão calculados os valores presentes líquidos (VPLs).

A figura 4.3 apresentada a seguir demonstra o fluxograma a ser utilizado para determinação do valor esperado do prejuízo evitado. Os dados podem ser organizados em forma de planilha eletrônica. As funções estatísticas tais como a média μ e o desvio padrão σ , são facilmente introduzidas e auxiliam no cálculo do VPL de referência.



Valor do prejuízo evitado esperado (PEE)

Figura 4.3 – Fluxograma para determinação do valor esperado do prejuízo evitado.

4.9 – Valor da Flexibilidade

Ao se realizar uma abordagem com enfoque na flexibilidade aplicada ao projeto de expansão do sistema de abastecimento, é possível que essa propriedade seja valorada, pois a adoção ou não da mesma refletirá — de forma positiva ou negativa — nos resultados econômicos do investimento.

A flexibilidade pode ser caracterizada no estudo em questão como:

- a) o emprego de materiais alternativos, porém normatizados, para execução (do reforço) adutora de água bruta;
- b) a execução (do reforço) da adutora em etapas, conforme o crescimento da demanda; e
- c) a execução da ampliação da estação de tratamento de água em etapas assim como dos reservatórios de água potável também conforme o crescimento da demanda.

Para cada uma das alternativas descritas, há um custo de execução associado.

Logo, para realizar o investimento o tomador de decisão terá que analisar qual será o impacto sobre o VPL de cada uma das alternativas de projeto que podem ser executadas, sendo que essas alternativas devem ser avaliadas sob os cenários adotados de acordo com as variáveis selecionadas anteriormente. Trata-se de uma abordagem que não é determinística e tampouco passiva.

Muitas discussões são suscitadas quando se trata de estimar o custo de capital. O modelo do VPL ou fluxo de caixa descontado é criticado por especialistas que atuam em avaliações de projetos de investimentos, pois podem ocorrer mudanças nos cenários assim como incertezas também podem incidir sobre o projeto. Todavia, à medida que o tempo passa, a obtenção de novas informações contribui para equacionar de forma gradativa algumas incertezas sobre as condições do mercado e do fluxo de caixa do projeto. Dessa forma, é possível que a empresa reveja sua estratégia e modifique seus planos de investimento de acordo com as novas condições do ambiente, evitando a gestão passiva assumida na projeção do fluxo de caixa (MINARDI, 2004).

As possibilidades de rever a estratégia inicial e de modificar o planejamento dos investimentos de acordo com as novas condições econômicas é denominada flexibilidade gerencial. A flexibilidade permite a capitalização de futuras oportunidades favoráveis ao projeto de investimento assim como possibilita a diminuição de possíveis perdas. Além disso, com a flexibilização é possível expandir o valor das oportunidades de um investimento em virtude de melhorar o potencial de ganhos das mesmas, e por outro lado, limita o potencial de perdas oriundas de um gerenciamento passivo condicionado às expectativas iniciais. De maneira geral, o método do VPL subavalia projetos, pois desconsidera a flexibilidade para rever as estratégias

iniciais. Essa característica negativa motivou a busca por métodos complementares que visam utilizar conceitos intuitivos de elementos de flexibilidade gerencial e interações estratégicas. Devido à deficiência dos métodos de desconto de fluxo de caixa, pesquisadores como HAYES e GARVIN (1982) propuseram que as decisões sobre projetos de investimentos deveriam ser tomadas com base em avaliações e considerações estratégicas subjetivas, sem a distorção dos métodos quantitativos.

Para projetos de investimento nos quais a incerteza é pequena e existem poucas flexibilidades gerenciais tais como em projetos de redução de custos, o VPL pode ser utilizado adequadamente para valorar os resultados, pois a estratégia gerencial consiste unicamente em produzir ao menor custo. Contudo, quando o projeto apresenta grande incerteza e significativas flexibilidades gerenciais, o VPL deve ser remodelado, com vistas a capturar o valor dessas flexibilidades (MINARDI, 2004).

TRIGEORGIS (1997) denominou essa remodelagem por Valor Presente Expandido apresentado a seguir:

$$VPL_{\text{expandido}} = VPL_{\text{tradicional}} + \text{Valor}_{\text{flexibilidade gerencial}} \quad (\text{eq. 4.9})$$

As análises tradicionais do VPL são complementadas com análise de sensibilidade, análise de cenários e simulação para lidar com a incerteza. Podem ser propostas também árvores de decisão com vistas a levar em consideração as flexibilidades gerenciais.

Na análise de sensibilidade os fluxos de caixa do projeto são decompostos em variáveis que explicam o VPL. São estimados os piores, os prováveis e os melhores valores para cada variável. São alterados os valores de determinada variável, mantendo-se as demais constantes, e dessa forma são identificadas as variáveis críticas, para as quais é necessário monitoramento. Com nessa análise é possível tomar medidas que visem à mitigação do risco do projeto. Basicamente, a metodologia proposta na presente pesquisa se fundamenta nesses princípios, porém as análises são complementadas por meio de outros indicadores de maneira a explicitar a valoração da flexibilidade, conforme será demonstrado a seguir.

A valoração da flexibilidade pode ser realizada por meio de comparações entre os prejuízos evitados esperados associados a cada uma das alternativas consideradas, tendo como referência inicial de tempo o mesmo ponto de partida para todos os projetos. No caso de se

implantar a expansão do sistema em etapas subsequentes e com intervalos de tempo entre uma etapa e outra, é necessário trazer a valor presente os VPLs das alternativas a serem implantadas no futuro, com vistas a possibilitar a comparação dos resultados econômicos do investimento.

Dessa forma, ao se comparar dois ou mais projetos para expansão da capacidade do sistema de abastecimento, dentro de um período de tempo pré-estabelecido, e considerando-se ainda, o pleno atendimento da demanda, o valor da flexibilidade poderá ser determinado pela diferença entre os valores presentes dos VPLs resultantes de cada uma das alternativas consideradas, de acordo com os cenários adotados.

Ressalta-se que a abordagem fundamenta-se no tradicional valor presente líquido (VPL) como parâmetro de comparação entre as alternativas de projetos, entretanto, busca-se na flexibilidade a forma mais adequada de realizar a expansão da capacidade do sistema diante das incertezas que incidem sobre as principais variáveis que intervêm no investimento em estudo.

A determinação do prejuízo evitado esperado auxilia sobremaneira a valoração da flexibilidade e permite comparar os resultados dos VPLs das alternativas consideradas e, também, permite definir a maneira mais adequada para realizar a expansão do sistema de abastecimento em análise, considerando-se o contexto exposto anteriormente.

4.10 – Analogia com Decisão via Opções Reais

Inicialmente, é necessário destacar que uma opção é um contrato entre duas partes, que dá a seu comprador um direito, mas não uma obrigação, de comercializar uma quantidade fixa de determinado ativo a um preço estabelecido em, ou antes, de uma determinada data. O ato de realizar a transação é denominado exercício da opção; o preço estabelecido é o preço de exercício e a data determinada é o vencimento ou exercício.

Opções foram comercializadas em mercado organizado nos Estados Unidos pela primeira vez em 1973. Desde então, o mercado de opções vem crescendo vertiginosamente. Atualmente, as opções são comercializadas em diferentes mercados. O ativo-objeto inclui ações, índices, moedas estrangeiras, instrumentos de débito, commodities e contratos futuros, dentre outros. No Brasil, as opções de ações e índice Bovespa são comercializadas na Bovespa – Bolsa de Valores de São Paulo. As opções de commodities (produtos agrícolas, metais, energia, etc.),

taxa de câmbio, taxa de juros e índice Bovespa futuro são comercializados na BMF – Bolsa de Mercadorias e Futuros (MINARDI, 2004).

Basicamente, há dois tipos de opções:

- Opção de compra (call): sua compra dá direito a adquirir uma quantidade predeterminada de um dado ativo-objeto, a um preço de exercício e em (ou anteriormente a) uma data de exercício estipulados;
- Opção de venda (put): sua compra dá direito de vender uma quantidade predeterminada do ativo-objeto a um preço de exercício e em (ou anteriormente) uma data de vencimento estipulados.

Uma opção é dita do tipo americana se puder ser exercida em qualquer momento antes do vencimento. Por outro lado, se somente puder ser exercida na data de vencimento a opção é denominada do tipo européia. Maiores detalhes podem ser obtidos em literatura específica sobre derivativos⁴.

A metodologia das Opções Reais foi desenvolvida, pelo menos em parte, como alternativa à inerente inadequação dos métodos tradicionais para avaliação de decisões de investimento sob incerteza, notadamente, o Valor Presente Líquido, e método de Análise de Decisão. Desde sua introdução, a metodologia tem ganhado aceitação na comunidade financeira, e tem sido aplicada a uma variedade de decisões de investimentos de capitais, e, recentemente, na avaliação de projetos de infra-estrutura.

A abordagem, derivada da teoria de precificação, supera as desvantagens do método do Valor Presente Líquido, permitindo aos analistas contabilizarem elementos não tão fáceis de quantificar tais como flexibilidade gerencial e estratégias de intervenção durante o desenvolvimento de um projeto. Ao se contabilizar esses elementos, há uma radical mudança na natureza de qualquer projeto ou investimento, pela incorporação da flexibilidade na estrutura do projeto.

⁴ Hull, John C. *Fundamentos dos Mercados Futuros e de Opções*. 4 ed. – São Paulo: Bolsa de Mercadorias e Futuros, 2005.

Além disso, a Análise de Opções Reais também corrige as esperadas imprecisões na precificação, pela determinação mais justa do valor da flexibilidade, por intermédio do uso e arbitragem das técnicas de precificação (RAMÍREZ, 2002).

A Análise das Opções Reais (AOR) não é somente importante porque precifica a flexibilidade e leva em consideração a incerteza, mas porque a teoria também coloca regras de decisão para que os investidores possam aplicar para otimizar suas estratégias. Por exemplo, a AOR pode identificar o nível de preço que deveria disparar uma decisão de abandonar a produção, ou quando permanecer com a opção de investimento em um dado projeto, em vez de valer-se dele imediatamente.

A Opção Real é a certa, mas não a obrigatória, para tomar uma decisão (expandir, contratar ou abandonar um projeto ou investimento) a um custo predeterminado (preço do exercício), para um determinado período (vida da opção). O termo Opção Real foi inicialmente proposto por Stewart Myers, do Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT), que transportou os conceitos financeiros e colocou opções de ativos reais (MEYRS, 1977).

A Análise de Opções Reais utiliza o mesmo modelo de precificação para calcular um ativo financeiro; esse mecanismo de precificação foi desenvolvido pelos economistas Robert Merton, Fischer Black e Myron Scholes no início da década de 1970, e registram em dois papers: “The Pricing of Options and Corporate Liabilities” (Black and Scholes, 1973), e “The theory of Rational Option Pricing” (Merton, 1973). Essa teoria rendeu a ambos, Myron Scholes e Robert Merton⁵ o prêmio Nobel de Economia em 1997. A teoria das Opções Reais vê as oportunidades de investimentos como certas, mas não como obrigatórias. A AOR assume que, se alguém pode encontrar uma opção financeira similar o suficiente à oportunidade de investimento em mãos, então o valor da opção se aproximaria do valor da oportunidade.

Uma vez que as oportunidades de investimento, geralmente, são complexas e únicas, é difícil encontrar uma opção no mercado financeiro que se pareça com uma oportunidade de investimento; entretanto, a AOR constrói opções sintéticas que permitem calcular (valorar) investimentos reais por meio da arbitragem das oportunidades.

⁵ Fischer Black faleceu em 1995 antes de receber o prêmio.

Para essa tarefa, é necessário haver correspondência entre as características do investimento e as variáveis que determinam o preço de uma opção financeira, as quais são:

- Valor do risco do ativo subjacente (S)
- Preço do Exercício (X)
- Volatilidade – Desvio-Padrão do valor do ativo subjacente (σ)
- Tempo de vida da opção (t)
- Taxa livre de risco (r_f)

A figura 4.4 apresentada a seguir mostra a equivalência entre as Opções Reais e Opções Financeiras.

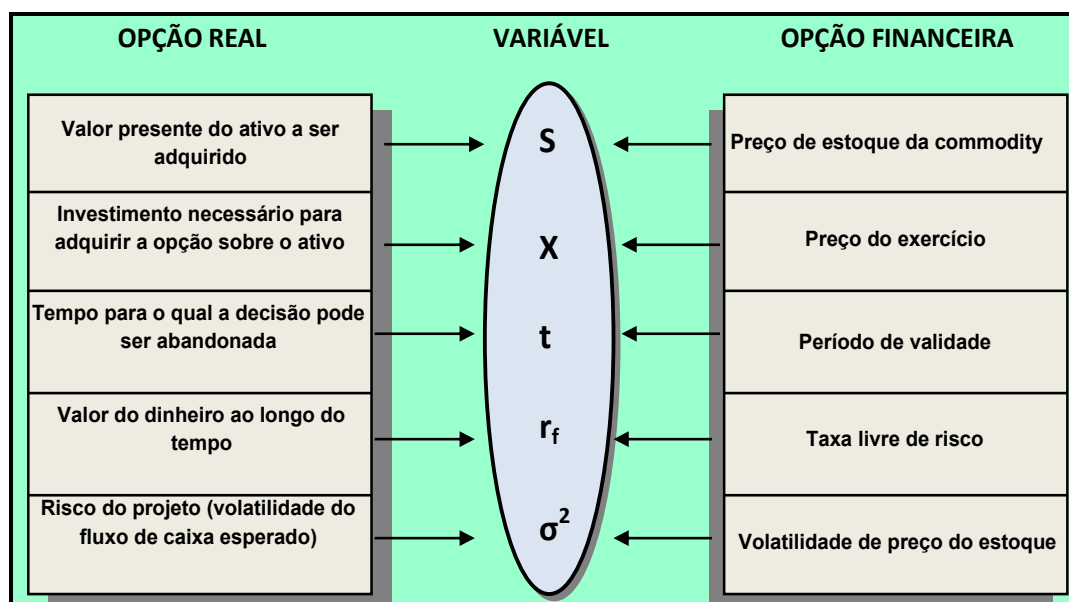


Figura 4.4 – Equivalência entre Opções Reais e Opções Financeiras

Fonte: Adaptado de LUEHRMAN (1998)

Para melhorar a valoração dos projetos de infra-estrutura é necessário utilizar corretas técnicas para o planejamento e avaliação desses projetos. Essencialmente, o processo de

planejamento e avaliação de projetos de infra-estrutura deve levar em conta a incerteza e a habilidade de gerenciamento em resposta a esse processo.

O adequado uso das técnicas de orçamento de capital não só incrementa precisão na análise, como promove a introdução de elementos flexíveis na estratégia do investidor que expandem as oportunidades de investimentos, aumentando o potencial enquanto limita as perdas relativas às estratégias gerenciais passivas.

As técnicas adotadas de orçamento de capital devem ser versáteis o suficiente para levar em conta aquelas opções que ocorrem naturalmente (tais como: adiar, contratar, abandonar, fechar), e aquelas que devem ser planejadas e construídas com algum custo extra (tais como: expansão, substituição, redução da vulnerabilidade de um componente).

Claramente, apenas o Valor Presente Líquido não é o método de avaliação mais adequado, pois não assume a flexibilidade no processo de tomada de decisão, e, portanto, subestima o valor do projeto, pela negligência em considerar a influência positiva das futuras ações de gerenciamento sobre esse valor (do projeto) (RAMÍREZ, 2002).

A Análise de Decisão leva em conta a flexibilidade gerencial, mas atribui o problema de identificação da correta taxa de desconto, e do valor esperado ao tipo de avaliação. Na teoria, a AOR corrige essas deficiências, mas a informação necessária para solucionar essa abordagem é muito difícil de estimar com precisão, principalmente a estimativa da volatilidade e do valor do ativo subjacente. Além disso, a metodologia da AOR coloca uma dificuldade adicional por ser quase que completamente desconhecida dos engenheiros na tarefa de avaliação de investimentos em infra-estrutura, especialmente em países em desenvolvimento. Ao contrário, a metodologia da Análise de Decisão praticamente é conhecida dentro a comunidade de engenheiros (RAMÍREZ, 2002).

De maneira geral, a literatura disponível sobre opções reais concorre em apontar a contribuição mais importante dessa estrutura que é a mudança do modo de pensar dos gerentes. Segundo OLMSTED (1995):

“O processo de utilização da Análise de Opções Reais tende a estender a visão de futuras possibilidades e estimular o pensamento sobre várias alternativas estratégicas. O processo por si só pode ser mais importante que os resultados analíticos particulares”.

Dessa maneira, ambas as abordagens Análise de Decisão e Análise de Opções Reais são extremamente valiosas, pois ambas levam em consideração o valor da flexibilidade e promovem a mudança da avaliação do tipo determinística para o processo de dinâmico de planejamento, o qual encoraja a adoção de projetos flexíveis que efetivamente lidam com um ambiente de incertezas, bem como são muito mais alinhados com a moderna teoria de portfólios (RAMÍREZ, 2002). Apesar de a teoria de valoração das opções ser conhecida desde o início da década de 1970, poucas empresas utilizaram essa metodologia para dar suporte aos seus processos de tomada de decisão. Todavia, com o incremento de estudos empíricos publicados, a abordagem de valoração das opções passou a despertar um maior interesse das empresas. A seguir na tabela 4.1 são apresentadas algumas empresas que utilizaram a abordagem das opções reais.

Tabela -4.1 Exemplos de empresas que utilizaram Opções Reais

Empresa	Ano	Aplicação
HEWLET - PACARD	1990	Produção e distribuição
ICI	1997	Construção de nova fábrica
APPLE	1995 e 1996	Decisão de saída para seus negócios com computadores pessoais
MÓBIL	1996	Desenvolvimento de campos de petróleo
AIRBUS INDUSTRIE	1996	Valoração da opção de entrega
TENESSE VALLEY AUTHORITY	1994	Opção da aquisição de energia elétrica
CADENSE DESING SYSTEMS	1990	Valoração de investimentos
EXXON	1990	Exploração e produção de petróleo
ANADARKO PETROLEUM	1990	Leilões de reservas petrolíferas
TEXACO	Década de 1990	Exploração e produção de petróleo
PRATT & WHITHNEY	1989	Operações de arrendamentos canceláveis

Fonte: Adaptado de COPELAND e ANTIKAROV (2001).

De acordo com TRIGEORGIS (1996) os tipos de Opções Reais que podem ser empregados em projetos de investimentos são apresentados na tabela 4.2 mostrada a seguir. O gerenciamento do projeto de investimento pode adotar uma ou mais categorias de Opções apresentadas, de acordo com as condições de mercado.

Tabela -4.2 Categorias de Opções

CATEGORIA	DESCRIÇÃO
Opção de adiar	Gerenciamento detém uma licença (ou opção de compra) sobre uma área ou recurso valioso. Pode esperar um certo número de anos para verificar se o preço compensa a construção de um prédio, uma planta ou mesmo o desenvolvimento da jazida.
Opção de investimento em fases	Realizar o investimento em parcelas cria a opção de abandonar a empreitada no meio do caminho caso surja uma informação desfavorável. Cada parcela do investimento pode ser vista como uma opção sobre os estágios subsequentes e valorada como uma opção combinada.
Opção de alterar a escala de operação (expandir, contratar, fechar e recomeçar)	Se as condições de mercado forem mais favoráveis que o esperado, a companhia pode expandir a escala de produção ou acelerar a utilização do recurso. De forma contrária, se as condições forem menos favoráveis que o esperado, a escala de operações pode ser reduzida. Em casos extremos a produção pode ser fechada e recomeçada.
Opção de abandonar	Se as condições do mercado declinarem severamente, o gerenciamento pode abandonar as operações permanentemente e receber o valor de revenda do capital investido no mercado de segunda mão.
Opção de mudar (produção ou matéria prima)	Se os preços ou a demanda mudarem, o gerenciamento pode mudar o "mix" de produção da planta. Alternativamente, a mesma produção pode ser produzida utilizando diferentes tipos de matéria prima.
Opções de crescimento	Um investimento anterior é um pré-requisito ou um elo numa cadeia de projetos inter-relacionados, criando oportunidades futuras de crescimento.
Opções Múltiplas	Na prática, projetos normalmente envolvem uma coleção de opções. Opções de expansão do potencial positivo e opções de proteção para queda são apresentadas em combinação. O valor destas combinações pode diferir da soma dos seus valores separadamente.

Fonte: Adaptado de TRIGEORGIS (1997).

4.11 – Analogia entre Opções Reais e Opções Financeiras

As opções reais podem ser precificadas de maneira similar a opções financeiras. A maioria das opções financeiras pode ser avaliada pelo modelo Black&Scholes. Todavia, as opções reais podem ser bem mais complexas. Sick (1989) apud Minardi (2004), realizou um estudo no qual destacou como diferenças fundamentais entre as opções reais e as opções financeiras as seguintes características:

1. Opções financeiras típicas têm vida curta, apresentando de maneira geral, um prazo de vencimento inferior a um ano (embora existam alguns papéis negociáveis em prazos de cinco a dez anos);

2. Considerando que as opções financeiras podem ser exercidas de forma antecipada, ou seja, antes do vencimento, a avaliação desse exercício não é de fundamental importância em virtude da vida curta da opção, e dessa forma, o custo de não exercê-la no momento ótimo não é substancial. Por outro lado, em opções reais, a decisão de exercer de forma antecipada uma opção ou de se implantar um projeto é crítica;

3. Os ativos-objetos de opções financeiras são comercializáveis em diversos mercados e seus preços nunca serão negativos. Assim, o processo aleatório a ser selecionado para precificação do ativo-objeto é mais limitado. Em opções reais, o ativo-objeto pode não ser comercializável, e não há garantia que o valor do mesmo não se torne negativo, fato que pode requerer o emprego de uma maior gama de processos aleatórios para avaliação do valor do ativo-objeto;

4. De maneira geral, as opções financeiras compreendem somente uma opção, com um único preço de exercício. As opções reais podem ser constituídas de várias opções (opções compostas). Um exemplo que pode ilustrar essa propriedade se refere a um projeto de Pesquisa & Desenvolvimento que cria uma opção para adoção de uma nova tecnologia. Se o desenvolvimento da tecnologia for bem sucedido, há a opção para expansão da linha do produto, se esse apresentar bons resultados no mercado final. Entretanto, quando o produto se tornar obsoleto, há a opção de abandonar a sua produção. Logo, depreende-se que uma análise adequada

de um projeto de Pesquisa & Desenvolvimento deve levar em consideração o valor das opções subsequentes de expansão e de abandono. O preço de exercício das opções reais pode variar ao longo do tempo e a variação pode ser aleatória inclusive.

Outras diferenças importantes são destacadas por Smit e Ankum (1993) apud Minardi (2004):

1. As opções financeiras são exclusivas do investidor. Dessa forma, nenhuma pessoa pode exercer a opção possuída por ele. Em relação às opções reais, o nível de exclusividade depende da estrutura de mercado. No caso de mercado no qual há monopólio, a empresa tem exclusividade total de investimento em seu setor. Se o mercado for perfeitamente competitivo, o direito de investimento é um bem público de toda a indústria, sendo que o valor da opção real deteriora-se ao longo do tempo. Para exemplificar essa característica, pode-se tomar como exemplo um projeto de Pesquisa & Desenvolvimento de uma dada empresa que desenvolveu um produto inovador. O valor de lançar esse produto hoje pode ser maior que o valor que lançá-lo amanhã, pois as empresas concorrentes poderão desenvolver produtos similares. Assim sendo, o valor de postergar (deferir) o lançamento do produto se reduz ao longo do tempo;

2. A eficiência do mercado financeiro ajusta os preços rapidamente, por meio do reflexo de todas as informações existentes. A obtenção de retornos acima do mercado não é duradoura prevalecendo a taxa de equilíbrio. Por outro lado, em mercados de bens e serviços nos quais, de maneira geral, há imperfeições, é possível que determinada empresa obtenha ganhos além do equilíbrio de mercado, em virtude de sua vantagem competitiva e enquanto esta perdurar.

A abordagem que é proposta pela metodologia em questão apresenta conceitos que são, em princípio, similares aos fundamentos da Teoria das Opções Reais. A decisão de investir é tomada com base em uma gestão ativa do projeto de expansão. A busca por alternativas que apresentem flexibilidade e evitem a adoção de decisões irreversíveis, permite incorporar ao investimento meios para minimizar os efeitos negativos das incertezas que atuam sobre o projeto de expansão.

Basicamente, a relação das principais características correspondentes ao estudo em questão e os conceitos vigentes nas Opções Financeiras é apresentada a seguir:

- Preço de exercício: na metodologia em questão equivale ao valor do investimento a realizar;
- Exercer a opção: realizar o investimento;
- Opção de investimento: no método proposto é equivalente a alternativa de projeto considerada para expansão da capacidade do sistema de abastecimento;
- Duração (validade) da opção: período de tempo (em anos) considerado para cálculo do VPL da alternativa a ser avaliada;
- Prêmio: equivale ao prejuízo evitado esperado para uma dada alternativa (opção) de projeto, de acordo com os cenários considerados para avaliação do VPL.

É fundamental ressaltar, entretanto, que nem todos os conceitos das opções financeiras se aplicam ao estudo da expansão da capacidade do sistema de abastecimento proposto. Há uma diferença elementar entre as opções financeiras e o investimento em questão, pois enquanto as opções financeiras são tratadas em um ambiente de mercado no qual o preço para compra ou venda de uma opção (ou ação) segue os movimentos (maior ou menor procura) dos interessados em vender o adquirir esses ativos, a expansão da capacidade é remunerada pelo valor da tarifa (TAR) a ser faturada em função do volume de água a ser fornecido aos consumidores.

Todavia, admitindo-se que a expansão seja realizada e havendo demanda prevista ou não, o valor da tarifa (TAR) não é definido em função da maior ou menor procura pelo fornecimento da água. Analogamente, se em caso de ocorrência de uma estiagem severa que obrigue a redução do fornecimento de água, o valor da tarifa (TAR) não será aumentado; no caso de períodos chuvosos em que há disponibilidade de água (bruta) nos mananciais, o valor da tarifa (TAR) não será reduzido. Nota-se, portanto, que não há uma correspondência com as leis de mercado, pois o valor (preço) da tarifa (TAR) não se modifica em função da disponibilidade de água nos mananciais. Essa característica intrínseca dos sistemas públicos de abastecimento de água do Brasil impede que métodos já estabelecidos para outros segmentos da economia sejam

aplicados com vistas a valorar as opções de investimento para expansão da capacidade do sistema em questão, notadamente, a equação de BLACK-SCHOLES.

Dessa forma, outros métodos devem ser empregados para avaliação das opções (alternativas) assim como para determinação do valor da flexibilidade, conforme a propõe a metodologia em questão, a qual busca na determinação do valor do prejuízo evitado esperado, em conjunto com outros parâmetros tradicionais (VPL) um método para valoração das opções de investimento.

4.12 – Justificativa para aplicação da Teoria das Opções Reais ao problema de Expansão da capacidade do sistema de abastecimento

A metodologia enfoca a gestão ativa do processo de tomada de decisão para realizar o investimento, com destaque na flexibilidade, pois apenas a análise do VPL não permite explorar as oportunidades que podem ser criadas com a adoção de alternativas flexíveis; a análise determinística não aborda as potenciais estratégias que possibilitam reduzir as incertezas que incidem sobre o investimento.

A Teoria das Opções Reais apresenta uma série de conceitos e estratégias que podem ser empregadas com êxito na gestão do investimento na expansão da capacidade do sistema; apresenta uma abordagem que leva o tomador de decisão à reflexão de como agir ativamente frente às incertezas e aos riscos associados ao investimento a realizar. Essas características podem contribuir positivamente para a realização da expansão do sistema com adequada eficácia econômica do investimento e pleno atendimento da demanda.

As opções que podem ocorrer de forma natural tais como: adiar, contratar; ou aquelas que devem ser planejadas e executadas com custo extra tais como: expandir, substituir, reduzir a vulnerabilidade de um componente, podem ser valoradas levando-se em consideração a versatilidade dessas opções assim como buscam limitar as potenciais perdas relativas ao gerenciamento passivo do investimento.

A flexibilidade apresenta-se como um recurso importante para reduzir os riscos associados às incertezas que incidem sobre o projeto de expansão da capacidade do sistema de abastecimento. Entretanto, a identificação e a valoração da flexibilidade requerem, sobretudo, que

o projeto de engenharia do sistema de abastecimento contemple soluções técnicas flexíveis, com vistas a possibilitar que o gerenciamento ou a estratégia de expansão identifique tais potenciais, e dessa forma, permitam a utilização de métodos de valoração com a utilização dos conceitos das opções reais.

Portanto, a utilização dos princípios de gerenciamento ativo, com enfoque na flexibilidade, por meio do emprego de cenários possíveis que podem ocorrer no projeto de expansão, e ainda com a valoração das alternativas (opções) que conferem flexibilidade ao investimento, e, portanto, permitem obter soluções robustas que procuram evitar a tomada de decisões notadamente irreversíveis.

Os fundamentos que são aplicados no presente trabalho têm como referência os conceitos da Teoria das Opções Reais, a qual tem sido aplicada a outros setores da economia propiciando obter estratégias que minimizam a exposição a riscos dos investimentos a realizar. Além disso, agregam valor aos negócios e potencializam as oportunidades de ganhos das empresas.

Ressalta-se que para o setor que compreende os sistemas de abastecimento urbano de água, a Teoria das Opções Reais, tal como para outros setores da economia, se mostra como uma ferramenta gerencial moderna, dinâmica e que apresenta possibilidades de reduzir riscos.

Portanto, é de fundamental importância que os tomadores de decisão busquem nos conceitos fornecidos pela Teoria das Opções Reais, o adequado suporte para balizar suas decisões, e não apenas nos conceitos dos tradicionais fluxos de caixa descontados, dos quais apenas são obtidos resultados de natureza essencialmente determinística.

4.13– Proposta de metodologia de soluções integradas com boas características de flexibilidade / proteção contra risco

4.13.1 – Avanços na Projeção de Demandas: Técnica de geração de cenários

As projeções de demanda, como descrito anteriormente, se constituem em uma das mais difíceis tarefas voltadas ao planejamento de sistemas urbanos de abastecimento de água. Dependendo do contexto que envolve um determinado sistema de abastecimento, as demandas

projetadas podem apresentar discrepâncias significativas, refletindo no bom desempenho operacional do sistema de abastecimento.

Contudo, é necessário dispor de um planejamento — o mais preciso possível — dessa variável, pois é com base na mesma, que toda infra-estrutura de abastecimento é idealizada e implantada.

As projeções de demanda, atualmente, têm sido realizadas com vistas a buscar os possíveis cenários que podem se tornar realidade para qual o sistema de abastecimento deverá estar preparado para o adequado atendimento.

As projeções de demanda são feitas com base na série histórica, nos dados atualizados disponíveis, para os quais são previstas taxas de crescimento segundo os cenários adotados, assim como prováveis alterações ou não do cenário vigente e padrões de consumo.

Foi descrito anteriormente a adoção dos cenários tendencial ou dirigido para previsão das demandas na região metropolitana de São Paulo. Esses cenários permitiram explorar os prováveis limites da demanda por água potável naquela região, e de acordo com cada um, foram propostas e planejadas obras que possibilitarão o atendimento da demanda; objetivam o equilíbrio na relação oferta-demanda, projetado para um determinado horizonte de planejamento.

O cenário tendencial admite as mesmas condições operacionais do sistema de abastecimento, projeta o crescimento da demanda segundo uma taxa de crescimento considerada compatível com a realidade daquela localidade. No cenário dirigido, são admitidas hipóteses de melhorias de desempenho, por exemplo, de redução de perdas, redução do consumo per capita, dentre outros, que influenciam as projeções de demanda.

Dessa forma, são estabelecidos cenários diferentes, fundamentados em condições distintas para as quais são previstas as demandas a serem atendidas. Entretanto, outra metodologia pode ser empregada para projeção dessa variável: previsão de demanda calculada por intermédio de um modelo matemático de geração de cenários. O modelo utiliza a série histórica de dados e, a partir de um dado momento de referência (semana, mês, ano, quinquênio, etc.) simula cenários associados a uma probabilidade de ocorrência.

O modelo incorpora, portanto, a característica estocástica da projeção da demanda. Assim, as projeções apresentam uma estimativa do grau de incerteza associado a cada valor de demanda previsto, o que pode ser caracterizado como um risco futuro de determinada demanda ser alcançada ou superada.

Logo, são previstos cenários para os quais há uma probabilidade de ocorrência de demanda calculada, com um nível de risco de ser alcançada ou superada. Todavia, as projeções calculadas incorporam as tendências obtidas como base na série histórica das demandas, conferindo um bom nível de consistência ao método.

O nível de probabilidade de ocorrência para uma dada demanda pode ser calculado, limitando, dessa forma, o grau de incerteza intrínseco à característica estocástica da projeção da demanda.

A figura 4.5 apresenta de forma sintética o método descrito.

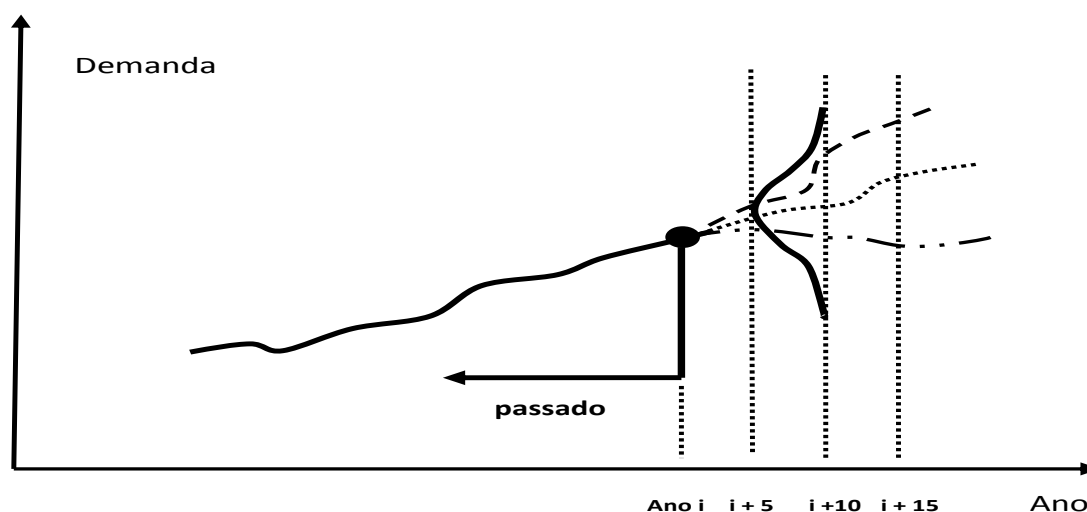


Figura 4.5 – Representação esquemática do método de cálculo de projeção de cenários
Fonte: elaborado pelo autor

Para as demandas obtidas nos diversos cenários representados na figura 4.6, é estabelecida uma distribuição de probabilidade (futura), a qual apresenta em porcentagem, a frequência de ocorrência das taxas de crescimento resultantes do cálculo dos diversos cenários considerados.

A figura 4.6 apresenta a possível curva de distribuição das taxas de crescimento obtidas pelo cálculo.

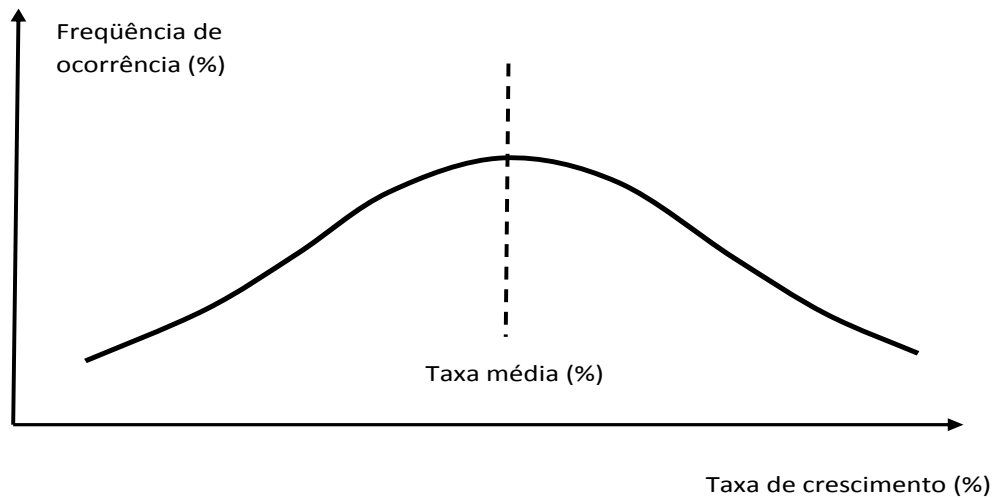


Figura 4.6 – Representação da frequência de ocorrência em função da taxa média de crescimento da demanda calculada para diferentes cenários projetados.

Fonte: elaborado pelo autor

Os resultados das demandas calculadas são associados às frequências de ocorrência dessas demandas. As demandas resultantes, levando-se em consideração os diversos cenários adotados, podem ser estimadas mediante a computação de todas as demandas geradas vinculadas às probabilidades de ocorrência das mesmas.

A expressão apresentada a seguir pode ser utilizada para a determinação da demanda esperada.

$$D e = \sum_{i=1}^n p_i \times Q_i \quad (\text{eq. 4.10})$$

em que:

De = Demanda esperada;

pi = probabilidade de ocorrência;

Qi = Demanda associada à probabilidade de ocorrência.

A figura 4.7 a seguir mostra a curva da frequência de ocorrência em função da demanda calculada.

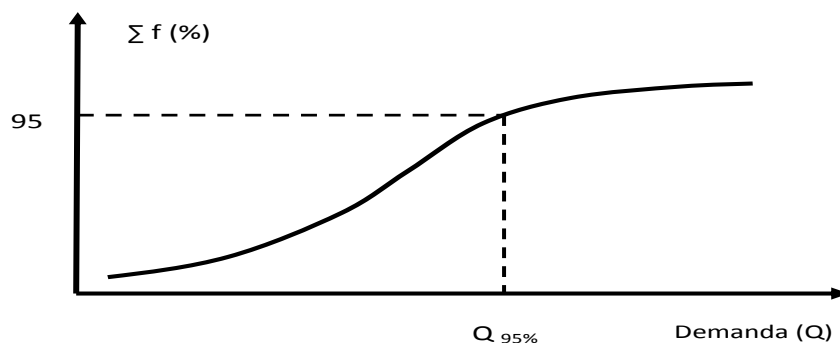


Figura 4.7 – Frequência de ocorrência em função da demanda calculada

Quando a projeção é realizada para localidades com grande população e extensas áreas, pode haver crescimento de forma diferente dentro dessa área, pois devido ao tamanho da mesma, nem sempre as atividades e a expansão ocorrem de maneira homogênea. Isto implica em adotar possíveis cenários diferenciados para essas áreas, porém, vinculados a um dado grau de correlação entre os mesmos.

Assim, a caracterização das diferenças entre essas demandas se faz necessária para a determinação mais precisa da demanda total que deverá ser atendida pelo sistema de abastecimento. A figura 4.8 apresenta, de forma esquemática, as demandas obtidas em função do tempo, nesse caso, dos anos para os quais foram simuladas as demandas para os diferentes setores e, e diferentes horizontes (ano $i+5$, ano $i+10$, ano $i+15$, etc.).

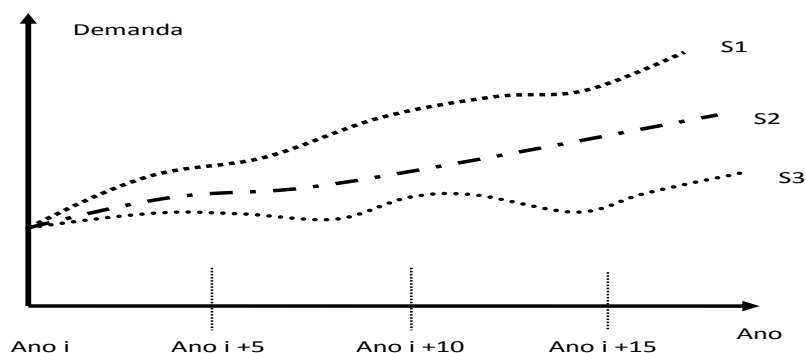


Figura 4.8 – Representação da evolução das demandas calculadas para os diferentes setores de abastecimento de uma mesma área.

Fonte: elaborado pelo autor

4.13.2 — O que caracteriza uma solução robusta / flexível

Uma vez definidas as demandas a serem atendidas no horizonte de planejamento de interesse, as soluções propostas devem ser aquelas que contemplem um bom nível de robustez.

As soluções robustas possuem baixa vulnerabilidade, alta confiabilidade e alta resiliência. Uma vez adotadas, tais soluções, que se caracterizam por não trazer arrependimento, possibilitam a utilização de boas estratégias para atendimento da demanda projetada.

Dependendo da característica da solução a ser empregada, é possível que a mesma tenha reversibilidade. Assim, por exemplo, ao se definir a implantação de uma adutora, inicialmente, a adução poderia ser por gravidade atendendo um determinado setor de abastecimento. Posteriormente, com o crescimento da demanda projetada, essa mesma adutora poderia ser operada por recalque, que conduziria água a um reservatório cuja implantação seria realizada em uma etapa subsequente. Entretanto, essa alteração das condições operacionais teria que ser prevista já na implantação da mesma, levando-se em consideração todos os aspectos técnicos pertinentes, inclusive a reversibilidade operacional entre as duas formas de operação.

As soluções que contemplam implantações progressivas, de maneira geral, são mais empregadas em projetos de sistemas de abastecimento de água. Um exemplo muito comum se refere à captação de água onde são previstas bombas de adução. É comum que a construção civil seja implantada por completo, para todas as etapas do projeto (inclusive de longo prazo). Entretanto, numa primeira fase de operação, as bombas são instaladas apenas para atender a etapa inicial.

Com o aumento da demanda, ao longo do período de planejamento, novas bombas são instaladas, acompanhando, basicamente, a curva de demanda — o mesmo pode ser verificado em relação à parte elétrica dessas unidades.

O mesmo conceito se aplica as adutoras e aos reservatórios de distribuição. O volume total de reservação é subdividido em unidades menores que são implantadas de acordo com a evolução da demanda; as adutoras podem ser projetadas para uma capacidade inicial de adução, que posteriormente, são ampliadas.

Um exemplo análogo que poderia ser citado em obras de infra-estrutura é o caso das usinas hidrelétricas. A parte principal que é a barragem, geralmente, é implantada por

completo. Porém, as turbinas são instaladas progressivamente, conforme o crescimento da demanda de energia elétrica. Essa estratégia permite reduzir o custo inicial de implantação, e ao mesmo tempo, evita um elevado nível de ociosidade das instalações, possibilitando o melhor aproveitamento das mesmas.

Outra solução que pode ser aplicada é a modularidade dos projetos. Nesse caso, as soluções são projetadas em módulos. Por exemplo, no caso das estações de tratamento de água, são previstos módulos de tratamento que atendem a etapas específicas de alcance dos projetos. Assim, os investimentos são espaçados ao longo do período de planejamento e serão realizados de acordo com a modularidade estabelecida nas soluções de planejamento. Essa estratégia evita a subutilização das instalações e exige um menor montante de capital para os investimentos iniciais.

5 – ESTUDO DE CASO

5.1 – O sistema de abastecimento de água de Valinhos/SP — aspectos gerais

A cidade de Valinhos está situada a 88 km da cidade de São Paulo pela rodovia Anhanguera (rodovia SP 330) e situa-se ao lado Campinas e faz parte da RMC – Região Metropolitana de Campinas. Possui 105.282 habitantes dos quais 94,78% habitam a zona urbana da cidade IBGE (2008). O Departamento de Águas e Esgotos de Valinhos (DAEV) que é uma autarquia municipal é o órgão responsável pelo abastecimento de água. A empresa opera duas estações de tratamento de água:

- ETA-1 que opera com vazão média diária de 150 L/s com água proveniente dos mananciais locais córrego das Figueiras, córrego Bom Jardim, córrego Iguatemi (divisa com Vinhedo) e córrego Santana do Cuiabano cuja captação é operada no período de estiagem. Essa estação atende a, aproximadamente, 43.000 habitantes DAEV (2008);
- ETA-2 que opera com vazão média diária de 170 L/s com água proveniente do rio Atibaia, principal manancial da região metropolitana de Campinas. Essa estação atende a, aproximadamente, 53.000 habitantes DAEV (2008).

Há também em operação poços tubulares profundos que abastecem loteamentos que não estão interligados aos dois sistemas principais acima descritos sendo que a população total atendida por esses sistemas isolados é de 4.000 habitantes DAEV (2008).

O sistema de abastecimento de água possui 324 km de redes de água incluindo adutoras, redes primárias e secundárias. Em dezembro de 2008 havia 26.131 ligações totais de água e 36.353 economias totais de água. As receitas totais obtidas pelo fornecimento de água em 2008 foram R\$ 10.939.555,00, com tarifa média praticada de R\$ 1,60/m³ e despesa média com a água de R\$ 1,26/m³ faturado SNIS (2008).

De acordo com dados do Departamento de Águas e Esgotos de Valinhos (DAEV), o setor atendido pela ETA-2 apresenta taxa média anual de crescimento de 2,5% no volume médio diário de água consumida, que corresponde à de vazão de 5,1 L/s, incluídas as perdas totais do sistema, atualmente, no patamar de 20%. Esse valor foi considerado no estudo de caso cuja abordagem considerou o cenário tendencial para evolução da demanda a ser atendida. O sistema de captação de água rio Atibaia/ETA-2 será ampliado para atendimento da demanda futura, de acordo com o Plano Diretor de Abastecimento de Água (PDAA) da autarquia. Dessa forma o estudo de caso em questão aborda a estratégia de expansão desse sistema, pois utiliza dados reais do sistema existente assim como do sistema proposto para expansão da capacidade de atendimento.

5.2 – Descrição do sistema de abastecimento abordado no estudo de caso

O sistema composto por captação, adução, tratamento, reservação e distribuição de água, denominado rio Atibaia/ETA2 de Valinhos, possui capacidade de 170 L/s, cuja etapa (primeira) implantada há 14 anos, opera, atualmente, em sua plena capacidade. Os estudos para expansão desse sistema deverão ser iniciados em breve, pois com a ampliação da área de atendimento e também devido ao crescimento populacional, deverá ser disponibilizada maior oferta de água tratada para atendimento da demanda sempre crescente.

Na captação de água na margem esquerda do rio Atibaia, próximo ao quilometro 119 da rodovia Dom Pedro – pista norte, há uma tomada de água dotada de grades grossas, duas caixas de areia operadas em revezamento, duas bombas centrífugas tipo turbina, com capacidade para 170 L/s, com altura manométrica de 148 m; a potência de cada conjunto é 450cv. As bombas são acionadas por inversores de frequência. Uma terceira bomba está em fase de instalação. Está

prevista a instalação de mais uma bomba totalizando quatro conjuntos, sendo que para final de plano serão operadas três bombas em paralelo sendo uma bomba reserva (3+1).

A adutora de água bruta tem 8500m de extensão, sendo que o trecho inicial é recalque com extensão de 1.600m, de tubos de ferro fundido com diâmetro nominal de 400 mm. O segundo trecho da adutora possui 6.900m de extensão, também de tubos de ferro fundido com diâmetro nominal de 400 mm, sendo o escoamento nesse trecho por gravidade. A transição entre o primeiro e o segundo trecho é feita em uma caixa de passagem com volume de 250m³. Está prevista a duplicação da adutora que opera por gravidade (6.900m) quando for implantada a segunda etapa para expansão da capacidade de tratamento e distribuição de água para 340 L/s.

A estação de tratamento de água é do tipo convencional com um módulo composto de unidade de mistura rápida e de medição de vazão (calha tipo Parshall), unidade de floculação, dois decantadores dotados de módulos laminares, e três filtros de areia operados com taxa declinante de filtração. Estão previstos dois módulos adicionais para futura expansão da capacidade de tratamento com capacidade para 170 L/s cada módulo. As outras unidades da estação de tratamento tais como: casa de química; tanque de contato para desinfecção da água tratada; tanque de armazenamento de coagulante etc, foram construídas na primeira etapa de implantação e possuem capacidade para permitir a operação da ETA com até 510 L/s, e portanto, não fazem parte dos estudos para expansão do sistema em questão.

Para armazenamento e distribuição da água tratada há dois reservatórios semi-enterrados, sendo um com volume de 2.000m³ e um com volume de 1.000m³. Estão previstos para serem implantados mais dois reservatórios com volume de 1.000m³ cada um, os quais serão interligados aos reservatórios existentes, totalizando um volume de armazenamento de 5.000m³.

O esquema simplificado de todo o sistema descrito é apresentado na figura 5.1 mostrada a seguir.

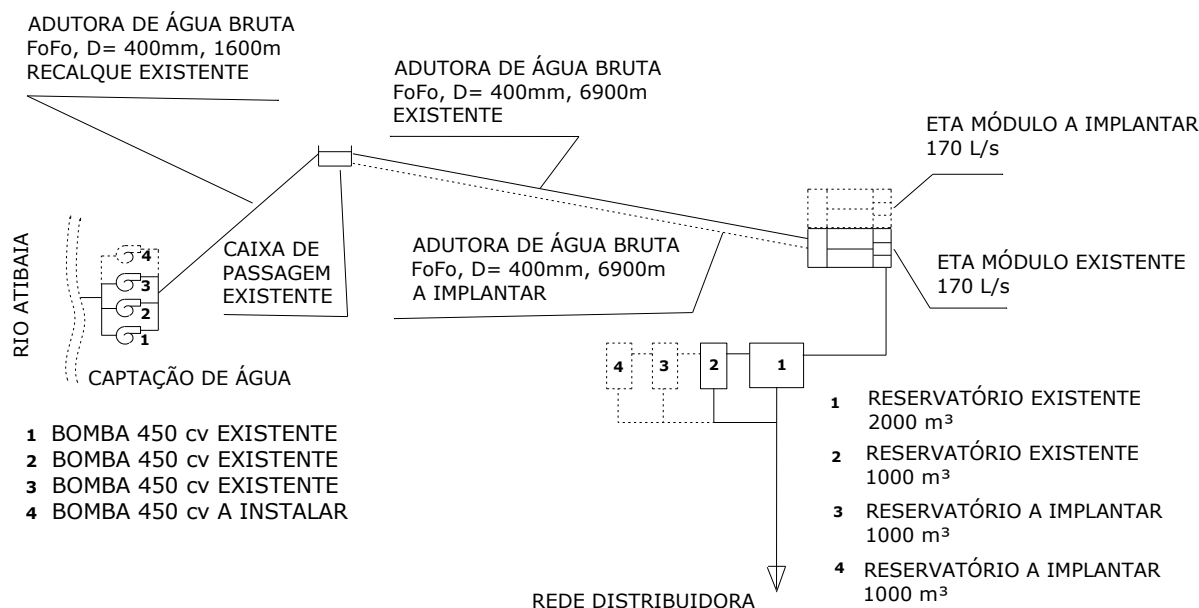


Figura 5.1 – Esquema simplificado do sistema de captação, adução, tratamento e reservação da água proveniente do rio Atibaia, Valinhos-SP.

5.2 – Alternativas para expansão da capacidade de adução e tratamento do sistema de abastecimento de água descrito

A ampliação da capacidade de adução e tratamento pode ser realizada em uma etapa única com capacidade para 170L/s que, de acordo com o projeto previsto, o trecho que opera por gravidade será duplicado sendo implantados 6.900m da adutora; na estação elevatória de água bruta seria instalada a quarta bomba, uma vez que a terceira bomba, atualmente, está em fase de instalação. Igualmente, o segundo módulo da estação de tratamento deverá ser implantado com capacidade 170L/s. Os reservatórios com volume de 1.000 m³ serão implantados simultaneamente com a duplicação da adutora e com o segundo módulo da ETA. Ainda em relação à adutora, a duplicação dos 6.900m dotaria a mesma para operar com vazão de até 510 L/s, o que resultará em capacidade ociosa, pois para essa vazão está prevista a operação da terceira etapa do sistema, para qual, atualmente, não há qualquer expectativa de implantação. Portanto, no estudo de caso em questão propõe-se a execução de 3.450m da adutora, com vistas a compatibilizar a vazão de 340 L/s (170L/s atual + 170L/s expansão).

Como opção para flexibilizar a expansão da capacidade de adução e tratamento de água do sistema em estudo, pode-se dividir a implantação em duas fases com capacidade de adução e tratamento de 85 L/s cada uma. Dessa forma, a capacidade de adução e tratamento seria adequada para operar com 255L/s (170L/s atual + 85L/s expansão – primeira fase). Nessa opção, a adutora de gravidade poderia ser implantada com extensão de 1725m, compatibilizando assim a capacidade de adução com a vazão de operação, evitando-se a ociosidade operacional na adução. A estação de tratamento de água seria dotada de um módulo com capacidade para tratar 85 L/s, sendo que apenas um decantador e um filtro seriam implantados; a unidade de floculação seria implantada integralmente em virtude da configuração da mesma que não possibilita a execução de apenas parte dessa unidade.

Em relação aos reservatórios projetados, seria implantado apenas um com volume de 1.000m³, sendo que o outro reservatório seria construído com a implantação da segunda fase (ampliação da capacidade do sistema para mais 85L/s).

Ainda como alternativas para execução do projeto, o presente estudo de caso aborda a possibilidade de executar a adutora com tubos de materiais alternativos ao tradicional ferro fundido (conforme a norma técnica NBR 7662:1985) os quais poderiam ser: tubos de RPVC (PVC reforçado) e PRFV (plástico reforçado de fibra de vidro). Tratam-se de materiais normatizados recentemente para aplicação em sistemas de abastecimento conforme a norma técnica NBR 15.536-1:2007, da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. A utilização de materiais alternativos, porém normatizados, permite flexibilizar a execução da adutora, e se configura como mais uma opção para implantação da expansão do sistema em análise.

A abordagem enfoca as diversas possibilidades (opções) para expansão do sistema de adução e tratamento assim como busca compatibilizar a oferta de água que atenda à demanda, ao mesmo tempo em que procura reduzir o valor do investimento inicial, uma vez que os recursos financeiros necessários para expandir a capacidade poderão ser reduzidos, o que pode facilitar a viabilização do investimento. Por outro lado, uma vez realizado o investimento, tem-se a expectativa de evitar ociosidade na operação do sistema, possibilitando que o projeto de expansão de sua capacidade possa ser realizado com a adequada eficiência econômica.

A execução do projeto de expansão contempla diversas combinações de alternativas uma vez que o projeto permite a flexibilização no arranjo das etapas além de possibilitar a adoção de materiais alternativos para execução da adutora de água bruta. Dessa

forma, para expansão do sistema devem ser selecionadas as obras dentre as apresentadas a seguir, de forma a compor diferentes alternativas:

- 1- Instalação de motor da bomba 01 e equipamentos elétricos (na captação de água).

Valor do investimento: R\$ 150.000,00

- 2- Instalação da bomba 04 e equipamentos hidráulicos e elétricos (na captação de água).

Valor do investimento: R\$ 320.000,00

- 3- Execução de 6.900m da adutora de água bruta, diâmetro nominal 400mm, material ferro fundido (FoFo).

Valor do investimento: R\$ 3.277.500,00

- 4- Execução de 6.900m da adutora de água bruta, diâmetro nominal 400mm, material PVC reforçado (RPVC).

Valor do investimento: R\$ 2.277.000,00

- 5- Execução de 6.900m da adutora de água bruta, diâmetro nominal 400mm, material plástico reforçado com fibra de vidro (PRFV).

Valor do investimento: R\$ 2.829.000,00

- 6- Execução de 3.450m da adutora de água bruta, diâmetro nominal 400mm, material ferro fundido (FoFo).

Valor do investimento: R\$ 1.638.750,00

- 7- Execução de 3.450m da adutora de água bruta, diâmetro nominal 400mm, material PVC reforçado (RPVC).

Valor do investimento: R\$ 1.138.500,00

8- Execução de 3.450m da adutora de água bruta, diâmetro nominal 400mm, material plástico reforçado com fibra de vidro (PRFV).

Valor do investimento: R\$ 1.414.500,00

9- Execução de 1.725m da adutora de água bruta, diâmetro nominal 400mm, material ferro fundido (FoFo).

Valor do investimento: R\$ 819.375,00

10- Execução de 1.725m da adutora de água bruta, diâmetro nominal 400mm, material PVC reforçado (RPVC).

Valor do investimento: R\$ 569.375,00

11- Execução de 1.725m da adutora de água bruta, diâmetro nominal 400mm, material plástico reforçado com fibra de vidro (PRFV).

Valor do investimento: R\$ 707.250,00

12- Execução da implantação do módulo B1 da estação de tratamento de água com capacidade para 85 L/s (primeira fase da segunda etapa).

Valor do investimento: R\$ 1.500.000,00

13- Execução da implantação do módulo B2 da estação de tratamento de água com capacidade para 85 L/s (segunda fase da segunda etapa).

Valor do investimento: R\$ 1.000.000,00

14- Execução do reservatório (nº 03) com capacidade para 1.000m³.

Valor do investimento: R\$ 650.000,00

15- Execução do reservatório (nº 04) com capacidade para 1.000m³.

Valor do investimento: R\$ 650.000,00

As alternativas que se apresentam como opções resultantes das possíveis combinações de obras para expansão do sistema de abastecimento, assim como seus valores de investimento são as seguintes:

- a) Execução das obras descritas nas alternativas: 1, 2, 3, 12, 13, 14 e 15.

A adutora seria implantada com capacidade para final de plano do projeto (510 L/s) em ferro fundido com extensão de 6.900m.

Valor do investimento: R\$ 7.547.500,00

- b) Execução das obras descritas nas alternativas: 1, 2, 6, 12, 13, 14 e 15.

A adutora seria implantada com capacidade para 340 L/s ($170 \text{ L/s}_{\text{existente}} + 170 \text{ L/s}_{\text{expansão}}$) em ferro fundido, com extensão de 3.450m.

Valor do investimento: R\$ 5.908.750,00

- c) Execução das obras descritas nas alternativas: 1, 2, 7, 12, 13, 14 e 15.

A adutora seria implantada com capacidade para 340 L/s ($170 \text{ L/s}_{\text{existente}} + 170 \text{ L/s}_{\text{expansão}}$) em RPVC, com extensão de 3.450m.

Valor do investimento: R\$ 5.408.500,00

- d) Execução das obras descritas nas alternativas: 1, 2, 8, 12, 13, 14 e 15.

A adutora seria implantada com capacidade para 340 L/s ($170 \text{ L/s}_{\text{existente}} + 170 \text{ L/s}_{\text{expansão}}$) em PRFV, com extensão de 3.450m.

Valor do investimento: R\$ 5.684.500,00

A segunda etapa poderia ser executada em duas fases sendo a primeira fase com capacidade para 255 L/s ($170 \text{ L/s}_{\text{existente}} + 85 \text{ L/s}_{\text{expansão}}$), tendo como possibilidades as combinações descritas a seguir:

- e) Execução das obras descritas nas alternativas: 1, 2, 9, 12 e 14.

A adutora seria implantada com capacidade para 255 L/s ($170 \text{ L/s}_{\text{existente}} + 85 \text{ L/s}_{\text{expansão}}$) em ferro fundido, com extensão de 1.725m.

Valor do investimento: R\$ 3.439.375,00

f) Execução das obras descritas nas alternativas: 1, 2, 10, 12 e 14.

A adutora seria implantada com capacidade para 255 L/s ($170 \text{ L/s}_{\text{existente}} + 85 \text{ L/s}_{\text{expansão}}$) em RPVC, com extensão de 1.725m.

Valor do investimento: R\$ 3.189.375,00

g) Execução das obras descritas nas alternativas: 1, 2, 11, 12 e 14.

A adutora seria implantada com capacidade para 255 L/s ($170 \text{ L/s}_{\text{existente}} + 85 \text{ L/s}_{\text{expansão}}$) em PRFV, com extensão de 1.725m.

Valor do investimento: R\$ 3.327.250,00

Outra possibilidade seria executar a segunda etapa da estação de tratamento de água com 340 L/s ($170 \text{ L/s}_{\text{existente}} + 170 \text{ L/s}_{\text{expansão}}$) e a adutora com capacidade para 255 L/s. Nesse caso a capacidade do sistema seria limitada pela adutora tendo como possibilidades as combinações descritas a seguir:

h) Execução das obras descritas nas alternativas: 1, 2, 6, 12, 13, e 14.

A adutora seria implantada com capacidade para 255L/s ($170 \text{ L/s}_{\text{existente}} + 85 \text{ L/s}_{\text{expansão}}$) em ferro fundido, com extensão de 3.450m.

Valor do investimento: R\$ 5.258.750,00

i) Execução das obras descritas nas alternativas: 1, 2, 7, 12, 13, e 14.

A adutora seria implantada com capacidade para 255 L/s ($170 \text{ L/s}_{\text{existente}} + 85 \text{ L/s}_{\text{expansão}}$) em RPVC, com extensão de 3.450m.

Valor do investimento: R\$ 4.758.500,00

j) Execução das obras descritas nas alternativas: 1, 2, 8, 12, 13, e 14.

A adutora seria implantada com capacidade para 255 L/s ($170 \text{ L/s}_{\text{existente}} + 85 \text{ L/s}_{\text{expansão}}$) em PRFV, com extensão de 3.450m.

Valor do investimento: R\$ 5.034.500,00

Para cada uma das alternativas apresentadas anteriormente será realizada uma análise econômica com vistas a demonstrar a viabilidade das possíveis combinações levadas em consideração para expansão do sistema de abastecimento.

As simulações serão realizadas por intermédio dos fluxos de caixa dos benefícios e dos custos dos investimentos considerados no projeto de expansão do sistema em estudo. Inicialmente, será verificado o Valor Presente Líquido (VPL) das alternativas consideradas, uma vez que se trata de um indicador amplamente utilizado para avaliação da viabilidade econômica de projetos de investimentos.

Para a estimativa dos benefícios (receitas) resultantes serão adotados os valores de tarifa (TAR) correspondentes a: R\$ 1,15/m³, R\$ 1,20/m³, R\$ 1,25/m³, R\$ 1,30/m³ e R\$ 1,35/m³ pela venda da água; para avaliação das despesas o custo total unitário foi estimado em: R\$ 0,98/m³, R\$ 1,02/m³, R\$ 1,06/m³, R\$ 1,10/m³ e R\$ 1,15/m³, respectivamente, uma vez que foi adotada a relação constante de 0,85 entre a despesa e a receita no presente estudo.

Na avaliação econômica considerou-se que não há demanda reprimida no início da operação do sistema após a execução das obras de expansão. Para a taxa de juros (i) serão adotados os valores de 8%, 10%, 12%, 14% e 16% ao ano. Para a taxa de aumento (“Te”) a qual pode ser considerada como um indexador para efeito de reajuste anual das tarifas, serão considerados os seguintes valores: 3,0%, 3,5%, 4,0%, 4,5% e 5,0% ao ano.

Para a demanda incremental anual foram consideradas as vazões correspondentes a 5,09 L/s (demanda baixa), 5,66 L/s (demanda média) e 6,79 L/s (demanda alta, para os períodos de tempo (horizontes de projeto) avaliados no estudo em questão, descritos a seguir.

Com vistas a demonstrar a enorme gama de possíveis resultados das alternativas descritas (a, b, c, d, e, f, g, h, i e j), se forem consideradas as variáveis TAR, Tj, Te, Q (demanda), a combinação de todos os cenários resulta em 3.750 ($10 \times 5 \times 5 \times 5 \times 3$) valores de VPL (valor presente líquido). O período de tempo considerado será de 15 anos. Os resultados do VPL apresentam grande variação, pois cada cenário em particular apresenta aspectos positivos e negativos que influenciam diretamente no resultado econômico do cenário avaliado.

Se o problema fosse de natureza essencialmente determinística, a solução a ser adotada seria aquela que resulta no maior valor do VPL. Entretanto, não é possível assegurar que o cenário mais otimista, que levará ao melhor resultado, se concretizará, pois as variáveis TAR, Tj, Te e Q poderão ter comportamento distinto daquele inicialmente previsto, fato que levará a resultados do VPL bem diferentes dos esperados.

Na tabela 5.1 são apresentados como os cálculos serão realizados, de acordo com a conceituação descrita anteriormente. Para o exemplo indicado, A demanda (Q) adotada será 5,1 L/s (incremento anual uniforme); o investimento (I) considerado será R\$ 7.547.500,00, correspondente a alternativa A; a tarifa (TAR) considerada será R\$ 1,15/m³; a taxa de juros (Tj) será 8% a.a.; taxa de reajuste tarifário (Te) 3,5% a.a.; e o período de tempo (n) será 15 anos, para análise do investimento. Os cálculos serão realizados por meio de planilha eletrônica Excel. Para as simulações consideradas as variáveis serão combinadas de forma que para cada cenário será determinado o valor presente líquido (VPL).

Tabela 5.1 – Fluxo de caixa típico para cálculo do valor presente líquido (VPL) para opção “A” de investimento.

Demanda (L/s)	Investimento (\$)	Benefício Anual (\$)	Custo Anual (\$)	Tj (%)	Te (%)	n	FVP (i,e,n)	FVP (i,n)	VPL (\$)	FEP (i,e,n)	FRC (i,n)	VAL (\$)	B/C	Período (anos)
5,1	7.547.500,00	182.067,26	154.757,17	8	3,5	15	10,486	8,559	-6.963.023,14	1,225	0,1168	-813.486,83	0,215	1
10,2	7.547.500,00	364.134,53	309.514,35	8	3,5	15	10,486	8,559	-6.378.546,29	1,225	0,1168	-745.202,66	0,374	2
15,3	7.547.500,00	546.201,79	464.271,52	8	3,5	15	10,486	8,559	-5.794.069,43	1,225	0,1168	-676.918,50	0,497	3
20,4	7.547.500,00	728.269,06	619.028,70	8	3,5	15	10,486	8,559	-5.209.592,58	1,225	0,1168	-608.634,33	0,594	4
25,5	7.547.500,00	910.336,32	773.785,87	8	3,5	15	10,486	8,559	-4.625.115,72	1,225	0,1168	-540.350,16	0,674	5
30,5	7.547.500,00	1.092.403,58	928.543,05	8	3,5	15	10,486	8,559	-4.040.638,87	1,225	0,1168	-472.066,00	0,739	6
35,6	7.547.500,00	1.274.470,85	1.083.300,22	8	3,5	15	10,486	8,559	-3.456.162,01	1,225	0,1168	-403.781,83	0,795	7
40,7	7.547.500,00	1.456.538,11	1.238.057,40	8	3,5	15	10,486	8,559	-2.871.685,15	1,225	0,1168	-335.497,67	0,842	8
45,8	7.547.500,00	1.638.605,38	1.392.814,57	8	3,5	15	10,486	8,559	-2.287.208,30	1,225	0,1168	-267.213,50	0,883	9
50,9	7.547.500,00	1.820.672,64	1.547.571,74	8	3,5	15	10,486	8,559	-1.702.731,44	1,225	0,1168	-198.929,34	0,918	10
56,0	7.547.500,00	2.002.739,90	1.702.328,92	8	3,5	15	10,486	8,559	-1.118.254,59	1,225	0,1168	-130.645,17	0,949	11
61,1	7.547.500,00	2.184.807,17	1.857.086,09	8	3,5	15	10,486	8,559	-533.777,73	1,225	0,1168	-62.361,01	0,977	12
66,2	7.547.500,00	2.366.874,43	2.011.843,27	8	3,5	15	10,486	8,559	50.699,12	1,225	0,1168	5.923,16	1,002	13
71,3	7.547.500,00	2.548.941,70	2.166.600,44	8	3,5	15	10,486	8,559	635.175,98	1,225	0,1168	74.207,32	1,024	14
76,4	7.547.500,00	2.731.008,96	2.321.357,62	8	3,5	15	10,486	8,559	1.219.652,84	1,225	0,1168	142.491,49	1,044	15

A figura 5.2 apresentada a seguir mostra como pode ocorrer grande dispersão nos resultados do VPL, em função do cenário analisado. Cada ponto no gráfico representa o valor presente líquido calculado para um dado cenário resultante da combinação dos valores das variáveis TAR, Tj, Te, Q (demanda), para cada alternativa de investimento descrita anteriormente.

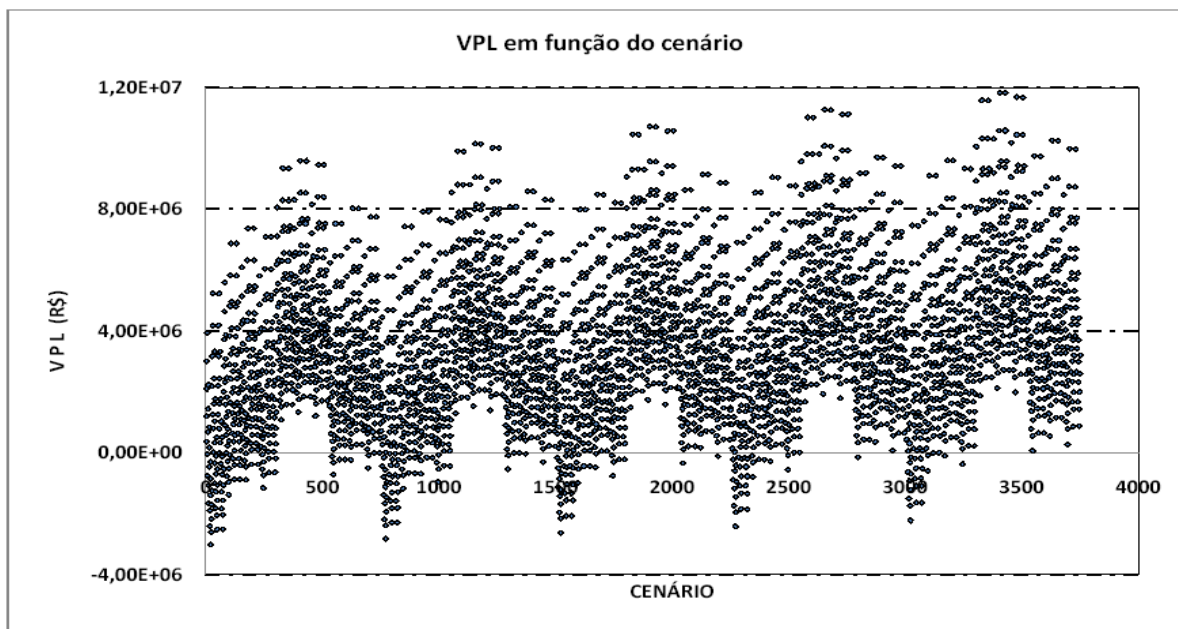


Figura 5.2 – Valores de VPL em função dos cenários avaliados das alternativas a, b, c, d, e, f, g, h, i e j.

Os valores presentes líquidos apresentados na figura 5.2 podem ser ordenados de forma crescente. Esse procedimento permite uma visualização do menor VPL (referente ao pior cenário) para o maior VPL (referente ao melhor cenário).

É possível observar a tendência dos resultados de acordo os valores assumidos para as variáveis TAR, Tj, Te e Q (demanda).

Os dados sugerem que aproximadamente 250 cenários apresentam valores negativos de VPL. Diante desses cenários os investimentos simplesmente não seriam realizados em virtude dos resultados ruins sob o ponto de vista econômico.

A abordagem inflexível considerando apenas os resultados dos VPLs não permite identificar possíveis oportunidades de investimento que, se realizados com enfoque na

flexibilidade nas decisões de investir, podem modificar os resultados e tornar um investimento tido como inviável em um investimento adequado sob o ponto de vista técnico e econômico. A figura 5.3 mostrada a seguir apresenta de forma crescente os resultados dos VPLs de todos os cenários considerados.

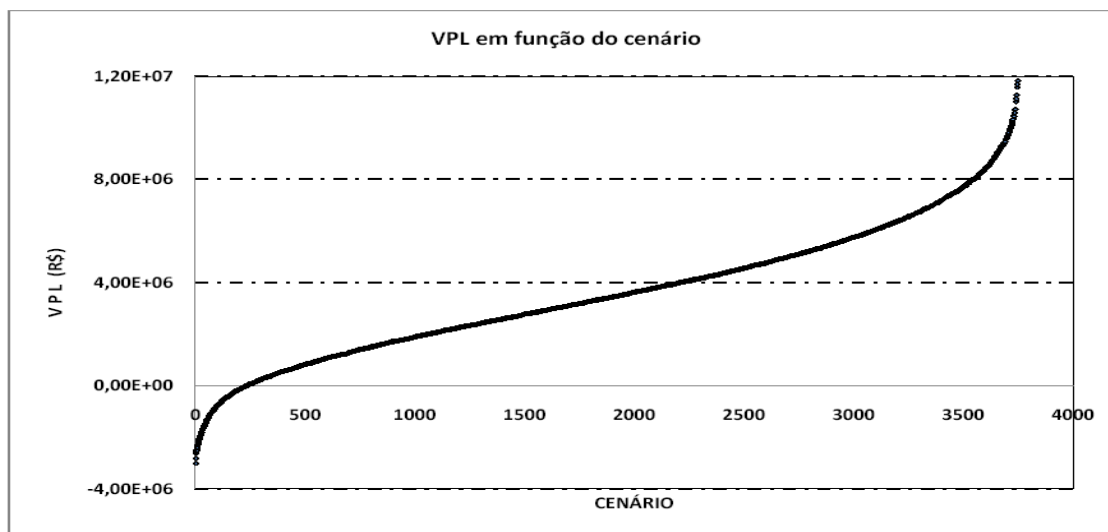


Figura 5.3 – VPLs ordenados de forma crescente em função dos cenários considerados.

Para verificar a influência das principais variáveis sobre os resultados do VPL, é possível realizar uma análise de sensibilidade com vistas a avaliar como pode ser modificado o VPL em função dos valores assumidos para os cenários considerados. Dessa forma, por exemplo, na figura 5.4 apresentada a seguir são mostrados os resultados do VPL para os mesmos cenários considerados anteriormente, com exceção dos valores atribuídos para a taxa de reajuste anual da tarifa (Te) os quais foram: 3,5%, 4,5%, 5,5%, 6,5% e 7,5%.

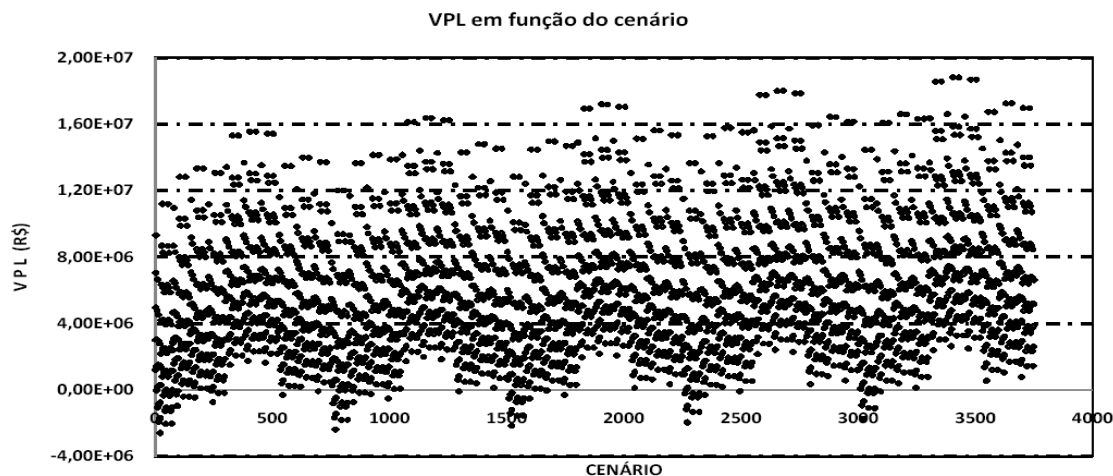


Figura 5.4 – Valores de VPL em função dos cenários avaliados das alternativas a, b, c, d, e, f, g, h, i e j.

Os resultados demonstram que os valores do VPL são fortemente influenciados pela taxa de reajuste anual (T_e). O acréscimo no valor do VPL, para os cenários mais favoráveis, pode alcançar até 60%, aproximadamente. Da mesma forma, a quantidade de cenários desfavoráveis (que apresentam resultados negativos do VPL) também é reduzida, quando comparado com o conjunto de cenários anteriores, apresentados nas figuras 5.2 e 5.3.

A figura 5.5 mostrada a seguir apresenta de forma crescente os resultados dos VPLs de todos os cenários considerados para a taxa de reajuste anual (T_e) da tarifa cujos valores são: 3,5%, 4,5%, 5,5%, 6,5% e 7,5%.

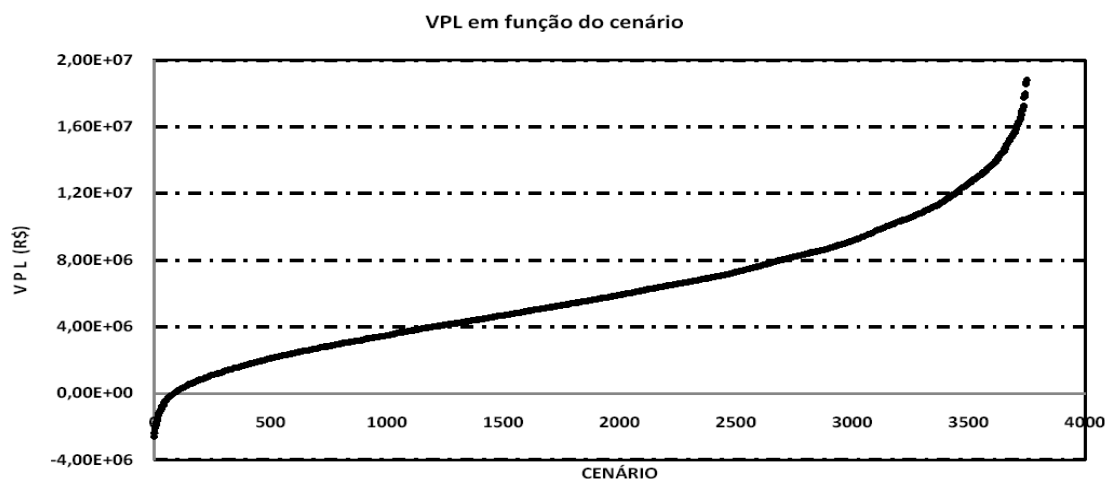


Figura 5.5 – VPLs ordenados de forma crescente em função dos cenários considerados.

Ainda em relação às taxas de reajuste da tarifa (T_e) e da taxa de juros (T_j), os resultados das simulações apresentados a seguir demonstram como os resultados do VPL são modificados, considerando outros conjuntos de cenários assumidos para efeito de avaliação da viabilidade do investimento na expansão da capacidade do sistema de abastecimento em estudo.

Para essas simulações, foram admitidos os seguintes valores para as taxas (T_e) de reajuste da tarifa: 3,0%; 3,5%; 4,0%; 4,5% e 5,0%. Os valores atribuídos para a taxa de juros (T_j) são os seguintes: 6,0%; 7,0%; 8,0%; 9,0% e 10,0%.

As alternativas de investimentos assim como as demais variáveis consideradas são as mesmas das simulações anteriores com vistas a possibilitar a comparação entre os cenários avaliados.

A figura 5.6 mostrada a seguir apresenta os resultados das simulações cujo objetivo é demonstrar a amplitude dos resultados do VPL, pois dependendo da combinação das variáveis, os resultados obtidos apresentam viabilidade ($VPL > 0$) ou não ($VPL < 0$). A identificação do cenário mais provável não é direta e nem determinística; o investimento está sujeito a incertezas que atuam como variáveis independentes que interferem nos resultados econômicos do projeto de expansão a ser implantado.

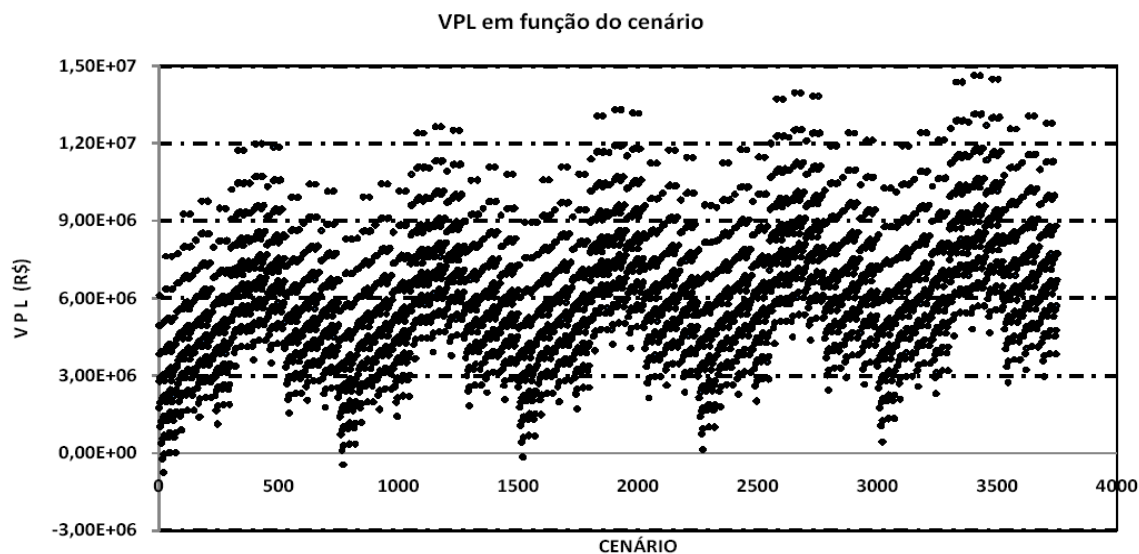


Figura 5.6 – Valores de VPL em função dos cenários avaliados das alternativas a, b, c, d, e, f, g, h, i e j.

A figura 5.7 mostrada a seguir apresenta de forma crescente os resultados dos VPLs de todos os cenários considerados para a taxa de reajuste anual (T_e) da tarifa e para taxa de juros (T_j) consideradas anteriormente.

Observa-se que, praticamente, são poucos os resultados negativos do VPL obtidos para os cenários considerados. Os maiores valores do VPL apresentam menor amplitude em relação ao caso apresentado anteriormente (figuras 4 e 5), sugerindo que a viabilidade do investimento depende, fundamentalmente, da taxa de juros adotada (ou contratada) no investimento a realizar. As receitas ou o faturamento podem ser menores em termos absolutos, porém os resultados negativos do VPL são reduzidos, o que pode indicar um conjunto de cenários mais favoráveis ao investimento.

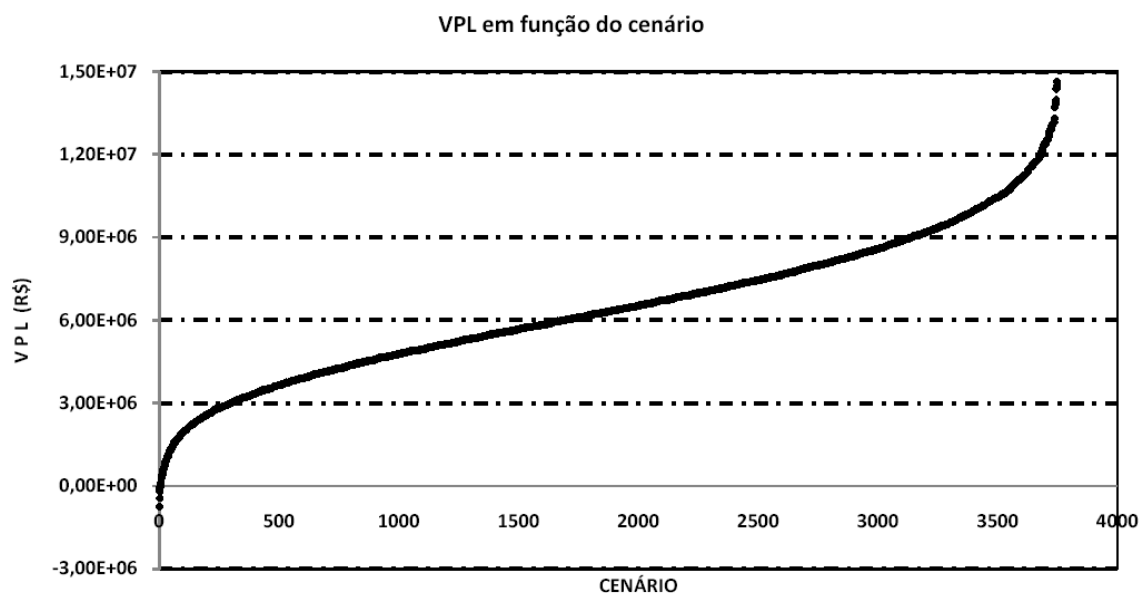


Figura 5.7 – Valores de VPL em função dos cenários avaliados das alternativas a, b, c, d, e, f, g, h, i e j.

O sistema de abastecimento para o qual é prevista expansão de sua capacidade certamente apresenta soluções flexíveis que devem ser identificadas e valoradas. A pesquisa propõe uma abordagem que visa flexibilizar a expansão do sistema de abastecimento em estudo.

O período de tempo (n) considerado no projeto será de 15 anos para a alternativa A; na análise da alternativa E foi considerado o período de tempo de 8 anos e, para alternativa G, considerou-se o período de tempo de 7 anos sendo que essa última complementa a alternativa G e sua operação se inicia no ano seguinte (após 8 anos) do início da operação da alternativa E. Essa estratégia tem como objetivo comparar as alternativas para realização da expansão do sistema de abastecimento em análise.

A estratégia proposta é apresentada de forma esquemática na figura 5.8 mostrada a seguir.

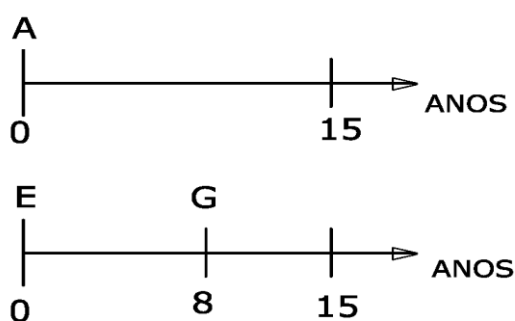


Figura 5.8 – Esquema simplificado para expansão flexibilizada do sistema de abastecimento de água.

Se o comportamento das variáveis TAR, T_j , T_e , e Q (demanda) fosse perfeitamente previsível a análise da viabilidade da expansão do sistema de abastecimento poderia ser realizada apenas com enfoque determinístico. Todavia, as variáveis podem apresentar tendências bem distintas das consideradas nas simulações; apresentam-se como incertezas que podem modificar drasticamente os resultados dos indicadores econômico-financeiros obtidos por meio das simulações realizadas com vistas a avaliar a viabilidade do projeto de investimento da expansão do sistema de abastecimento. Dessa forma, para superar essas potenciais dificuldades, é fundamental incorporar flexibilidade ao projeto de expansão, pois as incertezas serão adequadamente enfrentadas modificando-se as decisões de acordo com o cenário observado. Esta conduta possibilitará implantar a expansão do sistema de tal forma que serão evitadas operações ociosas (exemplo: investimento realizado no sistema para atendimento de uma demanda que não se concretizou).

Para comparar as alternativas de expansão, foram selecionadas quatro concepções do sistema de abastecimento com configurações diferentes do ponto de vista construtivo. Essas alternativas podem ser denominadas opções de investimento, cujo preço de exercício se refere ao valor do investimento a realizar, conceitos e denominações que são análogas à teoria das opções reais na qual, basicamente, a pesquisa em questão buscou, na medida do possível, utilizar as técnicas já desenvolvidas e aplicadas a outros segmentos da economia assim como da área da engenharia.

As alternativas (opções) selecionadas inicialmente para efeito de aplicação do método serão: alternativa A com horizonte de projeto de 15 anos; alternativa E com horizonte de projeto de 8 anos complementada pela alternativa G, com implantação prevista para entrada em operação decorridos 9 anos após o início da operação da alternativa G. Para essas alternativas serão calculados os valores presentes líquidos (VPLs). Como se pretende aplicar uma abordagem que leve em conta a natureza estocástica das variáveis que compõem os cenários considerados, foi introduzido o indicador denominado prejuízo evitado esperado. Esse indicador leva em consideração a possibilidade de se atingir ou não um dado valor presente líquido, pois as variáveis consideradas nos cenários foram combinadas de forma a possibilitar uma avaliação do desempenho econômico de cada um dos cenários, tomando-se como base um valor presente líquido de referência, que foi calculado tendo como base todos os VPLs resultantes dos cenários considerados. Dessa forma, foram calculados os valores presentes líquidos de referência da série de VPLs da seguinte forma:

$$\mu; \quad (\text{eq. 5.1})$$

$$\mu + 0,5\sigma; \quad (\text{eq. 5.2})$$

$$\mu + \sigma; \quad (\text{eq. 5.3})$$

$$\mu + 1,5\sigma; \quad (\text{eq. 5.4})$$

$$\mu + 2\sigma, \quad (\text{eq. 5.5})$$

em que:

μ : valor médio da série de VPLs obtidos dos cenários considerados; e

σ : desvio padrão da série de VPLs obtidos dos cenários considerados.

Para o cálculo do prejuízo evitado esperado admitiu-se que, se o valor presente líquido de referência fosse atingido e sendo esse valor o mais elevado possível, maior será o prejuízo evitado esperado. Portanto, há uma dependência entre o resultado do prejuízo evitado e o valor do VPL utilizado como referência.

Dessa forma, a eficácia econômica do projeto de investimento, depende, fundamentalmente, do cenário considerado, entretanto, o cenário pode variar de forma significativa até o momento de se tomar a decisão de investir (exercer a opção) assim como pode haver modificação durante a vida útil do projeto; os resultados econômicos certamente serão influenciados pelo cenário dominante durante a execução do projeto de expansão assim como ao longo do período considerado no cálculo do VPL.

O valor do prejuízo evitado esperado (PEE) foi calculado para $VPL < VPL$ de referência de acordo com a expressão apresentada a seguir:

$$PEE = \sum_{i=1}^n (VPL \text{ referência} - VPL_i) \times p_i, \quad (\text{eq. 5.6})$$

em que:

VPL referência: VPL calculado com base na média e no desvio padrão da série de VPLs de todos os cenários considerados;

p_i : probabilidade de ocorrência para o cenário considerado.

Para a probabilidade de ocorrência do cenário considerado foi assumida uma distribuição equiprovável de probabilidade. Assim, o valor da probabilidade de ocorrência foi calculado pelo valor inverso do número de cenários considerados de acordo com a equação mostrada a seguir:

$$p_i = \frac{1}{n}, \quad (\text{eq. 5.7})$$

em que:

p : probabilidade de ocorrência do cenário;

n : número de cenários considerados na simulação.

A possibilidade de se evitar o prejuízo esperado em função do VPL de referência é determinada pela expressão apresentada a seguir:

$$p_{evitar} = \sum p_i, \quad (\text{eq. 5.8})$$

em que:

p_{evitar} : probabilidade de se evitar o prejuízo esperado;

p_i : probabilidade de ocorrência do VPL menor que o VPL de referência.

Portanto, a probabilidade de ocorrência depende da quantidade de cenários considerados; a quantidade de cenários a ser considerada depende da alternativa (opção) a ser avaliada. De qualquer maneira, haverá sempre muitos cenários para os quais serão calculados os valores presentes líquidos (VPLs).

Para uma única alternativa de investimento I a ser considerada, a combinação entre as variáveis tarifa (TAR (5)), taxa de juros (Tj (5)), taxa de reajuste tarifário (Te (5)) e demanda (Q (3)) resultará em 375 valores de VPL ($5 \times 5 \times 5 \times 3 = 375$). Nesse caso, a probabilidade de ocorrência de um dado cenário será, assumindo-se uma distribuição equiprovável de probabilidade de ocorrência é $1/375$, que resulta em 0,0026666.

Observa-se, portanto, que em vista da gama de possíveis valores de VPL que podem ser obtidos em função do conjunto resultante de cenários considerados, verifica-se que não trata de uma abordagem determinística.

As incertezas sobre qual cenário predominará durante a tomada de decisão de investir (exercer a opção) e também sobre qual taxa (Te) de reajuste a ser aplicada na tarifa (TAR), por exemplo, caracterizam o problema cuja solução envolve a natureza estocástica da questão. Logo, um dado valor do prejuízo evitado esperado estará sempre associado a uma probabilidade de ocorrência.

Os dados observados indicam que, quanto maior for o valor do prejuízo evitado esperado, menor será a probabilidade de alcance de evitar tal prejuízo. Dessa forma, as chances de completo êxito são baixas, dadas as incertezas e considerando-se os cenários possíveis. Assim sendo, uma gestão passiva, desprovida de capacidade de identificar possíveis alterações no

cenário, resultará, certamente, em prejuízo futuro no resultado do investimento a realizar. Para problemas dessa natureza, somente a avaliação o VPL não se apresenta como uma solução adequada, tendo em vista que não é considerada a flexibilidade que pode ser incorporada no projeto de investimento.

A gestão do projeto de investimento na expansão do sistema de abastecimento de água requer, então, uma atuação com flexibilidade nas decisões.

Uma estratégia capaz de lidar com as incertezas existentes se refere à execução da expansão em etapas, para as quais é estabelecida uma ordem na execução das obras, com enfoque na flexibilidade gerencial, fundamentada, essencialmente, na teoria das opções reais. Todavia, essa abordagem requer uma mudança no modo da gestão de projetos dessa natureza, pois em muitos casos, observa-se que nos processos de tomada de decisões são adotados métodos que tornam rígidas as estratégias de gestão, impossibilitando modificações que poderiam evitar, por exemplo, decisões irreversíveis, que uma vez tomadas (exercidas) não é possível retroceder, mesmo que um dado cenário considerado como possível não se concretize.

A irreversibilidade das decisões poderá resultar em sistemas de abastecimento que operam de forma ociosa, que, em última instância, apresentam prejuízos econômicos advindos em virtude de receitas operacionais que não se realizaram.

O exemplo de expansão do sistema de abastecimento proposto tem como objetivo demonstrar justamente a flexibilização da estratégia de execução do projeto. Se o cenário previsto se confirmar decorridos 8 anos após a implantação da primeira etapa, o projeto terá prosseguimento. Em caso contrário, não se concretizando o cenário previsto, pode-se executar, posteriormente, a complementação da expansão do sistema.

A estratégia busca na observação do cenário o apoio para tomar a decisão de prosseguir ou não com o projeto de expansão. Para comparar as alternativas de investimento (opções) com vistas a definir a melhor estratégia para execução da expansão do sistema de abastecimento, foram selecionadas as seguintes alternativas:

Alternativa A com adutora a ser implantada com capacidade para final de plano do projeto (510 L/s) em ferro fundido com extensão de 6.900m, com valor do investimento de R\$ 7.547.500,00. Esta concepção foi adotada no projeto original do sistema de abastecimento;

Alternativa A adutora a ser implantada com capacidade para final de plano do projeto (510 L/s) em ferro fundido com extensão de 6.900m, com valor do investimento de R\$ 6.457.000,00;

Alternativa E com capacidade para 255 L/s ($170 \text{ L/s}_{\text{existente}} + 85 \text{ L/s}_{\text{expansão}}$) em ferro fundido, com extensão de 1.725m, com valor do investimento de R\$ 3.439.375,00; e

Alternativa G com capacidade para 340 L/s ($255 \text{ L/s}_{\text{existente}} + 85 \text{ L/s}_{\text{expansão}}$) em PRFV, com extensão de 1.725m, com valor do investimento de R\$ 3.327.250.

A alternativa A terá um horizonte de projeto de 15 anos, para efeito de avaliação da viabilidade econômica.

A alternativa G será implantada após 8 anos da entrada em operação da alternativa E, e terá um horizonte de projeto de 7 anos.

Dessa forma, pretende-se mostrar o valor da flexibilidade e como a mesma pode ser utilizada para superar as incertezas que envolvem as variáveis predominantes no estudo em questão.

Os valores e as respectivas variáveis consideradas nas simulações são:

TAR (tarifa \$R/m³): 1,15; 1,20; 1,25; 1,30 e 1,35;

Tj (taxa de juros (%): 8; 10; 12; 14; e 16;

Te (taxa de reajuste da tarifa TAR) (%); 3,0; 3,5; 4,0; 4,5; e 5,0;

Demanda incremental anual Q (L/s): 5,09; 5,66 e 6,79;

VPL de referência equivalente a: μ ; $\mu + 0,5\sigma$; $\mu + \sigma$; $\mu + 1,5\sigma$; e $\mu + 2\sigma$, obtidos da série de VPLs resultantes das simulações.

O termo μ se refere à média dos valores de VPLs, e σ é o desvio padrão dos valores da série de VPLs. Os resultados são apresentados de forma sintetizada em gráfico para melhor visualização e interpretação.

A figura 5.9 mostrada a seguir apresenta a comparação entre os valores do prejuízo evitado esperado para a alternativa A com valores de investimento de R\$ 7.547.500,00 e R\$ 6.457.000,00, executada com tubo de ferro fundido e PRFV, respectivamente.

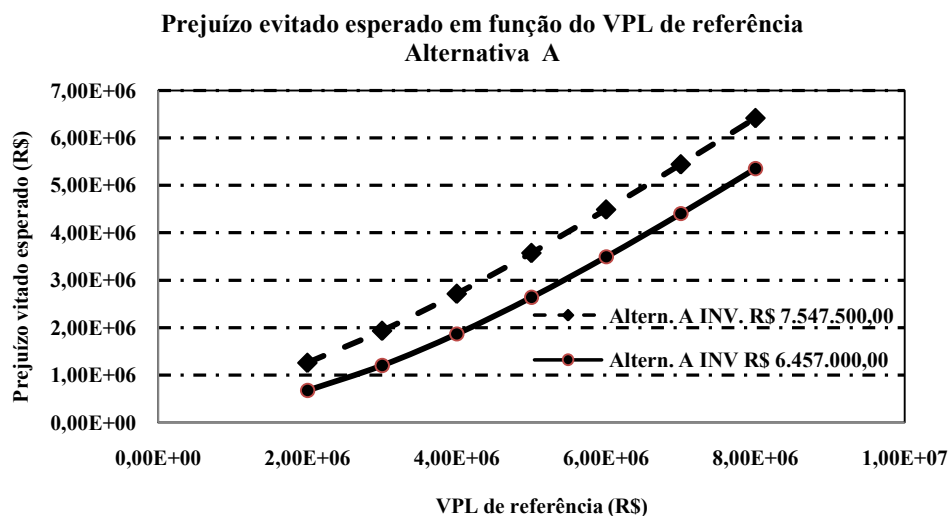


Figura 5.9 – Prejuízo evitado esperado da alternativa A em função do VPL de referência.

Na figura 5.10 mostrada a seguir, é apresentada a diferença entre o prejuízo evitado esperado para as duas opções de materiais para adutora de água bruta. Observa-se que quanto maior for o VPL de referência menor é a diferença entre os prejuízos evitados esperados.

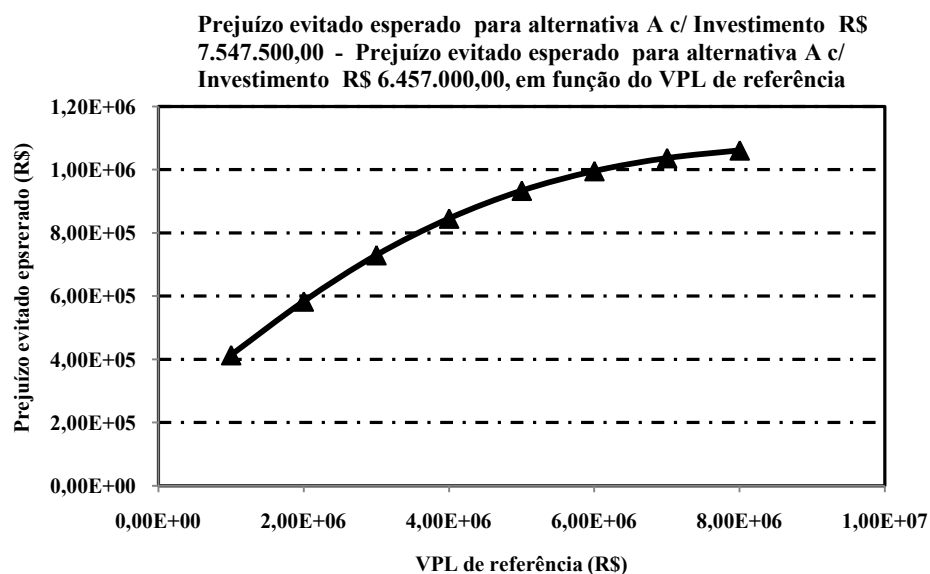


Figura 5.10 – Diferença entre os valores dos prejuízos evitados esperados para as duas opções de materiais a serem empregados na adutora de água bruta.

A diferença percentual tende a diminuir com o aumento do valor do VPL de referência. Esse fato sugere que se o VPL for elevado, o que indica se todas as variáveis consideradas levaram a um cenário favorável, a opção entre a adutora de ferro fundido ou de PRFV não causa grandes perdas. Isso demonstra que se houver certeza do cenário favorável, a adutora poderá ser construída com tubos de ferro fundido — material comumente empregado em sistemas de adução de água. Por outro lado, se o VPL for baixo, a opção de executar a adutora com tubos de PRFV mostra-se mais interessante, pois a diferença entre os prejuízos evitados esperados pode ser superior a 40%.

Trata-se, portanto, de flexibilidade incorporada ao projeto de expansão do sistema de abastecimento, pois face à incerteza do cenário predominante, pode-se executar a adutora com material alternativo — PRFV —, que, em caso de predominância de um cenário pouco favorável, haverá um menor prejuízo (evitado) esperado que aquele que resultaria se a adutora fosse executada com tubos de ferro fundido, considerando um cenário ruim.

A figura 5.11 apresenta a seguir a comparação entre a diferença percentual entre os prejuízos evitados esperados para as duas opções de materiais a serem empregados na adutora de água bruta do sistema de abastecimento a ser expandido.

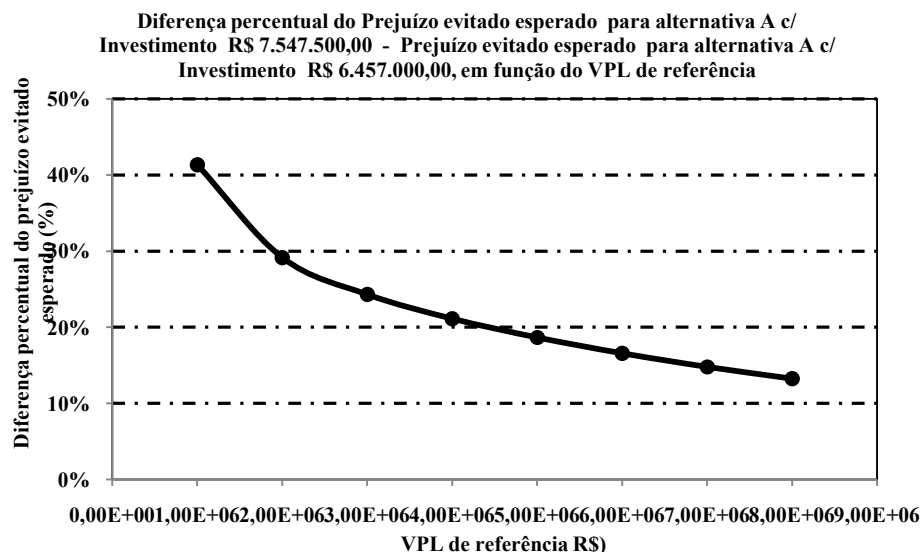


Figura 5.11 – Diferença percentual entre os prejuízos evitados esperados para alternativa A com opções de execução da adutora com ferro fundido e PRFV.

Para permitir a avaliação entre as estratégias de expansão do sistema, as alternativas A, E e G serão comparadas tomando-se como ponto de partida o instante 0, sendo que decorridos 15 anos para alternativa A calculou-se o VPL.

Para a estratégia de execução em duas etapas o VPL para alternativa E foi calculado para um período de 8 anos. Em seguida, com vistas a complementar a expansão, admitiu-se que a alternativa G será implantada e sua operação se dará a partir do nono ano e cujo final do período considerado será o décimo quinto ano, coincidindo, portanto, com o período previsto para alternativa A.

Os valores de VPL das três alternativas são apresentados na figura 5.12 mostrada a seguir. Observa-se que os prejuízos evitados esperados para as alternativas E + G são maiores que para alternativa A, para VPLs de referência compreendidos, entre, aproximadamente, R\$ 1.000.000,00 e R\$ 3.000.000,00. Valores de VPLs superiores a R\$ 3.000.000,00 não são possíveis de serem obtidos se forem adotadas as alternativas de expansão E+G, pois como estas têm capacidade de operar com vazão inferior (85 L/s), as receitas operacionais com a distribuição da água serão menores, e, portanto, refletindo diretamente sobre os valores de VPL dessas alternativas. Entretanto, o investimento a realizar será menor, se comparado o investimento necessário para implantação da alternativa A.

Os valores dos prejuízos evitados esperados das alternativas E+G para o intervalo de VPL de referência compreendido entre R\$ 1.000.000,00 e R\$ 3.000.000,00 são maiores que os valores da alternativa A. Os valores do prejuízo evitado esperado para alternativa G foram trazidos a valor presente para o mesmo período da alternativa E, e, então, foram somados. Dessa forma, todos os valores dos prejuízos evitados esperados das alternativas E+G e A puderam ser comparados, de acordo com o que é apresentado na figura 5.12.

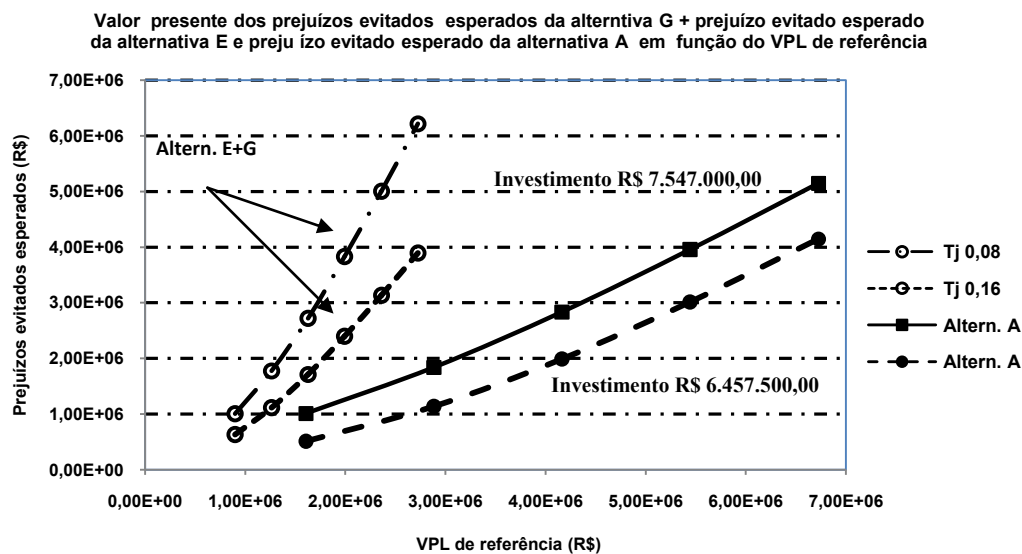


Figura 5.12 – Prejuízos evitados esperados das alternativas A e E+G, em função do VPL de referência.

Conforme já descrito anteriormente, a análise da viabilidade da expansão do sistema de abastecimento não é determinística. Dessa forma, deve-se avaliar a probabilidade de êxito no alcance de uma dada meta, que para o estudo em questão foi estabelecido o Valor Presente Líquido (VPL) de referência. É necessário, portanto, incluir uma medida do risco associado a um cenário ou a um conjunto de cenários para os quais há possibilidade de alcançar o VPL de referência.

Em caso de insucesso no alcance do VPL de referência, qual o valor do prejuízo evitado esperado se o investimento não for realizado e, também, qual o risco associado a esse valor dentro do conjunto de cenários avaliados.

A medida do risco será calculada para $VPL < VPL$ de referência, de acordo com a seguinte expressão:

$$p_{\text{êxito}} = \sum p_i, \quad (\text{eq. 5.9})$$

em que:

$p_{\text{êxito}}$: probabilidade de superar o VPL de referência;

p_i : probabilidade de ocorrência do VPL menor que o VPL de referência para cada cenário considerado, calculada de acordo com a equação (7), para qual foi assumida uma distribuição equiprovável de probabilidade.

Nas figuras 5.13 e 5.14 apresentadas a seguir é mostrada a variação da probabilidade de superar o VPL de referência para a alternativa A, cujo valor de investimento é R\$ 6.457.000,00 e R\$ 7.457.500,00, para adutora executada com tubos de PRFV e de ferro fundido, respectivamente. Os dados demonstram que o quanto maior o valor do VPL de referência menor é a probabilidade de superar o mesmo.

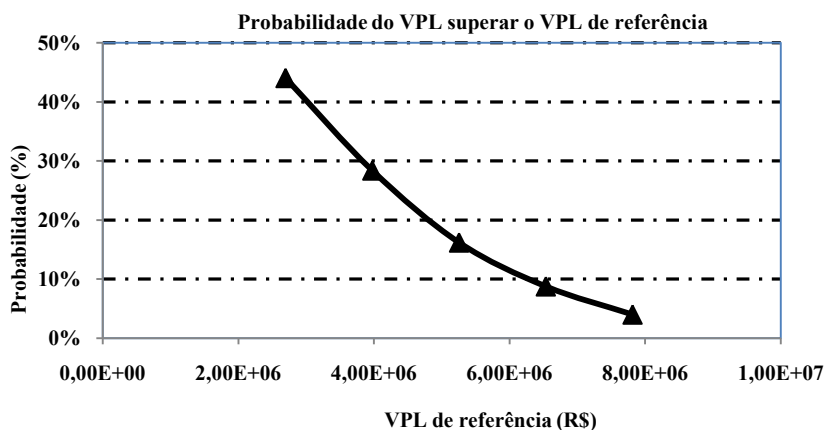


Figura 5.13 – Probabilidade do VPL superar o VPL de referência da alternativa A com valor de investimento de R\$ 6.457.000,00.

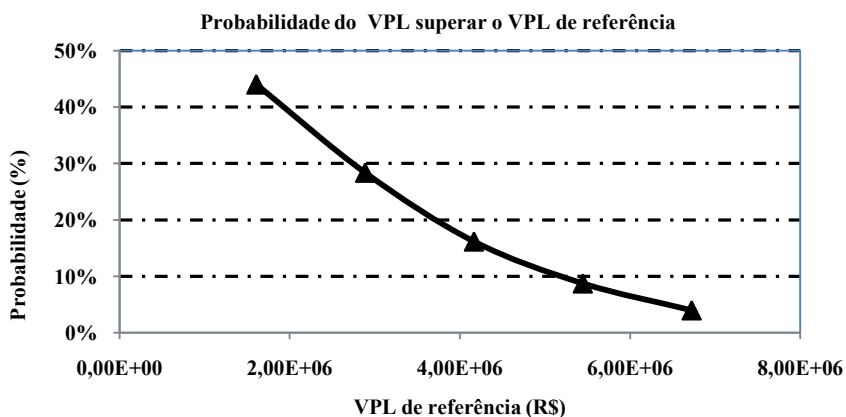


Figura 5.14 – Probabilidade do VPL superar o VPL de referência da alternativa A com valor de investimento de R\$ 7.457.500,00.

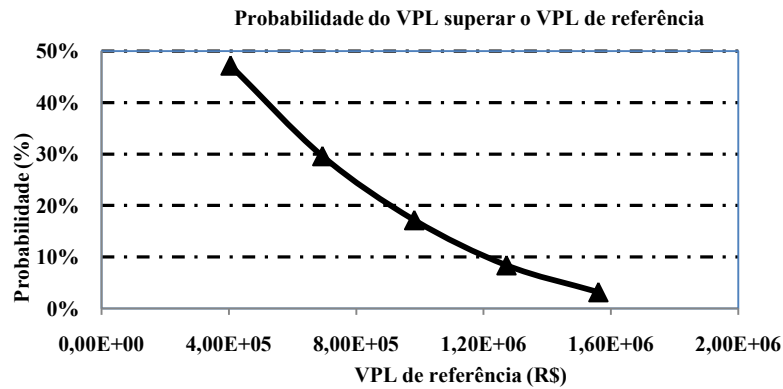


Figura5.15 – Probabilidade do VPL superar o VPL de referência da alternativa G com valor de investimento de R\$ 3.327.250,00.

A tendência da probabilidade do VPL de superar o VPL de referência é similar para as alternativas consideradas. Esse fato decorre em virtude de se adotar o valor mínimo para o VPL de referência equivalente a média μ dos VPLs obtidos nas simulações consideradas.

Para demonstrar essa característica é apresentada na figura 5.15 a seguir a probabilidade de superar o VPL de referência para alternativa G.

Analogamente, para a alternativa E, a probabilidade do VPL superar o VPL de referência apresenta praticamente os mesmos resultados das outras alternativas, pois os valores do VPL de referência dos cenários considerados nas simulações têm como base a média μ e o desvio padrão σ tal como feito para as alternativas A e G.

A figura 5.16 mostrada a seguir apresenta a tendência da probabilidade para alternativa E do VPL superar o VPL de referência.

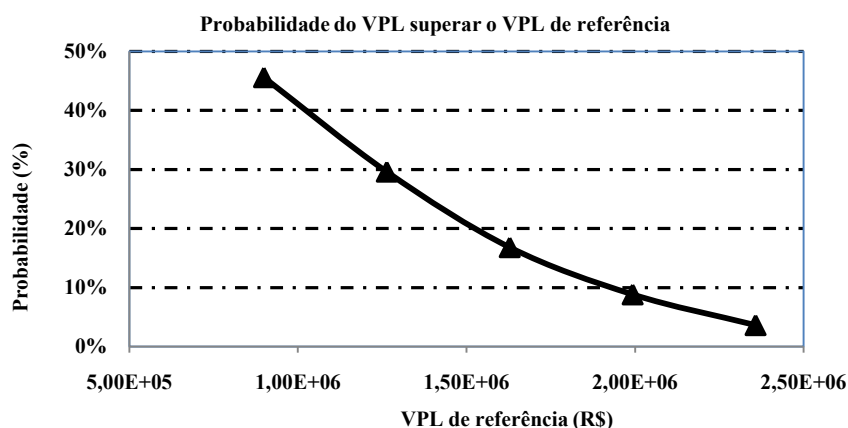


Figura 5.16 – Probabilidade do VPL superar o VPL de referência da alternativa G com valor de investimento de R\$ 3.439.375,00.

A figura 5.17 apresentada a seguir mostra comparação para as alternativas A com valor de investimento de R\$ 6.457.000,00 e alternativa E com valor de investimento de R\$ 3.327.250,00. Para ambas alternativas, foram considerados os mesmos cenários das simulações anteriores com vistas a comparar os resultados obtidos para os VPLs, para os cenários de demanda baixa e de demanda média.

Os resultados não estão ordenados de forma crescente. Nessa comparação buscou-se apenas apresentar os valores dos VPLs resultantes das simulações, porém, os valores calculados são mostrados partindo-se dos menores valores de taxa de juros T_j assim como dos menores valores da taxa de reajuste tarifário T_e e da tarifa TAR.

A abordagem nesse caso pode ser considerada como tradicional uma vez que não contempla as possibilidades que podem ser incorporadas mediante a inclusão da flexibilidade. É evidente que a alternativa A não pode ser implantada, pois os resultados dos VPLs apresentam valores negativos para todos os cenários considerados.

Para a alternativa E, praticamente, 90% dos cenários conduzem a resultados positivos dos VPLs, demonstrando que a implantação da alternativa para atendimento da demanda baixa ou da demanda média se configura como uma solução robusta, ou pelo menos de menor risco sob o ponto de vista da viabilidade econômica para atendimento das demandas consideradas.

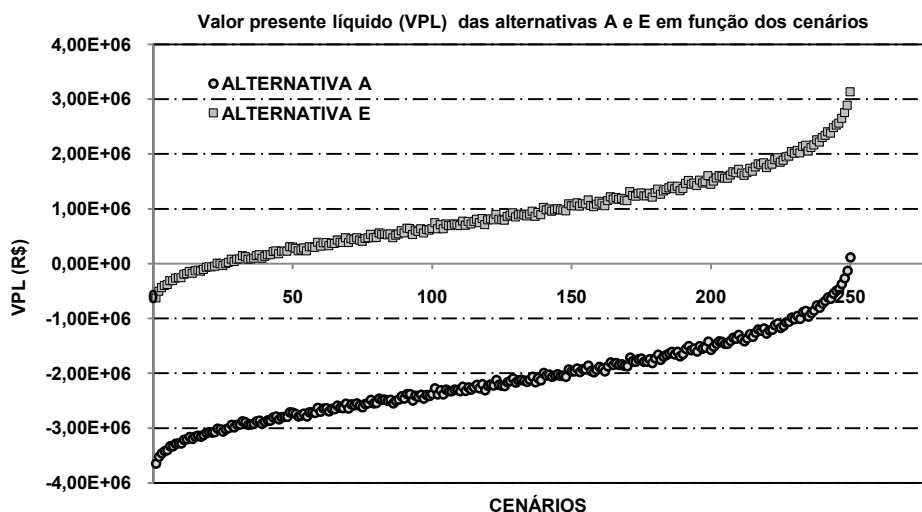


Figura 5.17 – Valores presentes líquidos para as alternativas A e E para os cenários considerados.

Portanto, é possível utilizar o método proposto, o qual se diferencia da abordagem tradicional, uma vez que emprega uma forma dinâmica para avaliação da viabilidade, ou dos riscos associados ao projeto de expansão da capacidade do sistema em estudo.

É possível também observar que no estudo de caso está evidente que a estratégia de expandir em etapas se configura como a mais adequada, quando não há certeza da evolução da demanda a ser atendida. Observa-se que, até mesmo pela abordagem tradicional, cujos resultados apresentados na figura 17, evidenciam a robustez da decisão em expandir em etapas. Porém, como forma de avaliar os resultados de maneira mais aprofundada e mais dinâmica, tendo como referência os resultados dos VPLs obtidos nas simulações, o método que propõe a avaliação do investimento por meio do indicador denominado PEE (prejuízo evitado esperado), se mostra conveniente face às particularidades que caracterizam o contexto que envolve o setor de saneamento, na área de abastecimento de água.

Destaca-se ainda que a flexibilidade técnica que foi proposta no projeto de expansão, atua com eficácia para contornar as incertezas. Logo, é fundamental que no projeto de engenharia sejam incluídas alternativas (no estudo de caso, consideradas como opções), para permitir que os gestores possam decidir, segundo as possibilidades oferecidas no projeto, de acordo com o cenário preponderante à época, ou ao momento de tomada da decisão de investir na expansão, ou na postergação do investimento.

Mesmo com as limitações na aplicação da teoria de portfólios, visto que as particularidades que constituem a área de abastecimento urbano de água, as quais não permitem a utilização de todos os recursos e estratégias oferecidas pela teoria das opções reais, é possível recorrer ao emprego dessa técnica.

Dessa forma, é necessário que os profissionais, cujas atividades são voltadas ao planejamento e à gestão técnica e econômica dos projetos de sistemas de abastecimento de água, busquem o conhecimento das técnicas de gestão que abordam a teoria das opções reais, pois em muitos casos, os recursos gerenciais preconizados, mesmo que parcialmente aplicáveis aos projetos, auxiliam a busca da solução mais adequada do ponto de vista técnico e econômico, para realização dos investimentos na implantação ou na expansão dos sistemas de abastecimento de água.

6 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A pesquisa desenvolvida abordou o planejamento dos investimentos na expansão do sistema urbano de abastecimento de água, tendo em vista as reais condições de um sistema existente como demonstrado no estudo de caso. As particularidades do setor de saneamento limitam a aplicação na íntegra da teoria das opções reais, porém, em muitos aspectos, os conceitos preconizados nessa teoria podem ser utilizados.

O setor de saneamento básico, mais especificamente a área de abastecimento urbano de água, não dispõe de plena liberdade para praticar as tarifas que permitam a completa eficácia na prestação desse serviço. Por outro lado, nota-se que há extrema heterogeneidade das tarifas praticadas no setor, o que, provavelmente, indica que não há, atualmente, uma metodologia para definição do valor mínimo da tarifa a ser praticada. Além disso, os valores das tarifas não apresentam relação direta entre oferta e demanda de água, característica típica do setor. Dessa forma, a análise econômica dos investimentos se torna particularmente mais complicada em virtude da incerteza que incide sobre o valor possível de praticado na tarifa de água. Essa característica condição exige que diversos valores da tarifa sejam levados em consideração nas análises, não significando, porém, que serão praticados pelos prestadores do

serviço de abastecimento. Tal limitação aumenta o risco de que as receitas advindas não sejam suficientes para garantir o adequado planejamento assim como o atendimento confiável das futuras demandas por água potável.

As incertezas sobre a evolução da demanda por água potável tornam obrigatórias a adoção de possíveis cenários que podem se configurar durante o horizonte de projeto. No estudo de caso considerado foi adotado o cenário tendencial, pois constata-se que os cenários dirigidos que induzem a uma redução do consumo per capita de água, ainda são difíceis de se consolidar uma vez que dependem do uso racional da água pelos consumidores, requerendo uma postura diferenciada do consumidor em relação à água potável. Por outro lado as reduções das perdas de água, por exemplo, requerem programas duradouros e continuados, cujos resultados são possíveis de serem identificados apenas em médio ou em longo prazos.

Os dados divulgados de forma sistematizada pelo Programa de Modernização do Setor de Saneamento do Ministério das Cidades apontam um elevado nível de perdas na distribuição de água. Trata-se de um problema crônico do setor, visto que são raras as empresas que apresentam índice de perdas inferior a 20% na distribuição.

Portanto, contar com reduções hipotéticas no crescimento das demandas nas análises dos investimentos na expansão dos sistemas de abastecimento, passa a ser apenas um exercício de natureza essencialmente teórica, que se distancia da atual realidade das empresas do setor. Dessa forma, é fundamental que o índice de perdas nos sistemas de distribuição de água seja reduzido de maneira consistente; é um gargalo que deve ser efetivamente enfrentado com vistas a melhorar de forma significativa a eficiência das empresas do setor; o consumo per capita de água também. Entretanto, a redução do consumo de água a partir da mudança de hábitos das pessoas depende, fundamentalmente, da educação e da conscientização das mesmas em relação à água potável.

A metodologia e o estudo de caso propostos no presente trabalho demonstram que é possível, dependendo das características do sistema de abastecimento, realizar o investimento na expansão de maneira mais adequada, sob o ponto de vista da viabilidade econômica do projeto, pois com a abordagem que emprega a flexibilidade como forma de minimizar os riscos associados a incertezas, permite que o processo de tomada de decisão seja dinâmico.

As variáveis econômicas (taxa de juros e taxa de reajuste da tarifa) introduzem uma característica de natureza estocástica no problema. Logo, as avaliações devem considerar

esse comportamento e o simples cálculo do valor presente líquido (VPL) como indicador da viabilidade do investimento não representa adequadamente a realidade a que o projeto será submetido, uma vez que as circunstâncias ou o contexto podem se modificar substancialmente ao longo do horizonte de projeto considerado nos estudos. Ressalta-se, portanto, a importância da flexibilidade no processo de tomada de decisão, com vistas a evitar que decisões irreversíveis sejam tomadas pois podem aumentar ainda mais o nível de riscos do projeto de expansão do sistema de abastecimento.

O valor do prejuízo evitado esperado introduzido na pesquisa em questão permite ao gestor do projeto de expansão avaliar a possibilidade de expandir o sistema de maneira que os investimentos sejam realizados em etapas, sempre considerando a possibilidade de que a demanda prevista não seja concretizada no horizonte de projeto considerado.

Caso haja absoluta certeza sobre a evolução da demanda, a avaliação pode ser realizada com enfoque essencialmente determinístico, porém, raramente esse cenário se configura, pois a demanda depende diretamente da população a ser abastecida, e como visto anteriormente, o crescimento projetado da população pode ser bem diferente da população observada ao longo do período de projeto considerado.

Outro aspecto a ser destacado se refere ao intervalo de tempo em que são realizadas as projeções. De maneira geral, as projeções de crescimento populacional são realizadas a cada 5 anos, ou mais. Logo, o planejamento para expansão dos sistemas urbanos de abastecimento de água também deveriam ser revistos concomitantemente às projeções de crescimento populacional. Com esse procedimento realizado de forma sistematizada, poderiam ser evitados os investimentos na expansão dos sistemas de abastecimento que resultam em excesso de capacidade, e a consequente operação ociosa. Uma parcela dos recursos aplicados na expansão poderia ser empregada em outros tipos de investimentos tais como o efetivo combate às perdas no sistema de distribuição. Além disso, o caixa das empresas não seria onerado em função de maior crescimento (projetado) apenas para se ter margem de segurança; essa (segurança) poderia ser adequadamente considerada, levando-se em conta os riscos associados ao projeto de expansão dos sistemas.

É possível concluir também no presente trabalho que a abordagem da teoria das Opções Reais, no que se refere ao conceito de adiar o momento de expandir para observar melhor a evolução da demanda, não significa atrasar a implantação de determinado projeto. Tampouco a

execução em etapas para acompanhar a curva de crescimento da demanda se configura em executar de forma parcial as obras de expansão do sistema. A técnica, sobretudo, permite a aplicação dos recursos financeiros da melhor forma possível, por meio do ajuste na aplicação desses recursos na execução das obras necessárias ao atendimento das demandas previstas.

Como ocorre em qualquer setor econômico, a gestão dos investimentos na expansão do sistema de abastecimento deve ser realizada de maneira profissional; requer que os tomadores de decisão estejam familiarizados com os modernos conceitos gerenciais e alinhados com o planejamento idealizado. A estratégia somente terá êxito se todo o planejamento for compreendido e plenamente realizado pelos gestores das empresas. A descontinuidade da estratégia pode comprometer todo o projeto de investimento.

A pesquisa realizada sugere que há um campo a ser explorado no setor de abastecimento urbano de água; deve-se buscar a associação dos conceitos que são aplicáveis da teoria das opções reais aos projetos de engenharia os quais podem ser concebidos para possibilitar o emprego dessa técnica gerencial, auxiliando sobremaneira os tomadores de decisão a realizar os investimentos.

No estudo de caso apresentado foi considerada uma relação constante (0,85) entre custo anual e o benefício anual. Sugere-se que em outras pesquisas, quando for elaborado o fluxo de caixa do projeto de investimento, o custo anual seja desagregado entre custo fixo anual e custo variável anual. Tal procedimento poderá melhorar o nível de precisão dos resultados do valor presente líquido (VPL), e se apresenta como um refinamento a ser introduzido no presente trabalho.

A distribuição de probabilidade de ocorrência dos cenários foi adotada como sendo equiprovável. Outras pesquisas podem ser conduzidas buscando-se diferentes distribuições de probabilidade, ao mesmo tempo pode ser realizada uma análise de sensibilidade sobre como a distribuição de probabilidade adotada influencia nos resultados do valor presente líquido.

As oportunidades para aplicação dos conceitos da teoria das opções reais podem ser diferentes entre os projetos. Dependendo das características do projeto pode até não haver possibilidade de utilização da mesma. Projetos que apresentam pouca flexibilidade são os que impõem maior dificuldade para o emprego da teoria das opções reais. Logo, sugere-se que os projetos de engenharia sejam elaborados com elevado nível de flexibilidade para possibilitar o

emprego das opções reais na estratégia de implantação ou de expansão dos sistemas de abastecimento de água.

Estudos podem ser conduzidos com vistas a avaliar o efeito da economia de escala nos projetos de investimentos, uma vez que na pesquisa em questão apenas um sistema foi avaliado no estudo de caso. Dependendo do porte do sistema, benefícios adicionais podem ocorrer devido ao efeito da economia de escala.

Apesar de não ter sido avaliado o cenário dirigido, em virtude das hipóteses que são consideradas para o estabelecimento do mesmo (redução de perdas; uso racional da água), sugere-se que, em posse de dados consistentes, sejam realizadas simulações que considerem o cenário dirigido com diferentes níveis de redução de perdas na distribuição, assim como pode ser avaliado cenário dirigido que contenha diferentes valores de consumo per capita, admitindo-se a hipótese de ocorrência da redução do consumo de água, por intermédio da conscientização para utilização da água de maneira mais racional. Esse cenário é o que representa benefício adicional por de ganho de eficiência (redução de perdas) e uso mais racional da água (uso consciente); representa um compromisso em melhorar ou reduzir os níveis de perdas e incentivar o consumo mais racional da água.

Para os cálculos realizados com vistas a avaliar os fluxos de caixa descontados foi utilizada planilha eletrônica. Programas específicos podem ser desenvolvidos em ambientes especializados que visam aprofundar e detalhar com maior precisão o comportamento das variáveis intervenientes no fluxo de caixa descontado.

A aplicação da teoria das opções reais pode ser amplamente difundida entre os profissionais envolvidos no desenvolvimento dos projetos voltados à implantação e à expansão dos sistemas de abastecimento de água. Para tanto, é necessário que os mesmos tomem conhecimento dos recursos possíveis, das vantagens de sua aplicação, e, obviamente, de suas limitações.

Projetos de engenharia bem elaborados apresentam, de maneira geral, boa eficiência econômica. Porém, dependendo do contexto, o emprego da teoria das opções reais, considerando-se as particularidades do setor de saneamento, pode resultar em benefícios econômicos importantes, que contribuirão para o adequado atendimento com água potável das populações urbanas presentes e futuras.

7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A.B.N.T. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS *NBR 15536-1. Sistemas para adução de água, coletores-tronco, emissários de esgoto sanitário e águas pluviais – Tubos e conexões de plástico reforçado de fibra de vidro (PRFV). Parte 1: Tubos e juntas para adução de água*, 2007.

A.B.N.T. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS *NBR 7662. Tubos de ferro fundido centrifugado para líquidos sob pressão com junta elástica*, 1985.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA *Atlas Nordeste: Abastecimento Urbano de Água*. Brasília, 2002.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA *Atlas Regiões Metropolitanas: Abastecimento Urbano de Água:- resumo executivo*. Brasília, 2009.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA e DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA – DAEE/SP *Nota Técnica conjunta ANA/DAEE: subsídios para a análise do pedido de outorga do SISTEMA CANTAREIRA e para a definição das condições de operação dos seus reservatórios. Relatório Final*, 2004.

AGÊNCIA REGULADORA DE ÁGUAS, ENERGIA E SANEAMENTO BÁSICO DO DISTRITO FEDERAL – ADAFA – *Valores históricos da taxa de reajuste tarifário de água da CAESB 2001 -2010*, Brasília, 2010.

AGÊNCIA REGULADORA DE SANEAMENTO E ENERGIA DO ESTADO DE SÃO PAULO – ARSESP. *Nota Técnica – Índice de Reajuste Tarifário da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – SABESP*, 2009.

BANCO CENTRAL DO BRASIL *Valores históricos da taxa de juros de longo prazo -TJLP*, Brasília, DF, 2010.

BANCO CENTRAL DO BRASIL *Valores históricos da taxa SELIC*, Brasília, DF, 2009.

BARBOSA, P. S. F.; CASTRO, R., *Taxonomia dos Fatores de Riscos para o Setor Elétrico Brasileiro*. In: XVIII Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, 2005, Curitiba. Anais do XVIII Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, 2005.

BARBOSA, P. S.F.; FRANCATO, A. L. *Notas de aula, Disciplina IC721 – Tópicos Sobre Recursos Hídricos (Planejamento de Sistemas Hidro-Energéticos)*. Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Departamento de Recursos Hídricos, Energéticos e Ambientais, 2006.

BARBOSA, P.S.F. et al *Taxonomia dos Fatores de Riscos para o Setor Elétrico Brasileiro In: XVIII Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica*, Curitiba, 2005.

BLACK, F.; SCHOLES, M. *The pricing of options and corporate liabilities*. Journal of Political Economy, 81, p. 637-654, May-June 1973.

BLANK, L. T. *Engenharia econômica*. São Paulo: McGraw-Hill, 2008.

BOOZ ALLEN & HAMILTON *Análisis de Decisión y Manejo de Riesgos*, BA&H, Bogotá, Colombia, 1999.

CAMPOS, M. R. F. *Avaliação das Metodologias Aplicadas aos Estudos de Planejamento de Recursos Hídricos da Região Metropolitana de São Paulo com ênfase no sistema de abastecimento de Água*. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

CARMO, R. L. *A água é o limite? Redistribuição espacial da população e recursos hídricos no Estado de São Paulo*. Tese (Doutorado) – Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Campinas, 2001.

CARVALHO, F. S. et al. Estudos sobre perdas no sistema de abastecimento de água da cidade de Maceió. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 7, *Anais...* São Luis: ABRH, 1 CD-ROM, 2004.

CONSÓRCIO HIDROPLAN *Plano Integrado de Aproveitamento e Controle dos Recursos Hídricos das Bacias Alto Tietê, Piracicaba e Baixada Santista*. Secretaria de Recursos Hídricos, Saneamento e Obras. São Paulo, 1995.

COPELAND, T.; ANTIKAROV, V. *Real Options: a practitioner's guide*. New York: Texere, 2001.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA – DAEE *Plano Estadual de Recursos Hídricos 2004/2007, Resumo*. São Paulo, DAEE, 2006.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA *Relatório de Situação dos Recursos Hídricos do Estado de São Paulo*. Secretaria de Recursos Hídricos, Saneamento e Obras. São Paulo, 1999.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ESGOTOS DE VALINHOS *Plano Diretor de Abastecimento de Água*, 1985.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ESGOTOS DE VALINHOS *Relatório preliminar de monitoramento dos volumes consumidos de água*, Valinhos, 2010.

DEPARTAMENTO INTERSINDICAL DE ESTATÍSTICA E ESTUDOS SOCIOECONÔMICOS *Valores históricos da taxa de reajuste da tarifa de água da SABESP para a cidade de São Paulo/SP 2000-2009*, São Paulo, 2010.

EMPLASA *Diretrizes para o Abastecimento de Água na Grande São Paulo*. São Paulo, vol. 1. São Paulo: Secretaria dos Negócios Metropolitanos, 1985.

FIGUEIREDO FERRAZ CONSULTORIA E ENGENHARIA DE PROJETO LTDA. *Consolidação do Plano Diretor de Abastecimento de Água da Região Metropolitana de São Paulo*, 1991.

FIGUEIREDO JÚNIOR, J. V. *Custo da água com vistas à sustentabilidade dos sistemas urbanos de abastecimento*. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2008.

FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS *Índice Nacional da Construção do Mercado 1995-2005*, Escola de Economia de São Paulo, São Paulo, 2010.

GENIUS, M. & TSAGARAKIS, K. P. *Water shortages and implied water quality: A contingent valuation study*, Water Resources Research., Vol. 42 W12407, doi:10.1029/2005 WR004833 , 2006.

GOMES, H.P. *Abastecimento de água: o estado da arte e técnicas avançadas*. João Pessoa, UFPB/ Editora Universitária, 2007.

GOMES, H.P. *Eficiência hidráulica e energética em saneamento: análise econômica de projetos*. Rio de Janeiro: ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005.

GOMES, H.P. *Sistemas de Abastecimento de Água: Dimensionamento Econômico e Operações de Redes e Elevatórias*. João Pessoa, UFPB/ Editora Universitária, 2004.

GRAYMAN, W. M. *Incorporating Uncertainty and Variability in Engineering Analysis*. Journal of Water Resources Planning and Management, September/October, 2005.

HAGEN, E. R. et al *Benefits of Iterative Water Supply Forecasting in the Washington, D.C., Metropolitan Area*. Journal of the American Water Resources Association, p 1417 – 1430, December, 2005.

HAGEN, E. R., HOLMES, K. J., KIANG, J. E. and STEINER R. C. *Benefits of iterative water supply forecasting in the Washington, D.C. metropolitan area*, Journal of the American Water Resources Association, 2005.

HELLER, L. & PÁDUA, V. L. *Abastecimento de água para consumo humano*. Belo Horizonte, Editora UFMG, 2006.

HIBRACE *Desenvolvimento Global dos Recursos Hídricos das Bacias do Alto Tietê e Cubatão – Plano Diretor de Obras*. São Paulo: Departamento de Águas e Energia Elétrica, 1968.

HIGHAM, S. *Fighting for water in México City*, Water & Environment – September, 1998.

HOWARD, C. D. D. *Sustainable Development – Risk and Uncertainty*. Journal of Water Resources Planning and Management, September/October, 2002.

HULL, J. C. *Fundamentos dos mercados futuros e de opções*. São Paulo: Bolsa de mercadorias & Futuros, 2005.

KAME'ENUI, A. E.; HAGEN, E. R. and KIANG, J. E. *Water supply Reliability Forecast for the Washington Metropolitan Area Year 2025*. Interstate Commission on the Potomac River Basin, ICPRB, 05-6, Rockville, Maryland, 2005.

KENNEY, D. S., KLEIN, R. A. and CLARK M. P. *Use and effectiveness of municipal water restrictions during drought in Colorado*, Journal of the American Water Resources Association, 2004.

LAUER, W.C. et al “Denver’s Potable Water Reuse project Current status”. In: *Water Reuse Symposium*, 3. San Diego, California, Proceedings, p. 316-36, 1984.

LIMA, G. A. C. *Uma proposta de uso da teoria da preferência e das opções reais na gestão de portfólio de reservas de petróleo*. Tese (Doutorado), Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, 2004.

LOUKS, D.P.; J.R. STEDINGER and D.A. HAITH *Water Resources Planning and Analysis*. Printice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 278 pp, 1981.

LOW-BEER, J.D. *O Novo Paradigma das Políticas Urbanas: A Regulação dos Serviços Públicos – Limites e Alcances*. Tese (Doutorado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2000.

LUEHRMAN, T. A. *Investment Opportunities as Real Options: Getting Started on the Numbers*. Harvard Business Review, p 51 – 67, July-August, 1998.

MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. *Reúso de Água*. Universidade de São Paulo, Faculdade de Saúde Pública, Núcleo de Informações em Saúde Ambiental, 2003.

MEICHES, J. *Contribuição para o estudo das limitações impostas pela qualidade das águas e a sua recuperação para o uso em sistemas de abastecimento de água*. Tese (Livre-Docência) – Escola Politécnica de São Paulo – Universidade de São Paulo. São Paulo, 1964.

MERTON, R. *Theory of rational option pricing*. Bell Journal of Economic and Management Science, 4, p 141-183, Spring 1973.

MEYERS, S. “*Determinants of Corporate Borrowing*”, Journal of Financial Economics, vol.5, nº 2, November, pp. 6-13, 1977.

MINARDI, A. M. A. F. *Teoria das opções aplicada a projetos de investimento*. São Paulo: Atlas, 2004.

MINISTÉRIO DAS CIDADES Programa de Modernização de do Setor de Saneamento, Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: *diagnóstico dos serviços de água e esgotos – 2005*. Brasília, 222p., 2006.

MINISTÉRIO DAS CIDADES Programa de Modernização de do Setor de Saneamento, Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: *diagnóstico dos serviços de água e esgotos – 2008*. Brasília, 412p.: texto, tabelas, 2010.

MINISTÉRIO DAS CIDADES Programa de Modernização de do Setor de Saneamento, Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: *diagnóstico dos serviços de água e esgotos – 2007*. Brasília, 445p.: texto, tabelas, 2009.

MONTGOMERY CONSULTING, J. M. *Water treatment principles & design*. New York, Van Nostrand Reinhold Company, 1977.

OLMSTED, E. *Real Options in Capital Investment: Models, Strategies, and Applications*. Praeger Publishers, Westport, CT, 1995.

ORSINI, A. Z. *Sistemas de abastecimento de água.* Apostila da Disciplina PHD 412 – Saneamento II. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. São Paulo, 1996.

PAPPENBERGER, F., and BEVEN, K. J. *Ignorance is bliss: Or seven reasons not to use uncertainty analysis,* Water Resources Research., Vol. 42 W05302, doi:10.1029/2005WR004820, 2006.

POUND, C. E., CULP, R.L. *Handbook of advanced wastewater treatment.* 2. ed. Nova York, Van Nostrand Reinhold Company, 1977.

QASIM, S. R. *Wastewater treatment plants: planning, design, and operation.* New York: Ed. Reinhart & Winston, 726p, 1985.

RAMIREZ, N. *Valuing Flexibility in Infrastructure Developments: The Bogota Water Supply Expansion Plan.* Dissertação (Mestrado), Technology and Policy Program, Engineering Systems Division, Massachusetts Institute of Technology, 2002.

SHIKLOMANOV, I. A. *Comprehensive Assessment of the Freshwater Resources of the World: Assessment of Water Resources and Water Availability in the World.* Stockholm: World Meteorological Organization and Stockholm Environment Institute, 88p., 1997.

SILVA, F. C. et al. *Panorama de perdas em sistemas de abastecimento de água.* In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 7. *Anais...* São Luis: ABRH, 1 CD-ROM, 2004.

SILVA, F. J. A. *Perda de Água em Sistemas Públicos de Abastecimento no Ceará.* Revista Tecnologia, V 26, n. 1, p. 1 – 11, junho, 2005.

SOUZA, R. S. F. *Planejamento Integrado de Recursos no Fornecimento de Água Tratada Para o Sistema de Abastecimento da Região Metropolitana de Fortaleza: Proposta de Metodologia.* Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina, 2003.

TRIGEORGIS, L. *Real Options: managerial flexibility and strategy in resource allocation.* Cambridge, Massachussets: Mit Press, 1997.

TSUTIYA, M. T. *Abastecimento de água*. São Paulo – Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2004.

UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION
– **UNESCO** *Groundwater Environment and Development Briefs*, 1998.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME – UNEP : *Groundwater: a threatened resource* – UNEP Environment Library nº 15. Nairobi: 36p., 1996.

VIEIRA, J. M. P. *Gestão de Riscos em Água para Consumo Humano In: XI Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, Natal, Anais...CD ROM, Natal, ABES, 2004.

APÊNDICE

Apêndice A: Exemplos de planilha de cálculo para determinação dos VPLs em função das alternativas consideradas.

Cálculo do VPL para alternativa A com demanda baixa de 9,56 L/s, valor do investimento R\$ 6.457.000,00, tarifa de água R\$ 1,15/m³, taxa de juros de 8%, 10%, 12%, 14% e 16% ao ano, taxa de reajuste tarifário de 3,0%, 3,5%, 4,0%, 4,5% e 5,0% ao ano, para período de 8 anos.

DEMANDA (l/s)	INVESTIMENTO (R\$)	TARIFA (R/m³)		TAXA (i) (%)	TAXA (e) (%)	n	FVP (i,e,n)	FVP (i,n)	VPL (\$)	FEP (i,e,n)	FRC (i,n)	VAL (\$)	B/C
9,56	6.457.000,00	1,15											
76,5	6.457.000	2.736.374,40	2.325.918,24	8	3	8	6,312	5,747	-2.551.023,32	1,098	0,1740	-443.915,71	0,871
76,5	6.457.000	2.736.374,40	2.325.918,24	8	3,5	8	6,413	5,747	-2.275.813,17	1,116	0,1740	-396.025,08	0,885
76,5	6.457.000	2.736.374,40	2.325.918,24	8	4	8	6,515	5,747	-1.995.409,83	1,134	0,1740	-347.230,76	0,899
76,5	6.457.000	2.736.374,40	2.325.918,24	8	4,5	8	6,620	5,747	-1.709.720,37	1,152	0,1740	-297.516,58	0,914
76,5	6.457.000	2.736.374,40	2.325.918,24	8	5	8	6,726	5,747	-1.418.650,42	1,170	0,1740	-246.866,11	0,928
76,5	6.457.000	2.736.374,40	2.325.918,24	10	3	8	5,843	5,335	-2.875.699,67	1,095	0,1874	-539.032,70	0,848
76,5	6.457.000	2.736.374,40	2.325.918,24	10	3,5	8	5,934	5,335	-2.628.425,19	1,112	0,1874	-492.682,58	0,861
76,5	6.457.000	2.736.374,40	2.325.918,24	10	4	8	6,026	5,335	-2.376.554,91	1,130	0,1874	-445.471,00	0,874
76,5	6.457.000	2.736.374,40	2.325.918,24	10	4,5	8	6,120	5,335	-2.120.007,33	1,147	0,1874	-397.382,69	0,888
76,5	6.457.000	2.736.374,40	2.325.918,24	10	5	8	6,215	5,335	-1.858.699,69	1,165	0,1874	-348.402,14	0,901
76,5	6.457.000	2.736.374,40	2.325.918,24	12	3	8	5,426	4,968	-3.162.758,88	1,092	0,2013	-636.672,35	0,824
76,5	6.457.000	2.736.374,40	2.325.918,24	12	3,5	8	5,508	4,968	-2.939.923,74	1,109	0,2013	-591.815,00	0,837
76,5	6.457.000	2.736.374,40	2.325.918,24	12	4	8	5,591	4,968	-2.713.010,11	1,125	0,2013	-546.136,64	0,849
76,5	6.457.000	2.736.374,40	2.325.918,24	12	4,5	8	5,675	4,968	-2.481.946,30	1,142	0,2013	-499.622,84	0,862
76,5	6.457.000	2.736.374,40	2.325.918,24	12	5	8	5,761	4,968	-2.246.659,55	1,160	0,2013	-452.258,95	0,875
76,5	6.457.000	2.736.374,40	2.325.918,24	14	3	8	5,054	4,639	-3.417.422,79	1,089	0,2156	-736.693,91	0,802
76,5	6.457.000	2.736.374,40	2.325.918,24	14	3,5	8	5,127	4,639	-3.216.036,44	1,105	0,2156	-693.281,05	0,814
76,5	6.457.000	2.736.374,40	2.325.918,24	14	4	8	5,202	4,639	-3.011.020,89	1,121	0,2156	-649.085,84	0,825
76,5	6.457.000	2.736.374,40	2.325.918,24	14	4,5	8	5,279	4,639	-2.802.312,93	1,138	0,2156	-604.094,67	0,838
76,5	6.457.000	2.736.374,40	2.325.918,24	14	5	8	5,356	4,639	-2.589.848,43	1,155	0,2156	-558.293,69	0,850
76,5	6.457.000	2.736.374,40	2.325.918,24	16	3	8	4,720	4,344	-3.644.089,56	1,087	0,2302	-838.957,82	0,780
76,5	6.457.000	2.736.374,40	2.325.918,24	16	3,5	8	4,787	4,344	-3.461.585,31	1,102	0,2302	-796.940,92	0,791
76,5	6.457.000	2.736.374,40	2.325.918,24	16	4	8	4,855	4,344	-3.275.843,24	1,118	0,2302	-754.178,59	0,802
76,5	6.457.000	2.736.374,40	2.325.918,24	16	4,5	8	4,924	4,344	-3.086.807,50	1,134	0,2302	-710.657,97	0,814
76,5	6.457.000	2.736.374,40	2.325.918,24	16	5	8	4,994	4,344	-2.894.421,39	1,150	0,2302	-666.366,02	0,825

Cálculo do VPL para alternativa A com demanda baixa de 9,56 L/s, valor do investimento R\$ 6.457.000,00, tarifa de água R\$ 1,20/m³, taxa de juros de 8%, 10%, 12%, 14% e 16% ao ano, taxa de reajuste tarifário de 3,0%, 3,5%, 4,0%, 4,5% e 5,0% ao ano, para período de 8 anos.

DEMANDA (L/s)	INVESTIMENTO (R\$)	TARIFA (\$R/m³)												
9,56	6.457.000,00	1,20												
Demanda (L/s)	Invest. (\$)	Benefício Anual (\$)	Custo Anual (\$)	"i" (%)	e (%)	n	FVP (i,e,n)	FVP (i,n)	VPL (\$)	FEP (i,e,n)	FRC (i,n)	VAL (\$)	B/C	
76,5	6.457.000	2.855.347,20	2.427.045,12	8	3	8	6,312	5,747	-2.381.198,25	1,098	0,1740	-414.363,64	0,883	
76,5	6.457.000	2.855.347,20	2.427.045,12	8	3,5	8	6,413	5,747	-2.094.022,44	1,116	0,1740	-364.390,81	0,897	
76,5	6.457.000	2.855.347,20	2.427.045,12	8	4	8	6,515	5,747	-1.801.427,65	1,134	0,1740	-313.475,00	0,912	
76,5	6.457.000	2.855.347,20	2.427.045,12	8	4,5	8	6,620	5,747	-1.503.316,91	1,152	0,1740	-261.599,33	0,926	
76,5	6.457.000	2.855.347,20	2.427.045,12	8	5	8	6,726	5,747	-1.199.591,74	1,170	0,1740	-208.746,67	0,941	
76,5	6.457.000	2.855.347,20	2.427.045,12	10	3	8	5,843	5,335	-2.719.990,96	1,095	0,1874	-509.846,03	0,860	
76,5	6.457.000	2.855.347,20	2.427.045,12	10	3,5	8	5,934	5,335	-2.461.965,41	1,112	0,1874	-461.480,69	0,873	
76,5	6.457.000	2.855.347,20	2.427.045,12	10	4	8	6,026	5,335	-2.199.144,25	1,130	0,1874	-412.216,43	0,887	
76,5	6.457.000	2.855.347,20	2.427.045,12	10	4,5	8	6,120	5,335	-1.931.442,43	1,147	0,1874	-362.037,33	0,900	
76,5	6.457.000	2.855.347,20	2.427.045,12	10	5	8	6,215	5,335	-1.658.773,59	1,165	0,1874	-310.927,19	0,915	
76,5	6.457.000	2.855.347,20	2.427.045,12	12	3	8	5,426	4,968	-3.019.531,00	1,092	0,2013	-607.840,17	0,837	
76,5	6.457.000	2.855.347,20	2.427.045,12	12	3,5	8	5,508	4,968	-2.787.007,38	1,109	0,2013	-561.032,51	0,849	
76,5	6.457.000	2.855.347,20	2.427.045,12	12	4	8	5,591	4,968	-2.550.227,94	1,125	0,2013	-513.368,13	0,862	
76,5	6.457.000	2.855.347,20	2.427.045,12	12	4,5	8	5,675	4,968	-2.309.117,88	1,142	0,2013	-464.831,99	0,875	
76,5	6.457.000	2.855.347,20	2.427.045,12	12	5	8	5,761	4,968	-2.063.601,27	1,160	0,2013	-415.408,80	0,889	
76,5	6.457.000	2.855.347,20	2.427.045,12	14	3	8	5,054	4,639	-3.285.267,26	1,089	0,2156	-708.205,14	0,815	
76,5	6.457.000	2.855.347,20	2.427.045,12	14	3,5	8	5,127	4,639	-3.075.124,98	1,105	0,2156	-662.904,77	0,826	
76,5	6.457.000	2.855.347,20	2.427.045,12	14	4	8	5,202	4,639	-2.861.195,71	1,121	0,2156	-616.788,03	0,838	
76,5	6.457.000	2.855.347,20	2.427.045,12	14	4,5	8	5,279	4,639	-2.643.413,49	1,138	0,2156	-569.840,71	0,851	
76,5	6.457.000	2.855.347,20	2.427.045,12	14	5	8	5,356	4,639	-2.421.711,40	1,155	0,2156	-522.048,38	0,863	
76,5	6.457.000	2.855.347,20	2.427.045,12	16	3	8	4,720	4,344	-3.521.789,10	1,087	0,2302	-810.801,29	0,793	
76,5	6.457.000	2.855.347,20	2.427.045,12	16	3,5	8	4,787	4,344	-3.331.349,89	1,102	0,2302	-766.957,56	0,804	
76,5	6.457.000	2.855.347,20	2.427.045,12	16	4	8	4,855	4,344	-3.137.532,08	1,118	0,2302	-722.336,00	0,815	
76,5	6.457.000	2.855.347,20	2.427.045,12	16	4,5	8	4,924	4,344	-2.940.277,39	1,134	0,2302	-676.923,19	0,827	
76,5	6.457.000	2.855.347,20	2.427.045,12	16	5	8	4,994	4,344	-2.739.526,67	1,150	0,2302	-630.705,50	0,839	

Cálculo do VPL para alternativa A com demanda baixa de 9,56 L/s, valor do investimento R\$ 6.457.000,00, tarifa de água R\$ 1,25/m³, taxa de juros de 8%, 10%, 12%, 14% e 16% ao ano, taxa de reajuste tarifário de 3,0%, 3,5%, 4,0%, 4,5% e 5,0% ao ano, para período de 8 anos.

DEMANDA (L/s)	INVESTIMENTO (R\$)	TARIFA (\$R/m³)												
9,56	6.457.000,00	1,25												
Demanda (L/s)	Invest. (\$)	Benefício Anual (\$)	Custo Anual (\$)	"i" (%)	e (%)	n	FVP (i,e,n)	FVP (i,n)	VPL (\$)	FEP (i,e,n)	FRC (i,n)	VAL (\$)	B/C	
76,5	6.457.000	2.974.320,00	2.528.172,00	8	3	8	6,312	5,747	-2.211.373,18	1,098	0,1740	-384.811,57	0,895	
76,5	6.457.000	2.974.320,00	2.528.172,00	8	3,5	8	6,413	5,747	-1.912.231,71	1,116	0,1740	-332.756,54	0,909	
76,5	6.457.000	2.974.320,00	2.528.172,00	8	4	8	6,515	5,747	-1.607.445,47	1,134	0,1740	-279.719,24	0,923	
76,5	6.457.000	2.974.320,00	2.528.172,00	8	4,5	8	6,620	5,747	-1.296.913,45	1,152	0,1740	-225.682,08	0,938	
76,5	6.457.000	2.974.320,00	2.528.172,00	8	5	8	6,726	5,747	-980.533,06	1,170	0,1740	-170.627,23	0,953	
76,5	6.457.000	2.974.320,00	2.528.172,00	10	3	8	5,843	5,335	-2.564.282,25	1,095	0,1874	-480.659,37	0,871	
76,5	6.457.000	2.974.320,00	2.528.172,00	10	3,5	8	5,934	5,335	-2.295.505,64	1,112	0,1874	-430.278,80	0,885	
76,5	6.457.000	2.974.320,00	2.528.172,00	10	4	8	6,026	5,335	-2.021.733,60	1,130	0,1874	-378.961,87	0,899	
76,5	6.457.000	2.974.320,00	2.528.172,00	10	4,5	8	6,120	5,335	-1.742.877,53	1,147	0,1874	-326.691,97	0,913	
76,5	6.457.000	2.974.320,00	2.528.172,00	10	5	8	6,215	5,335	-1.458.847,49	1,165	0,1874	-273.452,23	0,927	
76,5	6.457.000	2.974.320,00	2.528.172,00	12	3	8	5,426	4,968	-2.876.303,13	1,092	0,2013	-579.007,99	0,849	
76,5	6.457.000	2.974.320,00	2.528.172,00	12	3,5	8	5,508	4,968	-2.634.091,02	1,109	0,2013	-530.250,01	0,861	
76,5	6.457.000	2.974.320,00	2.528.172,00	12	4	8	5,591	4,968	-2.387.445,77	1,125	0,2013	-480.599,62	0,874	
76,5	6.457.000	2.974.320,00	2.528.172,00	12	4,5	8	5,675	4,968	-2.136.289,46	1,142	0,2013	-430.041,14	0,888	
76,5	6.457.000	2.974.320,00	2.528.172,00	12	5	8	5,761	4,968	-1.880.542,98	1,160	0,2013	-378.558,65	0,901	
76,5	6.457.000	2.974.320,00	2.528.172,00	14	3	8	5,054	4,639	-3.153.111,73	1,089	0,2156	-679.716,37	0,827	
76,5	6.457.000	2.974.320,00	2.528.172,00	14	3,5	8	5,127	4,639	-2.934.213,52	1,105	0,2156	-632.528,48	0,839	
76,5	6.457.000	2.974.320,00	2.528.172,00	14	4	8	5,202	4,639	-2.711.370,53	1,121	0,2156	-584.490,21	0,851	
76,5	6.457.000	2.974.320,00	2.528.172,00	14	4,5	8	5,279	4,639	-2.484.514,06	1,138	0,2156	-535.586,75	0,863	
76,5	6.457.000	2.974.320,00	2.528.172,00	14	5	8	5,356	4,639	-2.253.574,38	1,155	0,2156	-485.803,08	0,876	
76,5	6.457.000	2.974.320,00	2.528.172,00	16	3	8	4,720	4,344	-3.399.488,65	1,087	0,2302	-782.644,76	0,805	
76,5	6.457.000	2.974.320,00	2.528.172,00	16	3,5	8	4,787	4,344	-3.201.114,47	1,102	0,2302	-736.974,21	0,816	
76,5	6.457.000	2.974.320,00	2.528.172,00	16	4	8	4,855	4,344	-2.999.220,92	1,118	0,2302	-690.493,42	0,828	
76,5	6.457.000	2.974.320,00	2.528.172,00	16	4,5	8	4,924	4,344	-2.793.747,29	1,134	0,2302	-643.188,40	0,840	
76,5	6.457.000	2.974.320,00	2.528.172,00	16	5	8	4,994	4,344	-2.584.631,94	1,150	0,2302	-595.044,98	0,852	

Cálculo do VPL para alternativa A com demanda baixa de 9,56 L/s, valor do investimento R\$ 6.457.000,00, tarifa de água R\$ 1,30/m³, taxa de juros de 8%, 10%, 12%, 14% e 16% ao ano, taxa de reajuste tarifário de 3,0%, 3,5%, 4,0%, 4,5% e 5,0% ao ano, para período de 8 anos.

DEMANDA (L/s)	INVESTIMENTO (R\$)	TARIFA (SR/m³)												
9,56	6.457.000,00	1,30												
Demanda (L/s)	Invest. (\$)	Benefício Anual (\$)	Custo Anual (\$)	"i" (%)	e (%)	n	FVP (i,e,n)	FVP (i,n)	VPL (\$)	FEP (i,e,n)	FRC (i,n)	VAL (\$)	B/C	
76,5	6.457.000	3.093.292,80	2.629.298,88	8	3	8	6,312	5,747	-2.041.548,11	1,098	0,1740	-355.259,50	0,905	
76,5	6.457.000	3.093.292,80	2.629.298,88	8	3,5	8	6,413	5,747	-1.730.440,98	1,116	0,1740	-301.122,27	0,920	
76,5	6.457.000	3.093.292,80	2.629.298,88	8	4	8	6,515	5,747	-1.413.463,29	1,134	0,1740	-245.963,48	0,934	
76,5	6.457.000	3.093.292,80	2.629.298,88	8	4,5	8	6,620	5,747	-1.090.509,98	1,152	0,1740	-189.764,83	0,949	
76,5	6.457.000	3.093.292,80	2.629.298,88	8	5	8	6,726	5,747	-761.474,38	1,170	0,1740	-132.507,78	0,965	
76,5	6.457.000	3.093.292,80	2.629.298,88	10	3	8	5,843	5,335	-2.408.573,54	1,095	0,1874	-451.472,70	0,882	
76,5	6.457.000	3.093.292,80	2.629.298,88	10	3,5	8	5,934	5,335	-2.129.045,86	1,112	0,1874	-399.076,91	0,896	
76,5	6.457.000	3.093.292,80	2.629.298,88	10	4	8	6,026	5,335	-1.844.322,94	1,130	0,1874	-345.707,30	0,910	
76,5	6.457.000	3.093.292,80	2.629.298,88	10	4,5	8	6,120	5,335	-1.554.312,63	1,147	0,1874	-291.346,60	0,924	
76,5	6.457.000	3.093.292,80	2.629.298,88	10	5	8	6,215	5,335	-1.258.921,39	1,165	0,1874	-235.977,28	0,939	
76,5	6.457.000	3.093.292,80	2.629.298,88	12	3	8	5,426	4,968	-2.733.075,25	1,092	0,2013	-550.175,81	0,860	
76,5	6.457.000	3.093.292,80	2.629.298,88	12	3,5	8	5,508	4,968	-2.481.174,67	1,109	0,2013	-499.467,51	0,873	
76,5	6.457.000	3.093.292,80	2.629.298,88	12	4	8	5,591	4,968	-2.224.663,60	1,125	0,2013	-447.831,10	0,886	
76,5	6.457.000	3.093.292,80	2.629.298,88	12	4,5	8	5,675	4,968	-1.963.461,03	1,142	0,2013	-395.250,29	0,899	
76,5	6.457.000	3.093.292,80	2.629.298,88	12	5	8	5,761	4,968	-1.697.484,70	1,160	0,2013	-341.708,49	0,913	
76,5	6.457.000	3.093.292,80	2.629.298,88	14	3	8	5,054	4,639	-3.020.956,20	1,089	0,2156	-651.227,60	0,838	
76,5	6.457.000	3.093.292,80	2.629.298,88	14	3,5	8	5,127	4,639	-2.793.302,06	1,105	0,2156	-602.152,19	0,850	
76,5	6.457.000	3.093.292,80	2.629.298,88	14	4	8	5,202	4,639	-2.561.545,35	1,121	0,2156	-552.192,39	0,863	
76,5	6.457.000	3.093.292,80	2.629.298,88	14	4,5	8	5,279	4,639	-2.325.614,62	1,138	0,2156	-501.332,80	0,875	
76,5	6.457.000	3.093.292,80	2.629.298,88	14	5	8	5,356	4,639	-2.085.437,35	1,155	0,2156	-449.557,78	0,888	
76,5	6.457.000	3.093.292,80	2.629.298,88	16	3	8	4,720	4,344	-3.277.188,20	1,087	0,2302	-754.488,23	0,817	
76,5	6.457.000	3.093.292,80	2.629.298,88	16	3,5	8	4,787	4,344	-3.070.879,04	1,102	0,2302	-706.990,86	0,828	
76,5	6.457.000	3.093.292,80	2.629.298,88	16	4	8	4,855	4,344	-2.860.909,75	1,118	0,2302	-658.650,83	0,840	
76,5	6.457.000	3.093.292,80	2.629.298,88	16	4,5	8	4,924	4,344	-2.647.217,18	1,134	0,2302	-609.453,62	0,852	
76,5	6.457.000	3.093.292,80	2.629.298,88	16	5	8	4,994	4,344	-2.429.737,22	1,150	0,2302	-559.384,45	0,864	

Cálculo do VPL para alternativa A com demanda baixa de 9,56 L/s, valor do investimento R\$ 6.457.000,00, tarifa de água R\$ 1,35/m³, taxa de juros de 8%, 10%, 12%, 14% e 16% ao ano, taxa de reajuste tarifário de 3,0%, 3,5%, 4,0%, 4,5% e 5,0% ao ano, para período de 8 anos.

DEMANDA (L/s)	INVESTIMENTO (R\$)	TARIFA (SR/m³)												
9,56	6.457.000,00	1,35												
Demanda (L/s)	Invest. (\$)	Benefício Anual (\$)	Custo Anual (\$)	"i" (%)	e (%)	n	FVP (i,e,n)	FVP (i,n)	VPL (\$)	FEP (i,e,n)	FRC (i,n)	VAL (\$)	B/C	
76,5	6.457.000	3.212.265,60	2.730.425,76	8	3	8	6,312	5,747	-1.871.723,03	1,098	0,1740	-325.707,44	0,915	
76,5	6.457.000	3.212.265,60	2.730.425,76	8	3,5	8	6,413	5,747	-1.548.650,25	1,116	0,1740	-269.488,00	0,930	
76,5	6.457.000	3.212.265,60	2.730.425,76	8	4	8	6,515	5,747	-1.219.481,11	1,134	0,1740	-212.207,71	0,945	
76,5	6.457.000	3.212.265,60	2.730.425,76	8	4,5	8	6,620	5,747	-884.106,52	1,152	0,1740	-153.847,58	0,960	
76,5	6.457.000	3.212.265,60	2.730.425,76	8	5	8	6,726	5,747	-542.415,71	1,170	0,1740	-94.388,34	0,976	
76,5	6.457.000	3.212.265,60	2.730.425,76	10	3	8	5,843	5,335	-2.252.864,83	1,095	0,1874	-422.286,03	0,893	
76,5	6.457.000	3.212.265,60	2.730.425,76	10	3,5	8	5,934	5,335	-1.962.586,09	1,112	0,1874	-367.875,02	0,907	
76,5	6.457.000	3.212.265,60	2.730.425,76	10	4	8	6,026	5,335	-1.666.912,28	1,130	0,1874	-312.452,74	0,921	
76,5	6.457.000	3.212.265,60	2.730.425,76	10	4,5	8	6,120	5,335	-1.365.747,73	1,147	0,1874	-256.001,24	0,935	
76,5	6.457.000	3.212.265,60	2.730.425,76	10	5	8	6,215	5,335	-1.058.995,29	1,165	0,1874	-198.502,33	0,950	
76,5	6.457.000	3.212.265,60	2.730.425,76	12	3	8	5,426	4,968	-2.589.847,38	1,092	0,2013	-521.343,64	0,871	
76,5	6.457.000	3.212.265,60	2.730.425,76	12	3,5	8	5,508	4,968	-2.328.258,31	1,109	0,2013	-468.685,01	0,884	
76,5	6.457.000	3.212.265,60	2.730.425,76	12	4	8	5,591	4,968	-2.061.881,43	1,125	0,2013	-415.062,59	0,897	
76,5	6.457.000	3.212.265,60	2.730.425,76	12	4,5	8	5,675	4,968	-1.790.632,61	1,142	0,2013	-360.459,43	0,911	
76,5	6.457.000	3.212.265,60	2.730.425,76	12	5	8	5,761	4,968	-1.514.426,42	1,160	0,2013	-304.858,34	0,924	
76,5	6.457.000	3.212.265,60	2.730.425,76	14	3	8	5,054	4,639	-2.888.800,67	1,089	0,2156	-622.738,83	0,849	
76,5	6.457.000	3.212.265,60	2.730.425,76	14	3,5	8	5,127	4,639	-2.652.390,60	1,105	0,2156	-571.775,91	0,861	
76,5	6.457.000	3.212.265,60	2.730.425,76	14	4	8	5,202	4,639	-2.411.720,17	1,121	0,2156	-519.894,57	0,874	
76,5	6.457.000	3.212.265,60	2.730.425,76	14	4,5	8	5,279	4,639	-2.166.715,18	1,138	0,2156	-467.078,84	0,887	
76,5	6.457.000	3.212.265,60	2.730.425,76	14	5	8	5,356	4,639	-1.917.300,33	1,155	0,2156	-413.312,48	0,900	
76,5	6.457.000	3.212.265,60	2.730.425,76	16	3	8	4,720	4,344	-3.154.887,74	1,087	0,2302	-726.331,70	0,828	
76,5	6.457.000	3.212.265,60	2.730.425,76	16	3,5	8	4,787	4,344	-2.940.643,62	1,102	0,2302	-677.007,50	0,839	
76,5	6.457.000	3.212.265,60	2.730.425,76	16	4	8	4,855	4,344	-2.722.598,59	1,118	0,2302	-626.808,25	0,851	
76,5	6.457.000	3.212.265,60	2.730.425,76	16	4,5	8	4,924	4,344	-2.500.687,07	1,134	0,2302	-575.718,83	0,863	
76,5	6.457.000	3.212.265,60	2.730.425,76	16	5	8	4,994	4,344	-2.274.842,50	1,150	0,2302	-523.723,93	0,876	

Cálculo do VPL para alternativa G com demanda baixa de 9,56 L/s, valor do investimento R\$ 3.327.250,00, tarifa de água R\$ 1,15/m³, taxa de juros de 8%, 10%, 12%, 14% e 16% ao ano, taxa de reajuste tarifário de 3,0%, 3,5%, 4,0%, 4,5% e 5,0% ao ano, para período de 8 anos.

DEMANDA (L/s)	INVESTIMENTO (R\$)	TARIFA (R\$/m³)											
9,56	3.327.250,00	1,15											
Demanda (L/s)	Invest. (\$)	Benefício Anual (\$)	Custo Anual (\$)	"T" (%)	e (%)	n	FVP (i,e,n)	FVP (i,n)	VPL (\$)	FEP (i,e,n)	FRC (i,n)	VAL (\$)	B/C
76,5	3.327.250	2.736.374,40	2.325.918,24	8	3	8	6,312	5,747	578.726,68	1,098	0,1740	100.706,98	1,035
76,5	3.327.250	2.736.374,40	2.325.918,24	8	3,5	8	6,413	5,747	853.936,83	1,116	0,1740	148.597,61	1,051
76,5	3.327.250	2.736.374,40	2.325.918,24	8	4	8	6,515	5,747	1.134.340,17	1,134	0,1740	197.391,93	1,068
76,5	3.327.250	2.736.374,40	2.325.918,24	8	4,5	8	6,620	5,747	1.420.029,63	1,152	0,1740	247.106,12	1,085
76,5	3.327.250	2.736.374,40	2.325.918,24	8	5	8	6,726	5,747	1.711.099,58	1,170	0,1740	297.756,58	1,103
76,5	3.327.250	2.736.374,40	2.325.918,24	10	3	8	5,843	5,335	254.050,33	1,095	0,1874	47.620,21	1,016
76,5	3.327.250	2.736.374,40	2.325.918,24	10	3,5	8	5,934	5,335	501.324,81	1,112	0,1874	93.970,34	1,032
76,5	3.327.250	2.736.374,40	2.325.918,24	10	4	8	6,026	5,335	753.195,09	1,130	0,1874	141.181,91	1,048
76,5	3.327.250	2.736.374,40	2.325.918,24	10	4,5	8	6,120	5,335	1.009.742,67	1,147	0,1874	189.270,22	1,064
76,5	3.327.250	2.736.374,40	2.325.918,24	10	5	8	6,215	5,335	1.271.050,31	1,165	0,1874	238.250,78	1,081
76,5	3.327.250	2.736.374,40	2.325.918,24	12	3	8	5,426	4,968	-33.008,88	1,092	0,2013	-6.644,78	0,998
76,5	3.327.250	2.736.374,40	2.325.918,24	12	3,5	8	5,508	4,968	189.826,26	1,109	0,2013	38.212,56	1,013
76,5	3.327.250	2.736.374,40	2.325.918,24	12	4	8	5,591	4,968	416.739,89	1,125	0,2013	83.890,92	1,028
76,5	3.327.250	2.736.374,40	2.325.918,24	12	4,5	8	5,675	4,968	647.803,70	1,142	0,2013	130.404,73	1,044
76,5	3.327.250	2.736.374,40	2.325.918,24	12	5	8	5,761	4,968	883.090,45	1,160	0,2013	177.768,62	1,059
76,5	3.327.250	2.736.374,40	2.325.918,24	14	3	8	5,054	4,639	-287.672,79	1,089	0,2156	-62.013,63	0,980
76,5	3.327.250	2.736.374,40	2.325.918,24	14	3,5	8	5,127	4,639	-86.286,44	1,105	0,2156	-18.600,77	0,994
76,5	3.327.250	2.736.374,40	2.325.918,24	14	4	8	5,202	4,639	118.729,11	1,121	0,2156	25.594,44	1,008
76,5	3.327.250	2.736.374,40	2.325.918,24	14	4,5	8	5,279	4,639	327.437,07	1,138	0,2156	70.585,62	1,023
76,5	3.327.250	2.736.374,40	2.325.918,24	14	5	8	5,356	4,639	539.901,57	1,155	0,2156	116.386,59	1,038
76,5	3.327.250	2.736.374,40	2.325.918,24	16	3	8	4,720	4,344	-514.339,56	1,087	0,2302	-118.413,44	0,962
76,5	3.327.250	2.736.374,40	2.325.918,24	16	3,5	8	4,787	4,344	-331.835,31	1,102	0,2302	-76.396,54	0,975
76,5	3.327.250	2.736.374,40	2.325.918,24	16	4	8	4,855	4,344	-146.093,24	1,118	0,2302	-33.634,21	0,989
76,5	3.327.250	2.736.374,40	2.325.918,24	16	4,5	8	4,924	4,344	42.942,50	1,134	0,2302	9.886,40	1,003
76,5	3.327.250	2.736.374,40	2.325.918,24	16	5	8	4,994	4,344	235.328,61	1,150	0,2302	54.178,36	1,018

Cálculo do VPL para alternativa G com demanda baixa de 9,56 L/s, valor do investimento R\$ 3.327.250,00, tarifa de água R\$ 1,25/m³, taxa de juros de 8%, 10%, 12%, 14% e 16% ao ano, taxa de reajuste tarifário de 3,0%, 3,5%, 4,0%, 4,5% e 5,0% ao ano, para período de 8 anos.

DEMANDA (L/s)	INVESTIMENTO (R\$)	TARIFA (SR/m³)											
9,56	3.327.250,00	1,25											
Demanda (L/s)	Invest. (\$)	Benefício Anual (\$)	Custo Anual (\$)	"i" (%)	e (%)	n	FVP (i,e,n)	FVP (i,n)	VPL (\$)	FEP (i,e,n)	FRC (i,n)	VAL (\$)	B/C
76,5	3.327.250	2.974.320,00	2.528.172,00	8	3	8	6,312	5,747	918.376,82	1,098	0,1740	159.811,12	1,051
76,5	3.327.250	2.974.320,00	2.528.172,00	8	3,5	8	6,413	5,747	1.217.518,29	1,116	0,1740	211.866,15	1,068
76,5	3.327.250	2.974.320,00	2.528.172,00	8	4	8	6,515	5,747	1.522.304,53	1,134	0,1740	264.903,46	1,085
76,5	3.327.250	2.974.320,00	2.528.172,00	8	4,5	8	6,620	5,747	1.832.836,55	1,152	0,1740	318.940,61	1,103
76,5	3.327.250	2.974.320,00	2.528.172,00	8	5	8	6,726	5,747	2.149.216,94	1,170	0,1740	373.995,47	1,120
76,5	3.327.250	2.974.320,00	2.528.172,00	10	3	8	5,843	5,335	565.467,75	1,095	0,1874	105.993,55	1,034
76,5	3.327.250	2.974.320,00	2.528.172,00	10	3,5	8	5,934	5,335	834.244,36	1,112	0,1874	156.374,12	1,050
76,5	3.327.250	2.974.320,00	2.528.172,00	10	4	8	6,026	5,335	1.108.016,40	1,130	0,1874	207.691,05	1,066
76,5	3.327.250	2.974.320,00	2.528.172,00	10	4,5	8	6,120	5,335	1.386.872,47	1,147	0,1874	259.960,95	1,082
76,5	3.327.250	2.974.320,00	2.528.172,00	10	5	8	6,215	5,335	1.670.902,51	1,165	0,1874	313.200,68	1,099
76,5	3.327.250	2.974.320,00	2.528.172,00	12	3	8	5,426	4,968	253.446,87	1,092	0,2013	51.019,58	1,016
76,5	3.327.250	2.974.320,00	2.528.172,00	12	3,5	8	5,508	4,968	495.658,98	1,109	0,2013	99.777,56	1,031
76,5	3.327.250	2.974.320,00	2.528.172,00	12	4	8	5,591	4,968	742.304,23	1,125	0,2013	149.427,95	1,047
76,5	3.327.250	2.974.320,00	2.528.172,00	12	4,5	8	5,675	4,968	993.460,54	1,142	0,2013	199.986,43	1,063
76,5	3.327.250	2.974.320,00	2.528.172,00	12	5	8	5,761	4,968	1.249.207,02	1,160	0,2013	251.468,92	1,079
76,5	3.327.250	2.974.320,00	2.528.172,00	14	3	8	5,054	4,639	-23.361,73	1,089	0,2156	-5.036,09	0,998
76,5	3.327.250	2.974.320,00	2.528.172,00	14	3,5	8	5,127	4,639	195.536,48	1,105	0,2156	42.151,80	1,013
76,5	3.327.250	2.974.320,00	2.528.172,00	14	4	8	5,202	4,639	418.379,47	1,121	0,2156	90.190,07	1,028
76,5	3.327.250	2.974.320,00	2.528.172,00	14	4,5	8	5,279	4,639	645.235,94	1,138	0,2156	139.093,53	1,043
76,5	3.327.250	2.974.320,00	2.528.172,00	14	5	8	5,356	4,639	876.175,62	1,155	0,2156	188.877,20	1,058
76,5	3.327.250	2.974.320,00	2.528.172,00	16	3	8	4,720	4,344	-269.738,65	1,087	0,2302	-62.100,38	0,981
76,5	3.327.250	2.974.320,00	2.528.172,00	16	3,5	8	4,787	4,344	-71.364,47	1,102	0,2302	-16.429,83	0,995
76,5	3.327.250	2.974.320,00	2.528.172,00	16	4	8	4,855	4,344	130.529,08	1,118	0,2302	30.050,96	1,009
76,5	3.327.250	2.974.320,00	2.528.172,00	16	4,5	8	4,924	4,344	336.002,71	1,134	0,2302	77.355,98	1,023
76,5	3.327.250	2.974.320,00	2.528.172,00	16	5	8	4,994	4,344	545.118,06	1,150	0,2302	125.499,40	1,038

Cálculo do VPL para alternativa G com demanda baixa de 9,56 L/s, valor do investimento R\$ 3.327.250,00, tarifa de água R\$ 1,30/m³, taxa de juros de 8%, 10%, 12%, 14% e 16% ao ano, taxa de reajuste tarifário de 3,0%, 3,5%, 4,0%, 4,5% e 5,0% ao ano, para período de 8 anos.

DEMANDA (l/s)	INVESTIMENTO (R\$)	TARIFA (\$/m³)											
9,56	3.327.250,00	1,30											
Demanda (l/s)	Invest. (\$)	Benefício Anual (\$)	Custo Anual (\$)	"i" (%)	e (%)	n	FVP (i,e,n)	FVP (i,n)	VPL (\$)	FEP (i,e,n)	FRC (i,n)	VAL (\$)	B/C
76,5	3.327.250	3.093.292,80	2.629.298,88	8	3	8	6,312	5,747	1.088.201,89	1,098	0,1740	189.363,19	1,059
76,5	3.327.250	3.093.292,80	2.629.298,88	8	3,5	8	6,413	5,747	1.399.309,02	1,116	0,1740	243.500,42	1,076
76,5	3.327.250	3.093.292,80	2.629.298,88	8	4	8	6,515	5,747	1.716.286,71	1,134	0,1740	298.659,22	1,093
76,5	3.327.250	3.093.292,80	2.629.298,88	8	4,5	8	6,620	5,747	2.039.240,02	1,152	0,1740	354.857,86	1,111
76,5	3.327.250	3.093.292,80	2.629.298,88	8	5	8	6,726	5,747	2.368.275,62	1,170	0,1740	412.114,91	1,128
76,5	3.327.250	3.093.292,80	2.629.298,88	10	3	8	5,843	5,335	721.176,46	1,095	0,1874	135.180,21	1,042
76,5	3.327.250	3.093.292,80	2.629.298,88	10	3,5	8	5,934	5,335	1.000.704,14	1,112	0,1874	187.576,00	1,058
76,5	3.327.250	3.093.292,80	2.629.298,88	10	4	8	6,026	5,335	1.285.427,06	1,130	0,1874	240.945,61	1,074
76,5	3.327.250	3.093.292,80	2.629.298,88	10	4,5	8	6,120	5,335	1.575.437,37	1,147	0,1874	295.306,31	1,091
76,5	3.327.250	3.093.292,80	2.629.298,88	10	5	8	6,215	5,335	1.870.828,61	1,165	0,1874	350.675,63	1,108
76,5	3.327.250	3.093.292,80	2.629.298,88	12	3	8	5,426	4,968	396.674,75	1,092	0,2013	79.851,75	1,024
76,5	3.327.250	3.093.292,80	2.629.298,88	12	3,5	8	5,508	4,968	648.575,33	1,109	0,2013	130.560,06	1,040
76,5	3.327.250	3.093.292,80	2.629.298,88	12	4	8	5,591	4,968	905.086,40	1,125	0,2013	182.196,46	1,055
76,5	3.327.250	3.093.292,80	2.629.298,88	12	4,5	8	5,675	4,968	1.166.288,97	1,142	0,2013	234.777,28	1,071
76,5	3.327.250	3.093.292,80	2.629.298,88	12	5	8	5,761	4,968	1.432.265,30	1,160	0,2013	288.319,07	1,087
76,5	3.327.250	3.093.292,80	2.629.298,88	14	3	8	5,054	4,639	108.793,80	1,089	0,2156	23.452,68	1,007
76,5	3.327.250	3.093.292,80	2.629.298,88	14	3,5	8	5,127	4,639	336.447,94	1,105	0,2156	72.528,09	1,022
76,5	3.327.250	3.093.292,80	2.629.298,88	14	4	8	5,202	4,639	568.204,65	1,121	0,2156	122.487,89	1,037
76,5	3.327.250	3.093.292,80	2.629.298,88	14	4,5	8	5,279	4,639	804.135,38	1,138	0,2156	173.347,48	1,052
76,5	3.327.250	3.093.292,80	2.629.298,88	14	5	8	5,356	4,639	1.044.312,65	1,155	0,2156	225.122,50	1,067
76,5	3.327.250	3.093.292,80	2.629.298,88	16	3	8	4,720	4,344	-147.438,20	1,087	0,2302	-33.943,85	0,990
76,5	3.327.250	3.093.292,80	2.629.298,88	16	3,5	8	4,787	4,344	58.870,96	1,102	0,2302	13.553,52	1,004
76,5	3.327.250	3.093.292,80	2.629.298,88	16	4	8	4,855	4,344	268.840,25	1,118	0,2302	61.893,55	1,018
76,5	3.327.250	3.093.292,80	2.629.298,88	16	4,5	8	4,924	4,344	482.532,82	1,134	0,2302	111.090,76	1,033
76,5	3.327.250	3.093.292,80	2.629.298,88	16	5	8	4,994	4,344	700.012,78	1,150	0,2302	161.159,92	1,047

Cálculo do VPL para alternativa G com demanda baixa de 9,56 L/s, valor do investimento R\$ 3.327.250,00, tarifa de água R\$ 1,35/m³, taxa de juros de 8%, 10%, 12%, 14% e 16% ao ano, taxa de reajuste tarifário de 3,0%, 3,5%, 4,0%, 4,5% e 5,0% ao ano, para período de 8 anos.

DEMANDA (l/s)	INVESTIMENTO (R\$)	TARIFA (\$/m³)											
9,56	3.327.250,00	1,35											
Demanda (l/s)	Invest. (\$)	Benefício Anual (\$)	Custo Anual (\$)	"i" (%)	e (%)	n	FVP (i,e,n)	FVP (i,n)	VPL (\$)	FEP (i,e,n)	FRC (i,n)	VAL (\$)	B/C
76,5	3.327.250	3.212.265,60	2.730.425,76	8	3	8	6,312	5,747	1.258.026,97	1,098	0,1740	218.915,26	1,066
76,5	3.327.250	3.212.265,60	2.730.425,76	8	3,5	8	6,413	5,747	1.581.099,75	1,116	0,1740	275.134,70	1,083
76,5	3.327.250	3.212.265,60	2.730.425,76	8	4	8	6,515	5,747	1.910.268,89	1,134	0,1740	332.414,98	1,100
76,5	3.327.250	3.212.265,60	2.730.425,76	8	4,5	8	6,620	5,747	2.245.643,48	1,152	0,1740	390.775,11	1,118
76,5	3.327.250	3.212.265,60	2.730.425,76	8	5	8	6,726	5,747	2.587.334,29	1,170	0,1740	450.234,36	1,136
76,5	3.327.250	3.212.265,60	2.730.425,76	10	3	8	5,843	5,335	876.885,17	1,095	0,1874	164.366,88	1,049
76,5	3.327.250	3.212.265,60	2.730.425,76	10	3,5	8	5,934	5,335	1.167.163,91	1,112	0,1874	218.777,89	1,065
76,5	3.327.250	3.212.265,60	2.730.425,76	10	4	8	6,026	5,335	1.462.837,72	1,130	0,1874	274.200,18	1,082
76,5	3.327.250	3.212.265,60	2.730.425,76	10	4,5	8	6,120	5,335	1.764.002,27	1,147	0,1874	330.651,67	1,099
76,5	3.327.250	3.212.265,60	2.730.425,76	10	5	8	6,215	5,335	2.070.754,71	1,165	0,1874	388.150,58	1,116
76,5	3.327.250	3.212.265,60	2.730.425,76	12	3	8	5,426	4,968	539.902,62	1,092	0,2013	108.683,93	1,032
76,5	3.327.250	3.212.265,60	2.730.425,76	12	3,5	8	5,508	4,968	801.491,69	1,109	0,2013	161.342,56	1,047
76,5	3.327.250	3.212.265,60	2.730.425,76	12	4	8	5,591	4,968	1.067.868,57	1,125	0,2013	214.964,98	1,063
76,5	3.327.250	3.212.265,60	2.730.425,76	12	4,5	8	5,675	4,968	1.339.117,39	1,142	0,2013	269.568,14	1,079
76,5	3.327.250	3.212.265,60	2.730.425,76	12	5	8	5,761	4,968	1.615.323,58	1,160	0,2013	325.169,23	1,096
76,5	3.327.250	3.212.265,60	2.730.425,76	14	3	8	5,054	4,639	240.949,33	1,089	0,2156	51.941,45	1,015
76,5	3.327.250	3.212.265,60	2.730.425,76	14	3,5	8	5,127	4,639	477.359,40	1,105	0,2156	102.904,38	1,030
76,5	3.327.250	3.212.265,60	2.730.425,76	14	4	8	5,202	4,639	718.029,83	1,121	0,2156	154.785,71	1,045
76,5	3.327.250	3.212.265,60	2.730.425,76	14	4,5	8	5,279	4,639	963.034,82	1,138	0,2156	207.601,44	1,060
76,5	3.327.250	3.212.265,60	2.730.425,76	14	5	8	5,356	4,639	1.212.449,67	1,155	0,2156	261.367,80	1,076
76,5	3.327.250	3.212.265,60	2.730.425,76	16	3	8	4,720	4,344	-25.137,74	1,087	0,2302	-5.787,32	0,998
76,5	3.327.250	3.212.265,60	2.730.425,76	16	3,5	8	4,787	4,344	189.106,38	1,102	0,2302	43.536,88	1,012
76,5	3.327.250	3.212.265,60	2.730.425,76	16	4	8	4,855	4,344	407.151,41	1,118	0,2302	93.736,13	1,027
76,5	3.327.250	3.212.265,60	2.730.425,76	16	4,5	8	4,924	4,344	629.062,93	1,134	0,2302	144.825,55	1,041
76,5	3.327.250	3.212.265,60	2.730.425,76	16	5	8	4,994	4,344	854.907,50	1,150	0,2302	196.820,45	1,056

ANEXO

Anexo A: Avaliação econômico-financeira das Alternativas de Expansão — métodos tradicionais

(VPL, Taxa Interna de Retorno, Relação Benefício/Custo, Valor Anual Líquido, Relação Benefício/Custo e Tempo de Retorno do Capital)

A avaliação econômico-financeira dos projetos e expansão de sistemas de abastecimento pode ser avaliada por meio de métodos que fornecem respostas, valores monetários, cujos valores subsidiarão a tomada de decisão de implantação de um determinado investimento inerente ao projeto considerado.

Os métodos de avaliação descritos a seguir são fundamentados na determinação de todos os custos e benefícios envolvidos nos projetos a serem analisados, nos fluxos de caixa correspondentes, e nas estimativas dos indicadores econômicos: taxa efetiva de juros, taxa de aumento de custos e receitas, e duração da análise do projeto (GOMES, 2005).

Os métodos usualmente aplicados nos estudos de viabilidade econômica são os seguintes:

- Valor Presente Líquido (VPL)
- Valor Uniforme Líquido (VUL)
- Relação Benefício/Custo
- Taxa Interna de Retorno
- Tempo de Retorno do Capital

Valor Presente Líquido

Este método, de maneira geral, é empregado quando é necessário comparar várias alternativas de projeto que mutuamente se excluem. Todos os benefícios e custos envolvidos no projeto, ao longo de seu alcance, são transformados em valores presentes (instante zero).

Dentro do critério de maximização dos benefícios, a alternativa que oferecer o maior Valor Presente Líquido (benefícios menos os custos envolvidos) será a mais atrativa.

Quando as alternativas de projeto possuem os mesmos benefícios, aquela que oferecer o menor Valor Presente Líquido dos custos envolvidos será a mais atrativa (GOMES, 2005). A expressão geral para determinação do VPL é a seguinte:

$$\text{VPL} = \text{Benefícios (valor presente)} - \text{Investimentos} - \text{Custos (valor presente)} \quad (\text{eq. 1})$$

Para um fluxo de caixa, com séries uniformes de receitas (benefícios) e custos (despesas) o valor presente líquido será:

$$\text{VPL} = B \times \text{FVP} (i,n) - I - C \times \text{FVP} (i,n) \quad (\text{eq. 2})$$

em que:

B = Benefício uniforme (anual ou mensal);

C = Custo uniforme (anual ou mensal);

FVP = Fator de Valor Presente, dado pela equação (3)

$$\text{FVP} = \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \quad (\text{eq. 3})$$

Para um fluxo de caixa com parcelas crescentes, a uma taxa de crescimento “ e ”, a expressão (14) passa a ser:

$$\text{VPL} = B \times \text{FVP} (i,e,n) - I - C \times \text{FVP} (i,e,n) \quad (\text{eq. 4})$$

em que:

B = Valor do benefício ou receita (anual ou mensal) que incide no final do primeiro ano (ou mês) do fluxo de caixa;

C = Valor do custo (anual ou mensal) que incide no final do primeiro ano (ou mês) do fluxo de caixa;

FVP = Fator de Valor Presente, dado pela expressão (5)

$$FVP = \frac{(1+e)^n - (1+i)^n}{(1+e) - (1+i)} \times \frac{1}{(1+i)^n} \quad (\text{eq. 5})$$

Considerando B'_j os benefícios líquidos (benefícios menos custos) ao longo de “n” períodos de tempo, o VPL pode ser considerado, também, pela equação:

$$VPL = \sum_{j=1}^n \frac{B'_j}{(1+i)^j} \quad (\text{eq. 6})$$

Sob o ponto de vista exclusivamente financeiro, a avaliação do VPL é a seguinte:

$VPL > 0 \rightarrow$ o investimento é atrativo;

$VPL < 0 \rightarrow$ o investimento não é atrativo;

$VPL = 0 \rightarrow$ indiferente.

Valor Anual Líquido

Da mesma forma que o VPL o método do Valor Anual Líquido (VAL) é indicado para comparar alternativas de projeto mutuamente excludentes. O VAL é um método alternativo ao Valor Presente Líquido.

Todos os benefícios e custos envolvidos no projeto, ao longo do de seu alcance, são distribuídos em valores uniformes anuais.

Dentro do critério de maximização dos benefícios, a alternativa que oferecer o maior VAL (benefícios menos os custos envolvidos) será a mais atrativa.

De maneira geral, o método do VAL, é menos empregado que o método do VPL (GOMES, 2005).

A expressão apresentada a seguir mostra como é calculado o VAL.

$$VAL = B_{\text{uniform}} - C_{\text{uniform}} - I \times FRC(i, n) \quad (\text{eq. 7})$$

em que:

B_{uniform} = Benefício uniforme (constante) da série. Quando a série for crescente o valor de B_{uniform} é dado pelo produto da primeira parcela do benefício e o fator de equivalência parcelar (FEP) dado pela expressão (8);

$$FEP = \frac{(1+e)^n - (1+i)^n}{(1+e) - (1+i)} \times \frac{i}{(1+i)^n - 1} \quad (\text{eq. 8})$$

C_{uniform} = Custo uniforme (constante) da série. Quando a série for crescente o valor de C_{uniform} é dado pelo produto da primeira parcela do custo e o fator de equivalência parcelar (FEP) dado pela equação (4.18);

FRC = Fator de recuperação de capital, determinado conforme a seguinte expressão:

$$FRC = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (\text{eq. 9})$$

Sob o ponto de vista exclusivamente financeiro, a avaliação do VAL é a seguinte:

$VAL > 0 \rightarrow$ o investimento é atrativo (seleciona-se a alterna de maior VPL);

$VAL < 0 \rightarrow$ o investimento não é atrativo;

$VAL = 0 \rightarrow$ indiferente.

Relação Benefício/Custo

Relação entre todos os benefícios e custos envolvidos no projeto, contabilizados em uma mesma referência de tempo (valores presentes ou anuidades) (GOMES, 2005).

Sob o ponto de vista exclusivamente financeiro, a avaliação da relação B/C é a seguinte:

$B/C > 1 \rightarrow$ o investimento é atrativo (seleciona-se a alterna de maior B/C);

$B/C < 1 \rightarrow$ o investimento não é atrativo;

$B/C = 1 \rightarrow$ indiferente.

A viabilidade econômica pode ser avaliada, também, pela relação entre todos os custos e benefícios (relação C/B), contabilizados numa mesma referência de tempo.

Um projeto cuja relação B/C for menor ou igual a 1, pode ser considerado viável economicamente, desde que os benefícios indiretos contribuam, de forma significativa, para sua atratividade (GOMES, 2005).

4.13.7 – Taxa Interna de Retorno

A taxa Interna de Retorno (TIR) é a taxa de juros que zera o Valor Presente Líquido (VPL), ou anual (VAL), do empreendimento. É a taxa de desconto que iguala o valor presente das receitas (benefícios) aos valores dos custos de investimento e operação do projeto.

A forma prática de se determinar a TIR de um determinado projeto consiste em calcular os valores de VPL para taxas crescentes de juros “i” (através de planilha eletrônica) e verificar qual o valor desta taxa que zera o Valor Presente Líquido do projeto. Trata-se de um método amplamente recomendável para analisar a viabilidade econômica de um projeto isolado, sem comparação com alternativas excludentes (GOMES, 2005).

Sob o ponto de vista exclusivamente financeiro, a avaliação da TIR é a seguinte:

$TIR > i$ (taxa de juros do mercado ou de referência $\rightarrow$ o investimento é atrativo;

$TIR < i \rightarrow$ o investimento não é atrativo;

$TIR = i \rightarrow$ indiferente.

Uma maneira de se avaliar a viabilidade de um empreendimento ou projeto por intermédio da TIR é compará-la com a Taxa Mínima de Atratividade (TMA). A TMA é a expectativa mínima de lucratividade em termos de taxa de juros, que se espera de um investimento. Na prática, a TMA pode ser considerada como a taxa de juros equivalente à maior rentabilidade das aplicações correntes de pouco risco. Um projeto cuja TIR seja menor ou igual à TMA pode ser considerado viável, desde que os benefícios indiretos contribuam de forma significativa, para sua atratividade (GOMES, 2005).

Tempo de Retorno do Capital (Payback)

São utilizados dois indicadores do Tempo de Retorno do Capital (TRC): o TRC não descontado e o TRC descontado. O Tempo de Retorno não Descontado é o período de tempo (meses ou anos) necessário para o retorno do investimento inicial, sem se levar em conta as taxas de juros e de aumento das grandezas monetárias durante a análise do projeto. O valor de TRC indica quanto tempo é necessário para que os benefícios se igualem ao custo do investimento. O Tempo de Retorno não descontado é determinado pela divisão do custo de implantação (I) do empreendimento pelo benefício líquido periódico esperado – BL (mensal ou anual) $TRC = I/BL$.

O Tempo de Retorno Descontado é o número de períodos que zera o Valor Presente Líquido, ou anual, do projeto, levando-se em conta a taxa de juros e de aumento das parcelas incidentes no fluxo de caixa.

Do ponto de vista prático, para se determinar o Temo de Retorno descontado de um dado empreendimento é calcular valores de VPL para valores crescentes do número de períodos “n” (através de planilha eletrônica) e verificar qual o valor de “n” que zera o Valor Presente Líquido do projeto.

A análise do Tempo de Retorno do Capital está, também, diretamente relacionada com a duração da vida útil do projeto. Se o tempo de retorno do capital é superior ao período de vida útil do projeto, o investimento correspondente não será atrativo (GOMES, 2005).