



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE
SANTA CATARINA**

**Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Produção**

**ANÁLISE DE ALTERNATIVAS DE EXPANSÃO DE CAPACIDADE
DOS SISTEMAS URBANOS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA
EM SANTA CATARINA**

Dissertação submetida à aprovação da banca examinadora do programa de doutorado em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutor.

**Doutorando : Antonio Edesio Jungles
Orientador : Luis Fernando M. Heineck, Ph.D.
Co-Orientador: Vir K. Handa, Ph.D.**

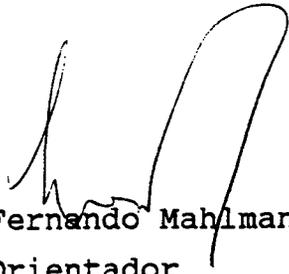


0.230.178-0

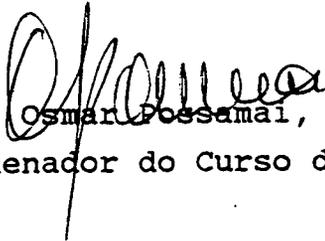
UFSC-BU

Florianópolis, maio de 1994

Esta tese foi julgada adequada para a obtenção do título de DOUTOR EM ENGENHARIA e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pelo Curso de Pós-Graduação.



Prof. Luis Fernando Mahlmann Heineck, PHD
Orientador



Prof. Osmar Possamai, Dr.
Coordenador do Curso de Pós-Graduação

Banca Examinadora:



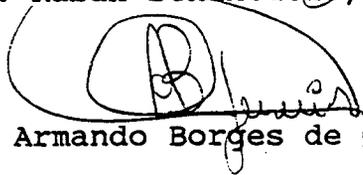
Profa. Andrea Angela Panzeter, PHD



Prof. Pedro Caetano Sanches Mancuso, Dr.



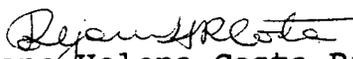
Prof. Rabah Benakouche, Dr.



Prof. Armando Borges de Castilhos, Dr.



Prof. Ricardo Miranda Barcia, PHD



Prof. Rejane Helena Costa Ribeiro, Dra.

A G R A D E C I M E N T O S

Ao professor Luis Fernando M. Heineck pela orientação, dedicação, amizade e pelo incentivo na execução desta tese.

Ao professor Vir K. Handa pela ajuda e apoio dispensado durante a minha permanência na Universidade de Waterloo no Canadá e pela sua dedicação como co-orientador.

À CAPES pelo suporte financeiro durante minha permanência em Waterloo.

À Universidade Federal de Santa Catarina e, em especial, ao Departamento de Engenharia Civil que propiciou a liberação de minhas atividades para a realização deste estudo.

Ao Departamento de Engenharia de Produção e aos seus professores que contribuíram direta ou indiretamente para aumentar o meu conhecimento e possibilitar o desenvolvimento deste estudo.

À Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (CASAN) que, através de seus profissionais, permitiu o acesso às informações e aos dados dos resultados de sua experiência na execução de projetos de abastecimento de água.

Aos colegas que me acompanharam ao longo deste período pelas oportunidades de trocas de informações e de experiências.

À minha esposa que me ajudou a vencer os desafios e a manter o equilíbrio emocional mesmo nas horas mais difíceis e em ambientes estranhos quando da estada fora do país. Aceitou o sacrifício e compreendeu as minhas longas ausências ocasionadas pelo trabalho de complementação desta tese. Aos meus filhos pelo carinho que têm me dado mesmo diante da pouca dedicação que lhes tenho oferecido.

S U M Á R I O

ABSTRACT	XIV
RESUMO	XVI
INTRODUÇÃO	1
1. Problemas do Setor	2
2. Objetivos da Pesquisa	6
3. Organização do Trabalho	8
CAPÍTULO I O SANEAMENTO NO BRASIL	10
1. Histórico do Setor de Saneamento no Brasil	10
2. Investimentos Públicos com o Início do PLANASA	15
CAPÍTULO II DEFINIÇÃO TEÓRICA DA PROBLEMÁTICA	18
1. Programação Matemática	18
1.1. Otimização	19
1.2. Análise Multicritério	20
2. Multicritério Aplicado a Sistemas de Abastecimento de Água...	22
3. A Eficiência do Objetivo de Obras Hidráulicas	25
4. Multipropósito e Multiperíodo da Performance da Função de Produção	27
5. Ótimo Preço e Expansão da Capacidade	28
6. Capacidade Ótima de Expansão	32
CAPÍTULO III ESTUDO DE EXPANSÃO DE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA	37
1. Configuração do Sistema de Abastecimento de Água	38
2. Modelo de Expansão	43
2.1. Variáveis de Demanda e de Capacidade	43
2.2. Considerações dos Custos no Modelo	44

2.3. Formulação da Programação Dinâmica	48
3. Otimização de Custos para uma Política de Expansão	51
4. Amostragem para a Aplicação do Modelo de Expansão	56
CAPÍTULO IV ESTRUTURA DE CUSTOS	60
1. Estimativas de Custos	61
2. Estrutura de Custo segundo o PLANASA	62
3. Licitações para Execução de Obras	64
4. Visão Apriorística da Estrutura de Custo de Produção	64
5. Modelos Matemáticos das Funções de Custos de Construção	65
5.1. Captação de Água	67
5.2. Estações de Recalque de Água	68
5.3. Adutoras de Água	84
5.4. Estações de Tratamento de Água	90
5.5. Reservatórios de Água	93
5.6. Rede de Distribuição de Água	96
6. Estrutura de Custo de Operação de Sistemas Urbanos de Abastecimento de Água	99
6.1. Sub-grupo Despesa de Pessoal	100
6.2. Sub-grupo Despesa com Energia Elétrica	106
6.3. Sub-grupo Despesas de Materiais para Tratamento	110
6.4. Sub-grupo Outras Despesas	113
7. Análise da Estrutura de Custo de Construção	116
8. Análise da Estrutura de Custo de Operação	121
CAPÍTULO V ANÁLISE DE EXPANSÃO DE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA	127
1. Parâmetros Adotados na Aplicação do Modelo	128
2. Configuração do Sistema de Abastecimento da Cidade de Água Doce	128
3. Aplicação do Modelo de Expansão	132
4. Avaliação do Plano de Expansão Desenvolvido	136
CAPÍTULO VI CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	142
B I B L I O G R A F I A	165

A N E X O S

- ANEXO 01- Dados de Custo de Adutoras de Água Executadas em PVC;
- ANEXO 02- Gráficos das Variáveis Capacidade e Comprimento vs Custos de Construção de Adutoras em PVC;
- ANEXO 03- Gráficos de Resíduos e de Normalidade do Ajustamento da Regressão de Adutoras em PVC;
- ANEXO 04- Dados de Custo de Adutoras de Água Executadas em Ferro Fundido;
- ANEXO 05- Gráficos das Variáveis Capacidade e Comprimento vs Custos Construção de Adutoras em Ferro Fundido;
- ANEXO 06- Gráficos de Resíduos e de Normalidade do Ajustamento da Regressão de Adutoras em Ferro Fundido;
- ANEXO 07- Dados de Custos Estações de Tratamento de Água;
- ANEXO 08- Gráficos de Resíduos e de Normalidade do Ajustamento da Regressão de Estações de Tratamento de Água;
- ANEXO 09- Dados de Custos de Reservatórios Apoiados de Água Construído em Concreto Armado;
- ANEXO 10- Gráficos de Resíduos e de Normalidade do Ajustamento da Regressão de Reservatórios de Água;
- ANEXO 11- Dados de Custos de Rede de Distribuição de Água;

- ANEXO 12- Gráficos das Variáveis Capacidade e Comprimento vs Custos de Construção de Rede de Distribuição;
- ANEXO 13- Gráficos de Resíduos e de Normalidade do Ajustamento da Regressão de Redes de Distribuição;
- ANEXO 14- Dados de Despesas de Pessoal praticadas pela CASAN em 1991;
- ANEXO 15- Gráficos de Resíduos e de Normalidade do Ajustamento da Regressão do Custo com Despesas de Pessoal;
- ANEXO 16- Dados de Despesas com Energia Elétrica (1991);
- ANEXO 17- Gráficos de Resíduos e de Normalidade do Ajustamento da Regressão do Custo com Despesas de Energia Elétrica;
- ANEXO 18- Dados de Despesas com Materiais de Tratamento de Água;
- ANEXO 19- Gráficos de Resíduos e de Normalidade do Ajustamento da Regressão com Despesas de Materiais de Tratamento;
- ANEXO 20- Dados de Custo com Outras Despesas;
- ANEXO 21- Gráficos de Resíduos e de Normalidade do Ajustamento da Regressão do Custo com Outras Despesas;
- ANEXO 22- Relatório Resultante da Aplicação do Modelo de Expansão para a Cidade de Água Doce;
- ANEXO 23- Listagem do Programa Computacional do Modelo de Expansão de Sistemas de Abastecimento de Água;

L I S T A S D E F I G U R A S

- Fig. 1.1 - Evolução da Demanda e da Oferta de Serviços de Abastecimento Público de Água no Brasil 13
- Fig. 2.1 - Dinâmica de um Programa de Investimento segundo Hirshleifer (1960) 29
- Fig. 2.2 - Crescimento da Demanda e da Capacidade em relação ao Tempo (Manne, 1961) 33
- Fig. 3.1 - Fluxograma Sintético da Metodologia utilizada para o Estudo de Expansão de Sistemas de Abastecimento de Água 38
- Fig. 3.2 - Esquema de um Sistema Urbano de Abastecimento de Água 40
- Fig. 3.3 - Componentes Básicos do Sistema de Abastecimento de Água 41
- Fig. 3.4 - Esquema do Fluxo de Recursos de Desembolsos e de Pagamentos de Financiamentos 45
- Fig. 3.5 - Fluxograma Físico do Programa de Expansão de Sistemas 53
- Fig. 3.6 - Mapa do Estado de Santa Catarina com a Indicação dos Sistemas Administrados pela Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (CASAN) 58
- Fig. 4.1 - Custos de Estações de Recalque vs Capacidade e Altura Manométrica 71

Fig. 4.2 - Custos de Estações de Recalques vs Capacidade	72
Fig. 4.3 - Custos de Estações de Recalques vs Altura Manométrica.....	72
Fig. 4.4 - Resíduos do Modelo de Custos Estimados de Estações de Recalque	77
Fig. 4.5 - Resíduos dos Custos Estimados de Estações de Recalque em Relação à Variável Capacidade	78
Fig. 4.6 - Resíduos dos Custos Estimados de Estações de Recalque em Relação à Variável Altura Manométrica.....	78
Fig. 4.7 - Gráfico da Probabilidade Normal dos Resíduos dos Custos Estimados das Estações de Recalque	79
Fig. 4.8 - Custos Estimados e Orçados de Estações de Recalque.....	81
Fig. 4.9 - Custos Estimados e Orçados de Estações de Recalque através de Índice	82
Fig. 4.10- Custos Estimados e Orçados de Adutoras em PVC	86
Fig. 4.11- Custos Estimados e Orçados de Adutoras em PVC através de Índice	86
Fig. 4.12- Custos Estimados e Orçados de Adutoras de Ferro Fundido	88
Fig. 4.13- Custos Estimados e Orçados de Adutoras de Ferro Fundido através de Índice	89
Fig. 4.14- Custos Estimados e Orçados de Estações de Tratamento de Água	91

Fig. 4.15-	Custos Estimados e Orçados de Estações de Tratamento através de Índice	92
Fig. 4.16-	Custos Estimados e Orçados de Reservatórios	94
Fig. 4.17-	Custos Estimados e Orçados de Reservatórios através de Índice	95
Fig. 4.18-	Custos Estimados e Orçados do Modelo de Rede de Distribuição	97
Fig. 4.19-	Custos Estimados e Orçados do Modelo de Rede de Distribuição através de Índice	98
Fig. 4.20-	Custos Unitários com Despesas de Pessoal vs Capacidade Instalada e Taxa de Uso	101
Fig. 4.21-	Custos Unitários com Despesas de Pessoal vs Capacidade Instalada	102
Fig. 4.22-	Custos Unitários com Despesas de Pessoal vs Taxa de Uso do Sistema	102
Fig. 4.23-	Custos Estimados e Orçados pelo Modelo de Despesas com Pessoal	104
Fig. 4.24-	Custos Estimados e Orçados pelo Modelo de Despesas com Pessoal através de Índice	105
Fig. 4.25-	Custo Anual com Despesas de Energia Elétrica	107
Fig. 4.26-	Custos Estimados e Orçados pelo Modelo para Despesas com Energia Elétrica através de Índice	109
Fig. 4.27-	Custo Anual com Despesas de Materiais de Tratamento de Água	110
Fig. 4.28-	Custos Estimados e Orçados pelo Modelo para Despesas com Materiais de Tratamento através de Índice	112

Fig. 4.29- Custo Anual com Outras Despesas	113
Fig. 4.30- Custos Estimados e Orçados pelo Modelo para Outras Despesas através de Índice	115
Fig. 4.31- Comparação entre Custos de Construção Orçados e Estimados	120
Fig. 4.32- Custo Anual Total de Operação praticados pela CASAN e Custos Estimados pelo Modelo	122
Fig. 5.1 - Configuração do Sistema Existente de Água Doce	129
Fig. 5.2 - Configuração do Sistema Proposto	130

L I S T A S D E Q U A D R O S

Quadro 1.1 - Investimento Público em Infra-estrutura Econômica e Social no Brasil entre 1973-1983	16
Quadro 3.1 - Cidades para as quais Será Feita a Análise de Expansão	59
Quadro 4.1 - Dados de Estações de Recalque Executadas pela Companhia Catarinense de Águas e Saneamento	69
Quadro 4.2 - Ajuste do Modelo de Custo de Estações de Recalque..	74
Quadro 4.3 - Análise da Variância do Ajuste do Modelo	75
Quadro 4.4 - Dados do Segundo Ajuste do Modelo de Custo de Estações de Recalque	80
Quadro 4.5 - Segunda Análise da Variância do Ajuste do Modelo ..	80
Quadro 4.6 - Ajuste do Modelo de Custo de Adutoras (PVC)	85
Quadro 4.7 - Ajuste do Modelo de Custo de Adutoras (Ferro Fundido)	88
Quadro 4.8 - Ajuste do Modelo de Custo de Estações de Tratamento.....	91
Quadro 4.9 - Ajuste do Modelo de Custo de Reservatórios	93
Quadro 4.10- Ajuste do Modelo de Custo de Rede de Distribuição.....	97

Quadro 4.11- Ajuste do Modelo de Custo com Despesas de Pessoal..	103
Quadro 4.12- Ajuste do Modelo de Custo com Despesas de Energia Elétrica.....	108
Quadro 4.13- Ajuste do Modelo de Custo com Despesas de Materiais de Tratamento	111
Quadro 4.14- Ajuste do Modelo de Custo com Outras Despesas	114
Quadro 4.15- Modelos Ajustados para Custos de Construção	116
Quadro 4.16- Custos Orçados pela CASAN e Custos Estimados pelos Modelos Ajustados	119
Quadro 4.17- Modelos Ajustados para Custos de Operação	121
Quadro 4.18- Custos de Operação de Sistemas vs Capacidade Nominal Instalada com Taxa Anual Efetiva de Uso de 80% ...	123
Quadro 4.19 - Custo Anual Total e Unitário de Operação com Taxas Anuais Efetivas de Uso de 50 e 80%	125
Quadro 5.1 - Plano de Expansão da Cidade de Água Doce	133
Quadro 5.2 - Plano de Custeio do Sistema de Abastecimento da Cidade de Água Doce	135
Quadro 5.3 - Custos de Construção da Amostra Resultantes da Aplicação do Modelo de Expansão	138
Quadro 5.4 - Custos Globais de Operação da Amostra Resultante da Aplicação do Modelo de Expansão	140
Quadro 5.5 - Custos Totais (Construção e Operação) dos Planos de Expansão da Amostra	141

A B S T R A C T

The difficulties related to the maintenance and expansion of urban services, particularly of water supply, have been identified by those working in the sanitation field as a growing problem. The lack of financial resources is one of the biggest difficulties to be faced. Even when they are generated by the service system, they are usually absorbed by its existing costs.

This work is concerned to the development of an alternative methodology to perform the analysis of the expansion of water systems. The study of the cost models, which present the used cost structure for the expansion of water supply systems in Santa Catarina, is a component of this methodology and is presented here.

The basic structure of the system cost is divided into two major categories of costs: construction and operation.

The construction cost is related to the cost models of the basic components of the water supply system, such as: pumping, transmission, treatment, network and reservoir.

The operation cost is related to the cost model by four functions: manpower, electrical energy, chemical and Miscellaneous.

Multiple linear and non-linear regression analyses were used to adjust the cost models.

The developed cost optimization model for the water supply system expansion uses dynamic programming for selecting a cost expansion policy with a minimum cost. It defines when and at what level the system capacity has to be increased beyond the required minimum demand, in order to provide an economy of scale in the defined horizon of the project.

The capacities and cost are optimized according to the suitable cost structures in both construction and operation categories. The minimum occurs for the present value of the production costs.

Based on the analysis of a twenty project sample, selected from different regions of Santa Catarina, it was realized that it is possible to improve the expansion strategy of the water supply systems used by the National Sanitation Plan (PLANASA). This may be accomplished by the definition of the expansion steps and appropriate capacity for each basic component of water supply system.

R E S U M O

As dificuldades de manter e expandir os serviços urbanos, em particular o abastecimento urbano de água, têm sido apresentadas pelos atores do setor de saneamento como um problema crescente. A que mais se destaca é a falta de recursos financeiros, que quando arrecadados, são absorvidos pelos custos praticados nos serviços existentes.

Este estudo se concentra no desenvolvimento de uma alternativa metodológica para análise de expansão dos sistemas de abastecimento de água. A metodologia engloba o estudo de modelos de custos que representam a estruturação dos custos praticados na expansão dos sistemas de abastecimento de água em Santa Catarina.

A estrutura básica do custo do sistema está dividida em duas categorias: construção e operação.

O custo de construção está constituído dos modelos de custos dos componentes básicos que configuram o sistema de abastecimento de água: Estações de Recalque, Adutoras em Material Plástico, Adutoras de Ferro Fundido, Estações de Tratamento Completo, Reservatórios Apoiados de Concreto Armado e Redes de Distribuição.

O custo de operação está constituído de quatro modelos básicos: Despesas com Pessoal, Despesas com Materiais de Tratamento, Despesas com Energia Elétrica e Despesas Outras.

Análises de Regressão Múltipla Linear e Não Linear foram utilizadas para o ajuste dos modelos de custos.

O modelo de otimização dos custos de expansão de sistemas de abastecimento de água desenvolvido se utiliza da programação dinâmica para a escolha de uma política de expansão de custo mínimo, definindo quando e quanto de capacidade além do consumo mínimo necessário deve ser expandido a fim de se obter ganhos de economia de escala num horizonte de projeto definido.

As capacidades e os custos são otimizados conforme a estrutura de custos apropriadas nas categorias de construção e operação. A

minimização ocorre para o valor presente dos custos de produção.

Com base na análise de uma amostra de 20 projetos selecionados em diferentes regiões do Estado de Santa Catarina foi observado que é possível aprimorar a estratégia de expansão dos sistemas de abastecimento de água adotados pelo Plano Nacional de Saneamento (PLANASA) ao definir etapas e capacidades explorando a economia de escala de cada componente do sistema.

I N T R O D U Ç Ã O

Um dos mais importantes objetivos para as nações em desenvolvimento é conseguir recursos para investir em infraestrutura e, principalmente no setor de suprimento de água potável e tratamento de esgoto. Elas têm dificuldades de implantar serviços que operem dentro de princípios econômicos. Princípios estes que permitam o retorno dos investimentos, manutenção adequada e satisfação do usuário.

Os serviços providos pela indústria de água e esgoto são de importância crítica ao padrão de vida e saúde exigidas pela sociedade moderna. A ausência de sistemas com funcionamento adequados para o suprimento de água potável, remoção e tratamento de esgoto doméstico, além de ser um limitante ao desenvolvimento, é um agravante nas condições de segurança na saúde preventiva, com reflexos prejudiciais nos custos incorridos com a saúde curativa.

A indústria de água e esgoto no Brasil é relativamente grande e essencial. Dados do CABES (1991) colocam que, em 1990, no Brasil, havia 9.223 localidades urbanas das quais 7.362 (79,82%) dispunham de sistema de abastecimento de água. A população atendida era de 104,2 milhões de habitantes, 83,3% da população urbana, com 25,2 milhões de economias abastecidas. A cobertura com redes de esgoto era bem menor e atingia, apenas, 30,38 milhões de habitantes, 29,49% da população total do país.

As 26 empresas estaduais existentes eram responsáveis por 77,82% deste abastecimento de água e produziam 22,46 milhões de metros cúbicos diários de água dos quais 91,92% recebiam tratamento, 41,59% eram medidos e 59,41% faturados. Elas têm implantado 187,3 mil quilômetros de redes de distribuição de água e 48,88 mil quilômetros de redes coletoras de esgoto.

O faturamento total em 1990 foi de Cr\$ 275 bilhões (4 bilhões de dólares aproximadamente). Os valores investidos em 1990 foram de 2,6 bilhões de dólares sendo 1,8 bilhão (70%) em sistemas de água e 0,8 bilhão (30%) em sistemas de esgotos.

Somente estas empresas empregavam, diretamente, 100.000 pessoas. Além delas absorverem os insumos usados comumente na construção civil, absorve grande quantidade de energia elétrica e produtos químicos necessários ao tratamento de água e esgoto.

Tomando uma estimativa da produção média mensal de água e consumo médio de insumos para tratamento, somente as empresas estatais estariam consumindo, por mês, aproximadamente 2.500 toneladas de cloro e 21.000 toneladas de sulfatos.

Através dos dados acima apresentados pode-se perceber a importância, não somente social mas também econômica, deste setor para o país.

1. O Problema

A dificuldade que o setor apresenta para investir em expansão de sistemas urbanos de abastecimento de água não reflete o potencial da capacidade instalada dos sistemas que estão sendo operados.

Nas últimas décadas foram realizados grandes investimentos através do Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANASA). As expectativas de retornos financeiros estabelecidos nos planos econômicos não estão se concretizando. Esperava-se que os sistemas pudessem produzir excedentes que possibilitassem as expansões futuras.

Os critérios econômicos estabelecidos para planos e projetos podem criar, e têm criado, soluções não apropriadas. Como uma disciplina, a economia não é bem entendida no setor. Oferta e

demanda nunca têm estado em equilíbrio (CABES,1991).

" Economia de escala e elasticidade de preço podem limitar as opções que são avaliadas para implemento de estratégias de custos efetivos para resolver o suprimento de água e problemas de qualidade "(Clark et alii.,1981).

Estudo realizado com dados dos Estados Unidos mostram que o efeito da economia de escala começa a apresentar ganhos para sistemas de abastecimento de água com capacidades acima de 2,5 mega galão dia (mgd) equivalente a 9500 m³/dia (Clark,1987).

A elasticidade do preço de demanda tem sido calculada para aproximadamente -0,2, demonstrando que água é um produto altamente inelástico (Hems,1980; Comer et alii.,1982; Clark,1987). Quando os custos aumentam o usuário deve absorvê-los, em vez de limitar o uso.

As soluções técnicas apresentadas expressam custos de implantação e operação de difícil viabilização econômica para muitas pequenas comunidades do Brasil, as quais representam a grande maioria de centros urbanos desta nação e que abrigam parcela significativa de sua população total. Dados do CABES 1991 indicavam a existência em 1990 de 4267 sedes municipais e 3095 distritos com sistemas de abastecimento de água sendo que 70% dos sistemas urbanos apresentavam populações com menos de 5 mil habitantes.

A falta de pesquisas e estudos efetivos de produtividade tem levado os técnicos brasileiros a apresentar soluções baseadas em experiências de outros países. Comunidades e ambientes são diferentes de um lugar para outro. É suposto que esta situação tem ajudado a inviabilizar a solução de abastecimento de água e serviços de esgoto para muitas comunidades.

As soluções tecnológicas têm mantido dispositivos de segurança e vários coeficientes de segurança para redução de riscos para o suprimento de água. Estes coeficientes muitas vezes dobram a capacidade instalada de produção e distribuição do sistema. Por exemplo, há o coeficiente do dia de maior consumo (K1), coeficiente consumo máximo horário (K2), período de vida útil do projeto, etc.. Estes padrões implicam em significativos aumentos da capacidade instalada dos projetos.

O sistema superdimensionado tem problemas com o balanceamento

da produção. Equipamentos e instalações podem não estar operando produtivamente e grande parte do tempo permanecem ociosas. Às vezes elas podem permanecer mais de 80 % de seu tempo paradas, quando do início de operação.

As variáveis de projeções de consumo e previsões de crescimento da comunidade norteiam toda a concepção básica de capacidade do sistema. Definição do consumo per-cápita e taxas de crescimento de centros urbanos, que crescem desordenadamente dentro de um processo de migração, têm aumentado as incertezas das previsões.

As variáveis relacionadas com os custos de captação, transmissão (adução) e tratamento estão vinculadas à disponibilidade de mananciais próximos às comunidades. Grandes problemas têm ocorrido com a utilização de mananciais, sejam superficiais ou subterrâneos.

Em Santa Catarina, por exemplo, a Companhia Catarinense de Água e Saneamento (CASAN) vivenciou várias experiências com degradação de mananciais, a exemplo das cidades de Vargeão, Itapema, São Domingos, Rio Fortuna, Guabiruba, Gravatal, Xanxerê e outras. Estes mesmos problemas também podem ter ocorrido em outros estados brasileiros.

Comunidades pequenas foram inicialmente abastecidas através de água "in natura" (somente desinfecção) de mananciais superficiais próximos à comunidade. Após os primeiros anos de operação do sistema, vários deles tiveram que ser refeitos. Primeiro ocorreram problemas de qualidade e, em segundo, a redução do volume de vazão.

A própria comunidade usuária do sistema ocupou a bacia hidrográfica do manancial, desmatando, abrindo estradas e novos loteamentos para expansão bem como o desenvolvimento de atividades agro-pecuárias sem se preocupar com a captação da água.

Os técnicos têm procurado soluções que fujam do problema, buscando mananciais mais afastados das comunidades, propiciando investimentos altíssimos. Estes investimentos resultantes dos custos de implantação e de exploração são subsidiados através do lucro conseguido em centros urbanos maiores.

As áreas de distribuição do sistema representam uma variável de custo significativa do sistema. O custo do sistema de

distribuição representa, muitas vezes, mais de 50 % do custo total de implantação do sistema (CASAN). É freqüente, nas comunidades, a configuração de agrupamentos rarefeitos nas proximidades do núcleo principal. Incluem-se, nestas variáveis, as desapropriações de caminhamento das adutoras e locais de edificações.

Contribuem, também para a elevação dos custos de operação, o superdimensionamento ou subdimensionamento de um sistema e que se torna uma solução indesejável às condições econômicas de uma comunidade. Estudo feito em 1985 pela ABES mostrou que, nas companhias estaduais, 30% dos projetos foram subdimensionados e 20% superdimensionados (ABES,1985). As perdas de água nos sistemas apresentavam índices acima de 40% na grande maioria dos sistemas de abastecimento de água no Brasil.

Todos estes problemas têm contribuído para a redução da produtividade do setor.

É necessário que se intensifiquem os estudos sobre o setor para que se tenha as informações que possibilitem a avaliação de desempenho da produção e manutenção dos sistemas.

Estudos têm mostrado que, quanto maior a freqüência do feedback que estabelece a relação entre consumo e custo expressos em valores monetário, maior tem sido a eficácia nos resultados de persuasão para alterar comportamento ou facilitar a adoção de inovações tecnológicas (Kohlenberg,1976).

Portanto é preciso que sejam analisados os custos efetivos de produção do setor, isto é, custos de implantação e de operação.

Os custos de implantação são definidos principalmente pela configuração do sistema, tecnologia adotada e capacidade. Os custos de operação são dependentes dos mesmos fatores e mais a taxa de uso do sistema.

O presente estudo se limita à análise da influência da expansão de capacidades dos sistemas de abastecimento de água nos custos de produção para um período determinado pelo horizonte do plano.

2. Objetivos da Pesquisa

O objetivo principal deste estudo é comprovar a hipótese de que é possível aprimorar a estratégia utilizada para definição da capacidade de sistemas de abastecimentos de água reduzindo os custos atuais de produção.

Para se conseguir atingir este objetivo é desenvolvida, neste estudo, uma metodologia de análise de expansão da capacidade de sistemas de abastecimento de água, de forma que gere informações que possibilitem a análise dos critérios de capacidade dos planos de expansão, e permita melhores decisões sobre quanto de capacidade deve-se expandir e quando expandir os componentes dos sistemas para um horizonte qualquer de projeto.

Esta metodologia é importante como uma ferramenta para avaliar os resultados no desenvolvimento de um plano de expansão.

A aplicação da metodologia é feita em uma amostra de 20 projetos de sistemas do estado de Santa Catarina administrados pela Companhia Catarinense de Águas e Saneamento.

Como parte desta metodologia é incluído o desenvolvimento de modelos de funções de custos de construção específicos para cada componente do sistema de abastecimento de água e modelos próprios, também, para os custos de operação. Estes modelos possibilitam uma avaliação mais dinâmica dos custos, os quais podem indicar o ponto de aplicação dos esforços em busca de uma maior produtividade. Permitem, também, avaliar o valor presente dos custos de produção resultantes do impacto de implantação de novas tecnologias e alterações de critérios de dimensionamento de projeto.

Os modelos de custos a serem desenvolvidos estão relacionados a seguir:

- 1) Modelos individuais de funções de custo de construção por componente do sistema:

CAPTAÇÃO DE ÁGUA;
ESTAÇÃO DE RECALQUE;
ADUTORA DE ÁGUA;
ESTAÇÃO DE TRATAMENTO;
RESERVATÓRIO DE ÁGUA;
REDE DE DISTRIBUIÇÃO;

- 2) Modelos de funções de custo de operação;

DESPEAS DE PESSOAL;
DESPEAS DE ENERGIA ELÉTRICA;
DESPEAS DE MATERIAIS DE TRATAMENTO;
DESPEAS OUTRAS;

Os objetivos complementares são:

- 1) Verificar se é possível modelar estes custos através dos pesos de algumas variáveis e que o modelo possa explicar adequadamente os custos de construção e de operação dos sistemas;
- 2) Elaborar um modelo de expansão da capacidade de sistemas de abastecimento de água e implantá-lo em linguagem computacional;
- 3) Analisar a estrutura de custos de construção praticados em Santa Catarina pela CASAN (Companhia Estadual de Águas e Saneamento) com base nos modelos desenvolvidos;
- 4) Analisar a estrutura de custos de operação praticados em Santa Catarina pela CASAN;
- 5) Possibilitar a elaboração de orçamentos a nível de planejamento sem ter que elaborar os projetos.

3. Organização do trabalho

O estudo está constituído de uma introdução e cinco capítulos:

Na introdução estão abordados os assuntos referentes à importância do trabalho, a situação de problemas específicos com o setor de abastecimento urbano de água, abordando os critérios econômicos e os critérios técnicos de projetos adotados para a implantação e ampliação de sistemas. A introdução se complementa com a exposição dos objetivos da pesquisa.

No primeiro capítulo é apresentado o histórico do desenvolvimento do setor de saneamento no Brasil incluindo um relato do Plano Nacional de Saneamento (PLANASA) com dados de investimentos e resultados obtidos com o objetivo de dar ao leitor uma visão mais ampliada do ambiente do estudo.

No Capítulo II é apresentada a definição teórica da problemática com a realização da revisão bibliográfica de estudos de conceitos e de análise de alternativas de expansão de capacidade dos sistemas de abastecimento de água. Tem por objetivo, este capítulo, dar o embasamento teórico, mostrando procedimentos, evolução e limitando as fronteiras do conhecimento neste tema.

O Capítulo III descreve a metodologia adotada e o desenvolvimento teórico do modelo para expansão da capacidade de sistemas de abastecimento de água. Neste capítulo consta, ainda, a descrição da estrutura física do programa computacional do modelo e a descrição da amostra dos sistemas a serem analisados pela metodologia em estudo.

No Capítulo IV são desenvolvidos os modelos matemáticos das funções de custos de construção e operação. São realizados os ajustamentos dos modelos individuais de cada componente do sistema e para cada sub-grupo de despesas com operação. O capítulo é encerrado com uma análise dos modelos matemáticos das funções de custos definidos.

O Capítulo V apresenta a análise do plano de expansão como resultado da aplicação do modelo de expansão em uma amostra de 20 cidades selecionadas.

No capítulo VI são apresentadas uma síntese do trabalho e as conclusões finais dos resultados obtidos dos modelos matemáticos das funções de custos e da aplicação da metodologia usada na amostra selecionada. O capítulo encerra fazendo as recomendações destinadas a colaborar com o prosseguimento de novas pesquisas que possibilitem um alargamento do conhecimento nesta área.

CAPÍTULO I

O SANEAMENTO BÁSICO NO BRASIL

Este capítulo apresenta um histórico do setor de saneamento básico no Brasil. Através dos fatos ocorridos ao longo dos anos é possível ter um entendimento da história do setor. O leitor, no momento atual, pode avaliar os problemas que estão acontecendo de uma forma mais dinâmica e global. Grande parte do capítulo é direcionado à criação do PLANASA (Plano Nacional de Saneamento) o qual foi o agente do processo de desenvolvimento do setor e se constituiu no maior plano de saneamento básico realmente implantado no Brasil. Extinto o PLANASA em 1986, passaram-se sete anos e ainda não foi possível se estabelecer um substituto. Portanto a nossa maior experiência em saneamento básico no Brasil está no PLANASA.

1. Histórico do Setor de Saneamento no Brasil

Desde o período de colonização no Brasil as vilas e povoados solucionavam seus problemas com abastecimento de água captando-a em fontes e riachos localizados nas suas proximidades fazendo o uso de bilhas, moringas e outros vasilhames. Usavam uma porção para matar

a sede e outra para higiene e alimentação. A água era transportada em lombo de burros ou por braços humanos. Com a expansão das vilas aumentaram as disputas pela água, surgiu a poluição e as distâncias de transportes tornam-se maiores (Capocchini,1962; Ramos,1986).

Em São Paulo no ano de 1744, há o registro da construção de um encanamento realizado pelo Convento de São Francisco e do primeiro chafariz (Savelli,1964). Em 1750 é construído o aqueduto de Santa Teresa no Rio de Janeiro. Recife teve o seu sistema de distribuição de água só em 1857 (Capocchini,1962; Ramos,1986). Em 1877 São Paulo cria a Companhia Cantareira com o objetivo de dotar a cidade de rede de água e esgotos e em setembro de 1878 inaugura-se o primeiro reservatório de água com capacidade de 6.000 m³ (Savelli,1964).

Em 1893 num novo esforço para solucionar o problema de água e esgoto é criado pelo decreto No. 1.524, em São Paulo, a Repartição de Água e Esgoto encampando a Companhia Cantareira.

Na virada do século surgem os surtos endêmicos (febre tifóide) e se intensifica a preocupação com a qualidade da água e a necessidade de esgotos como proteção dos mananciais mas, só em 1926 começa a cloração de água em São Paulo (Capocchini,1962).

Florianópolis teve água encanada em 1910 e iniciou seu sistema de esgoto em 1914 (Ramos,1986).

Em 1942 criou-se o convênio Brasil-Estados Unidos originando o Serviço Especial de Saúde Pública (SESP). O objetivo era executar atividades de saneamento e saúde para proteger as populações dos vales do rio Amazonas e Doce, que produziam matéria prima necessárias à guerra: borracha, mica e cristais de rocha.

Em 1945 o SESP estendeu seus serviços a outras regiões do país, viabilizou o treinamento de técnicos nos Estados Unidos e acentuou a importância da ação conjunta dos setores de saúde e saneamento. Contribuiu para a criação dos primeiros cursos de saúde pública para engenheiros no Brasil.

Em 1960 o Serviço Especial de Saúde Pública SESP transformou-se em fundação (FSESP) preconizando a reorganização institucional do setor em autarquias municipais (Serviços Autônomos de Água e Esgoto, SAAE). O saneamento no Brasil passava nesta época por uma situação crítica ocupando o penúltimo lugar na América Latina em termos de abastecimento de água e esgoto. Só atendia 45% da

população urbana com água e 24% com rede de esgoto.

A reforma tributária de 1965 concentrando recursos a nível federal restringiu a possibilidade de iniciativa dos municípios para investir no setor. Em abril de 1965 criou-se o Fundo Nacional de Financiamento para Abastecimento de Água através de um convênio entre o Departamento Nacional de Obras e Saneamento e a "United States Agency for International Development (DNOS/USAID)". Em agosto de 1967 o decreto No. 61.160 criou o Fundo Nacional para Saneamento (FISAME).

O Banco Nacional da Habitação (BNH) foi designado para gerir os recursos deste Fundo, os quais teriam origem no orçamento da União. Em setembro de 1968 foi criado o Sistema Financeiro do Saneamento (SFS) pela Portaria do Ministério do Interior No. 273/68 e a resolução No.20/68 do conselho de Administração do BNH.

O SFS congregou e disciplinou os esforços e a mobilização da aplicação dos recursos do governo federal através do BNH (37,5%), dos governos estaduais através do Fundo de Água e Esgoto, FAE, (37,5%) e municípios (25%) para a execução dos programas estaduais de saneamento. Os financiamentos do SFS foram sempre condicionados ao esforço paralelo dos estados e municípios, na realização do programa e na formação de fundos que garantissem a continuidade. Os mecanismos de compensações internas, traduzidos por um critério de aplicação de juros, iniciou com uma taxa anual média de 8% ao ano e foi associada a uma função direta da receita tributária per cápita (Banco Nacional da Habitação,1974). Posteriormente, com a escassez de recursos e a elevação das taxas de juros no mercado financeiro externo, estas taxas chegaram a ultrapassar os 10% ao ano.

Em 1971 o SFS gerou condições propícias para a formulação do Plano Nacional de Saneamento (PLANASA).

A tônica central do PLANASA propiciou a constituição de Companhias Estaduais de Saneamento (CEBS) que, mediante concessão dos municípios, tomaram a si a responsabilidade pela implantação, ampliação, melhorias, operação e manutenção dos sistemas de água e esgotos sanitários.

Os objetivos permanentes e as metas do PLANASA estão resumidos na tabela 1.1 a seguir.

Tabela 2.1. Objetivos e Metas do Planasa

PLANO NACIONAL DE SANEAMENTO
PLANASA

OBJETIVOS PERMANENTES	METAS
a- Eliminação do déficit no setor de saneamento básico através de programação adequada, que permita atingir o equilíbrio entre demanda e a oferta desses serviços no menor tempo com um mínimo custo;	Abastecimento de Água Atender até 1980 com água potável mais de 80% da população urbana de pelo menos 80% das cidades brasileiras e todas as regiões metropolitanas;
b- Manutenção em caráter permanente do equilíbrio atingido entre demanda e oferta de bens e serviços no campo do saneamento básico;	
c- Atendimento a todas as cidades brasileiras mesmo aos núcleos urbanos mais pobres;	Esgotos Sanitários
d) Instituição de uma política tarifária de acordo com as possibilidades dos consumidores e com a demanda de recursos e serviços de forma a obter um equilíbrio permanente entre receita e despesas;	Atender até 1980 as regiões metropolitanas capitais e cidades de maior porte com serviços adequados de esgotos sanitários e, na medida do possível, atender com serviços mais simples as cidades e vilas de menor porte;
e- Instituição de uma política de redução de custos operacionais em função de uma economia de escala com reflexos diretos no esquema tarifário;	
f- Desenvolvimento de programas de pesquisas, treinamentos e assistência técnica;	

Fonte: CABES I - PLANASA: desenvolvimento e perspectivas.
Catálogo Brasileiro de Engenharia Sanitária, 1975-1976.

O PLANASA foi efetivamente atuante até a extinção do BNH em 1986 considerando o crescimento de população servida com água (Dal Fabro, 1984; ABES, 1990).

Na figura 1.1, apresentada a seguir, pode-se perceber o progressivo crescimento do déficit de abastecimento de água tanto em relação à população urbana como à total. Desde 1935 este déficit é crescente, passando pela década de 1940 e 1960 sem um eficiente esforço para reverter este quadro quando no início de 1960 o Brasil atingiu o penúltimo lugar em condições de saneamento básico da América Latina.

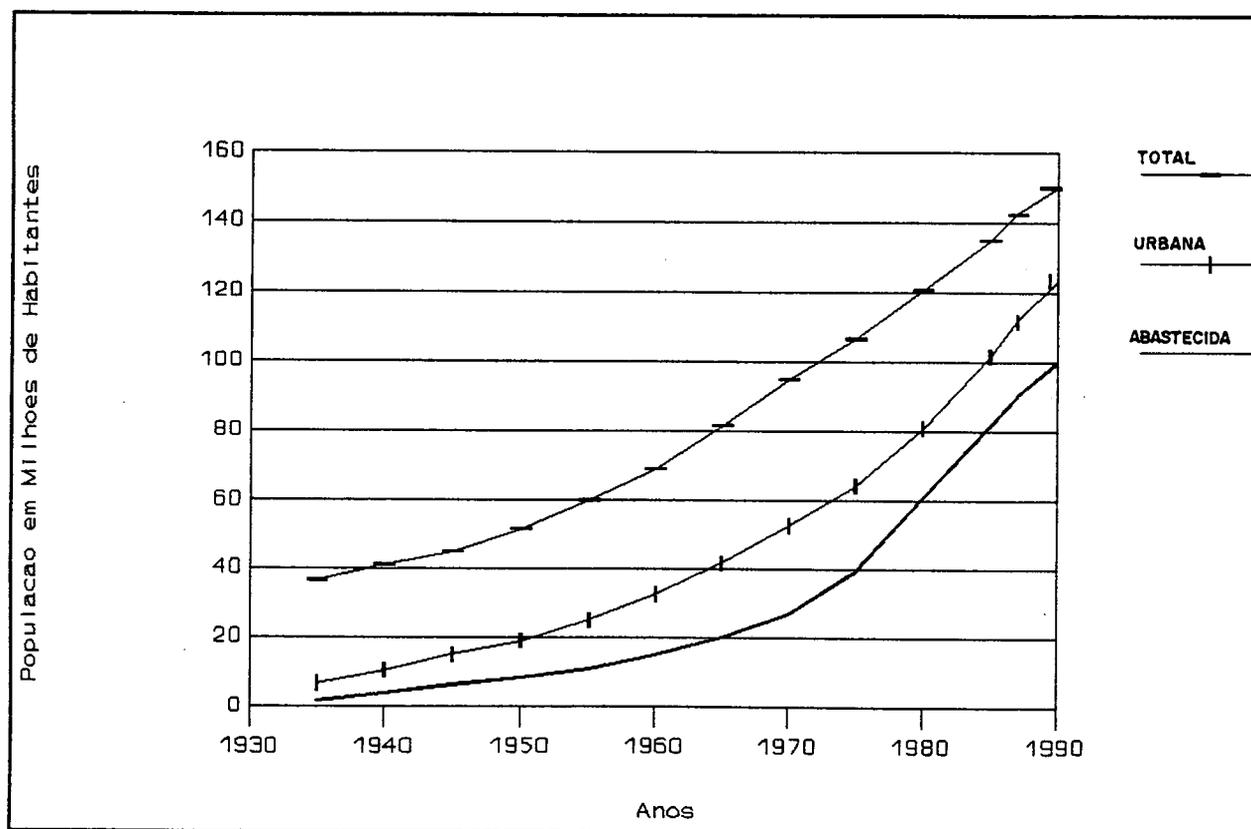


Figura 1.1. Evolução da Demanda e da Oferta de Serviços de Abastecimento Público de Água no Brasil.
(Fontes: FIBGE e CABES)

Os esforços realizados no início da década de 1970 começaram a apresentar resultados a partir de 1972, quando o crescimento da população abastecida com água passou a ser maior do que a população urbana mas, como pode-se constatar, não chegou a eliminar o déficit existente. A partir de 1987 já era visível o crescimento do déficit em consequência da desestruturação do setor com o fim do BNH.

2. Investimentos Públicos com o Início do PLANASA

Os investimentos públicos em infra-estrutura foram intensificados no início da década de 1970. Da mesma maneira como ocorreu com toda a América Latina, os investimentos foram direcionados principalmente para a infra-estrutura de suporte produtivo (Nações Unidas, 1971; Passos, 1972; Mandel et alii., 1976; Tokman, 1979; Pradilla, 1981).

O quadro 1.1 a seguir mostra os investimentos ocorridos no Brasil entre 1973 e 1983.

O volume de recursos anuais investidos neste período em termos de saneamento básico (serviços de água e esgoto sanitário) representa um valor muito pequeno se comparado com o de energia e transporte. Eles correspondem a uma média de apenas 10% do total dos recursos aplicados em infra-estrutura neste período.

Estes dados confirmam as observações mencionadas acima, de que os recursos de investimentos aplicados no Brasil e na América Latina, em geral, se destinavam prioritariamente a obras de infra-estrutura para suporte do setor produtivo. O investimento no setor saneamento tinha como objetivo manter o trabalhador sem doenças para torná-lo mais produtivo (Pradilla, 1981).

A falta de uma política eficiente para o setor de saneamento, as limitações impostas pela resolução No.823 de 1983, instituída pelo Banco Central proibindo novas contratações e impedindo aplicações de novos recursos para investimento público e posteriormente a difícil situação econômica do país, vêm apresentando uma enorme barreira ao desenvolvimento do saneamento.

Quadro 1.1. Investimento Público em Infra-estrutura Econômica e Social no Brasil entre 1973-1983 (em milhões de dólares).

ANO	Energ.El. Petróleo	Siderurgia	Transportes	Saneamento Básico	Total	(1) %
1973	2.238,75	287,46	1.859,00
1974	2.851,88	385,22	2.427,82	366,26	6.031,18	6,1
1975	3.777,29	317,75	2.939,47	544,65	7.579,16	7,2
1976	4.576,19	539,35	2.827,37	852,63	8.795,55	10,3
1977	5.406,17	395,83	2.675,14	806,79	9.283,93	8,7
1978	6.401,34	374,57	2.494,22	1.106,93	10.377,06	10,7
1979	5.460,47	362,83	1.538,87	1.536,87	8.903,74	17,3
1980	5.588,56	349,48	1.823,33	1.267,37	8.418,06	15,1
1981	6.489,12	314,04	1.452,22	1.195,51	9.450,89	12,6
1982	7.663,19	497,04	1.537,24	1.165,81	10.871,38	10,8
1983	3.578,89	107,06

(1) Percentual dos Investimentos Aplicados em Saneamento Básico

Fontes: Eletrobras-Nuclebras-Petrobras Siderbras-Cia Vale do Rio Doce, DNER-Portobras-REFSA, BNH-DNOS, Anuário Estatístico dos Transportes (Diagnóstico Nacional da Indústria da Construção - Relatório Síntese - Fundação João Pinheiro).

A escassez de recursos financeiros para investimentos, tomados por empréstimos para expandir os serviços de saneamento, tem feito com que os atores do setor reflitam mais concretamente nos retornos financeiros dos investimentos realizados. Esta reação se reflete numa constante necessidade de lutar por uma política tarifária que proporcione a cobertura dos custos de operação, um excedente para cobrir custos financeiros e recursos para novas expansões dos serviços. Esta tendência tem sido limitada pela crescente perda do poder aquisitivo da população que não consegue absorver os custos reais do setor.

Preços de serviços mais elevados para consumidores com potencial econômico maior têm sido uma das metas nas soluções estudadas, explorando a inelasticidade de preço no setor (Comer et alii., 1982). Os aumentos de preços não provocam grande redução de consumo mas aumentam o índice de inadimplência.

A outra alternativa possível para criar excedentes está em reduzir os custos nos serviços prestados. Esta solução tem se limitado a uma série de restrições de ordem tecnológica e social que precisam ser investigadas para que definam diretrizes de ação.

Este trabalho procura achar algumas respostas para a questão dos custos de produção praticados pelos sistemas implantados durante o PLANASA, analisando a estratégia do plano adotado e os custos de implantação e operação resultantes.

O caminho tomado nesta pesquisa se refere ao estudo das alternativas de expansão de capacidade de sistemas de abastecimento de água com o objetivo de buscar novas diretrizes para redução dos custos de produção e propiciar maior confiabilidade e eficiência no retorno dos investimentos aplicados.

CAPÍTULO II

DEFINIÇÃO TEÓRICA DA PROBLEMÁTICA

Neste capítulo são abordadas as formas como os técnicos e pesquisadores têm tratado o problema de expansão de capacidade em sistemas urbanos de abastecimento de água. Visa esta abordagem entender e avaliar as metodologias, os critérios e resultados já obtidos. A definição teórica da problemática de como estudar a expansão de capacidade de um sistema produtivo tem sido registrada em várias revistas especializadas por diversos autores (Thrall,1975; Walski,1987,1990; Mays,1990).

A tomada de decisão na escolha da melhor alternativa, seja definindo a configuração ou as capacidades a serem instaladas na expansão de sistema de abastecimento de água, tem sido objeto de estudo de pesquisas cujos autores tem se fundamentado na programação matemática.

1. Programação Matemática

A programação matemática a partir de 1947 tornou-se numa ferramenta importante no planejamento de atividades. A programação linear serviu primeiramente para programar atividades militares como suporte às decisões (Wood et alii.,1951). O método procura encontrar uma solução para um sistema de equações lineares

associadas a um conjunto de restrições lineares a qual minimiza uma forma linear. A programação foi também, posteriormente, introduzida nos estudos de modelos econômicos (Leontief,1951).

A programação não linear resultou de uma extensão natural da programação linear. A teoria de rede para solução de transportes e problemas de fluxos se desenvolveu, também de um caso muito especial de uma programação linear (Ford Lester et alii.,1954). Utilizando a programação matemática duas linhas básicas podem ser distinguidas no processo de decisão: Otimização e Multicritério.

1.1 Otimização

Um problema de otimização inicia com um conjunto de variáveis independentes ou parâmetros, e freqüentemente inclui condições ou restrições que definem o valor aceitável das variáveis. A otimização é caracterizada por uma função objetivo a qual depende de alguma forma das variáveis para a qual a função objetivo deve obter um valor ótimo. Em termos matemáticos, otimização usualmente envolve uma solução de máximo ou de mínimo. Pode-se desejar maximizar os lucros ou minimizar os custos (Donald, 1969).

Historicamente iniciada pela programação linear para resolver problemas da Força Aérea Americana, a otimização de sistemas foi usada para selecionar períodos de planos, unidades de combates, pessoas e suprimentos. A partir da década de 1970, após uma quantidade enorme de artigos teóricos publicados, a metodologia tem sido estendida incluindo programação não linear, programação integral, programação dinâmica, controle ótimo, para resolver os problemas de otimização. Sua aplicação tem abrangido desde a solução de um problema simples de alocação de recursos até planos de investimentos, projetos de engenharia, estudos científicos de física, biologia e ecossistemas (Hu et alii.,1973).

1.2. Análise Multicritério

O propósito da teoria de utilidade de multicritério é de providenciar formas de quantificar preferências para decisões de resultados que podem ser descritas por vários atributos.

Uma análise de decisão de multicritério é definido por Korhonen et alii.(1992) como uma simples escolha entre quantidades contáveis (usualmente finitas) ou um conjunto não quantificável de alternativas usando dois ou mais critérios. Quando o valor dos critérios é considerado conhecido com certeza o problema de decisão é determinístico, caso contrário ele é estocástico. A concepção da programação matemática do problema de multicritério é resumida como a maximização da função do valor de utilidade. A função de utilidade especifica a estrutura de preferência dos decisores sobre as alternativas existentes e viáveis.

Desde que Charnes e Cooper (1961) desenvolveu a programação por objetivo e Keeney e Raiffa (1976) desenvolveu a teoria e métodos para resolver problemas para funções de utilidades de multiatributos, decisões de análise multicritério têm se tornado em uma das mais ativas técnicas interdisciplinares usadas no campo da pesquisa na teoria de decisão.

As pesquisas sobre análise de decisão de multicritério realizadas na década de 70 tiveram os fundamentos teóricos da programação matemática desenvolvidas para multiobjetivos. A programação matemática foi direcionada especialmente para problemas de programação linear e problemas discretos. Os primeiros sistemas de decisão foram de Dyer (1973) e Wallenius e Zionts (1976).

Posteriormente a ênfase da otimização de multiobjetivo da análise de multicritério foi alterada em razão da necessidade dos decisores de focalizar melhor as suas preferências nas decisões.

A solução dos problemas de decisões em multiobjetivos sempre assume a intervenção do decisor para algum estágio no processo de solução. A maneira mais comum se realiza na forma interativa (Keeney e Raiffa, 1976; Steuer 1986).

Segundo Korhonen et alii.(1992) três procedimentos básicos podem ser observados na interação do decisor no processo:

- a) Articulação a priori das preferências.
- b) Articulação interativa das preferências baseada em uma:
 - função de valor implícito;
 - função de valor estável;
- c) Articulação posterior das preferências;

Os procedimentos na articulação a priori assumem a existência de um valor da utilidade e o decisor acessa-a explicitamente usando a interação clássica de Keeney e Raiffa (1976). Uma vez explícito o valor da função utilidade, ele é usado para determinar a ordem de preferência das decisões alternativas.

O paradigma usado na articulação interativa das preferências baseada na função de valor implícito estabelece que a procura da solução preferida assume algumas preferências específicas mas desconhecidas do decisor sobre o valor da função (Hwang e Masud,1979; Steuer,1986; Shin e Ravindran,1991).

Quando se trata de uma função de valor não estável, isto é, uma função de valor alterável, a interação do decisor com o processo ocorre para projetar nas regiões viáveis, níveis de aspirações e observar os efeitos nos objetivos. Esta solução procura ajudar o decisor a pesquisar com uma certa liberdade o conjunto de soluções eficientes (Wierzbicki,1980; Steuer e Choo,1983; Lewandowski et alii.,1989; Korhonen,1987,1988).

Na articulação posterior de preferências, a forma típica de solução é gerar inicialmente todas as alternativas possíveis e apresentá-las ao decisor para fazer a evolução do processo gerando alternativas eficientes adicionais (Steuer, 1986).

Sistemas de Suporte à Decisão de Multicritério foram desenvolvidos para incorporar preferência dos decisores sobre os critérios dentro do processo de análise. Eles surgiram para estruturar e resolver os problemas de multicritério (Korhonen et alii.,1992).

2. Multicritério Aplicado a Sistemas de Abastecimento de Água

Técnicas considerando multiobjetivos em decisão de aproveitamento recursos hídricos foram introduzidas por Marglin e Maass (1966). Estas técnicas consideravam eficiência econômica e redistribuição de renda como objetivos básicos. Para cada alternativa analisada era gerada uma rede de benefício.

Vários estudos sobre utilidades múltiplas de reservatórios ou mananciais de água foram desenvolvidos para escolher as melhores alternativas (Hall et alii., 1963; Young, 1967; Harboe, 1970; Cohon, 1975; Klemes, 1977; Houck, 1978, Helweg, 1982; Tauxe, 1979; Yeh, 1985; Guariso, 1985). A evolução das técnicas para resolver os problemas de multicritérios também foi absorvida pelo setor de recursos hídricos.

O setor de abastecimento de água de Israel desenvolveu um modelo de decisão com estrutura hierárquica (Shamir, 1980). Desde meados dos anos 60, diante da escassez de água existente, Israel tem utilizado técnicas de pesquisas operacionais para tornar mais eficiente o uso da água. O modelo hierárquico envolve 25 sistemas de água regionais integrados e é composto por uma família de modelos específicos interrelacionados. Os modelos específicos diferem um dos outros em níveis físico, geográfico, horizonte de tempo, função objetivo e outros. O modelo hierárquico é útil como uma ferramenta estrutural para a coordenação global dos sistemas com base nas informações geradas pelos modelos específicos.

O modelo hierárquico é composto de seis principais modelos específicos, os quais evoluem as informações a serem processadas na estrutura hierárquica.

Nível da economia nacional:

É um modelo que utiliza a programação linear para maximizar a função objetivo (renda total atribuída para o consumo de água). As

alternativas são para alocar água para cento e vinte regiões distribuídas em quatro áreas agrícolas, dezessete áreas industriais e nove pontos principais de distribuição. As restrições são áreas de terra, trabalho, capital e capacidade de transporte do sistema de água.

Sistema nacional de água:

Este modelo é formado por três outros. Modelo de reservatórios múltiplos que se utiliza da otimização e simulação para definir a capacidade a ser explorada em cada um dos três principais reservatórios integrados ao sistema, modelo de operação anual e modelo de operação horário.

Operação do Lago Kinneret:

O modelo de operação do Lago Kinneret utiliza simulação para estabelecer uma política de aproveitamento da capacidade do lago em termos de vazão e define a melhor opção em termos de instalações e operação de bombas.

Gerência de aquífero:

É constituído de um modelo de otimização que usa a programação linear para decidir sobre as variáveis de bombeamento e recargas do aquífero, o qual é utilizado como um dos mananciais integrantes do sistema de abastecimento.

Desenvolvimento de sistemas regionais:

É um modelo multiobjetivo que foi desenvolvido para determinar o plano do sistema regional de água. É um programa linear com seis objetivos, minimizar o custo total, minimizar o custo operacional, maximizar a rede de benefício, maximizar o emprego na agricultura e na indústria, minimizar a importação de água de outras regiões e maximizar a utilização do reuso das águas servidas.

Projeto e operação de distribuição de água:

É um modelo que otimiza a distribuição de água dos sistemas regionais através da simulação de rotinas de operação da rede hidráulica com a associação da operação de bombeamentos, válvulas e reservatórios de distribuição,

O processo hierárquico analítico é uma ferramenta que tem evoluído e resolvido nos últimos anos um número muito grande de problemas em diversas áreas de estudo (Vargas, 1990). No processo hierárquico os fatores de escolha são estruturados de forma hierárquica, descendo de um objetivo geral para subobjetivos associando critérios e subcritérios às alternativas para sucessivos níveis. Este processo permite que o decisor acesse aos vários níveis e subníveis da estrutura hierárquica. O processo ocorre em duas fases, desenvolvimento da estrutura hierárquica e a outra a evolução de cada alternativa (Saaty, 1990).

Na região sudeste da parte europeia da Rússia, também foi adotado um procedimento semelhante ao de Israel para desenvolver um sistema de decisão para o aproveitamento das águas do norte do rio Volga. É um sistema, também com estrutura hierárquica de três níveis e que decide entre as alternativas de origem técnica, social, econômica e ecológica (Moiseev et al., 1980).

Fatti et alii. (1989), fazendo uso das técnicas de multicritério aplicou o mesmo processo analítico hierárquico para tomada de decisão no planejamento de recursos hídricos na África do Sul.

A evolução dos estudos realizados para tomada de decisão indicam que os sistemas multicritérios com estruturas hierárquicas permitem solucionar os problemas complexos envolvendo decisões de alternativas técnicas, econômicas, sociais e ecológicas que sempre costumam envolver os estudos de recursos hídricos. Uma das vantagens observadas na sua implantação é a possibilidade de incorporação de modelos matemáticos específicos usados nos vários níveis de decisão os quais são elaborados por diferentes processos, simulação, otimização, multiobjetivos etc. Os modelos específicos para objetivos técnicos, em geral, têm evoluído por soluções de minimização de custos e maximização de benefícios.

Com o objetivo de estudar a capacidade de expansão dos

sistemas urbanos de abastecimento de água de uma forma específica, e considerando que numa segunda etapa ele poderá ser incorporado a um modelo mais complexo (sistema hierárquico), o presente estudo, procurará focalizar a seguir a literatura que envolve estudos específicos de expansão de capacidade de sistemas individuais de abastecimento de água limitados aos objetivos técnicos.

3. A Eficiência do Objetivo de Obras Hidráulicas

Stephen A. Marglin em Maass et alii.(1966) introduziu a noção de compensação de pagamento na tradicional definição de eficiência econômica no desenvolvimento de alternativas para o aproveitamento de recursos hídricos. Uma alternativa é sempre "nada fazer". Isto pode ser chamado de projeto zero. A outra alternativa é a existência de um projeto qualquer para o qual existe consumidor disposto a pagar por ele. O fundamento de eficiência resulta da comparação dos valores que os consumidores estão dispostos a pagar pela sua execução e os valores advindos da satisfação aqueles afetados pela implantação.

Como representação matemática deste comportamento tem-se o seguinte equacionamento. Se $W(A1)$ e $W(A2)$ denotam a rede de desejos agregados de pessoas afetadas pelos projetos A1 e A2 e que expressam, respectivamente, a vontade de pagar pela alternativa de "ter projeto" e a de não ter projeto algum e se,

$$W(A1) > W(A2) \quad (1)$$

pode-se dizer que o projeto A1 é relativamente mais eficiente do que o projeto A2 se, os afetados por A1, concordarem em pagar para aqueles afetados por A2 uma quantidade monetária suficiente para

perssuadí-los a acordar com a construção de A1.

Considerando que $E(A)$ denota a valoração dos benefícios das pessoas com a produção do projeto "A" e que pagam pelo projeto e sendo $C(A)$ a expressão do somatório dos custos necessários para implantar e operar o projeto "A", então um critério selecionado dentre as alternativas de projeto será aquele que terá a melhor performance em termos dos objetivos definidos.

A performance da eficiência da função pode ser escrita assim:

$$W(A) = E(A) - C(A). \quad (2)$$

Se a produção e os insumos forem definidos por variáveis como

$$\begin{aligned} Y &= (Y_1, \dots, Y_m) \quad \text{produção} \\ X &= (X_1, \dots, X_n) \quad \text{insumos} \end{aligned}$$

a performance da função pode ser expressa como:

$$W(A) = E(Y) - C(X), \quad (3)$$

Assim sendo, o benefício do projeto pode ser definido em termos de produção e de insumos representando cada um uma função de produção. Esta função de produção pode ser escrita como:

$$f(X, Y) = 0 \quad (4)$$

Em economia, a função de produção é definida como uma relação entre insumos que entram no processo produtivo e o produto resultante. Os insumos (recursos) são, naturalmente, água in natura, terrenos, materiais de construção, mão-de-obra, maquinaria, equipamentos etc. O produto é a água no tempo e local requerido para o suprimento da indústria e da comunidade. Para a definição de

uma função de produção deve-se entender o contexto em que ela é definida, isto é, através da análise de quatro fatores: local de incorporação, época, recursos para a produção (insumos) e recursos produzidos (produto).

Robert Dorfman em Maass et alii. (1966) sintetiza a função de produção dizendo que ela expressa o limite tecnológico sobre os resultados (outputs) atingíveis de dados inputs.

A performance da eficiência da função de produção resulta porém de múltiplos benefícios a serem gerados por multiperíodos ao longo da vida do projeto.

4. Multipropósito e Multiperíodo da Performance da Função de Produção

A eficiência da rede de benefício ou performance da função e o critério de projeto para multipropósito e multiperíodo de sistema de recursos hídricos com uma vida econômica de "T" anos é definida em Maass (1966) e é expressa como:

$$\sum_{t=1}^T \frac{E_t(Y_t) - M_t(X)}{(1+j)^t} - K(X) \quad (5)$$

onde

$E_t(Y_t)$ é medido em termos de demanda para a produção no ano "t";

$M_t(X)$ denota custos de operação e manutenção no ano "t";

$K(X)$ denota custos de construção (custos de implementação);

"j" denota taxa de juro;

A eficiência dos critérios de projeto é, entretanto, a maximização da performance da função acima

$$\text{MAX } Z = \sum_{t=1}^T \frac{E_t(Y_t) - M_t(X)}{(1+j)^t} - K(X) \quad (6)$$

sujeito à função de produção

$$f(X, Y_t) = 0, \quad \text{onde} \quad t = 1, \dots, T.$$

Se for considerado que a demanda de consumo de água em sistemas urbanos de abastecimento não apresenta grande elasticidade (Helms et alii., 1980; Clark, 1981, 1987; Comer et alii., 1982), isto é, não se altera significativamente com a variação dos preços pelo aumento ou diminuição dos custos praticados, a maximização da performance da função acima pode ser obtida também pela minimização dos custos de operação e manutenção, $M_t(X)$, e de construção $K(X)$.

Um crescente número de estudos de otimização de sistemas urbanos de abastecimento de água têm sido desenvolvido seguindo duas concepções básicas. A primeira, preço ótimo e expansão da capacidade instalada, maximiza o valor presente da rede de benefícios definida pela função de demanda com elasticidade de preço e recuperação dos custos investidos. A segunda, capacidade ótima de expansão, satisfaz um dado aumento de demanda ao longo do período e minimiza o valor presente descontado do custo do capital definido por funções de custos com economia de escala. O preço é considerado inelástico.

5. Preço Ótimo e Expansão da Capacidade

Estudos de preço ótimo e expansão de capacidade são baseados na teoria apresentada por Hirshleifer et alii.(1960). A melhor solução a curto prazo é quando o custo marginal de curto prazo iguala o preço, e a melhor solução a longo prazo (escala ótima do projeto) é atingida quando custos marginais de curto e longo prazo se igualam ao preço. Esta teoria pode ser explicada através da figura 2.1. As curvas de traço contínuo C , C' e C'' são as de custos médios de curto prazo para produções de sucessivas escalas de capacidade ao longo do tempo.

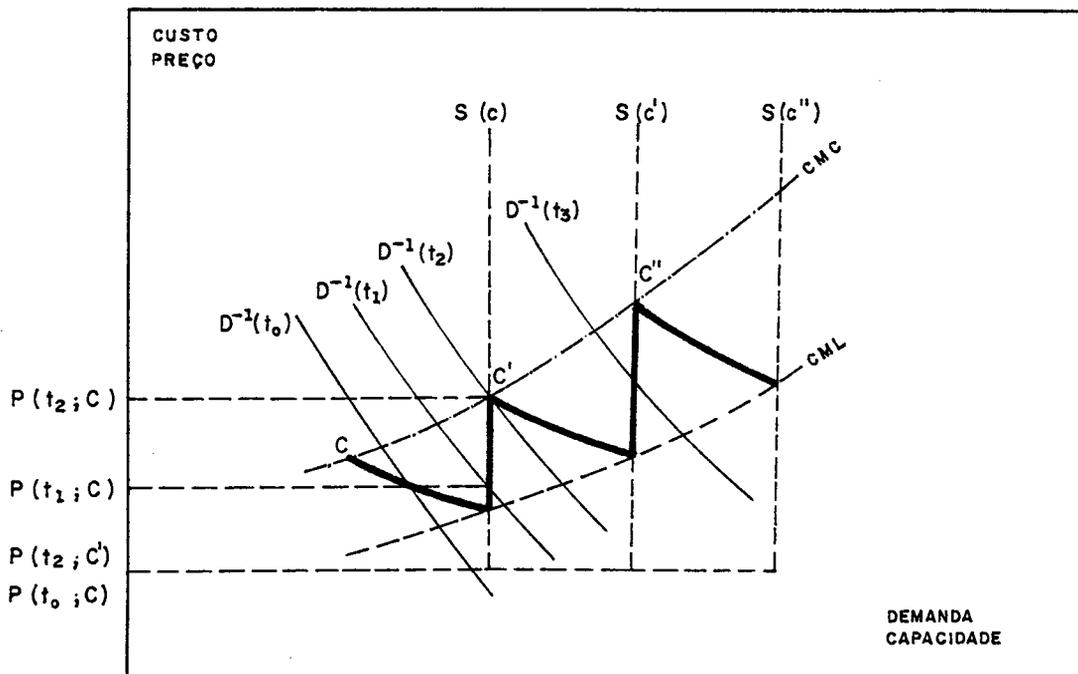


Fig.2.1. Dinâmica do Programa de Investimento de Acordo com Hirshleifer et. al.(1960)

As curvas mais inclinadas também com traços cheios, $D^{-1}(t_i)$, representam os níveis de demanda agregada no tempo. CML e CMC são, respectivamente, custos médios de longo prazo e curva de custo marginal.

A solução ótima para um investimento em expansão pode ser interpretada da seguinte forma: Para um tempo " t_0 " a capacidade de produção é igual a curva C e a demanda agregada é igual a $D^{-1}(t_0)$. A ótima produção " q " para este tempo é determinada pela intersecção de $D^{-1}(t_0)$ e a curva de custo marginal de curto prazo $S(C)$. Para atingir o nível ótimo de produção, o preço de mercado deve ser igual a $P(t_0;C)$. Quando a demanda aumenta em razão do baixo preço a intersecção da demanda e da curva do custo marginal desloca-se de um patamar mais baixo para outro mais alto regulando o preço de mercado num nível mais elevado. Finalmente quando a demanda e os custos marginais de longo e curto prazo se interceptam, o preço passa a ser $P(t_2;C)$. Neste ponto, o preço de mercado e o valor que os consumidores estão dispostos a pagar são exatamente iguais aos custos marginais de curto e longo prazo para o sistema com capacidade aumentada para C' . Uma vez que a capacidade do sistema seja aumentada para C' o preço de mercado cai para $P(t_2;C')$ em razão do aumento da oferta e uma nova intersecção ocorre para $D^{-1}(t)$ e a nova curva de custo marginal $S(C')$. A produção é agora aumentada por outro nível de capacidade e o processo se repete novamente.

Riordan (1971) desenvolveu um modelo genérico (Modelo de Múltiplo Estágio de Preços e Custos Marginais) para identificar num plano de expansão o preço do produto como uma variável de demanda e para maximizar o valor presente da rede de benefícios proporcionada pela expansão. Limites sobre o preço médio do produto, taxa da mudança de preço e recuperação de custos de investimentos são incluídos no modelo usando técnicas de programação dinâmica.

Em um subsequente artigo, Riordan (1971) aplicou seu modelo para um problema simples de expansão de um subsistema de tratamento urbano de abastecimento de água. Foi considerado que a demanda tem crescimento linear e é sensível à mudança de preço.

Gysi e Loucks (1971) combinaram diferencial de acréscimo de

consumo no período de verão considerando taxas de consumos variáveis e crescentes para oferecer uma maior rede de benefícios para o sistema estendendo os estudos de Riordan. A rede de benefícios consistiu do excesso de consumo marginal mais arrecadação com a produção, menos custos de produção e de capital para expansão. Este estudo investigou vários tipos de políticas de preços usando diferentes funções de demanda linear e não linear para taxas distintas de crescimento. Alguns resultados indicam que o preço da água deve ter uma maior influência em termos de planos de longo prazo e no controle de perdas do sistema de abastecimento de água. O valor do investimento de construção pode ser quase duplicado e a rede de benefícios da comunidade seria menos da metade sem a implantação de uma política de controle de perdas. O aumento do preço pode retardar a necessidade de expansão e abaixar o custo médio de longo prazo da água.

Dandy et alii.(1984) estenderam esses estudos (preço ótimo e expansão da capacidade), desenvolvendo um modelo onde é incorporada à variável preço com limites máximo e mínimo ao longo do plano de expansão. O modelo foi aplicado para um caso de estudo hipotético. Os fatores administrativos e políticos adotados para restringir os limites de variação dos preços tendem a reduzir benefícios mas, resultam em uma política de preço mais aceitável.

Em um subseqüente estudo, Dandy et alii.(1985) aplicando esse modelo de otimização para a situação particular do sistema de água das cidades geminadas de Kitchner-Waterloo no Canadá, confirmaram os resultados observados no estudo hipotético.

A teoria de Rirshleifer, no entanto, pode ficar prejudicada para a aplicação em sistemas de abastecimento de água se for considerado o comportamento inelástico que os preços tem apresentado em relação à demanda (Helms e Valley,1980; Comer e Beilock,1982; Clark,1987).

6. Capacidade Ótima de Expansão

Manne (1961,1967) deu um impulso ao estudo de capacidade ótima de expansão pela minimização dos custos ao analisar de forma genérica o problema (da capacidade ótima de expansão) de um empreendimento em presença da demanda de crescimento linear e da economia de escala em custos de construção. Seu estudo se fundamenta num modelo de otimização originalmente desenvolvido por Chenery (1952) que visa predizer o comportamento de investimentos em geral.

O objetivo do modelo de Manne é estabelecer uma política de expansão da capacidade, a custo mínimo, a qual atenderá a demanda que apresenta taxa de crescimento linear ao longo de um tempo infinito, como indica a figura 2.2 a seguir.

Manne derivou uma expressão para o intervalo de expansão ótima (número de anos de crescimento) como uma função do fator de economia de escala e taxa de desconto.

Na figura 2.2 pode ser observado o curso do crescimento da demanda e do aumento da capacidade do empreendimento no tempo. Num instante " t_0 ", tem-se a demanda " D_0 " e a necessidade de capacidade mínima igual a " D_0 " para atender a demanda. Quando a demanda iguala a capacidade instalada, imediatamente deve-se acrescer " x " unidades de capacidade ao sistema que atenderá a demanda equivalente a D_0+x até " t_1 ". O tempo t_1 , quando a capacidade instalada D_0+x iguala a demanda, é função da demanda. Seja " t_i " o período que a capacidade de acréscimo " x_i " atenderá a demanda com taxa de crescimento " D ", então $t_i = x_i/D$ e a capacidade mínima suficiente para atender a demanda de um período qualquer, é definida pelo produto da taxa de crescimento linear da demanda e do período de tempo.

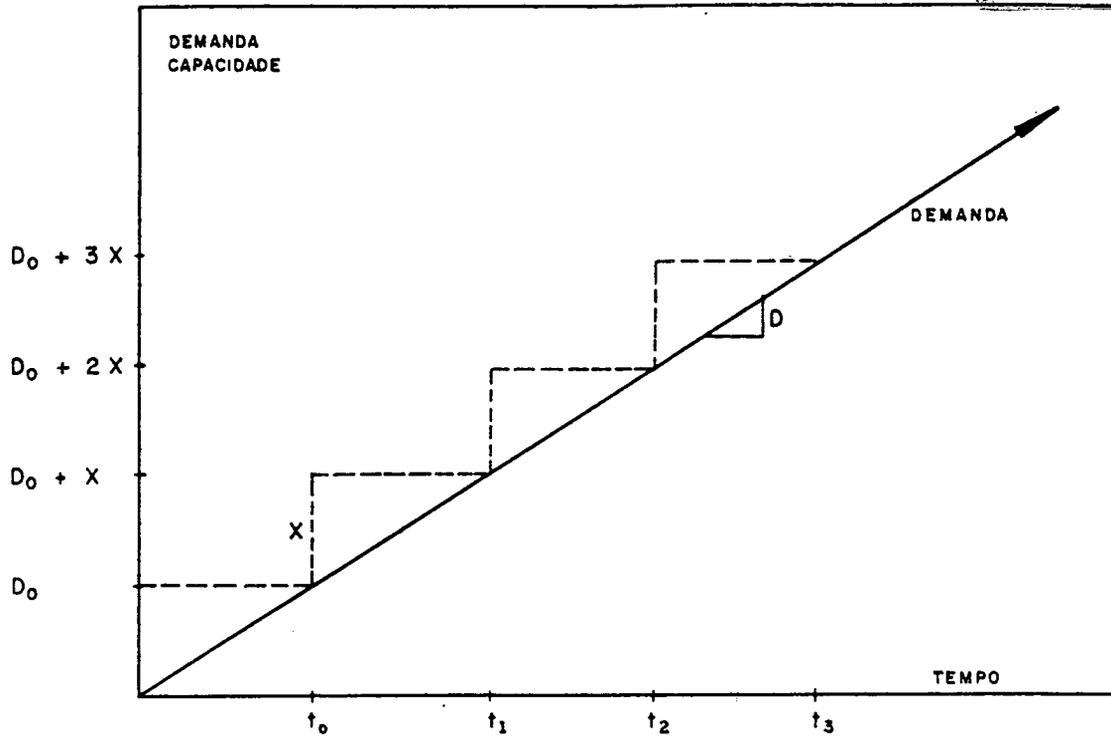


Figura 2.2 Esquema de Crescimento da Demanda e da Capacidade sobre o Tempo (Manne, 1961).

O equipamento tem uma vida econômica infinita e sempre que a demanda alcança a capacidade instalada, novas unidades de "Dt" são instaladas.

A função de custo de expansão da capacidade utilizada foi kx^a , onde "k" e "a" são constantes; sendo "a" o fator de economia de escala e "k" o custo de capital para crescer uma unidade de capacidade "x". A existência de economia de escala implica no desejo de expandir a capacidade considerando o avanço da demanda. A expressão e^{-jt} adotada como o valor presente de um dólar a ser pago no ano "t" com taxa de desconto (ou taxa de juro) "j", limita a capacidade a ser instalada.

Considerando um ano qualquer como início do plano de expansão, o custo total descontado de uma política que adiciona "x" unidades de capacidade pode ser escrita como uma equação recursiva

$$C(x) = k(x)^a + (e^{-j})^t C(x) \tag{7}$$

O primeiro termo do lado direito indica os custos no início do ciclo e o segundo termo, o valor presente dos custos em subseqüentes ciclos.

Da equação acima, escrevendo a capacidade "x" em função de tempo ($x=Dt$), segue que

$$\frac{C(Dt)}{k} = \frac{(Dt)^a}{1-e^{-jt}} \quad (8)$$

O valor mínimo para $C(Dt)$ pode ser calculado diferenciando o logarítmo de $C(Dt)$ com relação a "t", e igualando a zero o resultado obtido.

Assim,

$$\frac{d \log C(Dt)}{dt} = \frac{a}{t} - \frac{je^{-jt}}{1-e^{-jt}} = 0 \quad (9)$$

ou

$$a = \frac{jt}{e^{jt}-1} \quad (10)$$

onde:

"t" é o tempo que determina a capacidade ótima de construção para o mínimo valor presente do custo de capital.

Manne (1961), variando para determinadas taxas de desconto o fator de economia de escala, mostrou que o intervalo de expansão ótimo do sistema aumenta quando o fator de economia de escala aumenta e se reduz quando as taxas de descontos são crescentes.

Scarato (1969) usou o modelo desenvolvido por Manne para determinar a capacidade ótima de expansão de tubulações e estações de tratamento de água.

Os resultados dos estudos de Scarato são aplicáveis para situações onde o preço da água se mantém constante ao longo do tempo e a demanda é inelástica. Ele usou dados baseados nas pesquisas de Orlob e Lindorf (1958) e Koenig (1967) para função de custo de tratamento de água, e para tubulação as pesquisas de

Eliassen (1967). Decisões individuais de expansão de componentes foram feitas considerando tubulações e tratamento. Para fatores de economia de escala foram usados $a=0,56$ para tubulações e $a=0.67$ para tratamento. Os resultados encontrados para uma taxa de desconto de 5% foram aproximadamente 22 anos para tubulação e 15 anos para o tratamento. Este estudo não incluiu os custos de operação e manutenção.

Berthuex e Polkwski (1970) estudaram a capacidade ótima de expansão de sistemas de esgoto doméstico pelo custo mínimo do valor presente quando a taxa de crescimento da demanda ou a taxa de desconto é incerta. Eles consideraram modelos de crescimento de demanda, linear e exponencial. No caso em que se considera a taxa de crescimento incerta, é possível se proteger contra a escolha de um período de projeto errado ao reduzir a capacidade de projeto em 5% a 10%. Crescimento exponencial sempre produz um período de projeto menor do que no crescimento linear.

Lauria et alii. (1977) considerou a capacidade ótima de expansão quando a demanda (crescimento linear) excede a capacidade para o início do plano horizontal. O "Modelo de Período de Espera" usado neste estudo é uma extensão das concepções de Manne e Thomas (1963). O modelo de Thomas, "Modelo de Déficit Inicial", é compatível com a escala ótima de projeto para o qual o nível de demanda excede a capacidade de início do plano horizontal. Há custo de penalidade por unidade de demanda não satisfeita. Uma importante conclusão foi que o período de projeto para sistemas com demanda inicial não satisfeita é sempre maior do que aquele que expande a capacidade para atender toda a demanda.

Erlenkotter (1976) desenvolveu um método de programação dinâmica para selecionar capacidade ótima e seqüenciar os projetos de recursos hídricos. Demanda pode não ser satisfeita para um período de projeto também com uma penalidade apropriada. Este método é limitado pois considera apenas demanda crescendo linearmente com o tempo.

Hinomoto (1972) investigou a capacidade de uma nova planta de tratamento de água e o tempo para o qual novas capacidades são adicionadas para o sistema. Os objetivos do plano de expansão são satisfazer dado aumento de demanda sobre um período finito de tempo

e minimizar o valor presente do capital e dos custos de operação para uma determinada taxa de desconto. O plano de expansão é formulado como um modelo de programação dinâmica de forma recursiva sugerido por Bellman (1957). O trabalho de Hinomoto segue relações recursivas entre os resultados de duas seqüências de decisões seguindo os princípios desenvolvido por Manne. O seu modelo de programação dinâmica incorpora demandas com crescimento linear ou não linear.

Os estudos de capacidade ótima de expansão pela minimização dos custos são limitados basicamente ao estudo do subsistema de tratamento. Os modelos adotados não incluem as expansões de captações, estações de recalques, adutoras, reservatórios e redes de distribuição. Portanto, para se obter o custo total de produção se faz necessário analisar todos os componentes do sistema e definir as estruturas de custos particulares para cada região. Os fundamentos da metodologia a ser utilizada neste trabalho seguiram a expansão da capacidade pela minimização dos custos e considerando os preços constantes (inelásticos).

CAPÍTULO III

ESTUDO DE EXPANSÃO DE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE AGUA

O presente capítulo apresenta a metodologia a ser adotada para a elaboração das análises referentes ao estudo de capacidades no processo de expansão de sistemas de abastecimento de água.

Foi desenvolvida uma metodologia que permitisse a avaliação das alternativas possíveis, tendo como base as variáveis capacidade e demanda do sistema em função dos custos. É feita a avaliação global de um sistema de água completo incluindo todos os seus componentes, os quais têm um tratamento individualizado no aspecto de economia de escala.

A figura 3.1 apresenta um fluxograma que sintetiza a metodologia utilizada para efetuar o presente estudo.

A metodologia é iniciada com o processo de configuração, isto é, a caracterização em termos de composição e distribuição física dos elementos do sistema de produção e de distribuição de água. Segue com o modelo realizando o plano de expansão, compatibilizando as variáveis de demanda com as de capacidade.

As ações possíveis estabelecidas pelo plano são quantificadas em valores monetários pela estrutura de custo. Através da programação dinâmica são selecionadas as alternativas de menor custo do plano de ação.

O modelo de expansão, para um horizonte adotado, tem como resultado um plano o qual define o que expandir, em que ano, com qual capacidade, custos associados a cada componente do sistema, números de etapas e o valor presente do custo total do sistema.

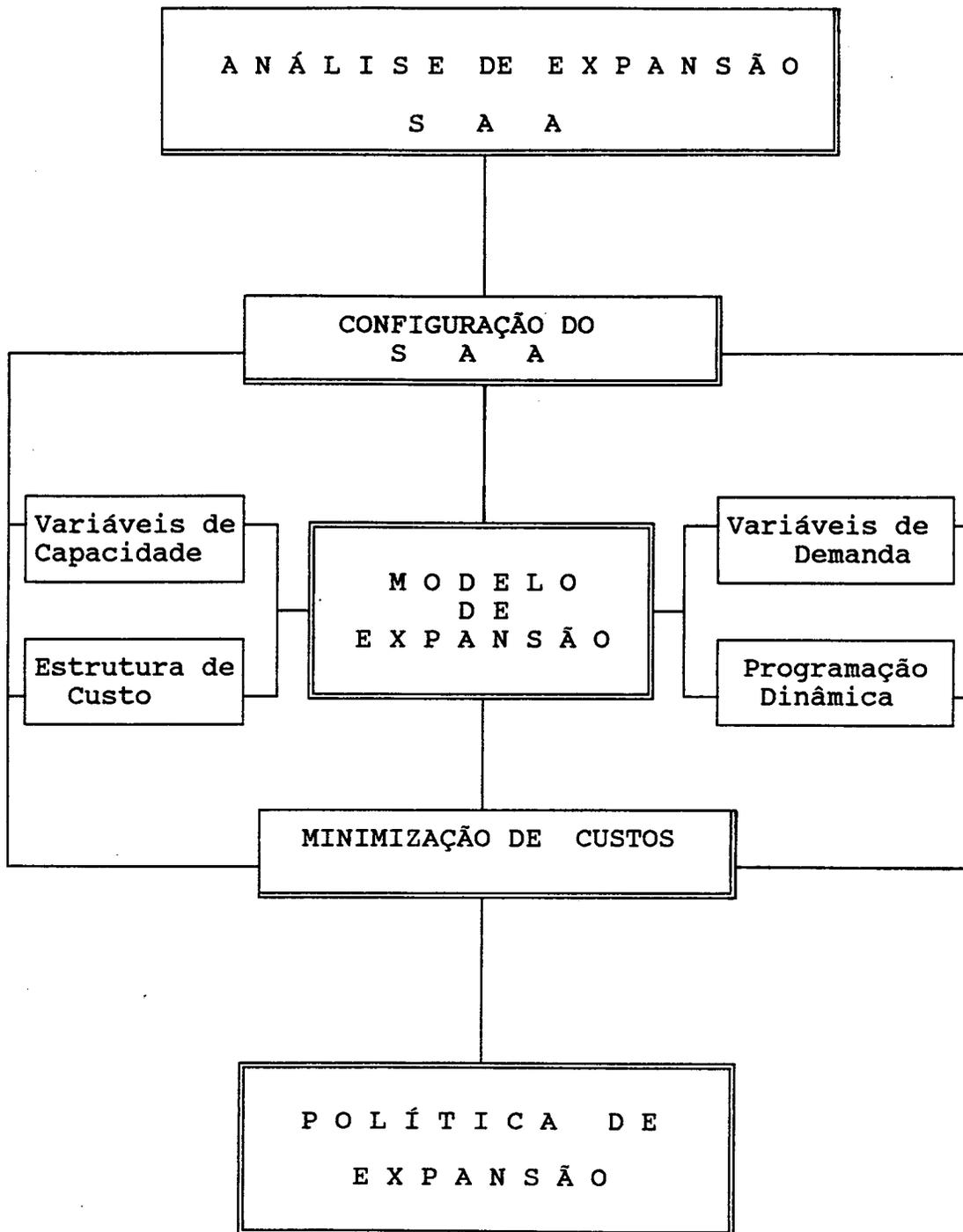


Fig.3.1. Fluxograma Sintético da Metodologia Utilizada para o Estudo de Expansão de Sistemas de Abastecimento de Água (S A A).

1. Configuração do Sistema de Abastecimento de Água

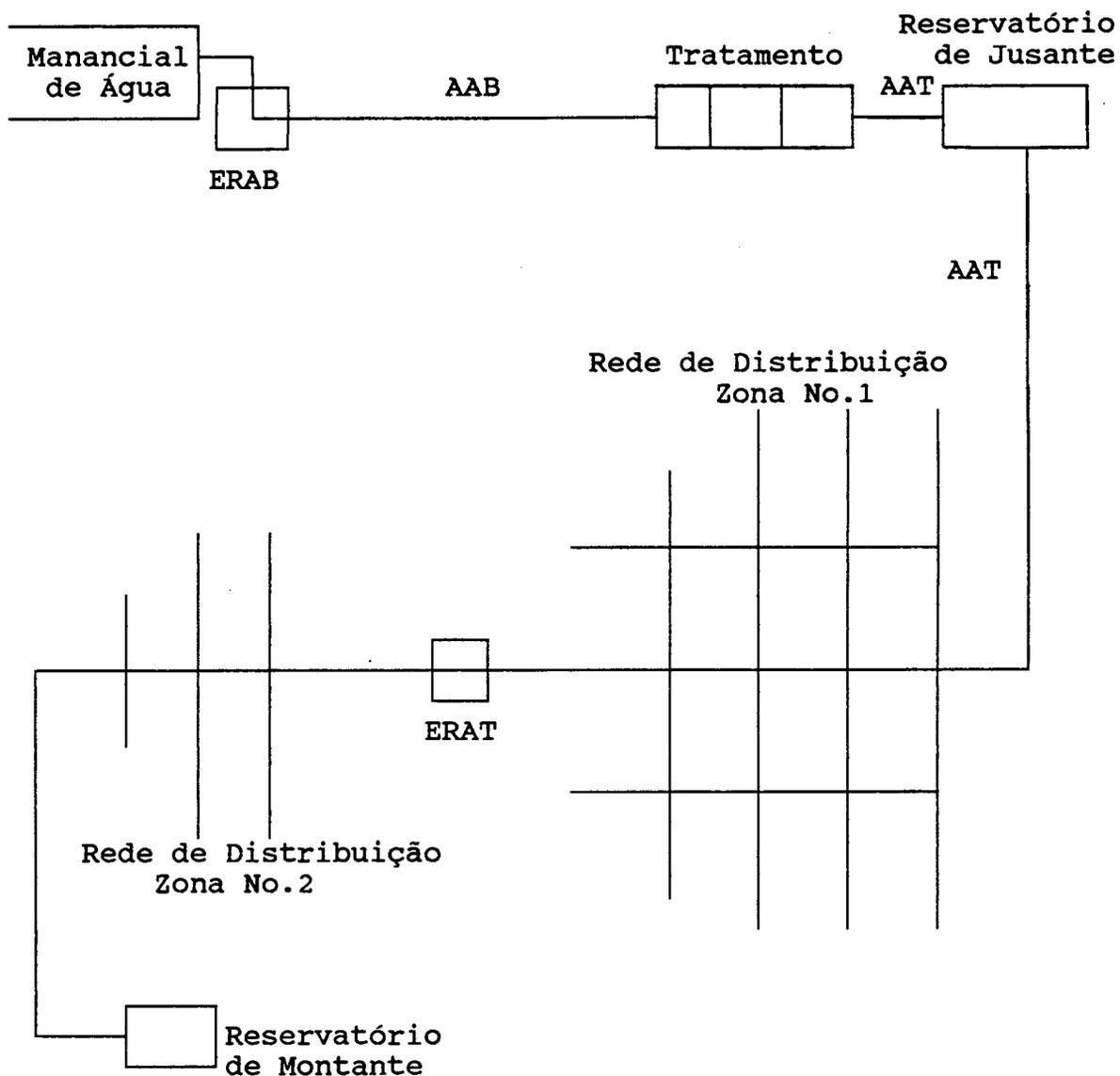
A primeira fase do estudo requer a identificação das partes componentes do sistema de abastecimento de água para o qual se pretende efetuar o estudo de expansão.

As partes básicas que compõem ou configuram geralmente um sistema de abastecimento público de água é semelhante ao esquema apresentado na figura 3.2 a seguir.

Os sistemas podem apresentar esta configuração do esquema com maior ou menor número de partes componentes. Isto depende da disponibilidade e disposição de mananciais de água, características topográficas da região e da distribuição geográfica da população a ser abastecida. Por isso, embora utilize dos mesmos critérios técnicos de solução, os sistemas de abastecimento de água apresentarão características próprias do local.

Para poder ser feita a análise de expansão dos sistemas de abastecimento de água, a metodologia foi conduzida de forma que se efetuasse o estudo individual de cada componente básico do sistema.

Na figura 3.3, a seguir, estão apresentados de forma esquemática os componentes básicos do sistema de abastecimento de água, objeto do presente estudo.



ERAB = Estação de Recalque de Água Bruta;
 ERAT = Estação de Recalque de Água Tratada;
 AAB = Adutora de Água Bruta;
 AAT = Adutora de Água Tratada;

Figura 3.2. Esquema de um Sistema Urbano de Abastecimento de Água.

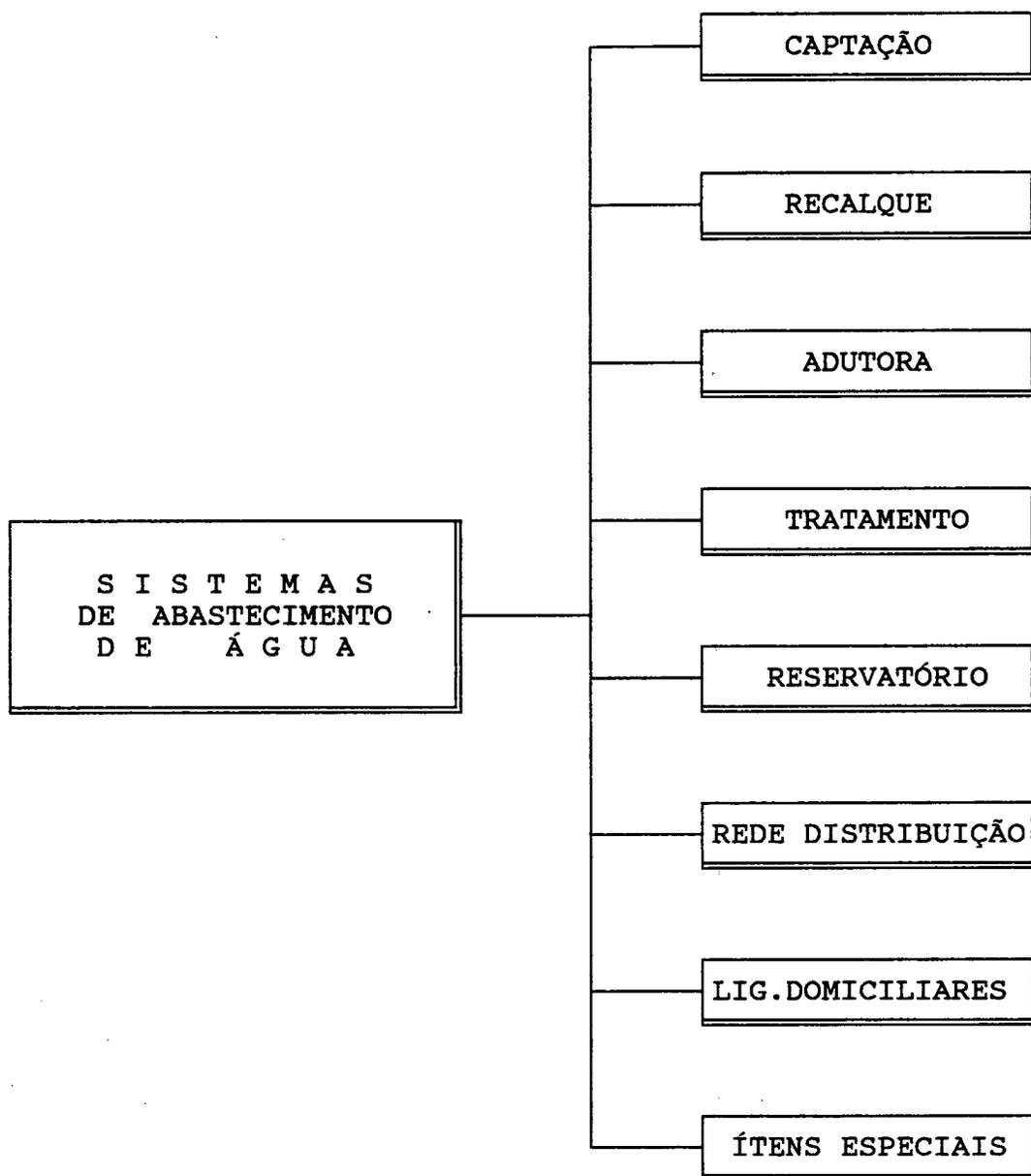


Figura 3.3. Esquema dos Componentes Básicos do Sistema de Abastecimento de Água.

A seguir está apresentada uma descrição mais detalhada dos componentes do sistema de abastecimento de água para uma maior compreensão e entendimento do leitor.

Captação: É o componente que compreende as instalações necessárias para a tomada de água dentro do manancial. Fazem parte deste componente os dispositivos de proteção de crivos e as barragens de níveis.

Recalque: É a instalação necessária para recalcar a água bruta (in natura) ou água tratada de um nível para outro. A instalação é composta por um ou mais conjuntos moto-bombas com quadros de comandos que é protegida por uma edificação. Na maioria das estações de recalques existe o poço de sucção.

Adutora: É a tubulação que tem a função de transportar a água bruta do manancial até a estação de tratamento, ou a água tratada para o reservatório de distribuição. Em geral não faz distribuição de água direta aos consumidores.

Tratamento: É a instalação que processa o tratamento da água. Além dos dosadores de produtos químicos, misturadores, floculadores, decantadores e filtros existem tanques de contato e a casa de química.

Reservatório: É a instalação encarregada de armazenar a água tratada para garantir os piques de consumo e facilitar a distribuição da água.

Rede de distribuição: são as tubulações que conduzem a água tratada para ser distribuída ao consumidor.

Ligações Domiciliares: São instalações que conduzem a água da tubulação da rede de distribuição até a parte interna do imóvel do consumidor, isto é, até o limite do cavalete onde deve ser instalado o hidrômetro. O hidrômetro faz parte da ligação domiciliar.

Ítems Especiais: São incluídos neste componente as obras especiais como travessias de adutores e redes de distribuição, obras com urbanização e melhorias de algumas partes existentes que podem ser reaproveitadas etc.

2. Modelo de Expansão

O modelo de expansão de sistemas de abastecimento de água desenvolvido neste estudo está de acordo com a segunda concepção básica dos estudos realizados: determinação da capacidade ótima de expansão, item 6 do capítulo II, satisfazendo dado incremento de demanda sobre um determinado período e minimizando o valor presente dos custos de construção e operação. Para este modelo de expansão a demanda de consumo é considerada sempre crescente, e pode ser linear ou não.

2.1. Variáveis de Demanda e de Capacidade

Uma vez definida a configuração do sistema, torna-se necessária a definição das características de demanda e conseqüentemente da capacidade necessária a ser instalada para o suprimento do consumo. Logo, as variáveis que caracterizam a expansão dos sistemas de abastecimento de água são determinantes do modelo de expansão.

As entradas do modelo são as variáveis que definem capacidade mínima e a demanda futura do sistema de abastecimento de água. Estas variáveis são: capacidade instalada existente, população inicial, taxa de crescimento populacional, consumo per cápita, coeficiente de consumo máximo diário e consumo máximo horário.

Um projeto implementado em um dado ano "t" deve satisfazer o incremento de demanda em cada ano a partir deste ano, absorvendo o aumento de demanda sobre o ano t-1 até que sua capacidade seja

saturada por um incremento de demanda em algum ano futuro denominado ano "s". Seja X_t a capacidade do projeto instalado no início do ano "t". Para redefinir X_t é introduzido um símbolo mais específico: $X_{t,s}$ onde $s = t, t+1, \dots, T$ o qual representa a capacidade que exatamente satisfaz a capacidade incremental requerida para o ano "s" sobre o requerido para o ano t-1 e é dado por

$$X_{t,s} = V_s - V_{t-1} \quad (11)$$

Em que:

$$t = 1, \dots, T$$
$$s = t, \dots, T$$

" V_s " e V_{t-1} são respectivamente vazão de saturação do ano "s" e vazão existente no ano t-1.

2.2. Considerações dos Custos no Modelo

O custo total do sistema de abastecimento urbano de água será entendido como o somatório do custo de construção (implementação ou capital) e custo de operação (operacional e manutenção).

O cálculo do valor presente do custo de construção de uma expansão efetivada, dentro de um processo de financiamento, está apresentado a seguir.

Seja o esquema abaixo para a forma de desembolso de recursos para custear a execução das obras com um período de carência " t_c ",

e um período de amortização do financiamento "ta". O custo de construção de uma planta com capacidade Xt,s é c(Xt,s).

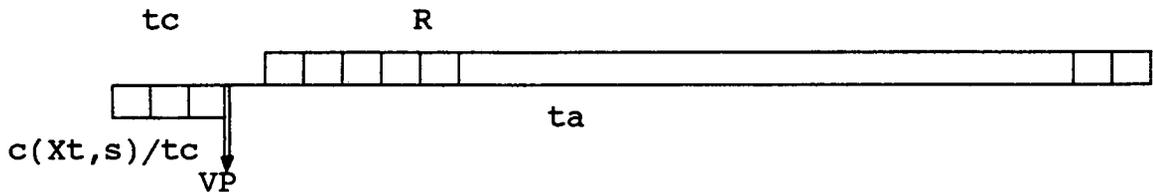


Figura 3.4. Esquema do Fluxo de Recursos de Desembolso e Pagamento de Financiamento.

Considerando que os recursos de custeio ou investimento sejam desembolsados em uma série permanente, $c(X_{t,s})/tc$, e que estes recursos sejam amortizados com taxa de juro "j", também, através de uma série permanente, então, o valor presente dos custos de construção poderão ser calculados pela taxa mínima de atratividade "TMA" para o ano "t". Este valor pode ser obtido pela equação abaixo.

$$C(X_{t,s}) = R \frac{[(1+TMA)^{t_a} - 1]}{(1+TMA)^{t_a}} TMA \quad (12)$$

Em que:

$$t = 1, \dots, T$$

$$s = t, \dots, T$$

"R" é a série permanente de pagamento do financiamento e é dada pela equação abaixo.

$$R = VP_b (1+j)^{t_a j} / [(1+j)^{t_a} - 1] \quad (13)$$

Onde "VPb" é o valor equivalente no início do ano "t" dos recursos desembolsados durante o período de construção (carência), cujo montante resulta na série permanente "R".

O valor de "VPb" é dado pela equação abaixo.

$$VP_b = \frac{C(X_{t,s})}{t_c} \frac{[(1+j)^{t_c} - 1]}{(1+j)^{t_c j}} (1+j)^{t_c} \quad (14)$$

Substituindo a equação 14 na 13, e a equação 13 na 12, o valor presente do custo total de construção descontado para o início do ano "t", é dado pela equação 15.

$$C(X_{t,s}) = \frac{C(X_{t,s})}{TMA t_c} \cdot \frac{(1+j)^{t_c} - 1}{1 - 1/(1+j)^{t_a}} \cdot \left[1 - \frac{1}{(1+TMA)^{t_a}} \right] \quad (15)$$

Em que:

$$t = 1, \dots, T$$

$$s = t, \dots, T.$$

Assumiu-se que os custos anuais de operação de um sistema de abastecimento de água possam ser, aproximadamente, determinados pela demanda média no período "t" e considerados cobrados no meio de cada período.

Os custos de operação são variáveis de ano para ano, e influenciados pela taxa de uso do sistema de abastecimento de água

"U". As taxas de uso do sistema com capacidade $X_{t,s}$ aumentam anualmente de "t" até atingir o ano "s", quando uma nova expansão determinará uma nova relação para a taxa de uso, isto é, a demanda estará relacionada a uma nova capacidade instalada.

O valor do custo de operação, $c'(X_{t,s})$, de um ano "t" qualquer, é calculado pela média aritmética dos custos de operação, $c_o(X_{t-1,s})$, do final do ano t-1 e do custo, $c_o(X_{t,s})$, do final do ano "t", o qual deverá ser corrigido para o início do ano "t". A equação para determinar o valor do custo de operação para o início do ano é dado abaixo.

$$c'(X_{t,s}) = (1+TMA)^{0.5} \frac{c_o(X_{t,s}) + c_o(X_{t-1,s})}{2} \quad (16)$$

Em que:

$$\begin{aligned} t &= 1, \dots, T \\ s &= t, \dots, T. \end{aligned}$$

O valor presente do custo total de operação resultante da série de custos anuais, ao longo do horizonte de projeto, iniciados no ano "t" e descontado para o início de cada ano é dado por

$$C'(X_{t,s}) = \sum_{t=1}^T (1+TMA)^{-(t-1)} \cdot c'(X_{t,s}) \quad (17)$$

em que:

$$\begin{aligned} t &= 1, \dots, T \\ s &= t, \dots, T. \end{aligned}$$

O custo total de um sistema de abastecimento de água, resultante dos custos de construção e de operação, $P(X_t,s)$, será dado pela equação 18, resultante do somatório das equações 15 e 17.

$$P(X_{t,s}) = C(X_{t,s}) + C'(X_{t,s}) \quad (18)$$

O desenvolvimento da estrutura de custo, propriamente dita, para aplicação no presente modelo está apresentado no capítulo quatro.

2.3. Formulação da Programação Dinâmica

A programação dinâmica a ser usada para este estudo seguirá a formulada por Bellman (1957). Ela é escrita seguindo relações recursivas entre os resultados de duas seqüências de decisões iniciando no ano "t" e ano "t+1":

$$A(t) = P(X_{t,s}) + (1+TMA)^{-1}A(t+1) \quad (19)$$

onde

$$\begin{aligned} t &= 1, \dots, T \\ s &= t, \dots, T \end{aligned}$$

"A(t)" é o valor presente total descontado de construção e dos

custos de operação da planta instalada no ano "t" e $A(t+1)$ é o total descontado para a planta instalada no ano "t+1" e assim por diante.

Desde que não exista expansão além do ano T, pode-se escrever $A(t) = 0$ onde $t = T+1$. O objetivo proposto é determinar a melhor capacidade X_t, s_t para a planta instalada no ano "t" que minimize o valor presente dos custos descontados $A(t)$. Quando uma alternativa de mínimo custo é selecionada numa interação de decisão, a equação 19 é recolocada por $A'(t)$, $A'(t+1)$ e s' representando estes valores um ótimo $A(t)$, $A(t+1)$ e s :

$$A'(t) = P(X_{t, s'_t}) + (1+TMA)^{-1}A'(t+1) \quad (20)$$

em que

$$t = 1, \dots, T.$$

Usando a equação 20, inicia-se no ano T e determina-se o ótimo x_{T, s'_T} onde s'_T é um ótimo "s" para $t=T$. Então é determinada a capacidade para o ano T-1 e assim por diante. O trabalho é regressivo, iniciando no último ano, T, vindo até o ano do início de implantação. Assim, para cada ano é determinada uma capacidade ótima. Quando é computado $A'(1)$ e determinado x_{T, s'_T} , tem-se, finalmente, obtido uma solução ótima completa para o problema. O processo retroativo pode ser explicado, etapa por etapa, pelas equações a seguir:

$$\begin{aligned} A'(T) &= P(X_{T, s'_T}) \\ A'(T-1) &= P(X_{T-1, s'_{T-1}}) + (1+TMA)^{-1}A'(T) \\ &\vdots \\ A'(2) &= P(X_{2, s'_2}) + (1+TMA)^{-1}A'(3) \\ A'(1) &= P(X_{1, s'_1}) + (1+TMA)^{-1}A'(2) \end{aligned} \quad (21)$$

onde:

$A'(1)$ = solução ótima completa para o problema;

$A'(2)$ = solução ótima de decisão no 2o. ano do plano;

$A'(T)$ = solução ótima de decisão no último ano do plano;

Existem dois casos possíveis, considerando a capacidade existente, para cada ponto de evolução. Primeiro, a capacidade satisfaz a demanda requerida e uma nova planta não é necessária até o ano "r". Segundo, a capacidade é insuficiente e uma nova planta é requerida para este ponto. No primeiro caso a equação 20 pode ser simplificada para

$$A'(t) = (1+TMA)^{-r+t} A'(r) \quad (22)$$

em que:

$$t = 1, \dots, T$$

$$r = t+1, \dots, T$$

No segundo caso, a capacidade $X_{t,s'}$, da nova planta, torna necessária a instalação de uma outra planta antes do ano $s'+1$. Como os anos $t=1, \dots, s'-1, s'$ pertencem ao primeiro caso (equação 22), o segundo caso pode substituir a equação 20 por:

$$A'(t) = P(X_{t,s'}) + (1+TMA)^{-(s'+1-t)} A'(s'+1) \quad (23)$$

onde:

$$t = 1, \dots, T$$

Desde que s' , na equação 23, é selecionado de valores alternativos de s ($s=t, t+1, \dots, T$) para minimizar $A(t)$, a equação 23 pode ser reescrita como

$$A'(t) = \text{Mínimo} \left(\begin{array}{l} s=t: P(X_{t,t}) + (1+TMA)^{-1}A'(t+1) \\ s=t+1: P(X_{t,t+1}) + (1+TMA)^{-2}A'(t+2) \\ \vdots \\ s=T-1: P(X_{t,T-1}) + (1+TMA)^{-T+t}A'(T) \\ s=T: P(X_{t,T}) \end{array} \right) \quad (24)$$

onde: $t = 1, \dots, T$

Através das equações 21, 22 e 24 completa-se a formulação da programação dinâmica para o problema de otimização da capacidade de expansão de uma planta de sistema urbano de abastecimento de água.

3. Minimização de Custos para uma Política de Expansão

A análise da política de expansão, neste trabalho, é realizada sob a ótica das alternativas tecnológicas que apresentem os menores custos de produção. Entretanto, num processo mais abrangente de avaliação, torna-se necessário o acréscimo de outras variáveis não tangíveis que aqui não estão contempladas. Porém, o

presente modelo desenvolvido permite a análise dos custos de produção, imprescindíveis na primeira etapa de uma avaliação global para tomada de decisão.

Segundo a bibliografia revisada, os estudos de minimização de custos dos sistemas de abastecimento de água têm se limitado a uma função de custo global com um fator de economia de escala que reflete todos os efeitos de escala dos componentes do sistema.

Considerando que os fatores de economia de escala dos subcomponentes são diferentes e que os períodos de expansão possam ser diferentes, a minimização dos custos do sistema explorando as economias de escala dos componentes individualmente, pode representar uma maior redução nos custos de implantação ao se expandir o sistema.

As partes componentes do sistema de abastecimento de água, portanto, serão analisadas e otimizadas individualmente. A metodologia define, então, uma política de expansão própria para cada componente. As etapas e capacidades de cada componente são independentes umas das outras. A única condição estabelecida é ter a capacidade mínima necessária para suprir a demanda.

O custo de construção da estação de tratamento é otimizado em conjunto com os custos de operação, isto é, a minimização do custo da estação de tratamento é resultado, também, dos custos de operação do sistema.

Para a utilização deste modelo de análise de expansão de sistemas de abastecimento de água foi desenvolvido um programa computacional, em linguagem Pascal, apresentado no anexo 23, cujo fluxograma físico está apresentado na figura 3.5 a seguir.

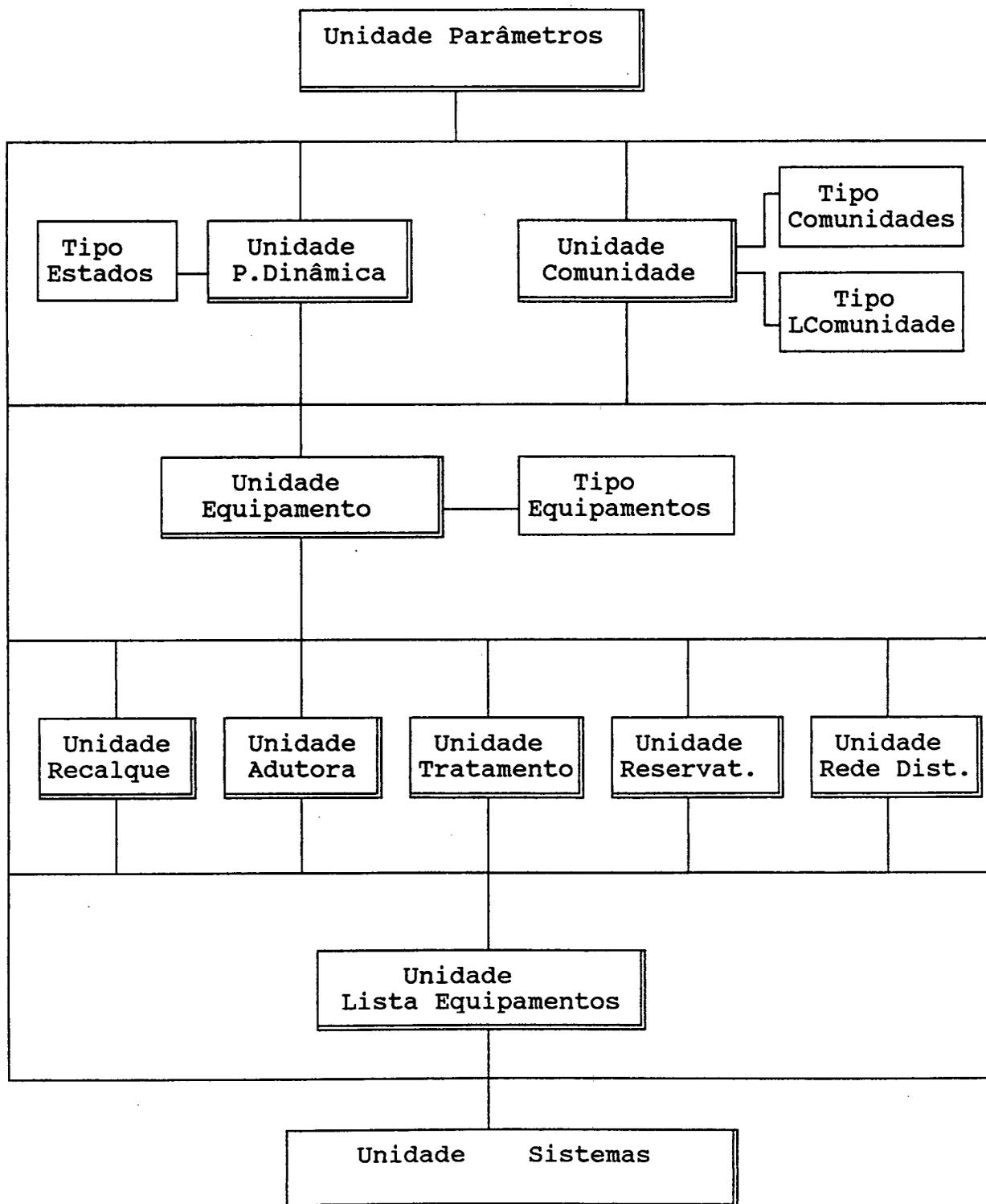


Figura 3.5. Fluxograma Físico do Programa de Expansão de Sistemas

As unidades comunidades, programação dinâmica e equipamento, possuem objetos tipos, os quais têm atributos e procedimentos próprios. Os inter-relacionamentos das unidades se processam de acordo com o esquema apresentado acima. As unidades referentes aos componentes do sistema, unidade de recalque, unidade de adutora, unidade de tratamento, unidade de reservatório e unidade de rede de distribuição, possuem um objeto tipo ancestral (tipo equipamentos) de onde herdam também os atributos e procedimentos.

Unidade Parâmetros:

Identifica os parâmetros de entrada do programa e arquiva a matriz de custo ótimo para todos os estados possíveis gerados pelo plano de expansão.

Unidade Comunidades:

Identifica, na unidade parâmetros, os dados de população inicial, taxa de crescimento, consumo per-cápita, horizonte do plano e consumo máximo horário. Possui dois objetos-tipo, comunidades e listas de comunidades. No primeiro, calcula para cada comunidade, a demanda necessária ano a ano até o final do plano de expansão (horizonte de projeto). No segundo, realiza uma lista do conjunto de comunidades que formam o sistema com as respectivas demandas.

Unidade Programação Dinâmica:

Escolhe a melhor ação para cada estado definido pelo plano de expansão, isto é, seleciona para cada estado a ação de expansão de custo mínimo.

Unidade Equipamento:

Possui um objeto tipo equipamento que identifica os componentes do sistema com as respectivas comunidades e capacidades existentes. Constrói o plano de expansão para cada componente e obtém o custo de ampliação ótimo do plano para cada estado.

Unidade Recalque:

Identifica as estações de recalques com os respectivos dados, isto é, capacidade existente, altura manométrica e comunidades. Identifica, também, a necessidade de demanda para cada comunidade, já processada, na unidade comunidade. Através do objeto tipo (equipamentos) são calculados os respectivos custos para cada estação de recalque de acordo com o plano de expansão já estabelecido. O mesmo processo ocorre de maneira semelhante para as demais unidades como: adutora, tratamento, reservatório e rede de distribuição.

Unidade Lista de Equipamentos:

Esta unidade processa uma lista das ações ótimas dos planos de expansão de cada unidade componente do sistema.

Unidade Sistemas:

Aglutina os resultados processados e listados para gerar o plano global ótimo do sistema que minimiza o custo total.

No próximo capítulo será desenvolvida a estrutura de custos de construção e operação. Os modelos matemáticos das funções de custos gerados, integrarão o modelo de expansão e terão suas variáveis definidas pelos dados de entrada do modelo de expansão.

4. Amostragem para a Aplicação do Modelo de Expansão

Os sistemas de abastecimento de água adotados para a aplicação do modelo de expansão foram selecionados dentre os que são administrados pela Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (CASAN), no Estado de Santa Catarina.

Esta empresa administra aproximadamente 217 sistemas, os quais representam cerca de 90% dos sistemas existentes no estado. A figura 3.6 apresenta a identificação e localização geográfica dos sistemas selecionadas para o presente estudo.

Em razão das características das cidades do Estado de Santa Catarina a maioria dos sistemas são de pequeno e médio porte.

Na tabela 3.1, abaixo, pode ser verificado que apenas 7% dos sistemas possuem capacidade de produção acima de 100 l/s. Do total dos sistemas existentes, 76% estão com capacidade abaixo de 20 l/s.

Pode ser também comparado o número de sistemas com tratamento completo em relação à capacidade. Esta relação mostra que a grande maioria dos sistemas possuem tratamento completo. Mesmo nos menores sistemas, abaixo de 5 l/s, a implantação de tratamento completo já se fez necessária em 35% dos sistemas devido a não preservação dos mananciais.

Tabela 3.1. Perfil dos Sistemas de Abastecimento de Água (CASAN)

CAPACIDADE l/s	NÚMERO DE SISTEMAS DE ÁGUA			
	Total	%	c/ Tratamento Completo	%
0.0 a 5.0	65	30	23	35
5.1 a 10.0	49	23	33	67
10.1 a 20.0	51	23	39	76
20.1 a 50.0	23	11	17	74
50.1 a 100.0	14	06	12	86
100.1 a 160.0	08	04	08	100
160.1 a 500.0	04	02	04	100
Acima de 500.0	03	01	03	100
T O T A L	217	100	139	100

Fonte: Relatório de Dados Operacionais -CASAN- 1993

Os sistemas de abastecimento de água selecionados para a realização do estudo de expansão estão destacados no mapa da figura 3.6 e estão relacionados no quadro 3.1 a seguir com dados da população existente abastecida e capacidade expandida à época da realização dos respectivos projetos de ampliação.

Os sistemas abrangem todas as regiões do Estado e suas capacidades projetadas variam de 3 a 160 l/s e podem representar a maioria das cidades do Estado de Santa Catarina.

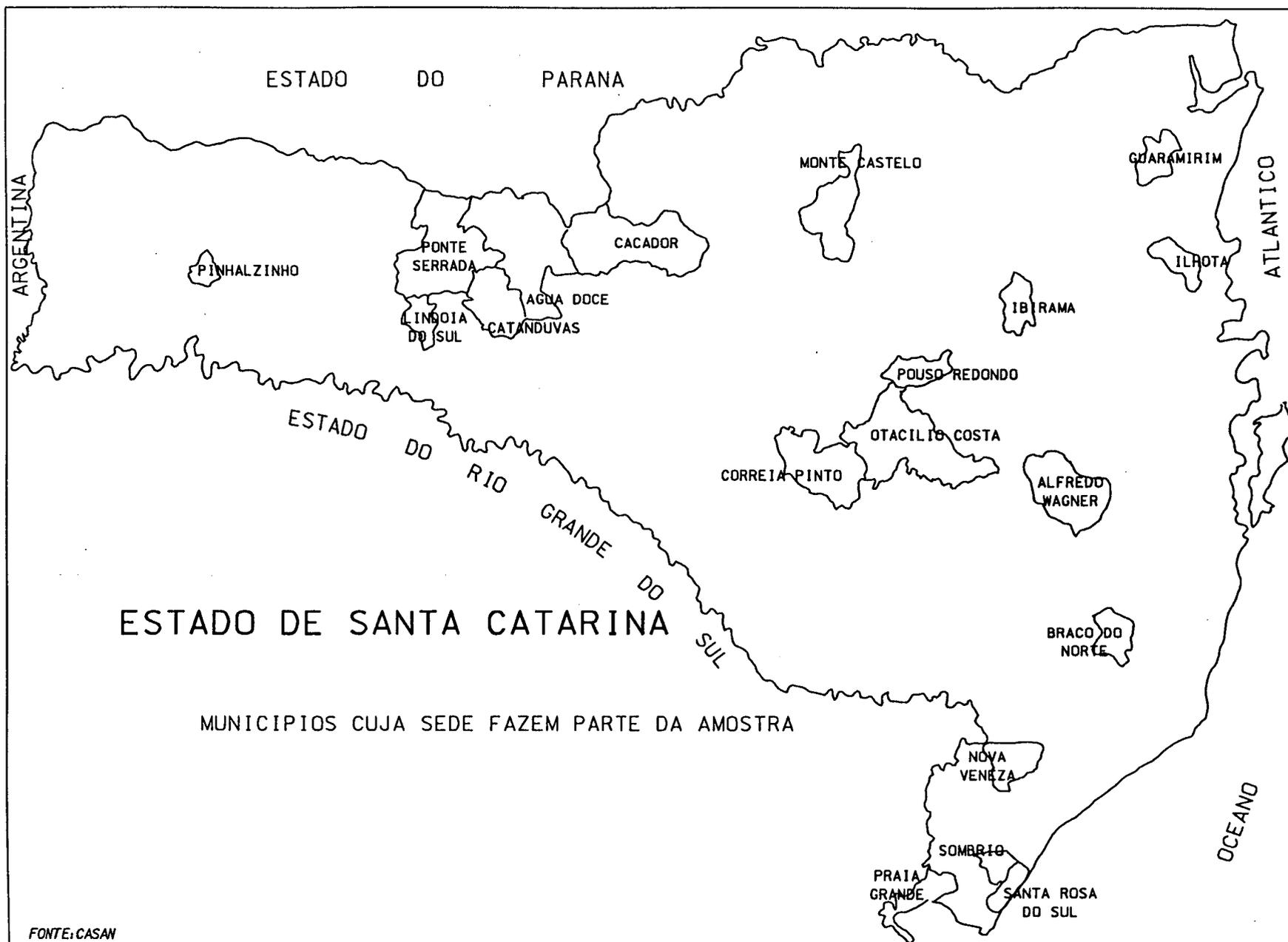


Fig. 3.6. MUNICIPIOS CUJAS SEDES FAZEM PARTE DA AMOSTRA

Quadro 3.1. Cidades para as quais será feita a Análise de Expansão

C I D A D E S	População Inicial Abastecida	Taxa Cresc. (%)	Capacidade Existente	Capacidade Após Expansão	Ano Projeto
Palmeiras	622	4.54	0.00	3.15	06/82
Lindóia do Sul	1000	4.47	0.00	5.00	12/81
Pedra de Amolar	1704	3.38	0.00	6.90	03/83
Ilhota	1732	3.53	3.61	7.22	04/83
Nova Veneza	1484	4.62	0.00	7.36	06/80
Monte Castelo	2154	3.70	3.20	9.28	06/84
Alfredo Wagner	2175	3.71	4.50	9.40	04/85
Praia Grande	2325	5.00	0.00	12.87	01/81
Água Doce	2071	5.77	3.50	13.16	06/83
Ponte Serrada	1968	6.53	0.00	14.53	09/80
Pouso Redondo	3168	4.76	4.66	16.73	07/83
Pinhalzinho	5087	3.72	11.50	22.00	05/85
Guaramirim	4964	5.09	9.30	27.89	09/81
Catanduvas	5138	5.90	11.34	33.69	12/91
Correia Pinto	8354	3.72	16.50	36.14	08/88
Otacílio Costa	9510	3.72	20.00	41.10	09/84
Sombrio	12378	3.07	12.64	47.21	05/90
Braço do Norte	7206	6.20	18.81	50.00	04/90
Ibirama	10199	5.10	13.44	60.00	06/86
Caçador	22899	4.72	60.00	160.00	06/90

Fonte: Projetos Arquivados na Companhia Catarinense de Águas e Saneamento.

CAPÍTULO IV

ESTRUTURA DE CUSTOS

Neste capítulo é abordada a questão de custos de construção e de operação de sistemas de abastecimento de água. Inicialmente foi procurado passar ao leitor, como os pesquisadores têm associado estimativas de custos às variáveis de capacidade. Na seqüência é apresentada a estrutura de custos existente para apropriar preços. Com base nestas informações são propostos e desenvolvidos os modelos matemáticos de custos que incluem variáveis de capacidade para as quais são pesquisadas a existência de economia de escala e possam expressar os custos de produção.

O objetivo principal deste capítulo é a obtenção dos modelos matemáticos que caracterizem a estrutura de custos de construção e de operação que possibilitem a definição de uma função de produção. Esta função de produção é uma peça fundamental para o modelo de expansão apresentado no capítulo anterior.

As variáveis adotadas para definir os modelos de custos são de fácil obtenção, sendo possível obtê-las já na fase preliminar de planejamento tornando-se desnecessário o desenvolvimento do projeto para quantificar os serviços para definir custos de construção e a contabilização dos custos operacionais. A indexação de custos às variáveis de capacidade possibilita a estimativa de custo para qualquer período de projeto de forma contínua num horizonte de expansão para uma determinada configuração do projeto.

1. Estimativas de Custos

Planejadores, pesquisadores e órgãos de financiamento da área de saneamento no Brasil se defrontam com o grande problema de ausência de estudos de custos que possibilitem um referencial dinâmico para avaliação na tomada de decisão.

Estimativas de custos são freqüentemente baseadas em simples variáveis representando algumas medidas de projeto, tais como: áreas construídas de edificações, comprimento de tubulações, volumes estocados de água, volume de produção de água etc. Custos nem sempre variam linearmente com a variação da quantidade produzida. Normalmente, economias e deseconomias de escala existem. Se o custo médio por unidade de capacidade é decrescente, então existe economia de escala. Por outro lado, se os custos médios unitários aumentam, ocorre a deseconomia de escala. Estudos baseados em dados históricos têm sido realizados para comprovar a economia de escala mostrando assim que é possível obter vantagens de custos mais baixos por unidade de capacidade (Orlob e Lindorf,1958; Koenig,1967; Eliassen,1967; Clark e Morand,1981; Clark,1987).

Custos unitários de produção de água decrescentes com o aumento de capacidade têm sido a tendência predominante nos resultados da aplicação de tecnologias adotadas no abastecimento de água. Tanto os custos unitários de construção, como os de operação e manutenção, apresentam estas características.

Orlob e Lindorf(1958) teorizaram sobre custos de construção como uma função de uma variável explanatória, isto é, a capacidade da estação de tratamento de água:

$$Y=KX^a \quad (25)$$

na qual "Y" representa o custo de construção de um sistema de tratamento; "X" é a capacidade instalada do tratamento; "K" e "a" são constantes definidas na equação pelos dados históricos de custos. "K" pode ser interpretado como uma constante de custo e "a" como o fator de economia de escala.

Pesquisas posteriores de Koenig (1967) e Hirohide Hinomoto (1971) reafirmam a teoria de Orlob e Lindorf chegando a resultados semelhantes para custos de construção, operação e manutenção de estações de tratamento de água.

2. Estrutura de Custo segundo o Planasa

O parágrafo a seguir sumariza o procedimento seguido pela Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (CASAN) para a elaboração de orçamentos.

Após a aprovação dos estudos de definição de manancial e de projetos preliminares são elaborados os projetos executivos de implantação do sistema cujo orçamento segue o Manual de Regulamentação de Preços e Critérios de Medição da CASAN. Este manual tem por objetivo definir quais os serviços e materiais que estão inclusos nos preços especificados em orçamentos das obras a contratar. O manual visa também facilitar o entendimento entre a fiscalização e o empreiteiro no que se refere às medições de serviços para pagamento.

Todos os preços unitários ou globais serviços incluem em sua composição os custos relativos a materiais, mão-de-obra, veículos, equipamentos, ferramentas, aparelhos, instrumentos, água, esgoto, energia elétrica, segurança e ônus diretos e indiretos necessários à execução da obra.

Os custos dos serviços são apropriados por partes componentes do sistema segundo a metodologia adotada pelo PLANASA (BNH-

DEPEA,1983). Os custos são discriminados por obras civis, materiais e equipamentos hidráulicos como mostrado na tabela 4.1, a seguir.

Tabela 4.1. Distribuição de Custos de Construção por Componentes do Sistema Urbano de Abastecimento de Água.

Componentes do Sistema	Obras Civis	Equip.Hidr.	Materiais Hidr.
Captação			
Estação de Recalque (ERAB)			
Adutora (AB)			
Tratamento			
Estação de Recalque (ERAT)			
Adutora (AT)			
Reservatório			
Rede de Distribuição			
Ligações Domiciliares			

São incluídos nesta metodologia os custos diretos e BDI (Benefícios e Despesas Indiretas). Não estão incluídos custos com desapropriações de terrenos e compra de imóveis os quais são repassados às prefeituras municipais.

3. Licitação para a Execução da Obra

Após a análise e aprovação do projeto executivo pelos vários departamentos da empresa de saneamento o projeto é encaminhado para a aprovação do agente financeiro. Dado o aval de liberação dos recursos necessários para a execução da obra a companhia de saneamento inicia dois processos distintos de licitação, uma para contratação dos serviços das obras civis, realizada entre os empreiteiros, e a outra para compra de materiais e equipamentos hidráulicos, realizada entre os fornecedores.

As licitações para compra de materiais e equipamentos são realizadas por lotes os quais podem ser resultantes de quantitativos de vários projetos. O controle dos desembolsos com estas despesas são em geral feitos de forma global, uma vez que pode haver o remanejamento de materiais e equipamentos de uma obra para outra. Esta situação impossibilitava a correta apropriação de custos de materiais para cada obra.

Concluídas as licitações, os materiais e equipamentos hidráulicos são estocados e repassados aos empreiteiros de acordo com a fiscalização da Casan e a evolução da execução da obra.

4. Visão Apriorística da Estrutura de Custo de Produção

Com objetivo básico de analisar a capacidade de expansão de sistemas de abastecimento de água, neste capítulo, procurou-se a obtenção de uma estrutura de custo, cujo resultado final, apresentasse a seguinte equação:

$$Y_p = [(Y_1 + Y_2 + Y_3 + X_4 + Y_5 + Y_6) / c] + (Y_p + Y_e + Y_m + Y_s) \quad (26)$$

na qual, o custo de produção (Y) de um sistema de abastecimento de água é determinada pelos modelos de custos de construção Y1, Y2, Y3, Y4, Y5 e Y6 e modelos de custo de operação Yp, Ye, Ym e Ys.

Para a obtenção dos modelos matemáticos de custos mencionados, foram analisados os custos abaixo relacionados e que constam dos itens a seguir:

- Estações de Recalque de Água (Y1);
- Adutoras de Água em PVC (Y2) e Adutoras de Água em ferro fundido (Y3);
- Tratamento de Água (Y4);
- Reservatório de Água (Y5);
- Rede de Distribuição de Água (Y6);
- Sub-grupo Despesas de Pessoal (Yp);
- Sub-grupo Despesas com Energia Elétrica (Ye);
- Sub-grupo Despesas de Materiais para Tratamento (Ym);
- Sub-grupo Outras Despesas (Ys);

Nos custos de construção a parte referente aos custos com a captação, ligações domiciliares e itens especiais pode ser incluída na função de produção como um percentual (c) do custo global de construção do sistema, principalmente em casos de pequeno valor relativos para estes itens.

5. Modelo Matemático das Funções de Custos de Construção

Os dados históricos para a realização do estudo dos modelos de custos de construção foram obtidos de projetos realizados pela Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (CASAN). Os dados

expressam os padrões tecnológicos adotados pelo PLANASA (Plano Nacional de Saneamento). Os projetos foram executados num período que corresponde ao final da década de 70 e ao início da década de 90. Foram consultados mais de 150 projetos e selecionados os que apresentavam maiores semelhanças técnicas e variações de capacidade. Por exemplo, procurou-se computar projetos de tratamento que apresentassem todas as fases de tratamento (tratamento completo) e com capacidades diversificadas; reservatórios apoiados de concreto para diversos volumes de reservação e assim por diante. Desta seleção obteve-se para algumas partes do sistemas maior quantidade de dados e para outras menos. Cabe ressaltar que, embora haja semelhança técnica, sempre existirão diferenças de uma obra para outra. É impossível conseguir uma homogeneização perfeita seja em tipos de serviços ou quantidades de serviços para um projeto de mesma capacidade. As condições locais, de natureza física ou econômica, podem ser diferentes. Procurou-se eliminar algumas amostras que apresentavam custos fora da normalidade, por exemplo, reservatório apoiado cuja implantação requereu um volume muito grande de escavação em rocha, estações de recalques cuja rede de energia elétrica tinha extensão elevada etc. Os dados foram extraídos dos orçamentos analíticos dos projetos. Considerou-se, para efeito deste estudo, os custos obtidos na época da efetiva realização do projeto. Portanto, os modelos matemáticos das funções de custo estão, realmente, representando o comportamento dos custos ao longo dos anos. Como o período analisado corresponde a um tempo superior a 10 anos, expressa o comportamento médio dos custos ao longo do período e não o custo médio baseado nos custos de insumos de um período em particular. Optou-se por esta alternativa em razão da análise de expansão que se pretende fazer. Os modelos de custos obtidos servirão como indicadores de decisões de planejamento e estudo de comportamento e não necessariamente para definir custos de um determinado projeto em um determinado ponto no tempo.

A análise de custos de insumos e serviços no Brasil tem sido dificultada em razão do processo inflacionário e das alterações do padrão monetário. A partir de março de 1986 houve o agravamento desta instabilidade em razão dos choques econômicos provocados pelo

governo. Para homogeneização dos valores monetários dos custos, foram estes transformados para cruzados equivalentes a março de 1986. Considerou-se, também, a quantidade em dólar equivalente neste período (1 dólar igual a Cz\$ 13,84). O índice adotado para fazer esta homogeneização foi IGP-DI (Índice Geral de Preço-Disponibilidade Interna) da Fundação Getúlio Vargas.

Os modelos matemáticos foram adotados e ajustados pelos dados históricos para cada uma das partes dos componentes do sistema, utilizando-se análises de regressão linear simples e múltiplas, com a utilização de software estatístico.

O índice R^2 , quadrado do índice de correlação, é apresentado como um parâmetro para medir a intensidade da correlação uma vez que mede a razão entre variação explicada do custo e a variação total de custo quando realizado o ajustamento da curva de regressão.

A seguir estão reportados os modelos de custos ajustados.

5.1. Captação de Água

O subsistema captação tem sido feito através de várias alternativas técnicas tais como:

- Superficial, em barragem de acumulação de concreto;
- Superficial, em barragem de acumulação de terra;
- Superficial, em barragem de nível de concreto;
- Tomada direta com flutuante;
- Tomada direta com tubulação;
- Canal de derivação;
- Subterrânea de poço Amazonas (poço de água de superfície);
- Subterrânea de poço profundo, solo sedimentar;
- Subterrânea de poço profundo, solo cristalino;

Diante deste número de soluções possíveis, bem distintas uma das outras, não se conseguiu dados suficientes para definir uma

função a cada uma delas. Também não foi possível aglutiná-las em uma única função. Portanto os custos de captação terão que ser analisados individualmente para cada situação ou ser computados como uma taxa de custo proporcional ao valor global do sistema.

Após realizados levantamentos dos dados existentes em orçamentos da CASAN para a consideração dos custos com captação, ligações domiciliares e obras especiais (urbanização, linhas de transmissão, automatização, travessias, válvulas ou caixas de quebra-pressão, desapropriação, escritórios, canteiros de obras, sub-estação, pequenas melhorias em instalações existentes) foi verificado que estes custos representam em relação ao custo global da obra:

Instalações para a Captação	: 1,5 a 2,5%
Ligações Domiciliares	: 3,0 a 5,0%
Ítems Especiais	: 7,0 a 12,0%

5.2. Estação de Recalque de Água

O modelo da equação de custo estudada para as estações de recalques está fundamentado em duas variáveis independentes. A primeira é identificada pela capacidade de recalque de água medida em litros por segundo (l/s) e a segunda é a altura manométrica (H.m.) medida em metros de coluna de água (m.c.a.).

No quadro abaixo estão apresentados os dados da amostra obtida para o ajustamento do modelo. Estão apresentadas duas colunas de custos orçados, uma está expressa em cruzados equivalente ao mês de março de 1986 (Cz\$ 3/86) e a outra em dólar americano (\$ USA). A função é ajustada pelo custo orçado em dólar.

Quadro 4.1. Dados de Estações de Recalque Executadas pela Companhia Catarinense de Águas e Saneamento.

CAPACIDADE (l/s)	ALT. MANOMÉTRICA Hm = m.c.a.	CUSTO ORÇADO Cr\$(3/86)	CUSTO ORÇADO (\$ USA)
0.82	31.60	23.116,12	1.670,24
1.38	51.57	28.431,30	2.054,29
1.37	31.00	56.689,60	4.096,07
1.56	54.20	54.029,50	3.903,87
1.83	33.00	43.919,86	3.173,40
2.20	19.60	24.913,46	1.800,11
2.38	46.00	83.539,44	6.036,09
2.35	46.56	111.956,30	8.089,33
2.61	104.75	132.294,30	9.558,84
2.69	19.13	35.627,66	2.574,25
2.76	56.69	56.793,90	4.103,61
3.15	19.72	42.726,08	3.087,15
3.15	38.70	98.885,12	7.144,88
3.74	55.36	148.688,10	10.743,36
3.76	132.57	108.930,40	7.870,69
3.88	23.05	72.294,98	5.223,63
4.76	30.00	58.380,17	4.218,22
6.18	6.00	111.667,10	8.068,43
6.53	75.78	265.127,30	19.156,60
6.90	50.70	133.291,50	9.630,89
7.75	13.27	184.578,90	13.336,63
9.28	29.56	83.242,65	6.014,64
9.40	22.22	151.640,90	10.956,71
9.90	18.80	79.825,06	5.767,71
11.00	185.00	259.088,90	18.720,29
11.34	106.01	208.466,60	15.062,62
11.80	135.68	221.582,20	16.010,20
12.36	50.00	283.009,00	20.448,63
12.55	63.58	233.444,00	16.867,34
16.73	55.45	182.517,90	13.187,71
16.81	57.46	207.230,40	14.973,29
19.64	61.22	215.864,60	15.597,15
20.31	71.71	391.860,50	28.313,62
21.42	49.81	351.796,40	25.418,82
21.67	55.00	419.382,30	30.302,19
22.00	16.82	274.445,00	19.829,84
22.00	19.16	225.979,00	16.327,97
22.00	107.16	810.198,00	58.540,32
22.44	107.82	568.012,20	41.041,34
22.69	11.00	219.112,80	15.831,85
40.70	46.26	470.581,80	34.001,57
41.10	72.50	393.824,00	28.455,49
51.82	51.42	845.181,70	61.068,04
56.76	82.00	375.141,00	27.105,56
190.97	15.00	743.667,80	53.733,22
535.00	78.00	987.797,30	71.372,64

Fonte: Dos Projetos Arquivados na Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (CASAN).

Estes custos expressam os gastos com os insumos, mão-de-obra, materiais e equipamentos, necessários à implantação de uma unidade de estação de recalque composta de bombas de eixo vertical ou horizontal. Faz parte da estação de recalque a edificação que abriga os conjuntos de moto-bombas e o quadro de comando.

A área edificável da estação de recalque é projetada de acordo com as dimensões e números de bombas a serem implantadas e levando em consideração a mobilidade necessária para os serviços de manutenção das mesmas. As áreas edificáveis podem variar de 2,00 a 20,00 metros quadrados.

Os referidos custos incluem, portanto, movimento de terra, trabalho de estrutura e fundação, alvenaria, cobertura, revestimentos, impermeabilização, instalações prediais, aquisição e montagem de equipamentos elétricos, eletromecânicos, inclusive tubulações e testes de partida.

Com o objetivo de definir o modelo de custo, foi verificada a tendência inicial do comportamento da amostra. As variáveis independentes da amostra obtida foram previamente selecionadas e associadas aos respectivos valores de custos. Para este modelo foi escolhido uma variável de configuração (altura manométrica) e outra de capacidade (vazão). Os dados estão relacionados nos gráficos plotados em escala logarítmica das figuras 4.1, 4.2, e 4.3 a seguir. Ao se fazer uma análise inicial dos gráficos pode-se observar as tendências destas variáveis.

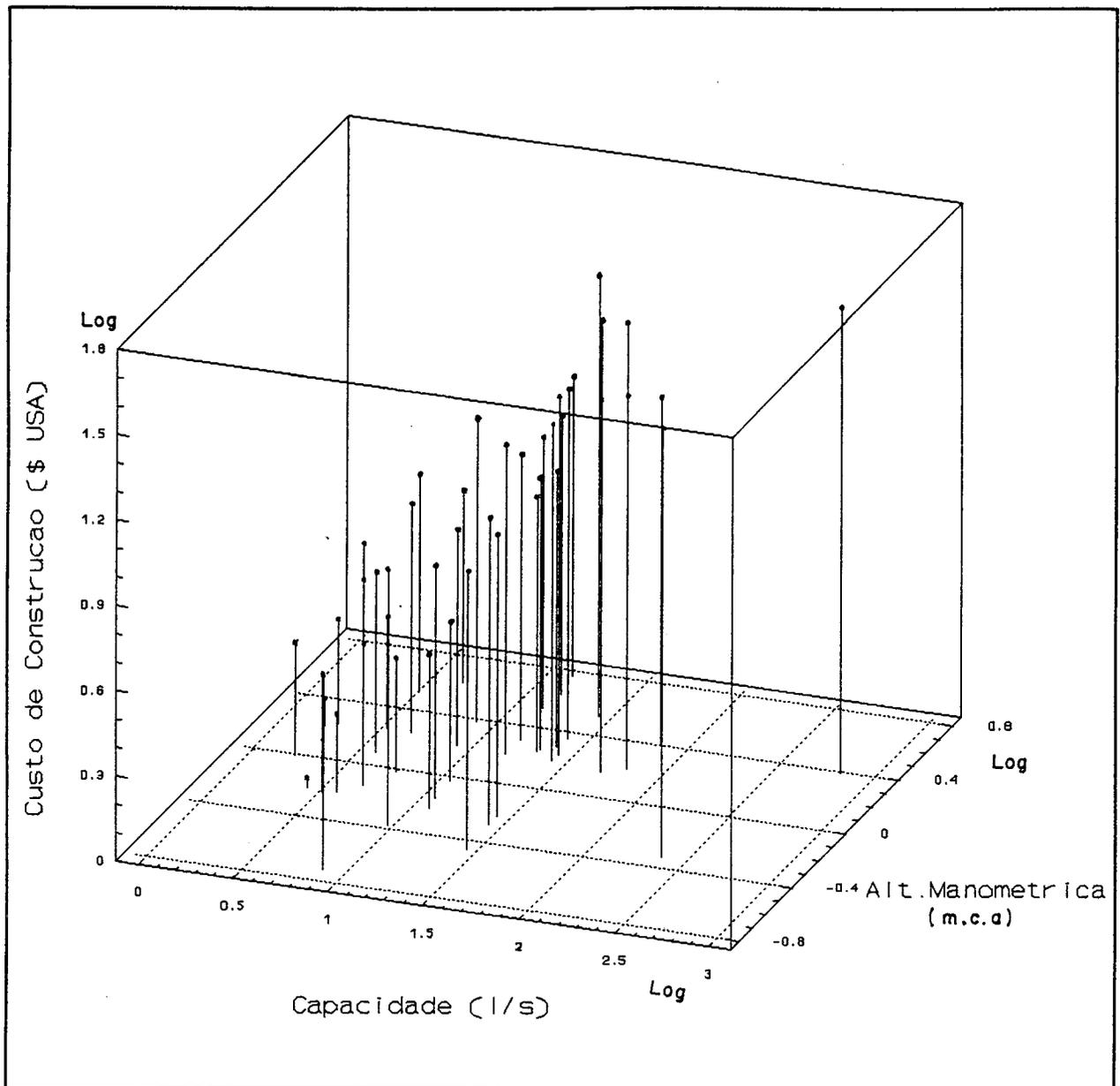


Fig.4.1. Custos de Estações de Recalque vs Capacidade (l/s) e Altura Manométrica (m.c.a.)

É possível observar pelos pontos plotados na figura acima que, quando a variável capacidade (vazão bombeada em l/s) é crescente, os custos das estações de recalque tendem também a crescer. Da mesma forma, quando a altura manométrica aumenta, o custo da estação de recalque, também tende a aumentar. Estas tendências mostram que as variáveis escolhidas para explicar os custos de estações de recalque apresentam evidências de correlação com os custos de construção de forma individual e conjunta.

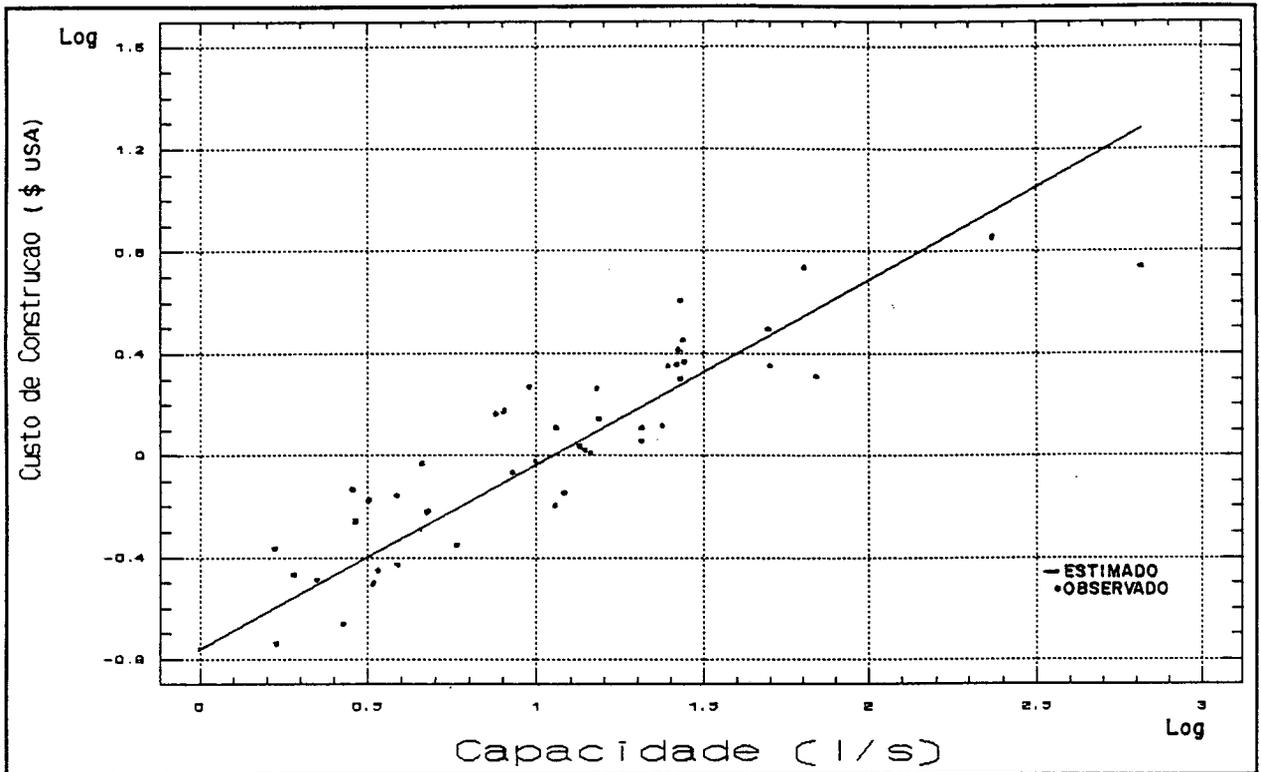


Fig.4.2 Custos de Estações de Recalque vs Capacidade

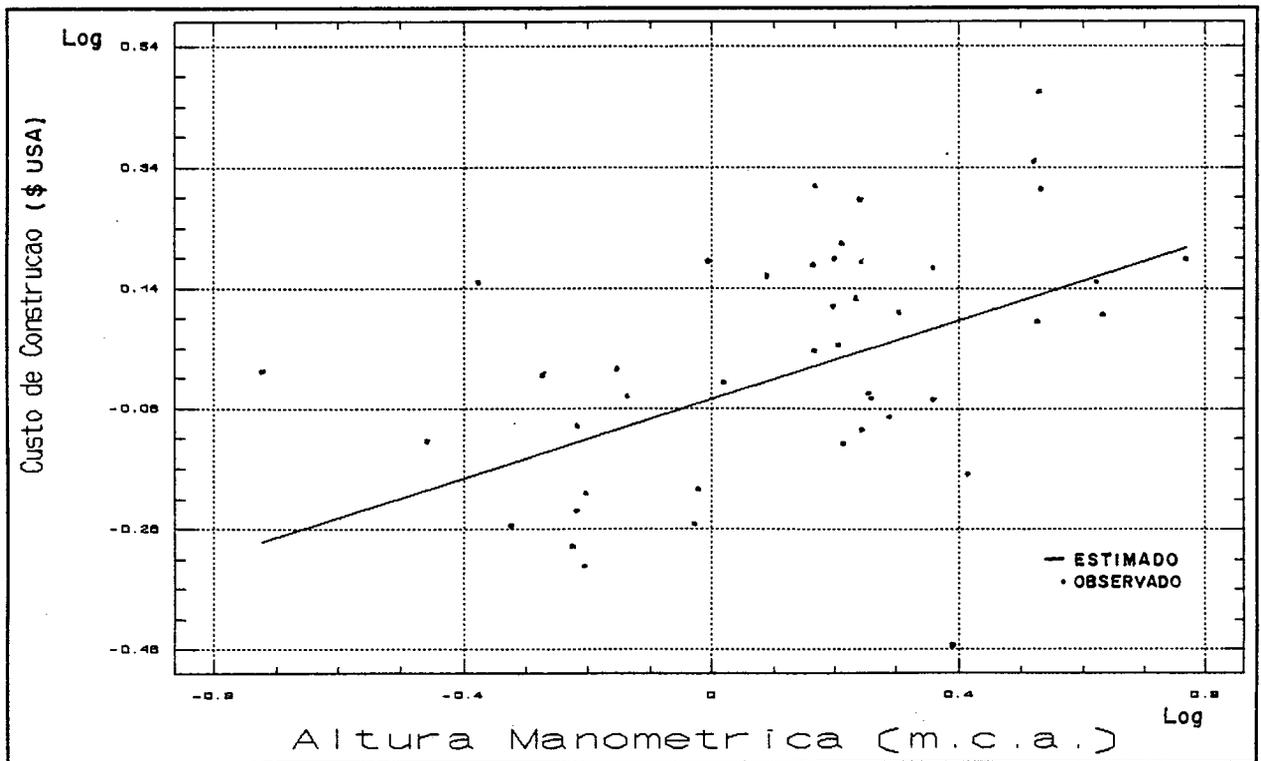


Fig.4.3. Custos de Estações de Recalque vs Altura Manométrica

O que se pode delinear das correlações, observadas com os pontos plotados nos gráficos acima, é a tendência de crescimento linear podendo ter como resultante o traçado de uma reta. Entretanto, como se trata de uma escala logarítmica, o modelo de custo em função das variáveis, capacidade e altura manométrica, é não linear.

A equação matemática adotada para expressar este modelo está apresentada a seguir:

$$Y_1 = K_1 L_1^b X_1^a \quad (27)$$

Onde:

- Y1 = Custo de Estação de Recalque de Água (\$ USA);
- K1 = Constante de Custo para Estações de Recalques;
- L1 = Altura Manométrica de Recalque da Estação em Metros de Coluna de Água (m.c.a.);
- b = Expoente de L1 que Representa o Fator de Economia de Escala da Altura Manométrica de Recalque;
- X1 = Capacidade de Bombeamento da Estação de Recalque(l/s);
- a = Expoente de X1 que representa o Fator de Economia de Escala da Capacidade de Recalque da Estação;

Utilizando o software Statgraphics fez-se a análise de regressão múltipla dos dados acima, bem como várias análises estatísticas as quais permitem avaliar os valores estimados resultantes do modelo de custo ajustado. A análise de variância das regressões pelo método dos mínimos quadrados foi realizada pelos testes de significância da hipótese nula.

O nível de confiança escolhido para as análises estatísticas foi de 95%.

O quadro a seguir apresenta o resultado para o ajuste do modelo, isto é, a determinação dos fatores exponenciais de economia de escala ("a" e "b") das variáveis independentes que equipam o modelo de custo para as estações de recalque.

Quadro 4.2. Ajuste do Modelo de Custo Estações de Recalque

Variáveis Independentes	Fator de Escala	Erro Padrão	Valor de "t"	Nível de Significância
Capacidade (l/s)	0.7250	0.02475	29.288	0.0000
Altura Manométrica	0.3294	0.08621	3.822	0.0004

Os valores dos testes mostram que ambos os fatores de economia de escalas (coeficientes) são significativamente diferentes de zero. Isto é, ambas as variáveis independentes, capacidade e altura manométrica, são relevantes na avaliação de custos das estações de recalques e se correlacionam positivamente com a variável independente.

Os testes de significância da hipótese nula das variáveis, capacidade e altura manométrica, analisados pela distribuição de Student, estão apresentados nas duas últimas colunas do quadro acima com níveis de significância quase nulos. Isto indica que a probabilidade dos fatores de escala destas variáveis, definidos pela correlação, de serem zero, é igualmente nulas. Quando o expoente de uma variável é zero, qualquer valor que esta assuma, terá como resultado sempre o número um, portanto, a variável não influenciará os valores de custos resultantes do modelo.

Os resultados de erro padrão, que mede a precisão dos fatores de escala estimados em termos absolutos, mostram uma variação maior para o fator de escala da variável altura manométrica. Este

resultado demonstra uma menor precisão na determinação deste fator. Já em relação ao fator de escala da variável capacidade, o erro padrão é pequeno e ele representa uma variação de apenas 3.5% em torno da média.

Os resultados da análise completa de variância da regressão estão apresentados no quadro a seguir.

Quadro 4.3. Análise da Variância do Ajuste do Modelo

Fonte	Quadrado Somatório	Graus Liberdade	Quadrado da Média	Taxa "F"	Valor "p"
Modelo	38.4628	2	19.2314	571.106	0.0000
Erros	1.48166	44	0.03367		
Total	39.9445	46			

O teste de hipótese pela distribuição "F" realizado para este modelo de custo, também resultou nula para um nível de significância de 5%. Este teste baseia-se na relação entre o quadrado do somatório dos erros e o quadrado da média da estimativa da regressão para explicar a aceitação ou rejeição da hipótese nula, isto é, a hipótese dos fatores exponenciais serem zero. Quanto maior o "F" observado, maior a probabilidade de rejeição da hipótese nula.

Outros dados estatísticos para o modelo estão apresentados abaixo:

Número de Dados Analisados..... : 46
 Números de Dados Desconsiderados: 0
 Quadrado do Coeficiente de Correlação (R2)...: 0.96
 Erro Padrão do Modelo..... : 0.183505
 Média do Residual.....: 0.029885
 Variância do Residual.....: 0.033674

O valor significativo do quadrado do coeficiente de correlação ($R^2 = 0.96$) induz, a princípio, a afirmar que os custos de estações de recalque apresentam uma excelente correlação com os parâmetros considerados no modelo, no entanto, é preciso que se verifique a existência de deficiências que podem mascarar este resultado.

Análise de Resíduos

A análise de resíduos permite detectar deficiências de ajuste do modelo.

As deficiências que podem mascarar os resultados apresentados são (ref.):

- A média dos erros não é nula;
- A variância dos resíduos não é constante;
- Os resíduos não são normalmente distribuídos;
- Existem variáveis importantes excluídas do modelo;
- A função de regressão não é linear;
- Os termos de resíduos não são independentes;
- Existem observações estranhas (outliers).

Estas condições em geral podem ser detectadas pela análise visual dos resíduos plotados. A análise é feita basicamente pela visualização da distribuição dos resíduos plotados em relação aos valores estimados das variáveis do modelo. Não deve haver nenhuma relação entre os resíduos e as variáveis que definem o modelo.

Se os resíduos plotados estiverem distribuídos em torno da média dos erros, mostrado no gráfico da figura 4.4 pelo eixo horizontal acima do eixo X, de tal forma que não apresentem nenhuma tendência sistemática, seja positiva ou negativa, o modelo está praticamente livre de deficiências. Os pontos isolados, mais afastados nos extremos das bandas, podem ser os correspondentes aos dados fora do intervalo de confiança (outliers).

Para verificar se o modelo pode apresentar algumas deficiências, foi plotado o gráfico de resíduos, o qual está apresentado na figura 4.4 a seguir:

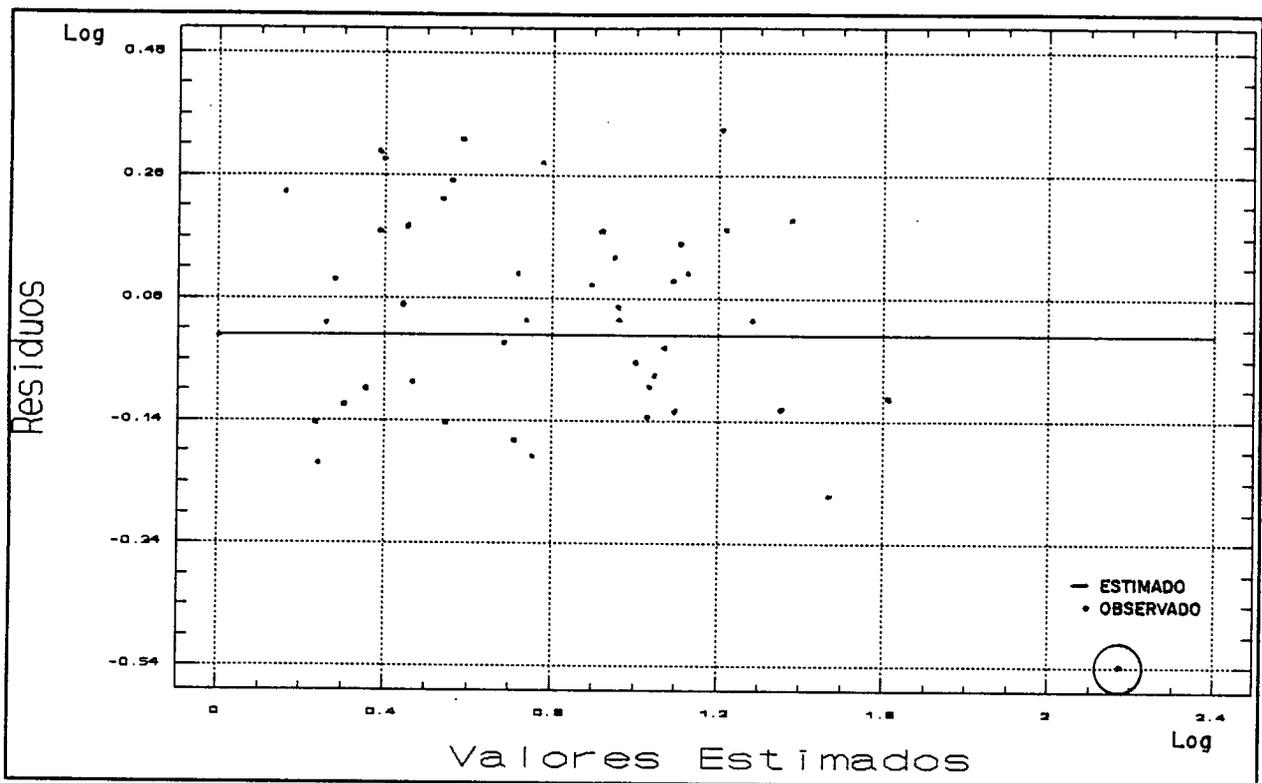


Fig. 4.4. Resíduos dos Custos Estimados de Estações de Recalque

No gráfico acima, onde os resíduos estão plotados em relação aos valores estimados, pode-se observar que os mesmos não apresentam uma distribuição que caracterize alguma tendenciosidade. Observa-se que a média dos erros é levemente diferente de zero e que apenas um ponto, o qual está assinalado com um círculo e plotado na banda inferior mais afastado dos outros, pode ser caracterizado como um ponto estranho e podendo ser eliminado da amostra para uma melhor precisão do modelo.

O fato da média dos erros não ser exatamente zero é em razão da opção pelo ajustamento do modelo para que a origem da reta ajustada coincida com o vértice de origem (0,0). Quando ajustada para inclusão da constante a média torna-se zero.

Para confirmar a ausência de deficiências no modelo, foram traçados, também, os gráficos de resíduos em relação as variáveis independentes, capacidade e altura manométrica do modelo, não apresentando nenhuma deficiência a não ser um ponto mais afastado já comentado anteriormente.

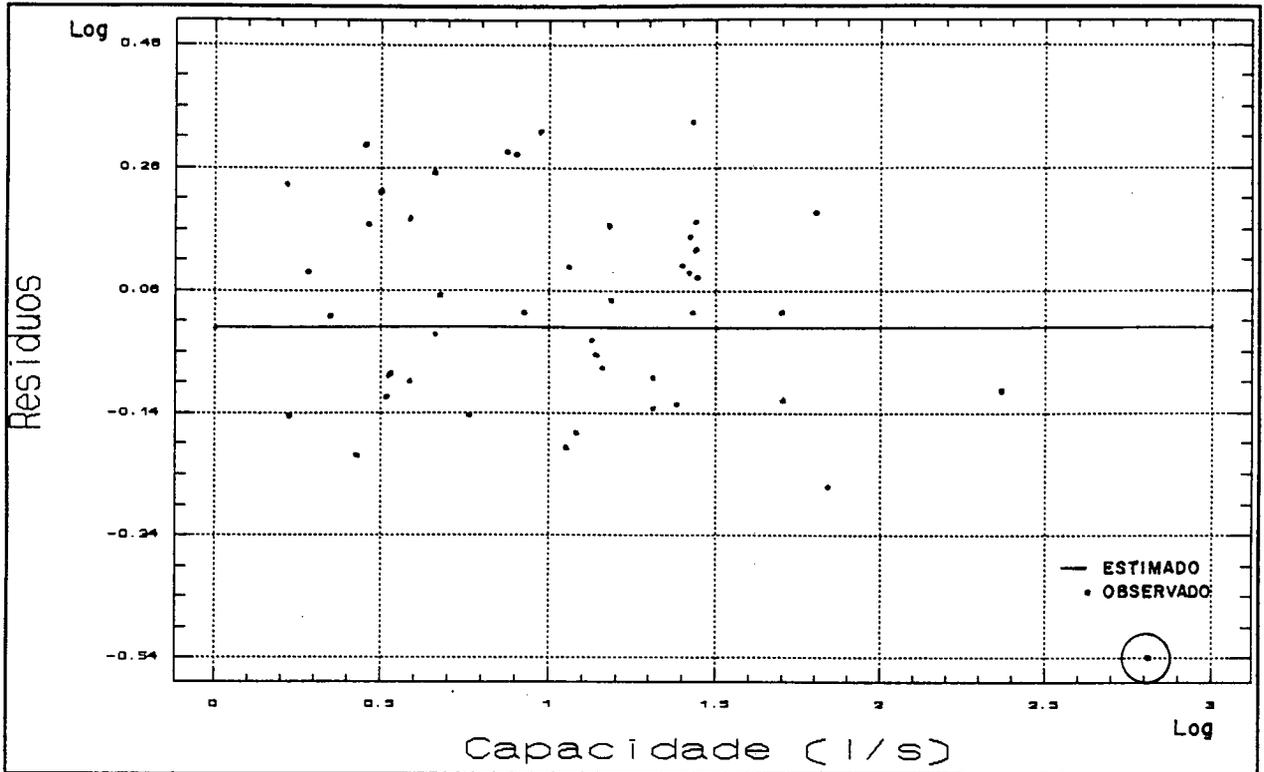


Fig. 4.5. Resíduos dos Custos Estimados de Estações de Recalque em Relação à Variável Capacidade

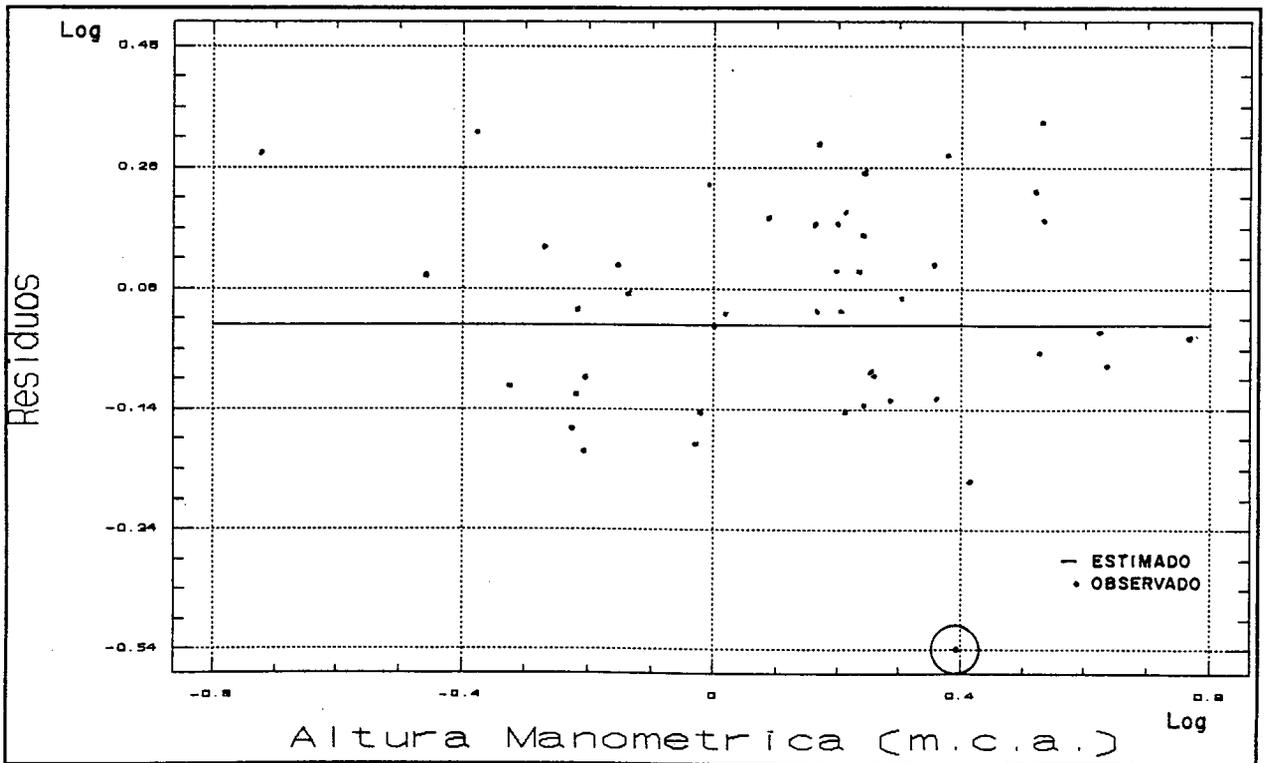


Fig.4.6. Resíduos dos Custos Estimados de Estações de Recalque em Relação à Variável Altura Manométrica

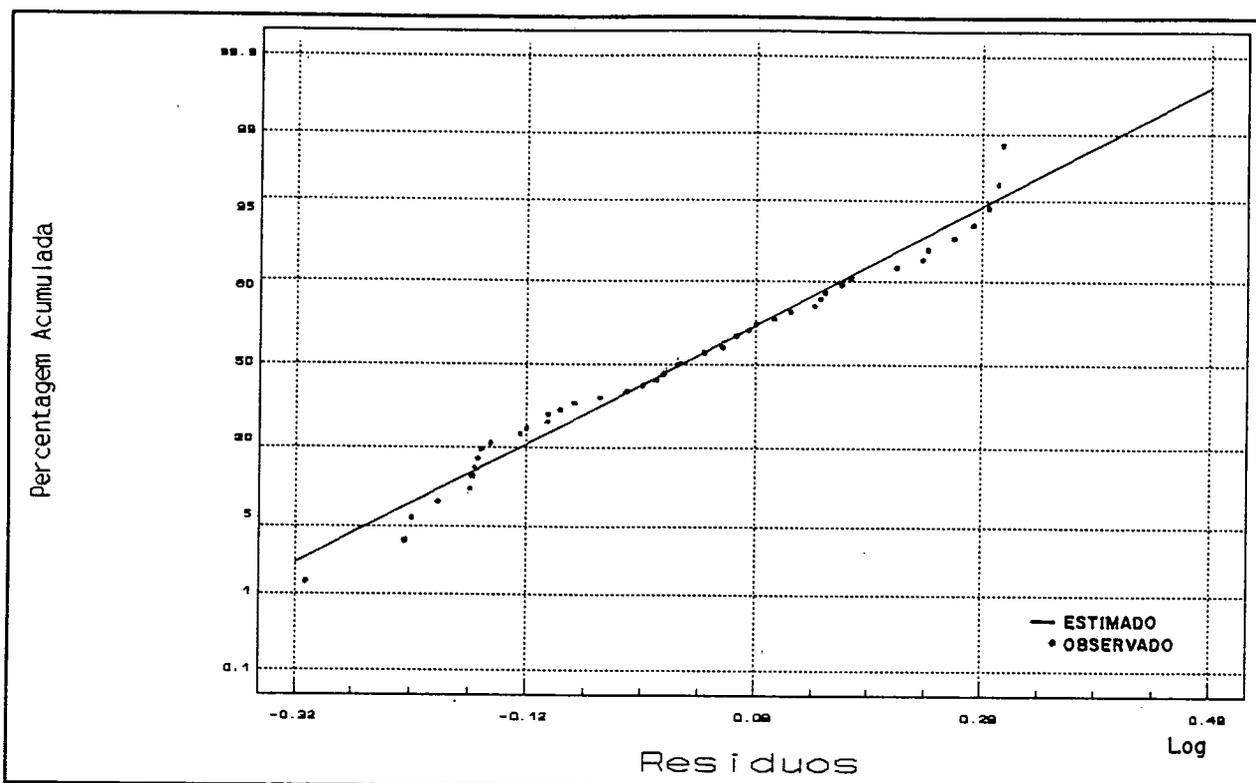


Fig.4.7. Gráfico da Probabilidade Normal dos Resíduos dos Custos Estimados das Estações de Recalque

Na figura 4.7 acima, onde foi traçada a probabilidade normal dos resíduos, é possível verificar que o modelo analisado não apresenta indício de que haja deficiência quanto à normalidade da distribuição de probabilidade dos resíduos.

Confirma-se, assim, o que já foi observado na análise visual do gráfico de resíduos.

Para maior precisão do modelo, foi retirada a amostra considerada espúria e recalculados os valores para o modelo cujos resultados estão apresentados no quadro a seguir:

Quadro 4.4. Dados do Segundo Ajuste do Modelo de Custos para Estações de Recalques

Variáveis Independentes	Fator de Escala	Desvio padrão	Valor "t"	Nível de Significância
Capacidade	0.75033	0.023215	32.3205	0.0000
Altura Manométrica	0.33904	0.076902	4.4087	0.0001

Houve uma pequena alteração dos valores dos fatores de escala com uma leve redução do desvio padrão, sem alteração dos níveis de significância.

O valor do quadrado do coeficiente de correlação teve também um pequeno acréscimo passando de 0.96 para 0.97.

Os resultados da análise de variância da regressão completa, recalculados após a eliminação de um dado estranho da amostra, estão apresentados no quadro a seguir.

Quadro 4.5. Segundo Análise da Variância do Ajuste do Modelo

Fonte	Quadrado Somatório	Graus Liberdade	Quadrado Média	Valor "F"	Nível Signif.
Modelo	36.1345	2	18.0672	675.154	0.0000
Erros	1.1507	43	0.02676		
Total	37.2852	45			

O teste de hipótese pela distribuição "F", também, resultou nula para um nível de significância de 5%.

Outros dados estatísticos recalculados para o modelo estão apresentados a seguir:

Número de Dados Analisados..... : 45
Números de Dados Desconsiderados: 0
Quadrado do Coeficiente de Correlação (R²)...: 0.97
Desvio Padrão..... : 0.163585
Média do Residual.....: 0.01557
Variância do Residual.....: 0.02676

Os indicadores estatísticos, em geral, após recalculados apresentaram um pequeno aprimoramento do modelo em relação ao anterior.

Os gráficos a seguir mostram os valores estimados pelo modelo em relação aos apresentados nos dados de orçamento da amostra.

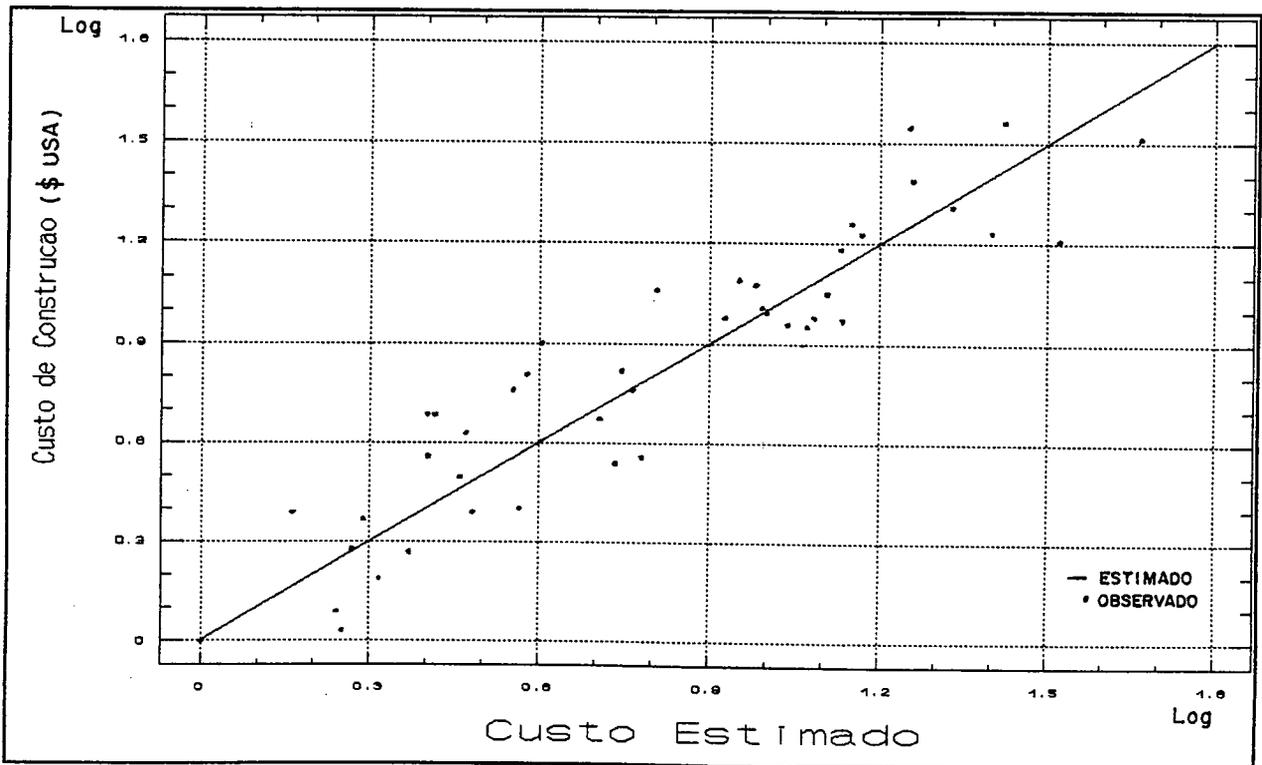


Fig. 4.8. Custos Estimados e Orçados de Estações de Recalque

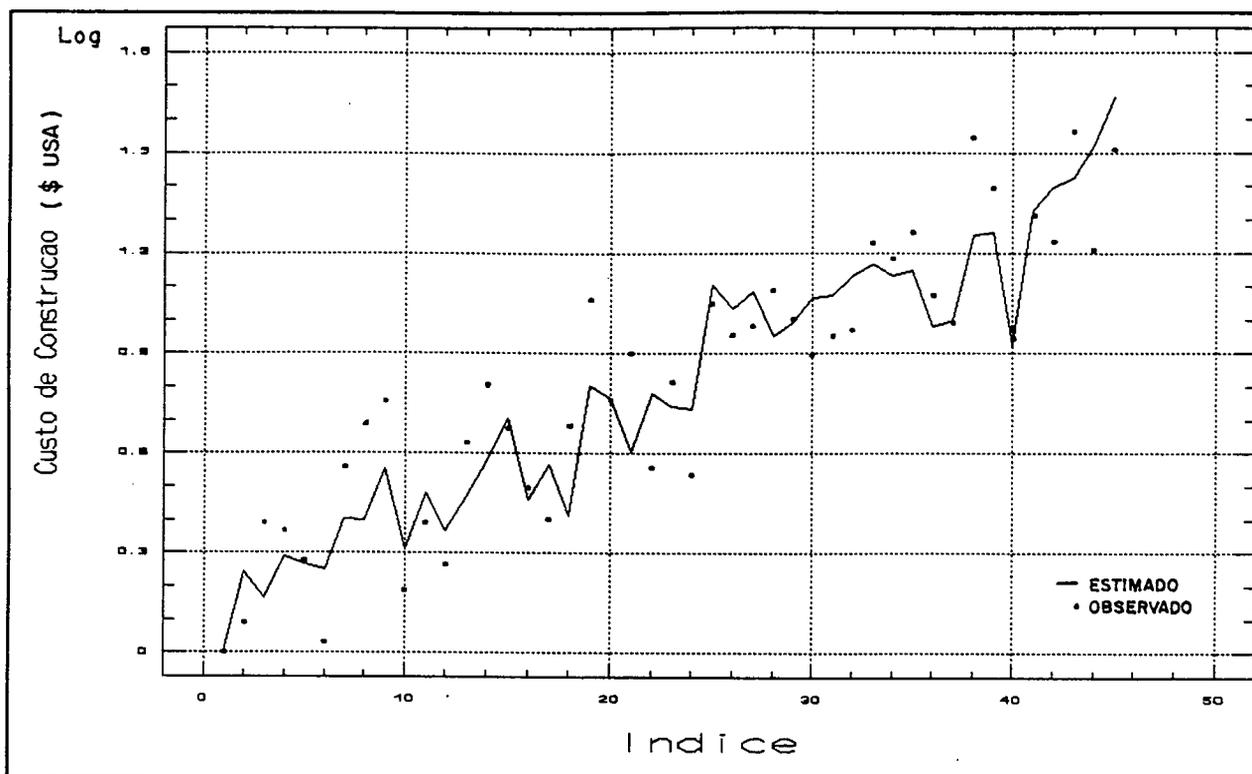


Fig. 4.9. Custos Estimados e Orçados de Estações de Recalque através de Índice (Numeração Seqüencial da Amostra)

É possível perceber nos gráficos apresentados anteriormente que as variáveis capacidade e altura manométrica podem explicar a variação do custo das estações de recalques. Este comportamento é o reflexo do alto valor obtido para a correlação das variáveis ao ajustar o modelo de custo.

Considerando que a regressão esteja terminada, então parte do modelo está definido conforme apresentado na equação abaixo.

$$Y_1 = K_1 L_1^{0.34} X_1^{0.75} \quad (28)$$

Para completar o ajuste do modelo matemático é necessária a definição da constante de custo "K1". Para definição desta constante, toma-se um ponto da amostra analisada, cujo ponto de

custo orçado esteja sobre a reta ajustada (resíduo igual a zero) ou mais próximo possível dela. Através deste ponto são conhecidas, a variável dependente custo, e as duas variáveis independentes, capacidade e altura manométrica. Resulta portanto na equação matemática, apenas, a constante K1 como valor desconhecido. Assim então é possível a identificação de "K1".

Seja

$$\begin{aligned}L_1 &= 31.60 \text{ m.c.a.} \\X_1 &= 0.82 \text{ l/s} \\Y_1 &= 1670.21 (\$USA)\end{aligned}$$

a amostra selecionada, então substituindo estes valores na equação 28, é obtido:

$$K_1 = 599.12$$

Logo o modelo matemático obtido para explicar os custos de estações de recalques de água com o quadrado da correlação igual a 97% é o seguinte:

$$Y_1 = 599.12 L_1^{0.34} X_1^{0.75} \quad (29)$$

5.3. Adutoras de Água

Os custos de adutoras foram divididos em dois modelos. Um para expressar tubulações em materiais plásticos (PVC) e outro em ferro fundido. As adutoras em PVC são, geralmente, utilizadas para adução por gravidade. Os serviços considerados para a implantação de adutoras são: desmatamento e limpeza do terreno, remoção e reposição de pavimentação, escavação, reaterro, substituição de solos, assentamento e fornecimento de tubos, peças e conexões, caixas de registro, tapume, testes de estanqueidade, exclusive escoramento, esgotamento, pilaretes e berços de concreto. O estudo dos modelos de custos das adutoras estão mostrados a seguir.

Modelo de Custos para Adutoras em PVC

O modelo de custo para adutoras em PVC é explicado por duas variáveis independentes, comprimento da adutora em metros lineares (configuração) e vazão em litros por segundo (volume escoado).

A amostra, que está no anexo 1, tem diâmetros variando de 50 a 250 mm (vazões de 1 a 60 l/s) e é composta de 27 dados. O anexo 2 apresenta também o gráfico da amostra onde estão plotados os custos de adutoras em PVC em relação ao comprimento e capacidade de adução.

O modelo de custo a ser ajustado é representado pela equação matemática abaixo:

$$Y_2 = K_2 L_2^b X_2^a \quad (30)$$

Onde:

Y2 = Custo Total de Adutora de Água em PVC (\$ USA);
K2 = Constante de Custo de Adutora de Água em PVC;
L2 = Comprimento total da Adutora em Metros Lineares;
b = Fator de Economia de Escala para L2;
X2 = Capacidade de Adução em Litros por Segundo (l/s);
a = Fator de Economia de Escala para X2;

O quadro abaixo mostra os resultados finais do ajustamento do modelo.

Quadro 4.6. Ajuste do Modelo de Adutoras em PVC

Variáveis Independentes	Fator de Escala	Erro Padrão	Valor "t"	Nível Signif.
Capacidade	0.2136	0.03254	6.5665	0.0000
Comprimento	1.2795	0.10076	12.6985	0.0000

Repetidas também as análises de variância e de resíduos, cujos gráficos fazem parte do anexo 3, os resultados mostram que a equação matemática do modelo é satisfatória e que a capacidade e o comprimento podem explicar os custos de adutoras em PVC com uma correlação ao quadrado de 89%.

Na figura a seguir onde estão plotados os custos estimados pelo modelo e os valores orçados, é possível fazer a comparação dos custos e avaliar melhor o modelo definido.

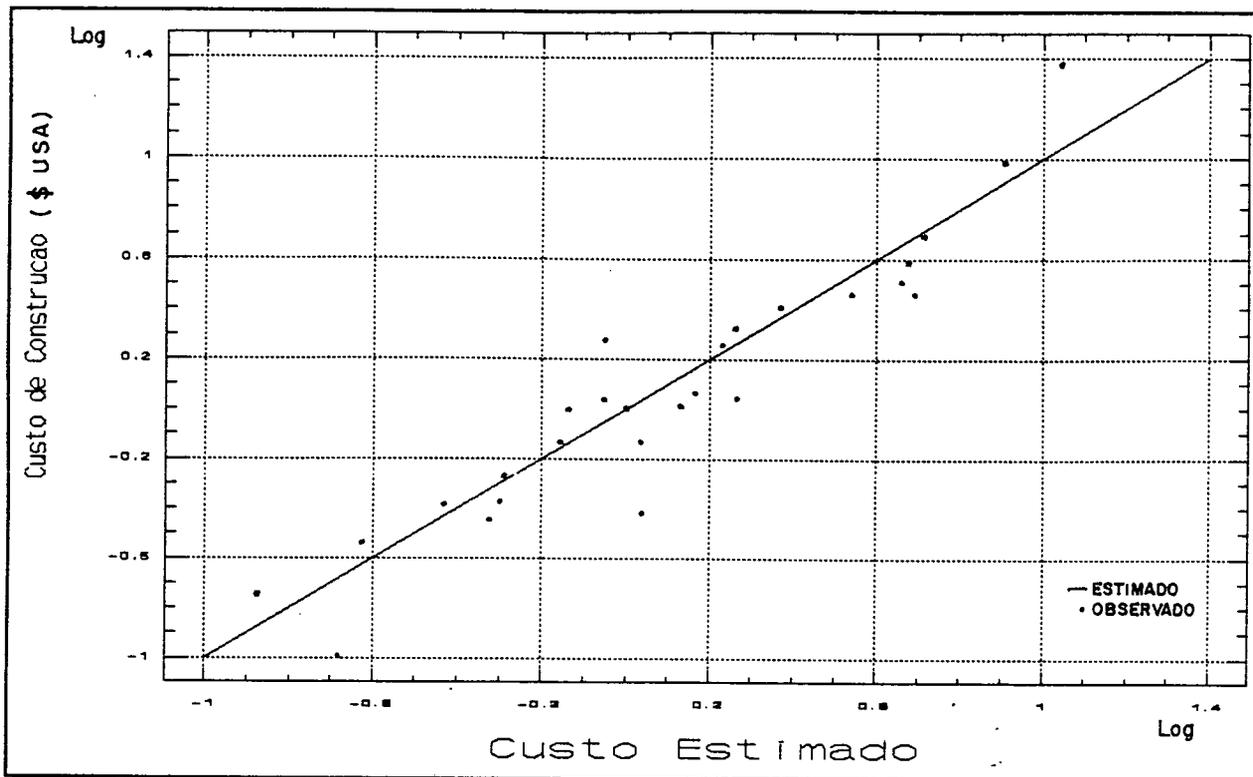


Fig.4.10. Custos Estimados e Orçados de Adutoras em PVC

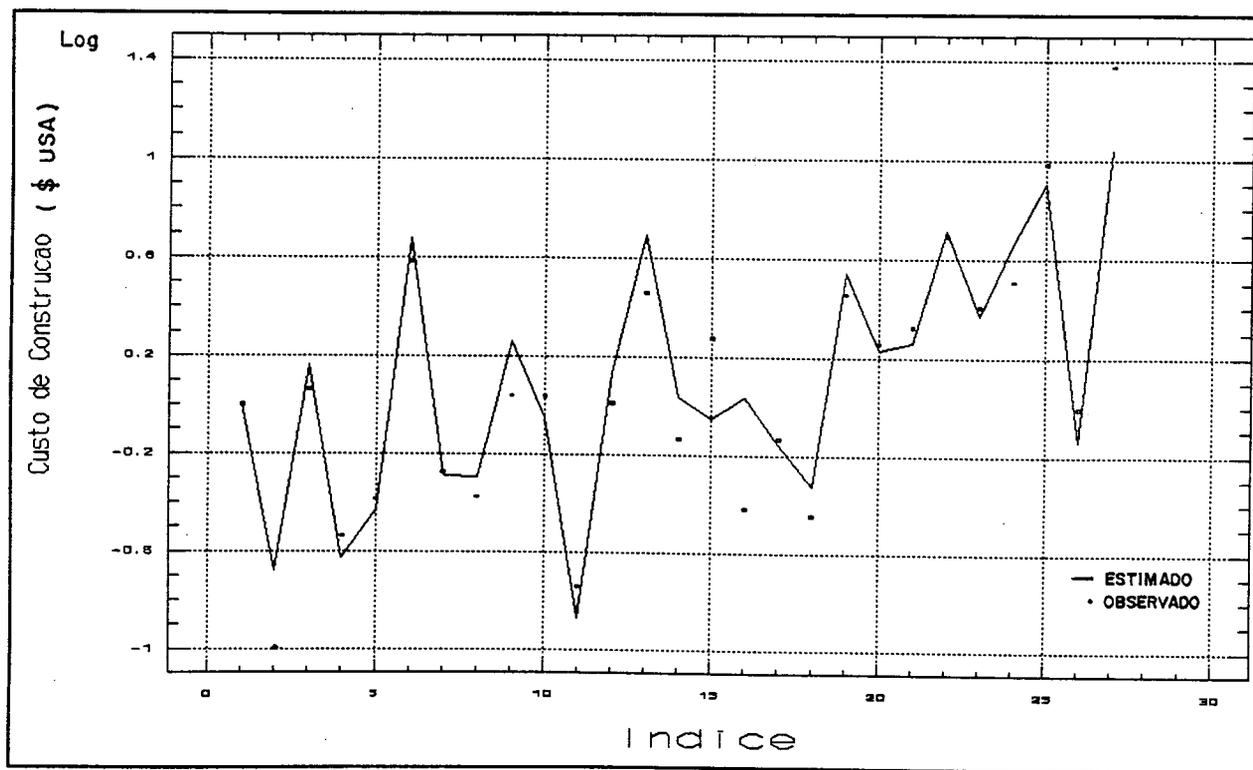


Fig.4.11. Custos Estimados e Orçados de Adutoras em PVC através de Índice (Numeração Sequencial da Amostra)

Após calculada a constante de custo para adutoras em PVC (calculada maneira como no modelo de estações de recalque, página 83), o modelo foi definitivamente concluído e resultou na equação apresentada abaixo:

$$Y_2 = 1.28 L_2^{1.279} X_2^{0.214} \quad (31)$$

Modelo de Custo para Adutoras de Água em Ferro Fundido

O modelo de custo definido para adutoras implantadas em ferro fundido resultou em um modelo semelhante as de PVC.

O modelo é ajustado através de uma amostra de 38 dados que possuem diâmetros de 50 a 250 mm (vazões de 1 a 50 l/s), cujos dados estão relacionados no anexo 4 e plotados no anexo 5.

O modelo ajustado está representado pela equação matemática abaixo:

$$Y_3 = K_3 L_3^b X_3^a \quad (32)$$

Onde:

Y3 = Custo Total de Adutoras de Ferro Fundido (\$ USA);

K3 = Constante de Custo de Adutoras de Ferro Fundido;

L3 = Comprimento Total da Adutora em Metros Lineares;

b = Fator de Economia de Escala de L3;

X3 = Capacidade de Adução em Litros por Segundo (l/s);

a = Fator de Economia de Escala de X3;

Os resultados finais do ajustamento dos coeficientes dos fatores de economia de escala para o modelo estão no quadro abaixo:

Quadro 4.7. Ajuste do Modelo de Custos de Adutoras em F. Fundido

Variáveis Independentes	Fator de Escala	Erro Padrão	Valor "t"	Nível Significância
Comprimento	0.8720	0.0478	18.2514	0.0000
Capacidade	0.3624	0.0272	13.3227	0.0000

Os resultados do quadro acima e as demais análises realizadas (variâncias, gráficos de resíduos e normalidade do modelo no anexo 6) indicam que o modelo está bem ajustado. O quadrado da correlação (R²) obtida para o modelo foi de 98%.

Nas figuras a seguir é possível comparar os valores de custos estimados pelo modelo e os observados na amostra extraídas dos orçamentos.

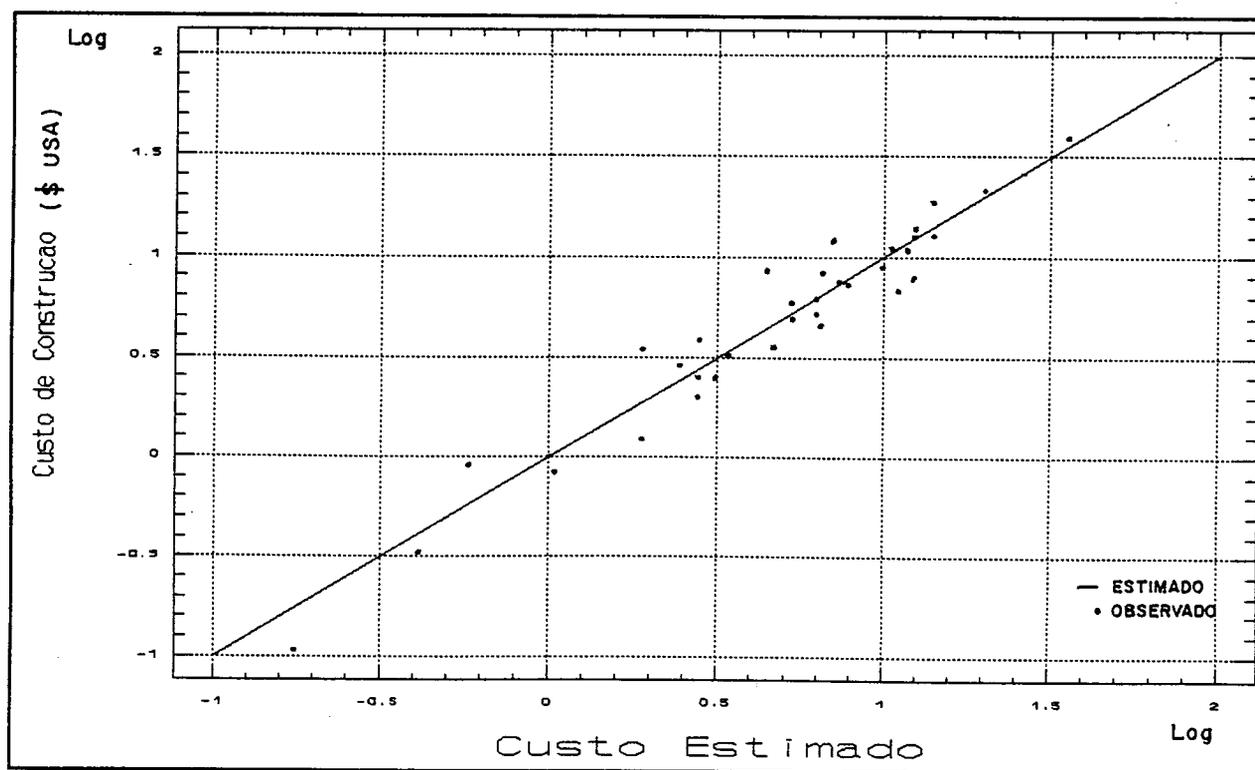


Fig.4.12. Custos Estimados e Orçados de Adutoras em Ferro Fundido

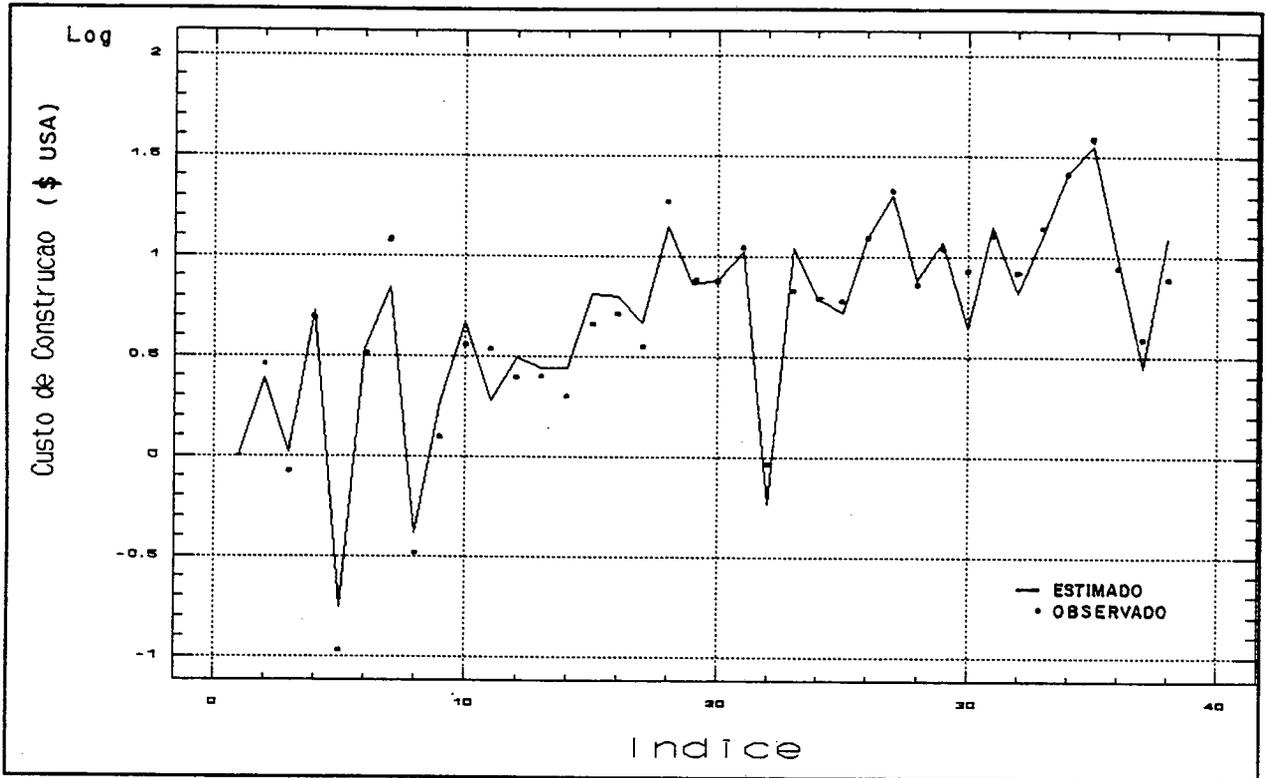


Fig.4.13. Custos Estimados e Orçados de Adutoras em Ferro Fundido através de Índice (Numeração Sequencial da Amostra)

O modelo final de custos de construção de adutoras de água em ferro fundido após calculada a constante de custo (K3) está apresentada abaixo:

$$Y_3 = 18.49 L_3^{0.872} X_3^{0.362} \quad (33)$$

5.4. Estações de Tratamento de Água

O modelo de custo definido para o componente Estações de Tratamento de Água é o resultante da análise de uma amostra com 35 dados (anexo 7) cujas vazões variam de 3 a 290 l/s.

A essência de seus custos são: construção de uma estação de tratamento completo de água, composta de chegada de água bruta, flocculadores, decantadores, filtros, prédio de administração e casa de química, depósito de reagentes, galerias de tubulações e comando de filtros. Os serviços incluídos são: movimento de terra, implantação de estrutura e fundação, alvenaria, revestimentos, impermeabilizações, instalações prediais, pinturas, aquisição e montagem de equipamentos elétricos, eletromecânicos e mecânicos, inclusive tubulações, peças, e conexões.

O modelo ajustado foi definido pela equação matemática com apenas uma variável explicativa (capacidade de tratamento) e está apresentada abaixo:

$$Y_4 = K_4 X_4^a \quad (34)$$

Onde:

Y_4 = Custo de Construção de uma Estação de Tratamento de Água (\$ USA);

K_4 = Constante de Custo para Estações de Tratamento;

X_4 = Capacidade Nominal Instalada de Tratamento em Litros por Segundo (l/s);

a = Fator de Economia de Escala de X_4 ;

O quadro a seguir apresenta os resultados finais da regressão para o ajustamento do modelo.

Quadro 4.8. Ajuste do Modelo de Custo de Estações de Tratamento

Variável Independente	Fator de Escala	Erro Padrão	Valor "t"	Nível Signif.
Capacidade	0.6082	0.0193	31.5205	0.0000

O modelo não apresentou nenhuma deficiência (anexo 8) e os resultados das análise estatísticas indicam que apenas a variável capacidade de tratamento pode explicar, satisfatoriamente, os custos das Estações de Tratamento. Foi obtida para o modelo uma correlação ao quadrado de 97%. As figuras a seguir mostram a relação entre os valores estimados pelo modelo e os observados nos dados da amostra.

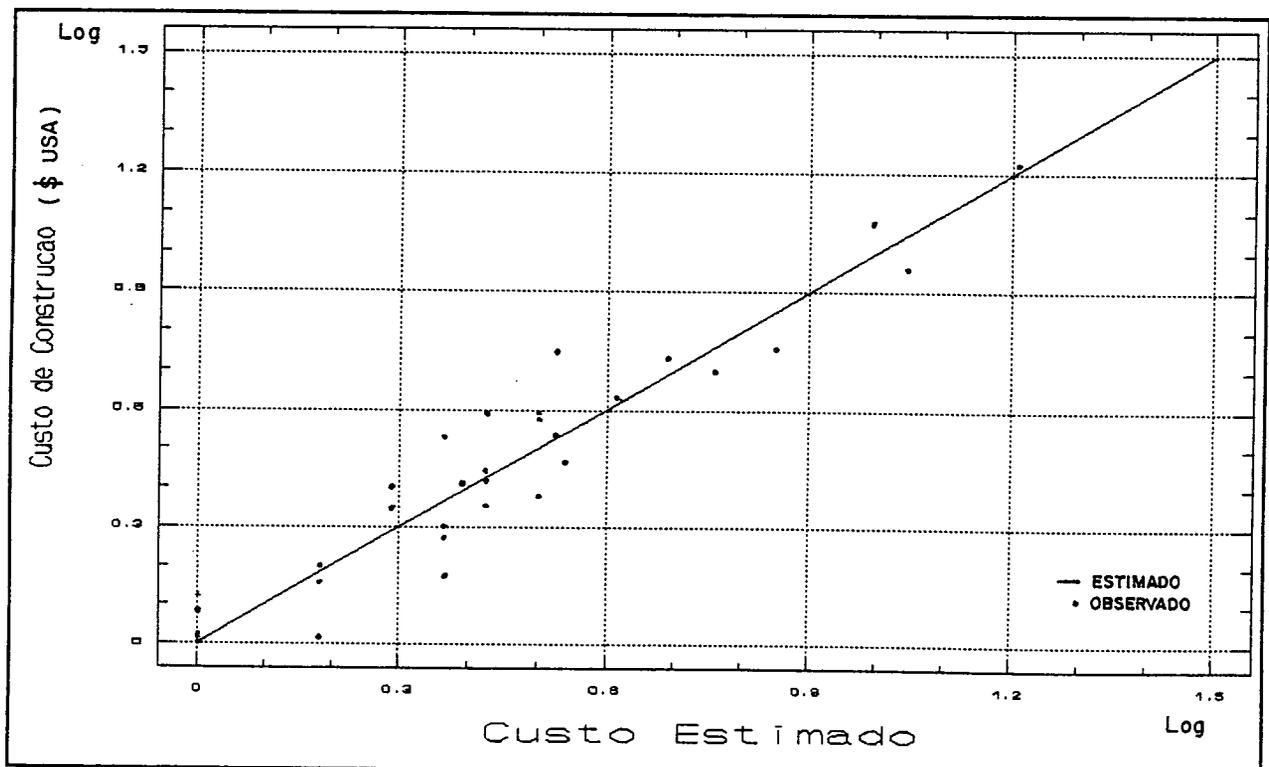


Fig.4.14. Custos Estimados e Orçados de Estações de Tratamento

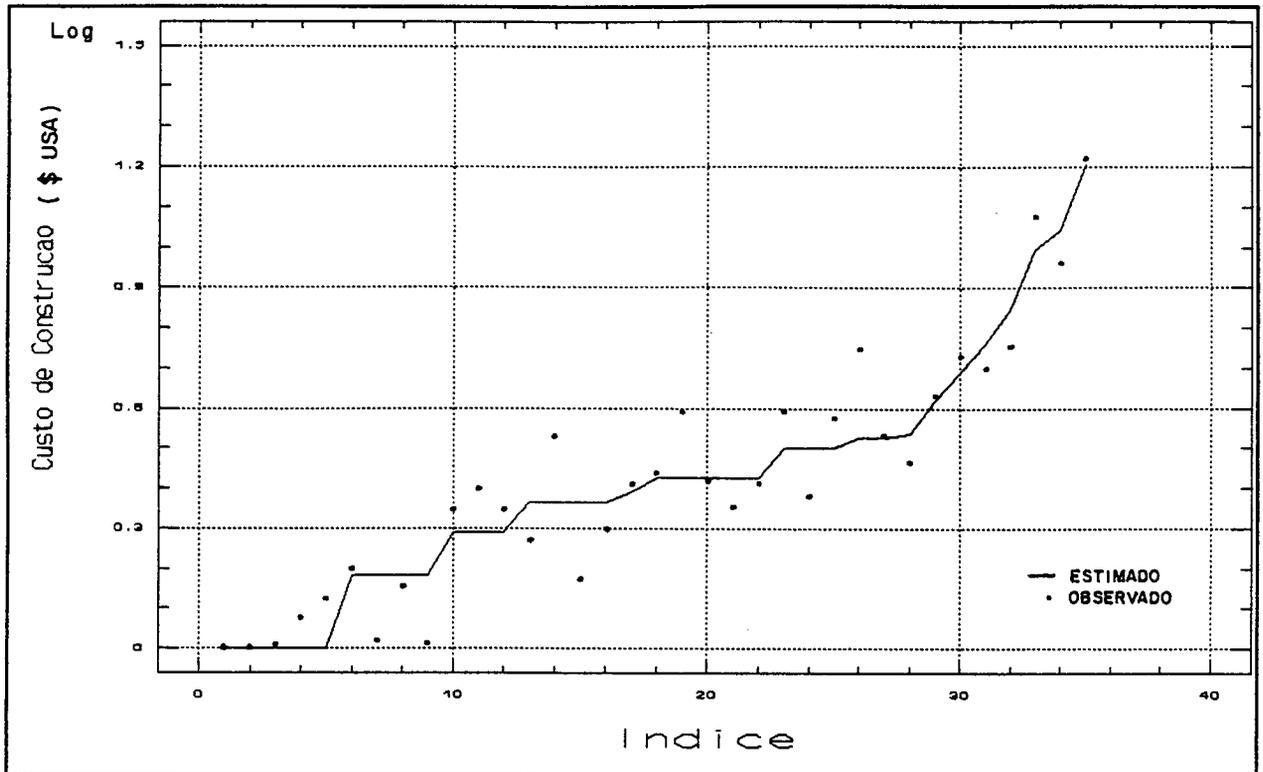


Fig.4.15. Custos Estimados e Orçados de Estações de Tratamento através de Índice (Numeração Sequencial da Amostra)

O modelo definido para Estações de Tratamento de Água, após calculada a constante de custo de construção (K4) está apresentado na equação abaixo:

$$Y_4 = 10761.90 X_4^{0.61} \quad (35)$$

5.5. Reservatórios de Água

O modelo de custo para reservatórios apoiados ou semi-enterrados em concreto armado expressa os seguintes serviços: movimentos de terra, escavação, aterro e reaterro, implantação de estrutura e fundação, revestimentos, impermeabilização, aquisição e montagem das tubulações peças e conexões.

O modelo foi ajustado com uma amostra de 75 dados (anexo 9) de reservatórios com volumes variando de 25 a 3200 metros cúbicos.

A equação matemática ajustada para este modelo tem apenas uma variável explicativa (volume de armazenamento) e está apresentada abaixo:

$$Y_5 = K_5 V^a \quad (36)$$

Onde:

Y_5 = Custo de Construção de Reservatórios Apoiados ou Semi-Enterrados em Concreto Armado (\$ USA);

K_5 = Constante de Custo para Reservatórios;

V = Volume de Reservação em Metros Cúbicos Armazenados;

a = Fator de Economia de Escala para V ;

O quadro a seguir apresenta os resultados finais da regressão para o ajustamento do modelo.

Quadro 4.9. Ajuste do Modelo de Custo de Reservatórios Apoiados

Variável Independente	Fator de Escala	Erro Padrão	Valor "t"	Nível Signif.
Volume (m3)	0.6956	0.00888	78.3602	0.0000

O modelo não apresentou nenhuma deficiência (ver gráfico, anexo 10) e os resultados das análises estatísticas indicam que apenas a variável volume de armazenamento pode explicar, satisfatoriamente, os custos dos reservatórios apoiados em concreto armado.

A correlação ao quadrado deste modelo resultou em 99%, mostrando a forte correlação do volume de armazenamento e o custo do reservatório.

As figuras a seguir mostram a relação entre os valores estimados pelo modelo e os observados na amostra.

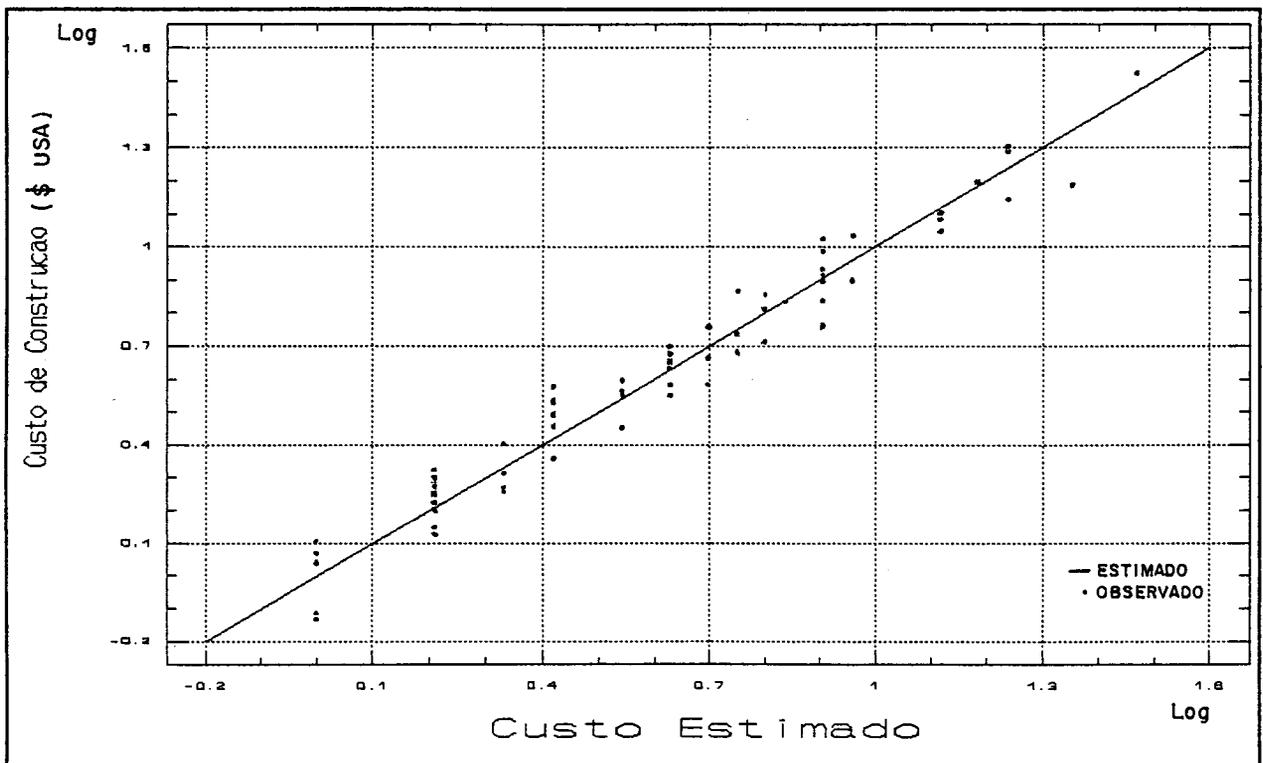


Fig.4.16. Custos Estimados e Orçados de Reservatórios Apoiados

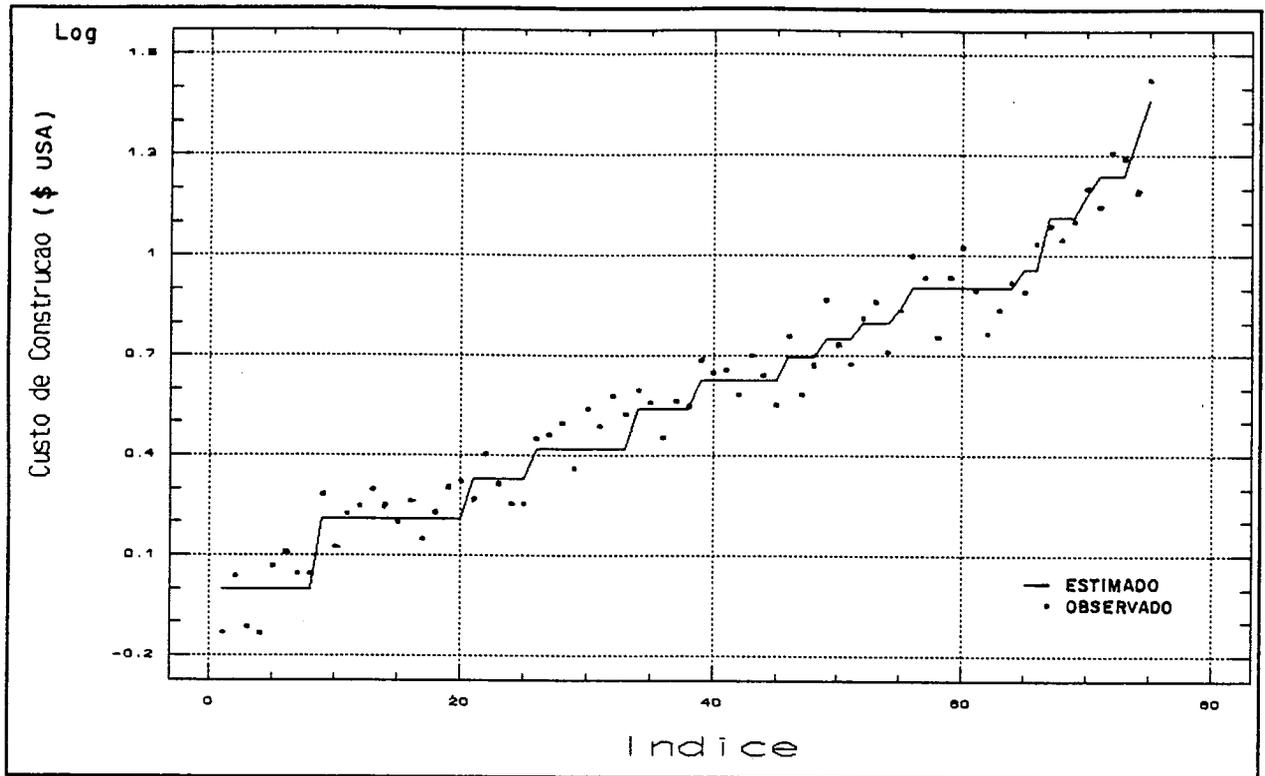


Fig.4.17. Custos Estimados e Orçados de Reservatórios através de Índice (Numeração Sequencial da Amostra)

O modelo definido para reservatórios apoiados ou semi-enterrados em concreto armado, após calculado a constante de custo (K5), está apresentado na equação abaixo:

$$Y_5 = 473.61V^{0.696} \quad (37)$$

5.6. Rede de Distribuição de Água

O custo com assentamento de rede de distribuição de água inclui os serviços de remoção e reposição de pavimentos, escavação, reaterro e substituição de solos, aquisição e assentamento de tubos, peças e conexões, caixas de registro, tapume, testes de estanqueidade, exclusive escoramento, esgotamento, pilaretes e berços de concreto.

O modelo de custo para rede de distribuição de água é explicado por duas variáveis independentes, comprimento total da rede (configuração) e vazão máxima horária em litros por segundo (capacidade).

A amostra que está no anexo 11 tem vazões incrementais variando de 1.8 a 200 l/s e comprimentos de 2.000 a 160.000 metros lineares. A regressão múltipla está baseada em 70 dados, os quais estão plotados em três dimensões no gráfico do anexo 12.

O modelo de custo a ser ajustado é representado pela equação matemática abaixo:

$$Y_6 = K_6 L_6^b X_6^a \quad (38)$$

Onde:

Y_6 = Custo de Assentamento de Rede de Distribuição (\$ USA);

K_6 = Constante de Custo de Rede de Distribuição;

L_6 = Comprimento Total de Rede de Distribuição a Ser Ampliado em Metros Lineares;

b = Fator de Economia de Escala de L_6 ;

X_6 = Vazão Incremental Máxima Horária (l/s);

a = Fator de Economia de Escala de X_6 ;

O quadro a seguir apresenta os resultados da regressão para o ajustamento do modelo.

Quadro 4.10. Ajuste do Modelo de Custos de Rede de Distribuição

Variáveis Independentes	Fator de Escala	Erro Padrão	Valor "t"	Nível Significância
Comprimento	0.5285	0.04304	12.5620	0.0000
Vazão Max. Horária	0.5406	0.06077	8.6968	0.0000

Feitas, também, as análises de variância e de resíduos, cujos gráficos fazem parte do anexo 13, os resultados mostram que o modelo é satisfatório e que o comprimento de rede e capacidade podem explicar os custos de assentamento de rede de distribuição com uma correlação ao quadrado de 99%.

Os gráficos das figuras abaixo plotam os custos estimados pelo modelo em comparação aos valores orçados.

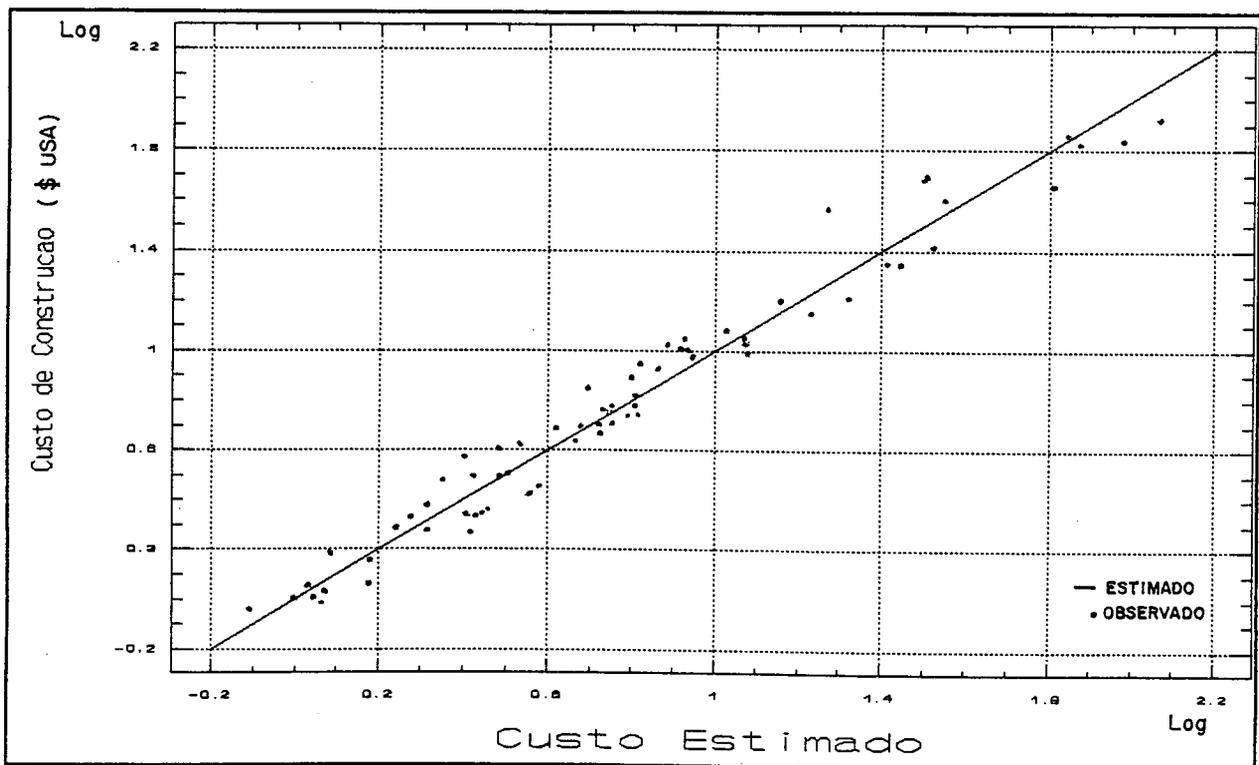


Fig.4.18. Custos Estimados e Orçados do Modelo de Rede de Distribuição

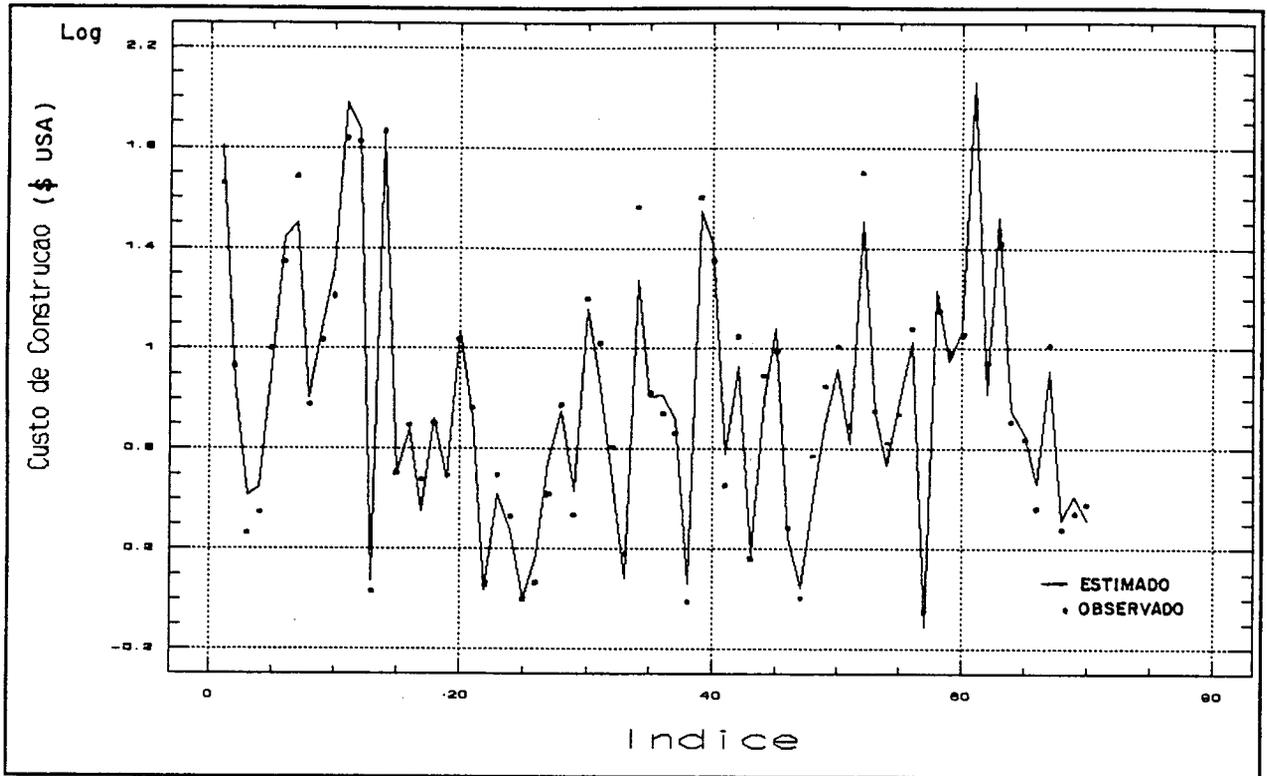


Fig.4.19. Custos Estimados e Orçados de Rede de Distribuição através de Índice (Numeração Seqüencial da Amostra)

O modelo definido para rede de distribuição de água, após calculada a constante de custo (K_6), está apresentado na equação abaixo:

$$Y_6 = 121.3 L_6^{0.53} X_6^{0.54} \quad (39)$$

6. Estrutura de Custo de Operação de Sistemas Urbanos de Abastecimento de Água

Os dados históricos que permitiram a realização do presente estudo da estrutura de custos de operação (operação e manutenção) foram obtidos dos relatórios mensais de Despesas de Exploração (CASAN-ASSESSORIA PLANEJAMENTO, 1991) onde os custos de operação são divididos em cinco grupos principais: Despesa de Pessoal, Despesas de Materiais (Material de Tratamento, Combustível e Outros), Despesas Gerais, Custos de Distribuição e Serviços de Terceiros (Energia Elétrica, Processamento de Dados e Outros).

Para efeito deste estudo, subdividiu-se a estrutura de custo de operação em quatro sub-grupos: Despesa de Pessoal, Energia Elétrica, Material de Tratamento e Outros. No sub-grupo Outros estão aglutinados os custos de Despesas de Exploração correspondentes a Despesas Gerais, Processamento de Dados, Combustíveis, Custos de Distribuição, Outros Serviços de Terceiros e Outras Despesas de Materiais.

Dos quadros comparativos do Estudo de Viabilidade Global de sistemas de abastecimento de água operados pela Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (CASAN-ASSESSORIA DE PLANEJAMENTO, 1991) foram obtidos os dados referentes ao volume mensal produzido e às horas de operação diária de cada sistema. Os dados de capacidade dos sistemas foram obtidos dos relatórios técnicos da Gerência Operacional (CASAN-GERÊNCIA OPERACIONAL, 1991). Foram selecionados os sistemas que possuem tratamento completo e que, na medida do possível, se assemelhassem tecnicamente.

Na análise do sub-grupo energia elétrica foram eliminadas as amostras que tinham adução por gravidade. Procurou-se eliminar algumas amostras que apresentavam custos fora da normalidade ou tinham informações incompletas. Os dados que alimentaram este estudo são oriundos de uma série histórica, mensal, relativa ao ano de 1991. Para a homogeneização do custo anual de cada sub-grupo,

computou-se os custos mensais atualizados pelo IGP-DI (Índice Geral de Preço-Disponibilidade Interna) da Fundação Getúlio Vargas, da mesma forma como mencionado para a consideração dos custos de construção.

A data de 31/12/91 foi estabelecida como a primeira referência para homogeneização dos valores mensais de 1991. Os valores monetários desta data foram transformados em cruzados equivalentes a março de 1986 e a dólares deste período, considerando a equivalência de Cz\$13,84 por 1 dólar.

Os custos de operação aqui entendidos correspondem ao total das despesas realmente efetuadas no período de um ano de operação, incluindo serviços administrativos, comerciais e fiscais e excluídos os custos financeiros resultantes de investimentos (custos de construção).

Modelos matemáticos foram ajustados para cada sub-grupo de custo do sistema utilizando-se análises de regressões não linear e linear simples para poder observar nestes sub-grupos de custos a influência da economia de escala.

Aqueles melhores ajustados estão reportados a seguir.

6.1. Sub-grupo Despesa de Pessoal

Analisando os dados de custos apresentados pela amostra (anexo 14) e plotados nas figuras 4.20, 4.21 e 4.22 em escala logarítmica, foram constatados custos unitários com despesa de pessoal decrescentes com o aumento da capacidade instalada. É possível, também, observar a tendência da variável taxa de uso do sistema nos custos unitários com despesas de pessoal.

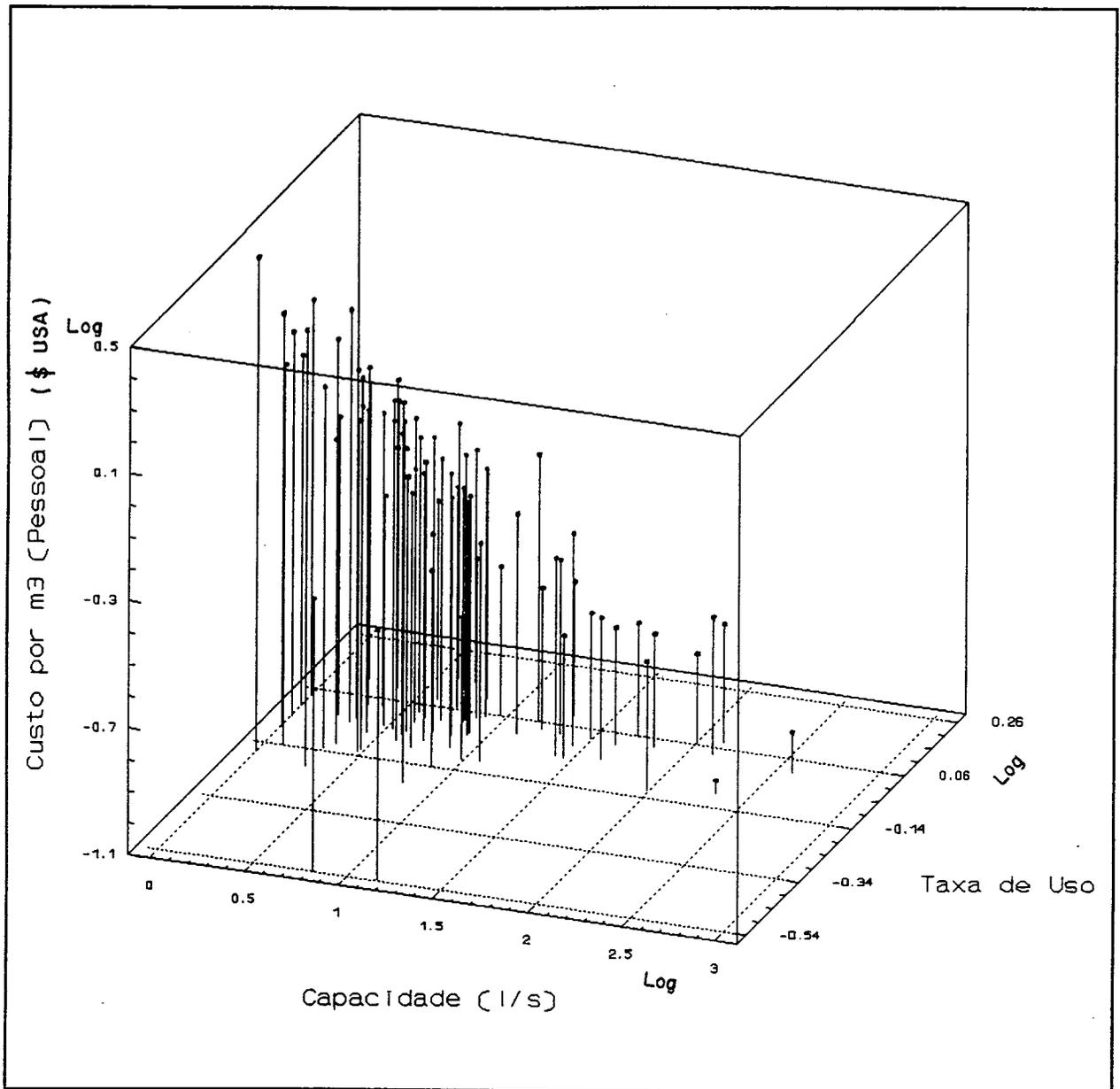


Fig.4.20. Custos Unitários com Despesas de Pessoal vs Capacidade Instalada e Taxa de Uso

O modelo matemático que melhor resultado apresentou para expressar o custo anual de despesa de pessoal foi ajustado inicialmente pelo custo unitário por metro cúbico produzido. Posteriormente o modelo foi transformado em custo anual. Foi usada para o ajuste uma amostra de 79 dados (anexo 8), onde as vazões variaram de 3 a 1150 l/s.

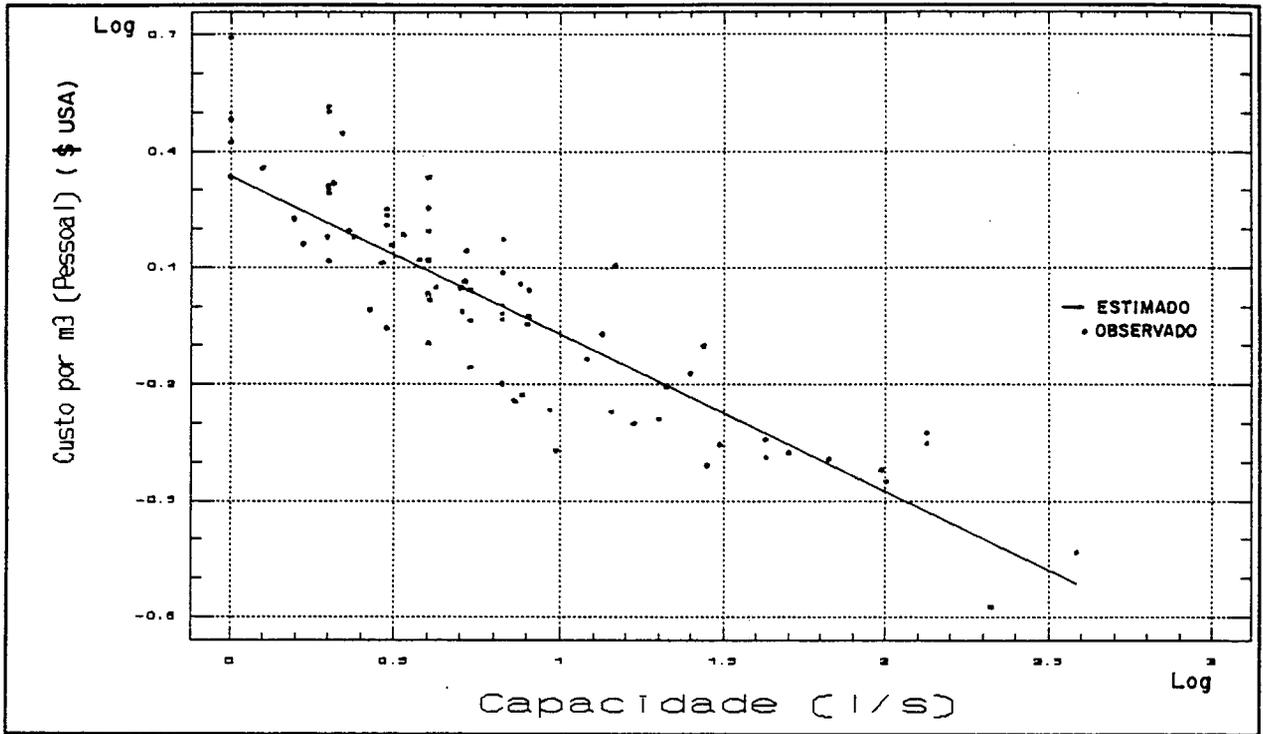


Fig.4.21. Custos Unitários com Despesas de Pessoal vs Capacidade Instalada

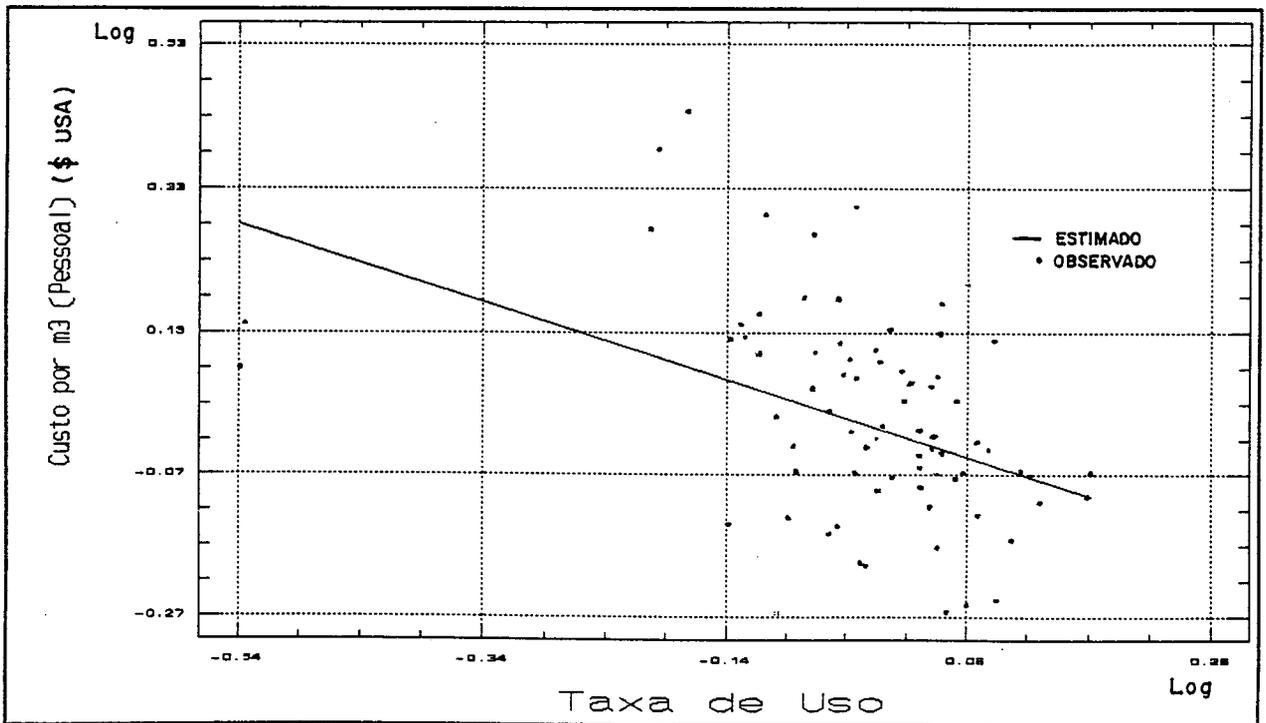


Fig.4.22. Custos Unitários com Despesas de Pessoal vs Taxa de Uso do Sistema

A equação matemática, abaixo, é uma função não linear múltipla que apresenta duas variáveis com valores exponenciais (fator de economia de escala) e expressa o custo unitário com despesas de pessoal.

$$Y_p' = K_p' U^b X^a \quad (40)$$

Onde:

- Yp' = Custo Unitário com Despesas de Pessoal para Produzir um Metro Cúbico de Água (\$ USA).
 Kp' = Constante de Custo Unitária para Despesas de Pessoal;
 U = Taxa Média Efetiva Anual de Uso do Sistema de Água (Razão entre Capacidade de Produção Instalada e Volume Anual Efetivamente Produzido);
 b = Fator de Economia de Escala de "U";
 X = Capacidade de Produção Instalada em l/s;
 a = Fator de Economia de Escala de X;

O quadro a seguir apresenta os resultados finais da regressão para o ajustamento do modelo.

Quadro 4.11. Ajuste do Modelo de Custos Unitários com Despesas de Pessoal

Variáveis Independentes	Fator de Escala	Erro Padrão	Valor "t"	Nível Significância
Capacidade	-0.40598	0.015074	-26.9331	0.0000
Taxa Uso	-0.54294	0.132395	-4.1009	0.0000

Feitas, também, as análises de variância e de resíduos, cujos gráficos fazem parte do anexo 15, os resultados mostram que o modelo é satisfatório e que a capacidade instalada do sistema de abastecimento de água e a taxa de uso podem explicar os custos com despesas de pessoal com uma correlação ao quadrado de 90%.

Nas figuras a seguir, pode-se comparar os custos estimados pelo modelo e os valores orçados.

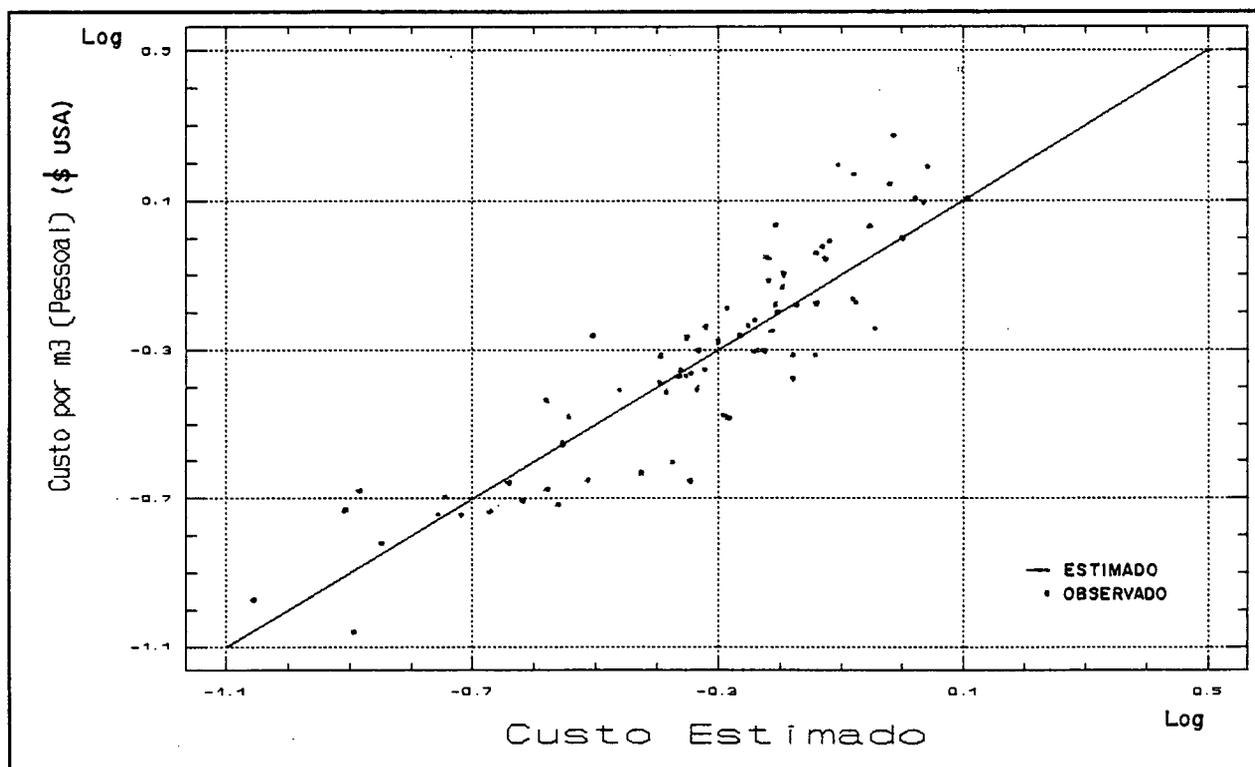


Fig.4.23. Custos Estimados e Orçados com Despesas de Pessoal

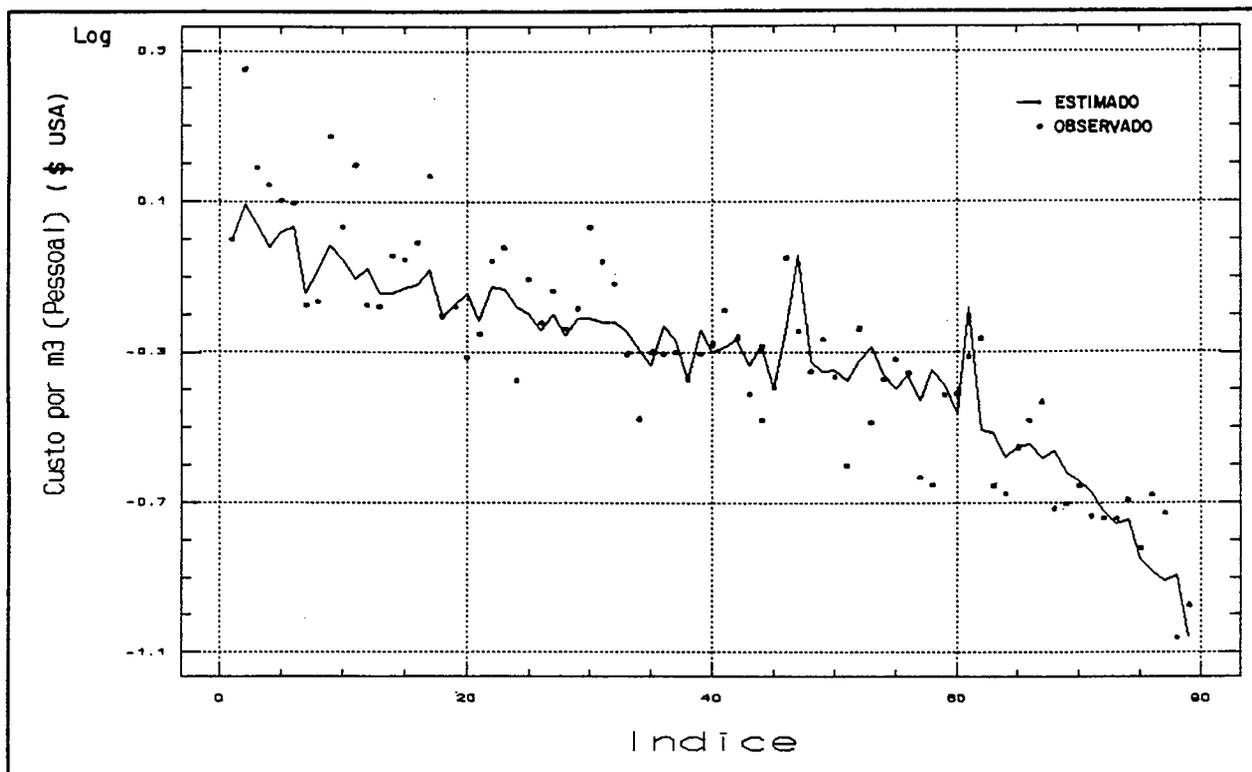


Fig.4.24. Custos Estimados e Orçados com Despesas de Pessoal através de Índice (Numeração Seqüencial da Amostra).

O modelo de custo unitário para despesas com pessoal, após calculado a constante de custo "Kp'", está apresentado na equação abaixo:

$$Y_p = 1.8136 U^{-0.543} X^{-0.406} \quad (41)$$

Para transformar o modelo acima para um modelo de custo anual "Yp", a equação 39 deve ser multiplicada pela produção anual "Pa".

A produção anual para um sistema de capacidade instalada X (l/s) e taxa anual de uso U é dada por:

$$P_a = 365UX \frac{86400}{1000} \quad (42)$$

onde $86400/1000$ é o valor da transformação da variável capacidade de l/s para m³/dia.

Da equação 40 e 39 resulta a equação abaixo, a qual expressa o modelo de custo anual para despesas com pessoal.

$$Y_p = 57193 * U^{0.457} * X^{0.594} \quad (43)$$

6.2. Sub-grupo Despesa com Energia Elétrica

Da análise das amostras coletadas para o estudo de custos com energia elétrica verificou-se que estes custos têm uma tendência de crescimento linear em relação à capacidade do sistema. Na figura 4.25 a seguir, pode ser percebida esta tendência.

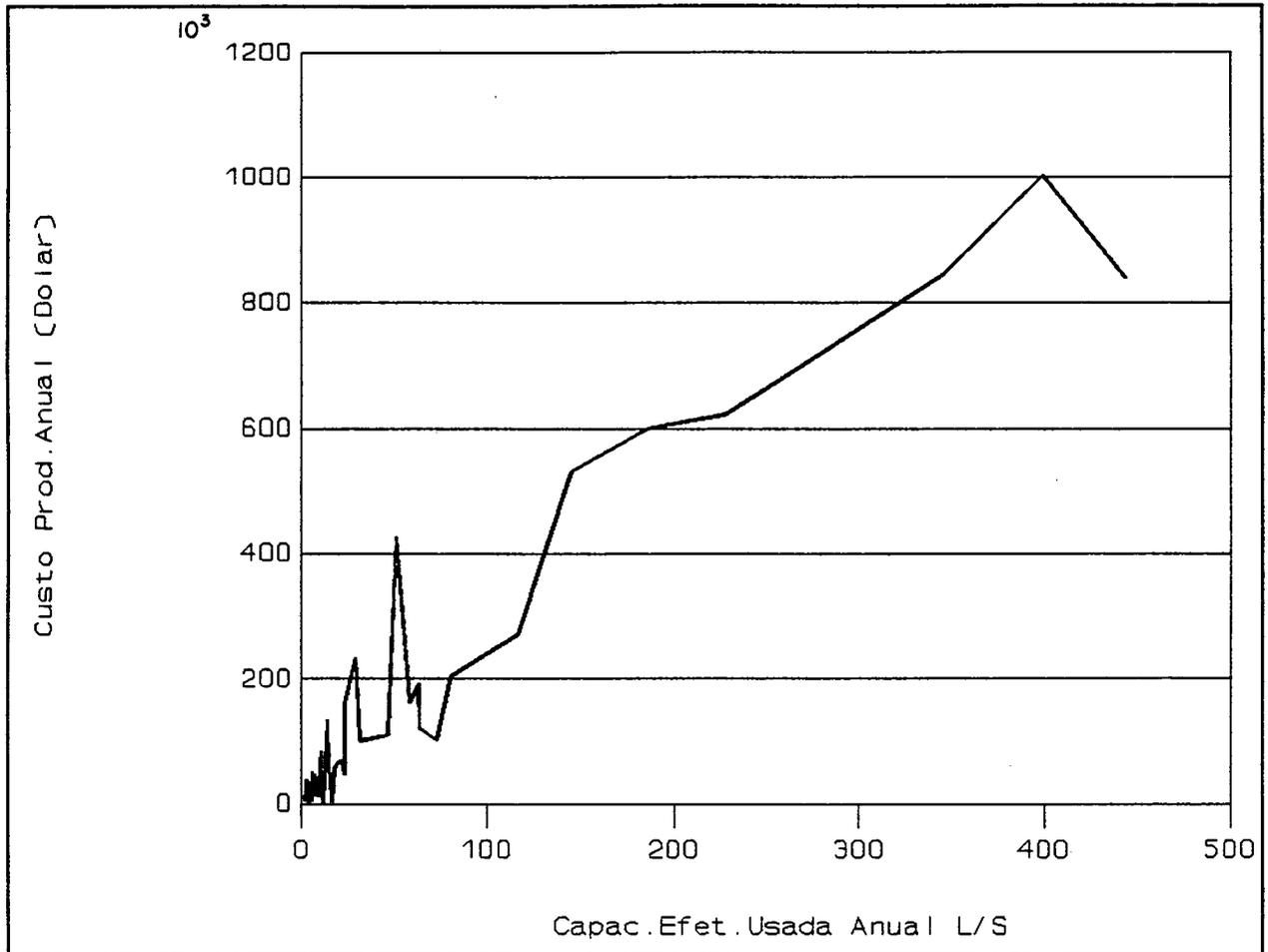


Fig.4.25. Custo Anual com Energia Elétrica

Feitas as análises de regressão verificou-se que apenas a função linear apresentou resultados satisfatórios. Para realizar este ajustamento foi considerada apenas uma variável independente para fazer a regressão. A variável independente é a resultante do produto da taxa efetiva anual de uso e a capacidade instalada do sistema de água, o que deve corresponder a quanto o sistema trabalha efetivamente.

A equação matemática adotada para o modelo está apresentada abaixo:

$$Y_e = K_e UX \quad (44)$$

Onde:

Y_e = Custo Total Anual com Despesas de Energia Elétrica (\$ USA);

K_e = Constante de Custo Anual com Despesas de Energia Elétrica;

U = Taxa Média Efetiva Anual de Uso do Sistema;

X = Capacidade Instalada do Sistema em l/s;

O modelo foi ajustado através de uma amostra composta de 72 dados (anexo 16) e os resultados da regressão estão apresentados abaixo:

Quadro 4.12. Ajuste do Modelo com Despesas de Energia Elétrica

Variável Independente	Coeficiente	Erro Padrão	Valor "t"	Nível Significância
Capacidade e Taxa Uso	2434.104	80.0333	30.4137	0.0000

Feitas, também, as análises de variância e de resíduos, cujos gráficos fazem parte do anexo 17, os gráficos de resíduos e de normalidade registram o efeito da escala real adotada para o ajustamento da regressão linear. A disposição em ordem crescente dos valores dos dados de capacidade está associada aos valores crescentes de custos, cujos resíduos podem ser observados com a tendência de crescimento no gráfico de resíduos, anexo 17. Este fato atesta a normalidade dos dados. Os resultados estimados pelo modelo ajustado, os quais estão apresentados no gráfico da figura 4.26 a seguir, mostram que o modelo está ajustado, e que a capacidade instalada do sistema de abastecimento de água e a taxa de uso podem explicar os custos com despesas de energia elétrica satisfatoriamente.

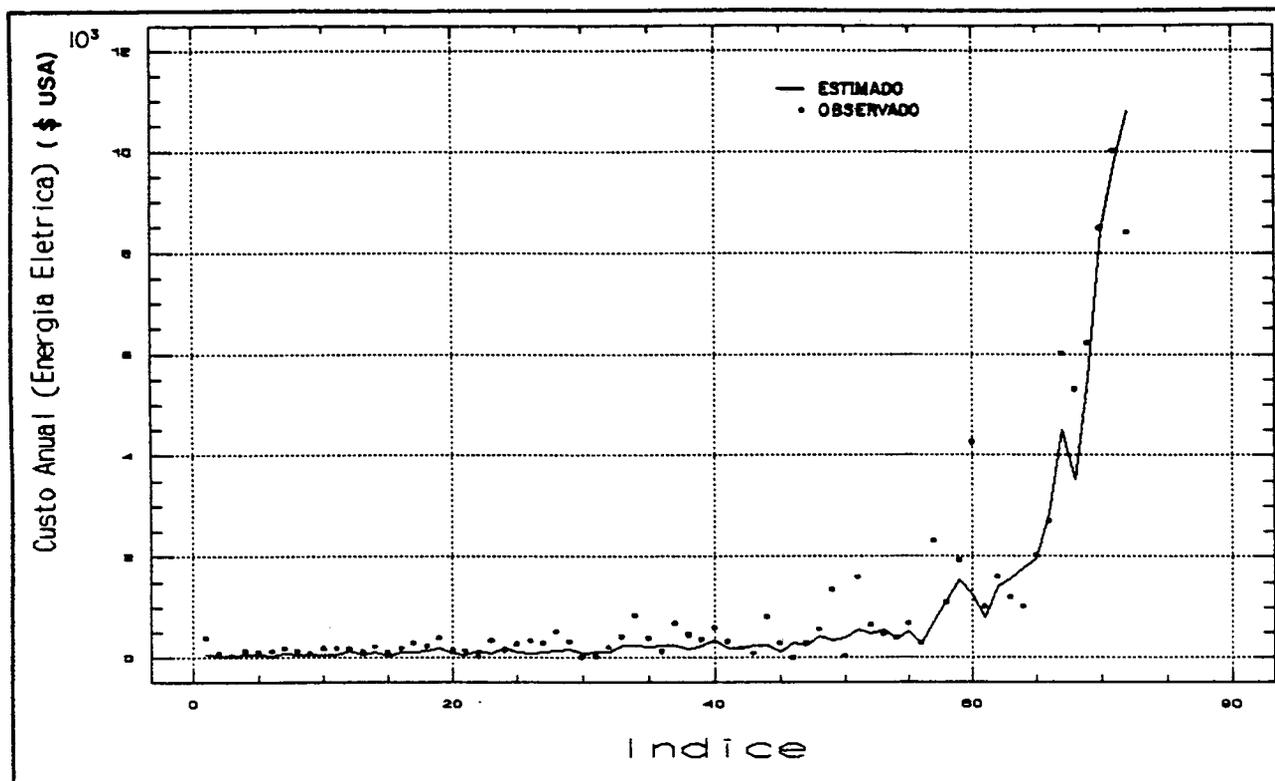


Fig.4.26. Custos Estimados e Orçados do Modelo com Despesas de Energia Elétrica através de Índice (Numeração Sequencial da Amostra).

O quadrado do coeficiente de correlação (R^2) obtido para este modelo foi de 93%.

A equação abaixo apresenta o modelo resultante para custo com despesas de energia elétrica.

$$Y_e = 2434.105 * U * X \quad (45)$$

6.3. Sub-grupo Despesas com Materiais para Tratamento

As despesas com materiais de tratamento segundo a amostra pesquisada apresentam custos unitários de volumes produzidos (m³/ano) constantes em relação ao crescimento da capacidade instalada. Da figura 4.27 onde estão plotados os dados coletados pode-se verificar que esta tendência se aproxima de uma função linear.

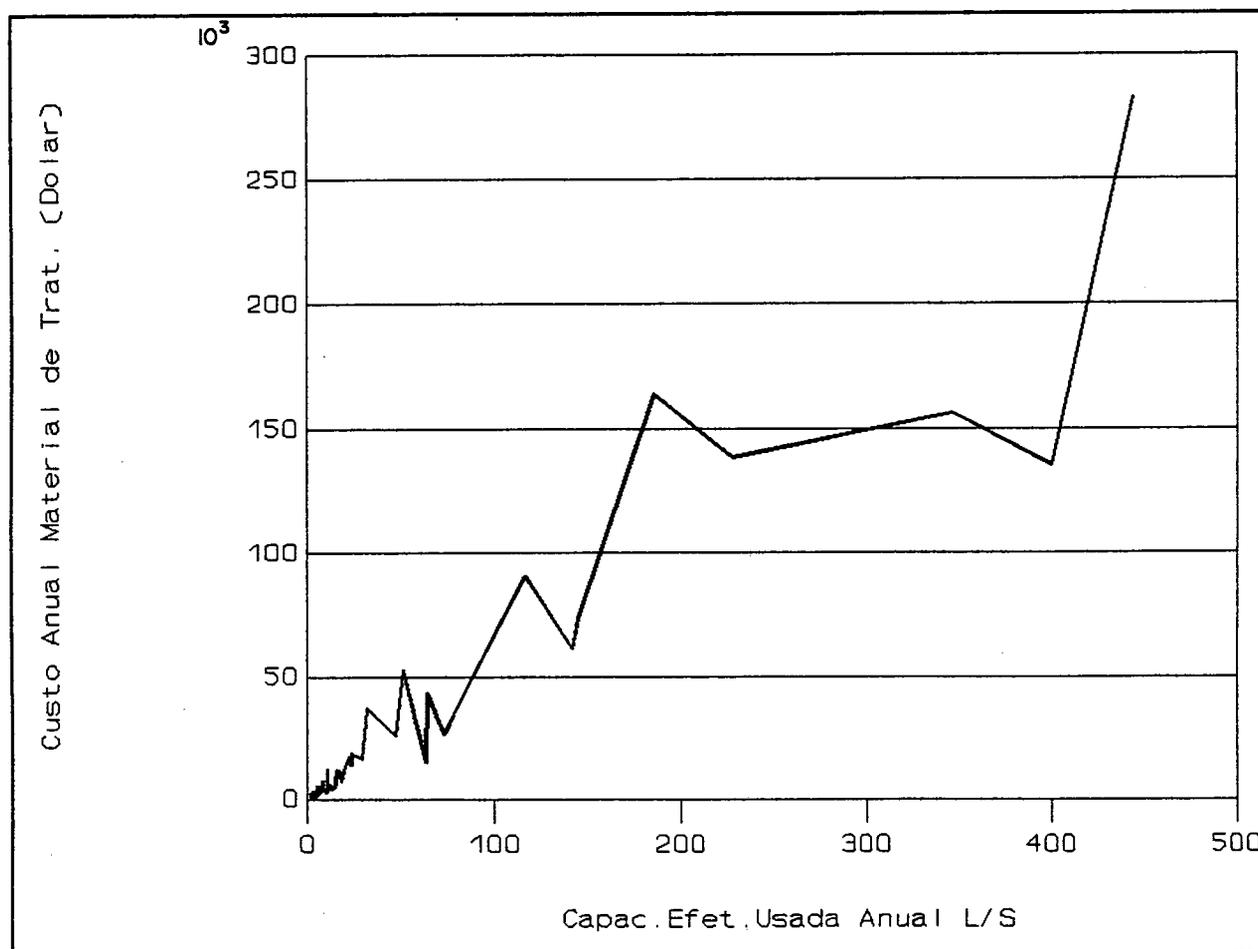


Fig.4.27. Custo Anual com Despesas de Material de Tratamento

Fazendo a análise de regressão com uma amostra de 78 dados (anexo 18), a função que melhor se ajustou está apresentada na equação abaixo:

$$Y_m = K_m UX \quad (46)$$

Onde:

- Y_m = Custo total com Despesas de Materiais de Tratamento (\$ USA);
- K_m = Constante Angular de Custo com Despesas de Materiais de Tratamento;
- U = Taxa Média Efetiva Anual de Uso do Sistema;
- X = Capacidade Instalada do Sistema em l/s;

Os resultados de uma regressão linear simples para o modelo de custos com despesas de materiais estão apresentados abaixo:

Quadro 4.13. Ajuste do Modelo de Custos com Despesas de Materiais de Tratamento

Variável Independente	Coefficiente	Erro Padrão	Valor "t"	Nível Significância
Capacidade e Taxa Uso	528.635	18.109	29.1915	0.0000

Após as análise de variâncias e de resíduos, cujos resultados e gráficos constam do anexo 19, notou-se as mesmas características de comportamento observada na análise feita para o modelo de despesas com energia elétrica.

Os resultados estimados pelo modelo para despesas com materiais de tratamento de água podem ser comparados com os observados na figura a seguir.

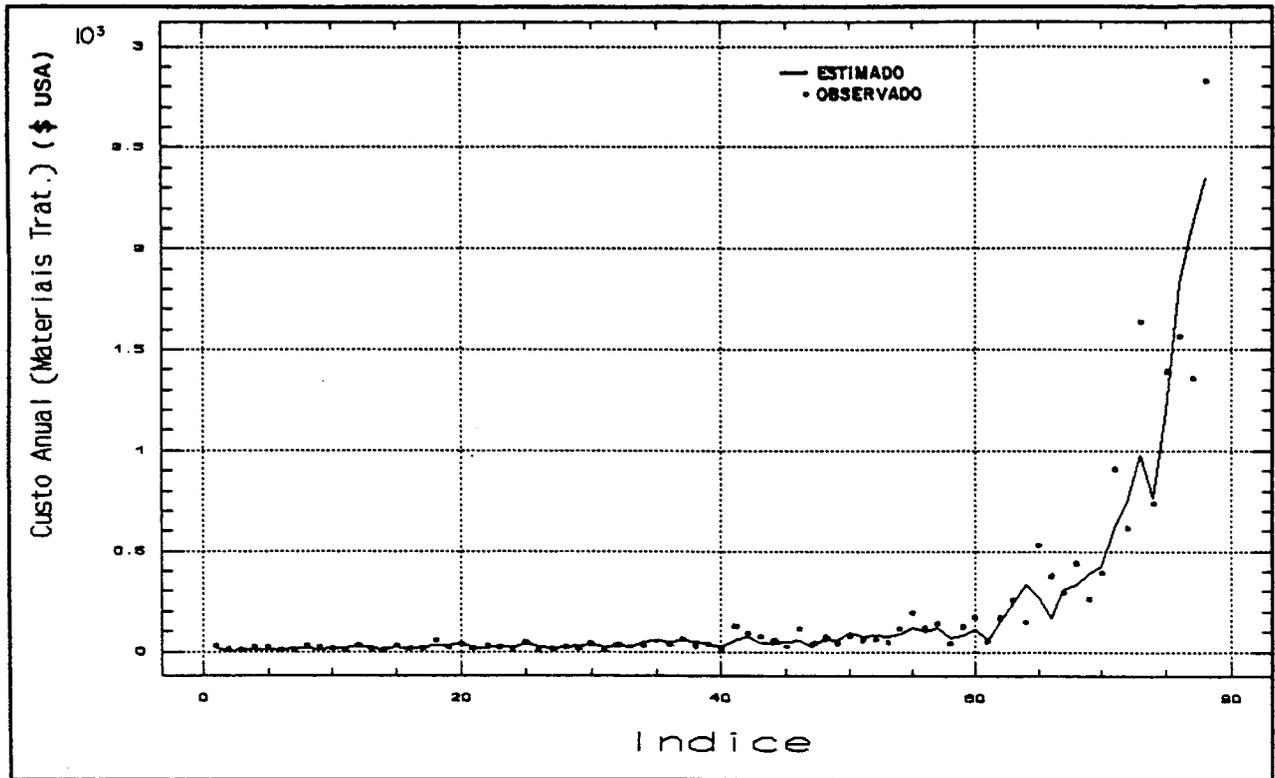


Fig.4.28. Custos Estimados e Orçados com Despesas de Materiais de Tratamento através de Índice (Numeração Sequencial da Amostra).

O quadrado do coeficiente de correlação (R²) obtida para este modelo foi de 92%.

A equação abaixo apresenta o modelo resultante para custo de despesas com materiais de tratamento de água.

$$Y_m = 528.63 * U * X \quad (47)$$

6.4. Sub-grupo Outras Despesas

Os dados de custos deste sub-grupo analisados e plotados na figura 4.29, também se ajustaram melhor a uma função linear com custos unitários constantes com o aumento da capacidade dos sistemas de abastecimento de água.

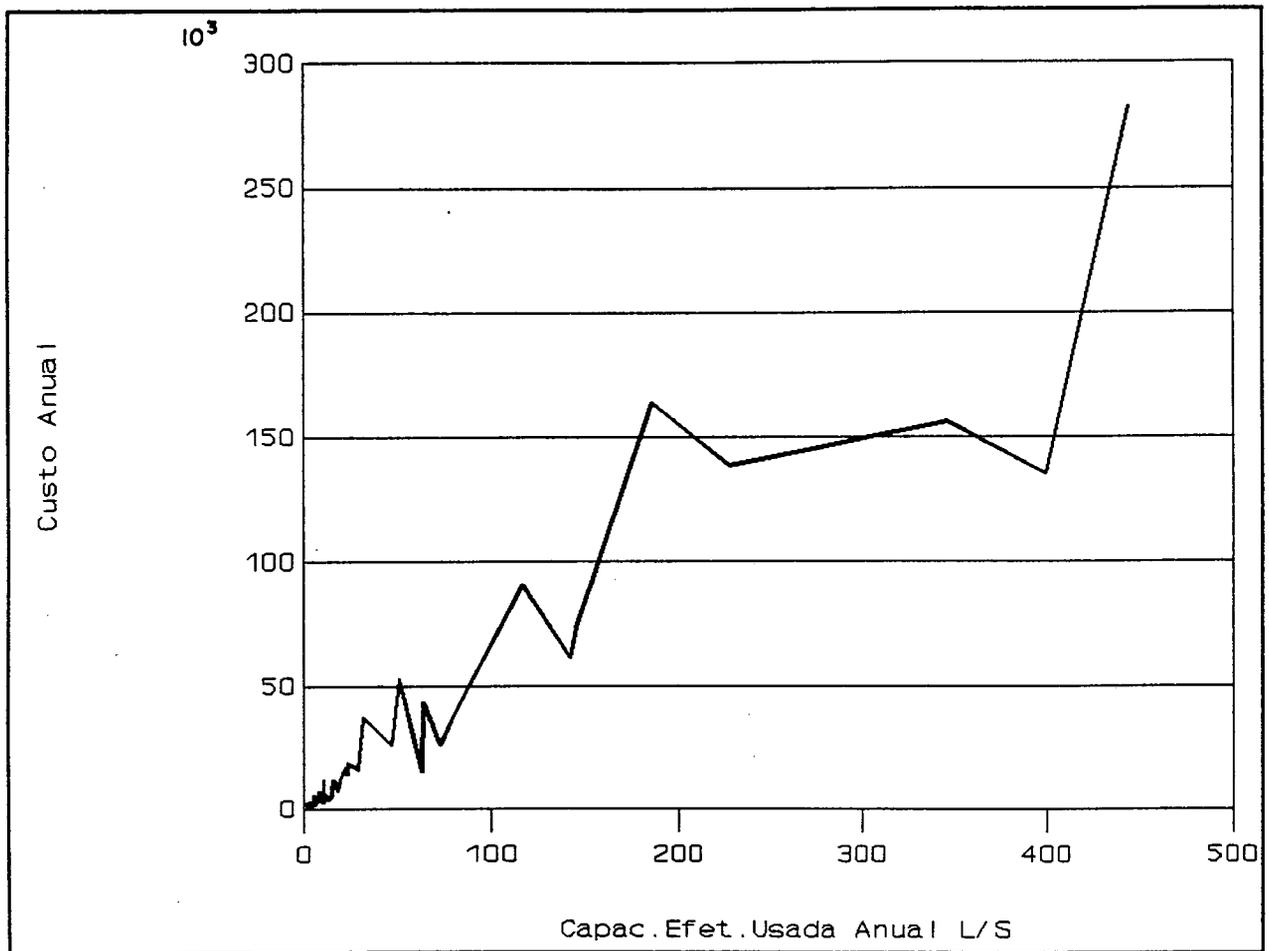


Fig.4.29. Custo Anual com Outras Despesas.

A tendência de crescimento linear se justifica uma vez que na estrutura administrativa existem Regionais, filiais-polo e filiais onde se estabelecem níveis de competência de serviços, concentrando

certos serviços dos sistemas menores nos maiores e anulando a tendência de existência de fator de economia de escala.

Como resultado das análises dos dados de uma amostra de 82 sistemas de abastecimento de água (anexo 20) o modelo da equação abaixo foi definido da seguinte forma

$$Y_s = K_s UX \quad (48)$$

Onde:

- Y_s = Custos com Outras Despesas (\$ USA);
- K_s = Constante de Custo Despesas "Outras";
- U = Taxa Média Efetiva Anual de Uso do Sistema;
- X = Capacidade Instalada do Sistema em l/s;

Os resultados finais da regressão linear simples para o modelo de custo com outras despesas estão apresentados abaixo:

Quadro 4.14. Ajuste do Modelo de Custos com Outras Despesas

Variável Independente	Constante	Erro Padrão	Valor "t"	Nível Significância
Capacidade e Taxa Uso	1032.59	21.7209	47.5392	0.0000

Após as análises de variâncias e de resíduos, cujos resultados e gráficos constam do anexo 21, foram, também, notadas

as mesmas características de comportamento observadas na análise feita para o modelo de despesas com energia elétrica.

Os resultados estimados pelo modelo para outras despesas podem ser comparados com os observados no gráfico da figura abaixo.

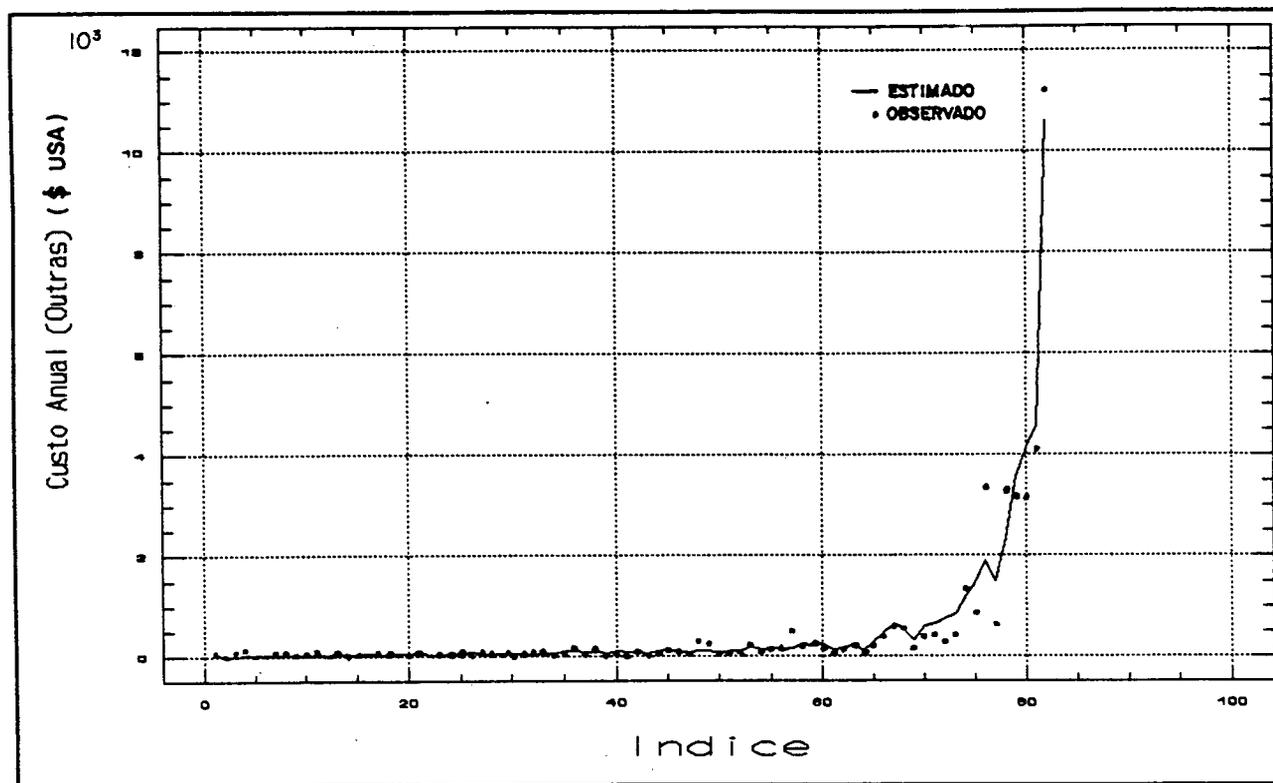


Fig.4.30. Custos Estimados e Orçados do Modelo de Outras Despesas através de Índice (Numeração Sequencial da Amostra).

O quadrado do coeficiente de correlação (R²) obtido para este modelo foi de 97%.

A equação abaixo apresenta o modelo resultante para custo com outras despesas.

$$Y_s = 1032.59 * U * X \quad (49)$$

7. Análise da Estrutura de Custo de Construção

Os resultados dos ajustes dos modelos matemáticos para as funções de custos de construção estão resumidos no quadro 4.15.

Destes resultados pode ser constatado que o fator de economia de escala é significativo para todos os componentes do sistema de abastecimento de água. Os fatores para a capacidade, nos modelos que tinham mais de uma variável independente, apresentaram, relativamente, a maior economia de escala. Somente no modelo para estações de recalque o fator de escala da altura manométrica superou o da capacidade de recalque. Portanto, quanto maior for a capacidade instalada, menores serão os custos unitários de construção.

Quadro 4.15. Modelos Ajustados para Custos de Construção dos Componentes do Sistema de Abastecimento de Água

COMPONENTES DO SISTEMA	MODELO MATEMÁTICO	R2
Estações de Recalque	$Y_1 = 599.12L_1^{0.340}X_1^{0.750}$	97%
Adutoras PVC	$Y_2 = 1.28L_2^{1.279}X_2^{0.214}$	89%
Adutoras Fe.Fundido	$Y_3 = 18.49L_3^{0.872}X_3^{0.362}$	98%
Estações de Tratamento	$Y_4 = 10761.90X_4^{0.610}$	97%
Reservatórios Apoiados	$Y_5 = 473.61V^{0.696}$	99%
Rede de Distribuição	$Y_6 = 121.30L_6^{0.540}X_6^{0.530}$	99%

No modelo de custo para estações de recalque a variável altura manométrica (L1) mostrou ser mais influente do que a vazão de recalque (X1) para a obtenção de economia de escala em mais que o dobro da contribuição desta. Estes resultados indicam que em relação ao crescimento da altura manométrica os custos unitários de construção são fortemente decrescentes, enquanto que em relação ao crescimento da capacidade esta redução não é tão expressiva.

Nos modelos de adutoras foram definidas também duas variáveis, comprimento (L2) e vazão de adução (X2). Observa-se para o modelo de adução por gravidade (PVC) que o fator de economia de escala da variável comprimento (L1) é maior que 1 ($a=1.279$). Portanto, se está diante de um fator de deseconomia de escala. Quanto maior for o comprimento, maior será o custo unitário. Este fato parece contraditório quando se observa que adutoras em ferro fundido têm economia de escala com o aumento do comprimento.

Buscou-se explicações para tal fato e algumas evidências foram encontradas: O aumento do comprimento de adução implica no aumento da perda de carga, aumento de diâmetro, maior quantidade de dispositivos operacionais como registros de descarga, ventosas, caixa de passagem e etc. As aduções de água por gravidade em geral ocorrem de uma encosta para outra e passam por vales, resultando em pressões dinâmicas pequenas e pressões estáticas grandes. As soluções técnicas geralmente adotadas utilizam tubulações com diâmetros acima do normal e mais resistentes (classes maiores) elevando os custos. A economia de escala obtida com o aumento do comprimento na adução em ferro fundido, embora pequena, pode ocorrer em razão da capacidade de absorção do aumento da perda de carga pela estação de recalque, que apresenta uma economia de escala significativa ($a=0.340$). O fator de economia de escala definido para o aumento de vazão é extremamente elevado tanto para tubulações em PVC como para ferro fundido.

Nos modelos para estações de tratamento e com reservatórios apoiados, foram adotadas apenas as variáveis explicativas, capacidade e volume, respectivamente em cada um dos modelos. O fator de economia de escala obtido para a capacidade (vazão) das estações de tratamento ($a=0.61$) está muito próximo daqueles estudados por Orlob et.al. ($a=0.65$ e $a=0.67$).

As tecnologias de tratamento de água que foram adotadas no Brasil e nos Estados Unidos são as mesmas. Portanto, a forma das curvas de custos são semelhantes, alterando-se apenas os níveis do custos (constante "K").

O fator de escala da variável volume apresentou, também, economia mas em menor proporção que os outros modelos.

Na equação matemática do modelo de custo para redes de distribuição, comprimento de rede e vazão total a ser distribuída mostraram a existência de um valor significativo de economia de escala semelhante para ambas as variáveis.

Os resultados apresentados expressam o comportamento dos custos praticados no Estado de Santa Catarina pela Companhia Catarinense de Saneamento cujos sistemas de abastecimento de água são construídos, em sua maioria, para cidades pequenas.

Validação dos Modelos Matemáticos das Funções de Custos de Construção:

Os modelos de custos de construção foram testados na amostra selecionada para o estudo de expansão de sistemas. Os vinte diferentes projetos foram executados entre o período de 1980 e 1991.

A comparação dos resultados de custos, estimados pelos modelos matemático e os orçados pelos projetos, pode ser feita pelos valores transcritos no quadro 4.16.

Para efeito de comparação entre os valores orçados e os estimados, foram excluídos dos presentes custos aqueles referentes a captação de água, ligações domiciliares e itens especiais.

Os resultados mostram que o modelo estimou valores com erro máximo de 27.7%. Entretanto, ao considerar a média dos erros em módulo, ela não ultrapassou 14.67%. O desvio padrão do erro resultou em 7.1%.

Quadro 4.16. Custos Orçados pela CASAN e Custos Estimados pelos Modelos Ajustados

CIDADES	Custos Orçados (\$ USA)	Custos Estimados (\$ USA)	(1) %	Data Orçamento
Palmeiras	58.000,00	57.000,00	-1.8	06/82
Lindóia do Sul	80.000,00	83.000,00	3.8	12/81
Pedra de Amolar	174.000,00	148.000,00	-17.6	07/83
Ilhota	78.000,00	91.000,00	16.7	04/83
Nova Veneza	157.000,00	134.000,00	-17.2	06/80
Monte Castelo	259.000,00	208.000,00	-24.5	06/84
Alfredo Wagner	145.000,00	123.000,00	-17.9	04/85
Praia Grande	271.000,00	219.000,00	-23.7	01/81
Água Doce	190.000,00	203.000,00	6.8	06/83
Ponte Serrada	270.000,00	230.000,00	-17.4	09/80
Pouso Redondo	190.000,00	211.000,00	11.0	07/83
Pinhalzinho	435.000,00	350.000,00	-24.3	07/85
Guaramirim	389.000,00	354.000,00	-9.9	09/81
Catanduvas	266.000,00	317.000,00	19.2	12/91
Correia Pinto	407.000,00	346.000,00	-17.6	08/88
Otacílio Costa	235.000,00	300.000,00	27.7	09/84
Sombrio	632.000,00	605.000,00	-4.5	05/90
Braço do Norte	552.000,00	492.000,00	-12.2	04/90
Ibirama	963.000,00	827.000,00	-16.4	06/86
Caçador	1.667.000,00	1.617.000,00	-3.1	06/90
CUSTO TOTAL	7.418.000,00	6.915.000,00	-6.9	

(1) Diferença percentual entre custos estimados e orçados

A figura 4.31 permite uma visualização melhor da precisão dos resultados ao apresentar graficamente a comparação das diferenças dos valores orçados e estimados.

Pelos resultados observados pode-se concluir que é possível estimar custos de construção através das variáveis dos modelos matemáticos adotados.

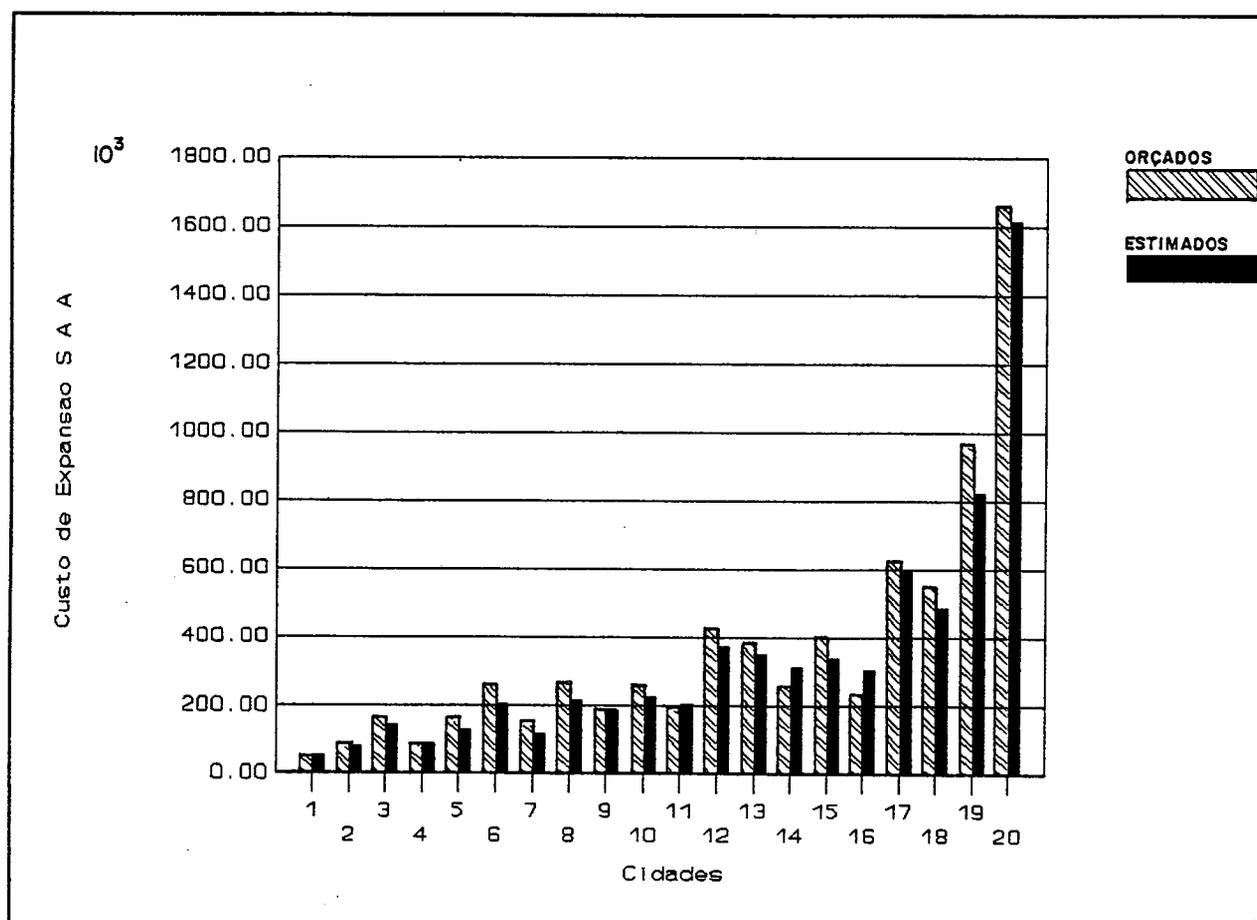


Fig.4.31. Comparação dos Custos Orçados e Estimados

8. Análise da Estrutura de Custo de Operação

Os resultados do ajustamento dos modelos matemáticos para as funções de custos de operação estão resumidos no quadro abaixo:

Quadro 4.17. Modelos Ajustados para Custos de Operação

Sub-Grupos de Custos Operacionais	Modelos Matemáticos de Custos	R2
Despesas com Pessoal	$Y_p = 57193 U^{0.457} X^{0.594}$	90%
Despesas com Energia Elétrica	$Y_e = 2434.10 UX$	93%
Despesas com Materiais de Tratamento	$Y_m = 528.64 UX$	92%
Outras Despesas	$Y_s = 1032.59 UX$	97%

Aglutinando as equações de custos dos diversos sub-grupos já definidos, tem-se o custo total de operação expresso na equação abaixo.

$$Y_p = 57193 U^{0.457} X^{0.594} + 3995.32 UX \quad (50)$$

O lado direito da equação pode ser analisado em duas partes. A primeira representa o custo com despesas de pessoal e é uma função exponencial dupla representando economia de escala

significativa (0.594 para a capacidade "X" e 0.457 para a taxa efetiva de uso "U"). A segunda parte representa os custos de Despesas com Energia Elétrica, com Materiais de Tratamento e Outros. Trata-se de funções lineares onde os custos anuais crescem numa proporção constante com o aumento da capacidade e utilização.

Para efeito de análise e visualização das equações definidas, foi elaborado o gráfico da figura 4.28 que apresenta as curvas do custo total de operação da amostra coletada e dos estimados pela equação número 50 acima.

Observa-se que estão muito próximas as curvas, o que evidencia a precisão dos modelos encontrados e ajustados.

Dos resultados obtidos no ajuste dos modelos acima, apenas aqueles com Despesa de Pessoal têm economia de escala e representam o maior percentual dos custos que formam o custo de operação.

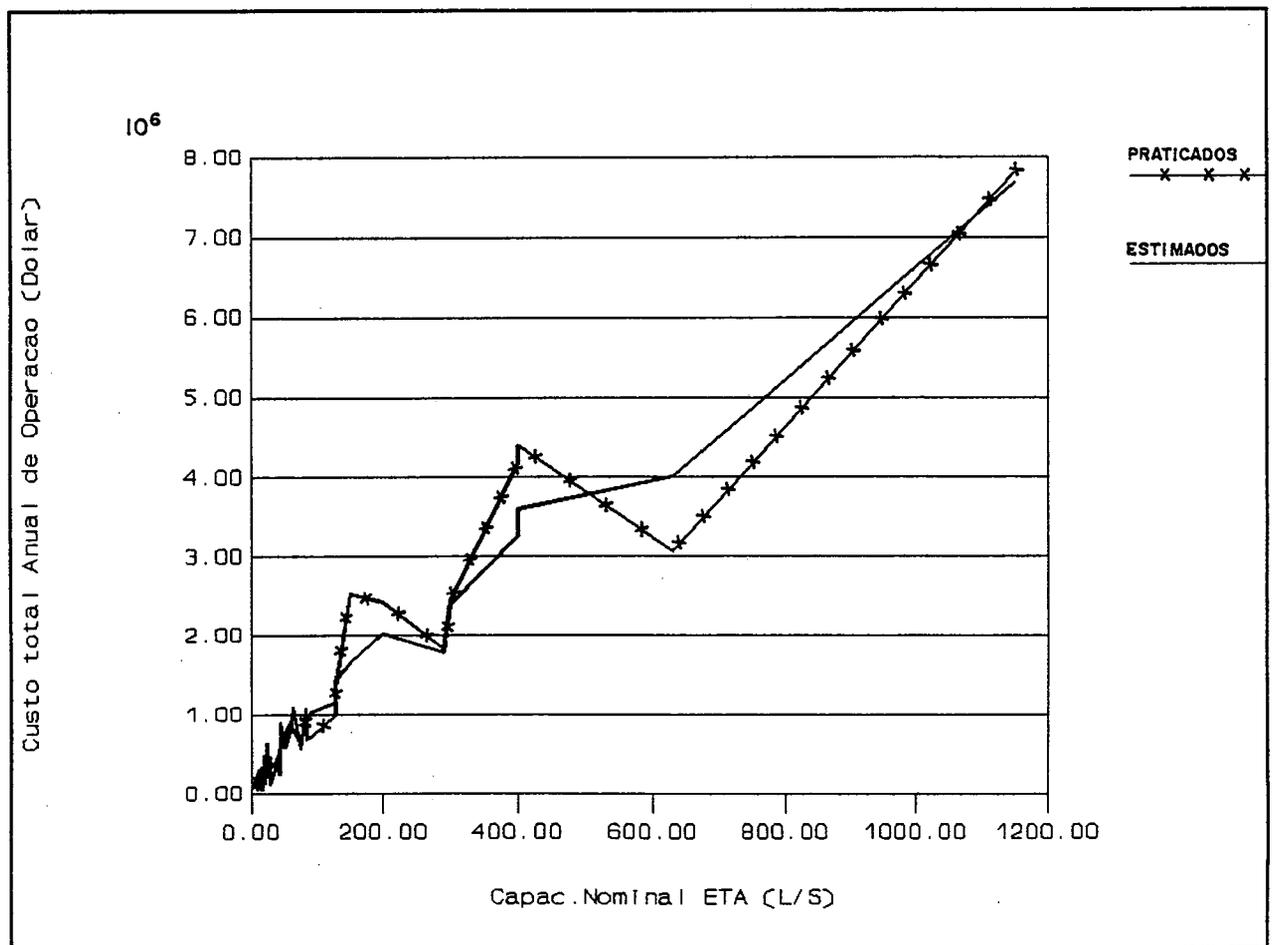


Fig.4.32. Custos Anual Total de Operação Praticados pela CASAN e Custos Estimados pelos Modelos

Da análise do quadro 4.18 pode-se concluir que, as despesas com pessoal representam o grande peso nos custos operacionais e são proporcionalmente muito maiores para os sistemas menores. Para um sistema de grande porte (500 l/s) e de um de pequeno porte (3 l/s), os custos com despesas de pessoal em relação aos custos totais de operação do sistema, podem representar respectivamente 56.4 e 91.2%.

Quadro 4.18. Custos de Operação de Sistemas vs Capacidade Nominal Instalada com Taxa Efetiva Anual de Uso de 80%.

S A A	Capacidade Nominal Instalada da Estação de Tratamento					
	3 l/s	%	100 l/s	%	500 l/s	%
Fatores de Custos						
Pessoal	99189	91.2	796260	71.4	2071301	56.4
Energia Elétrica	5842	5.4	194720	17.4	973600	26.5
Material de Tratamento	1269	1.2	42288	3.8	211440	5.8
Outros	2478	2.2	82608	7.4	413040	11.3
Total	108778	100	1115876	100	3669381	100

Os demais sub-grupos definidos neste trabalho não apresentaram fatores de economia de escala pois ocorreu crescimento linear. Aumentando a capacidade instalada do sistema os custos unitários em

geral se mantém constantes. Os custos com materiais de tratamento têm representado o menor percentual de custos de operação (de 1.2 a 5.8% dos custos de operação para capacidades de 3 a 500 l/s).

Os custos de energia elétrica aparecem com percentuais reduzidos para pequenos sistemas e crescem até atingirem aproximadamente 50% das despesas de pessoal nos sistemas grandes. Variam de 5.4 a 26.5% para vazões entre 3 a 500 l/s. Eles só atingem valores maiores do que 25% dos custos de operação quando a capacidade do sistema é superior a 500 l/s. Os custos definidos em outras despesas também são bem reduzidos para capacidades variando de 3 a 500 l/s (de 2.2 a 11.3% do custo total de operação). Se forem considerados os custos de operação de um sistema operando com 3 l/s logo após a sua implantação, supondo que a taxa inicial efetiva de uso possa significar 30% da capacidade nominal instalada, o percentual de custo com despesa de pessoal atingirá, aproximadamente, 95% do custo anual total de operação.

Para analisar o custo total anual de operação e custos unitários em sistemas com tratamento completo e adução por recalque foi elaborado o quadro 4.19. Nele estão apresentados os valores para os sistemas de abastecimento de água de pequeno e grande porte com capacidade de 3 a 500 l/s e com taxas efetivas de uso de 0.50 e 0.80, a primeira corresponde a um período médio de utilização e a segunda o sistema com a capacidade nominal próxima da saturação.

Os custos de operação unitários, isto é, custo de operação por metro cúbico de água produzida, representam apenas 29 centavos de dólar nos sistemas maiores (500 l/s) e podem representar 1.44 dólar para sistemas menores (3 l/s), mesmo considerando os sistemas sendo operados com taxa de uso efetivo anual de 80%.

É bom recordar que esta variação do custo unitário de operação é influenciada somente pelo sub-grupo despesa com pessoal (economia de escala), porque nos outros sub-grupos de despesas operacionais, os custos unitários são constantes não variam com o aumento da escala). Isto implica que, retirando as despesas com pessoal, o custo de um metro cúbico produzido em um sistema com capacidade "X" será o mesmo que num sistema de capacidade "X+1".

Quadro 4.19. Custo Anual Total e Unitário de Operação com Taxas Anuais Efetivas de Uso de 50 e 80%.

SAA	Prod.M.A (m3) (1)	Custo T.A.O (2)	C.U. (3)	Prod.M.A (m3) (1)	Custo T.A.O (2)	C.U. (3)	(4)
Capac. Nominal	U=0.8	1000 dólar	(m3)	U=0.5	1000 Dolar	(m3)	%
3	75686	109	1.44	47304	86	1.82	26.5
6	151373	169	1.12	94608	133	1.40	25.8
9	227059	219	0.97	141912	172	1.21	25.3
12	302746	264	0.87	189216	206	1.09	24.9
15	378432	306	0.81	236520	238	1.01	24.5
20	504576	370	0.73	315360	287	0.91	24.1
30	756864	485	0.64	473040	374	0.79	23.3
40	1009152	590	0.59	630720	453	0.72	22.8
50	1261440	687	0.55	788400	525	0.67	22.3
60	1513728	780	0.52	946080	594	0.63	21.9
80	2018304	953	0.47	1261440	722	0.57	21.3
100	2522880	1116	0.44	1576800	842	0.53	20.7
150	3784320	1493	0.39	2365200	1116	0.47	19.7
200	5045760	1841	0.37	3153600	1369	0.43	19.0
300	7568640	2488	0.33	4730400	1833	0.39	17.9
400	10091520	3093	0.31	6307200	2263	0.36	17.1
500	12614400	3669	0.29	7884000	2670	0.34	16.4

(1) Produção Média Anual de Água (m3);

(2) Custo Total Anual com Despesas de Operação;

(3) Custo Unitário de Operação por Metro Cúbico Produzido;

(4) Redução do Custo Unitário da Taxa de Uso de 0.50 para 0.80.

Assim pode-se concluir que os custos operacionais são influenciados primordialmente por duas variáveis: capacidade instalada do sistema e taxa efetiva de uso. Deste modo, quanto maior for a taxa de uso efetiva anual, menores serão os custos unitários por metro cúbico produzido.

Entretanto, na prática, estas variáveis têm comportamento distinto quanto ao crescimento. Ao ser aumentada a capacidade instalada, será reduzida a taxa de uso efetivo se a demanda não for aumentada na mesma proporção.

A taxa de uso, teoricamente, pode variar de 0 a 1. Supondo que os sistemas iniciam sua operação, com taxa de uso superior de 33%, o que corresponde, aproximadamente, a uma jornada diária de trabalho mínima de 8 horas, isto é, um turno normal de trabalho. Ao longo do tempo a demanda continua crescendo e a taxa de uso de uma determinada capacidade instalada cresce proporcionalmente até o saturamento, quando então a taxa de uso atinge 100% da capacidade instalada.

CAPÍTULO V

ANÁLISE DE EXPANSÃO DE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Com o desenvolvimento dos modelos matemáticos das funções de custos de construção e de operação no capítulo anterior, o modelo de expansão de capacidade de sistemas de abastecimento de água desenvolvido no capítulo III ficou completo.

No presente capítulo é feita a análise de expansão dos sistemas de abastecimento de água das comunidades selecionadas na amostra descrita no item 3.4 do capítulo III. O objetivo desta análise é comprovar a hipótese de que é possível aprimorar a estratégia utilizada para definição de capacidade dos sistemas de abastecimento de água reduzindo os custos de produção praticados. O modelo de expansão desenvolvido neste estudo é aplicado à amostra e é comparado às soluções adotadas pela Companhia Catarinense de Águas e Saneamento de Santa Catarina (CASAN).

O modelo de expansão de capacidade desenvolvido é baseado na formulação da escolha da capacidade inicial de construção de uma determinada instalação que terá um uso crescente e que, após um certo período, possa se expandir.

A demanda de consumo de água é o fator chave na decisão de investimentos e o seu nível é o sinal para o aumento da capacidade física. A função de demanda, continuamente, estabelece o patamar certo de consumo compatível com o crescimento da população, aumento de consumo em razão de crescimento industrial, aumento de renda e padrão de vida da população e de outros fatores que determinarem a expansão de demanda. Ao se assumir que o aumento de demanda pode ser corretamente antecipado, a planta inicial a ser construída será maior do que a demanda requerida neste tempo visando tirar proveito da economia de escala.

1. Parâmetros Adotados no Modelo de Expansão

Os parâmetros adotados para a análise de expansão são os normalmente utilizados pela Companhia Catarinense de Águas e Saneamento para o Estado de Santa Catarina para a implantação dos projetos da amostra selecionada.

Foram adotados os seguintes parâmetros:

- a) Taxa Mínima de Atratividade de 10% ao ano;
- b) Juros Reais de Financiamentos: 10% ao ano;
- c) Período de Carência: 2 anos;
- d) Período de Amortização: 18 anos;
- e) Coeficiente de Consumo Máximo Diário: 1.2;
- f) Coeficiente de Consumo Máximo Horário: 1.5;
- g) Horizonte do Plano: 20 anos;

A estrutura de custo adotada pelo modelo é a desenvolvida no capítulo anterior.

Para que fosse possível fazer a comparação e avaliação do modelo foram adotadas as mesmas configurações dos sistemas usados pela CASAN.

2. Configuração do Sistema da Cidade de Água Doce

O processo de desenvolvimento do modelo de expansão para as várias cidades da amostra segue os mesmos procedimentos detalhados a seguir para a cidade de Água Doce.

O projeto de expansão do sistema de abastecimento de água da cidade de Água Doce foi elaborado em julho de 1983. A população total existente nesta época era de aproximadamente 2.600

habitantes. A taxa de crescimento populacional estimada no projeto para os próximos 20 anos, foi de 5.77% ao ano.

O sistema existente a ser expandido está apresentado no esquema da figura 5.1 abaixo:

Captação

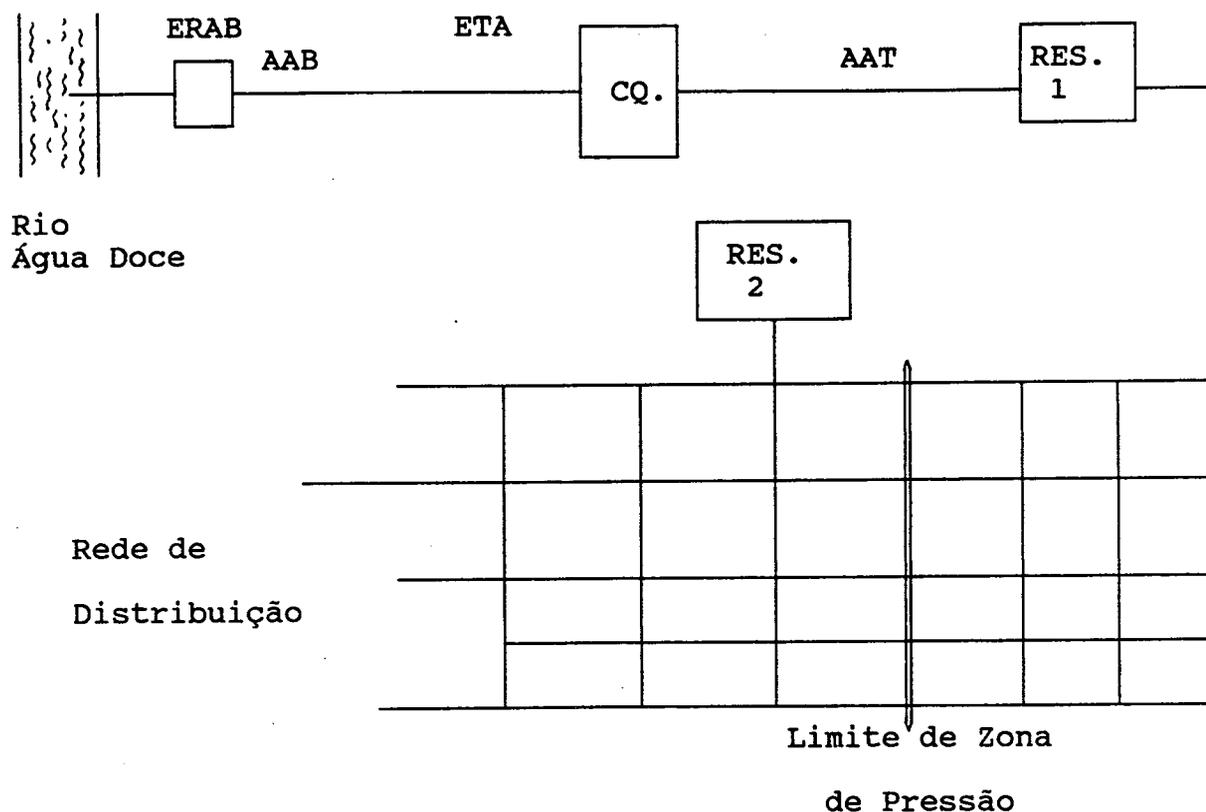


Figura 5.1. Configuração do Sistema Existente de Água Doce.

ERAB: Estação de Recalque de Água Bruta: vazão de 3.50 l/s e altura manométrica de 19.00 m.c.a.;

AAB: Adutora em Ferro Fundido: vazão de 3.50 l/s e comprimento de 1700.00 m;

ETA: Estação de Tratamento de Água com Capacidade de 3.50 l/s;

CQ.: Casa de Química: faz parte da ETA;

RES(1): Reservatório Apoiado Concreto Armado: capacidade de 25 m³;

RES(2): Reservatório Apoiado Concreto Armado: capacidade de 50 m³;

Rede de Distribuição: vazão máxima horária de 5.25 l/s;

O projeto de expansão elaborado de acordo com o Termo de Referência para a Elaboração de Projetos Técnicos de Abastecimento de Água da Casan (1981) e aprovados segundo a Sistemática de Aprovação de Projetos e Pedidos de Financiamentos (Banco Nacional da Habitação) resultou na expansão do sistema existente de 3.50 para 13.26 l/s. O sistema foi projetado e implantado em uma única etapa com o horizonte do plano de 20 anos.

A configuração do sistema existente, apresentado na fig.5.1, foi alterada segundo o croqui apresentado na figura 5.2 abaixo.

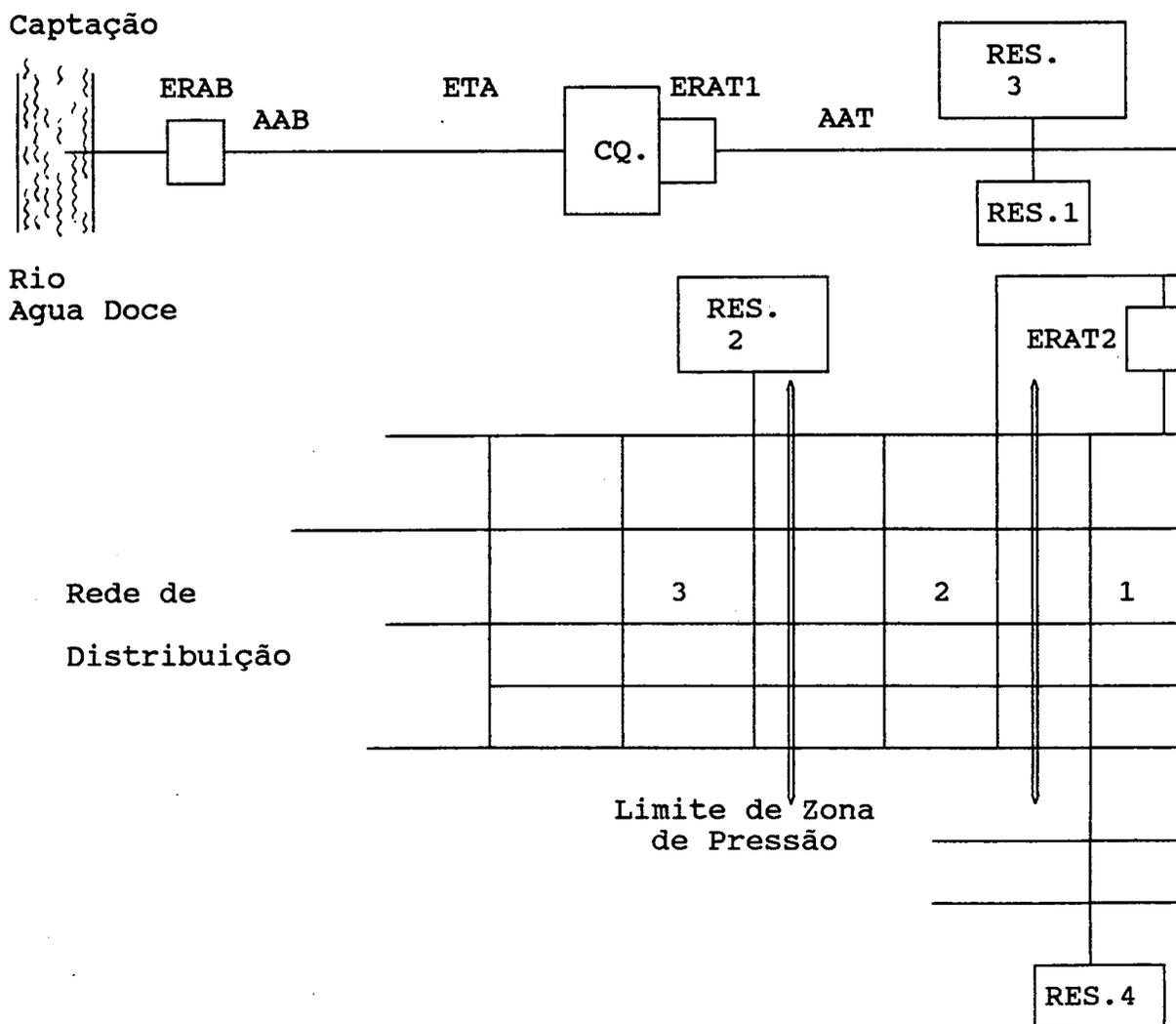


Figura 5.2. Configuração do Sistema Proposto

A captação foi mantida no mesmo local no Rio Água Doce. O local da estação de tratamento foi mudado para próximo ao Rio Água Doce, a uma distância de 100 metros do local de captação. As adutoras de água bruta e água tratada passaram a ter novos comprimentos, 100 e 1605 metros respectivamente. Junto a casa de química da nova estação de tratamento foi prevista uma estação de recalque para bombear toda a água tratada. Foi criada mais uma zona de pressão resultando na necessidade de uma pequena estação de recalque (ERAT2) e outro ponto de reservação (RES.4).

Considerando para a aplicação do modelo de expansão a mesma configuração adotada pela CASAN, foram relacionados a seguir os componentes e as suas respectivas características:

- 1- Estação de Recalque de Água Bruta (1):
População a ser servida: Zonas 1, 2 e 3
Capacidade existente: 3.50 l/s,
Altura manométrica: 19.00 m.c.a.;
- 2- Adutora de Água Bruta (1):
População a ser servida: Zonas 1, 2 e 3;
Capacidade Existente: 0.00 l/s;
Material.: Ferro Fundido;
Comprimento: 100.00 m;
- 3- Estação de Tratamento de Água:
População a ser servida: Zonas 1, 2 e 3;
Capacidade existente: 3.50 l/s;
- 4- Estação de Recalque de Água Tratada (1):
População a ser servida: Zonas 1, 2 e 3;
Capacidade Existente: 0.00 l/s;
Altura Manométrica: 106.91 m.c.a.;
- 5- Adutora de Água Tratada (1):
População a ser servida: Zonas 1, 2 e 3;
Material: Ferro Fundido;
Capacidade: 3.50 l/s;
Comprimento: 1605.00 m;

- 6- Reservatório Apoiado em Concreto Armado (RES.1):
Comunidade a ser servida: Zona 2;
Capacidade existente: 25 m³;
- 8- Estação de Recalque de Água Tratada (2):
População a ser servida: Zona 1;
Capacidade existente: 0.00 l/s;
Altura manométrica: 31.00 m.c.a.;
- 9- Reservatório Apoiado (RES.4):
População a ser servida: Zona 1;
Capacidade existente: 0.00 m³;
- 10- Reservatório Apoiado (RES.2):
População a ser servida: Zona 3;
Capacidade existente: 50.00 m³;
- 11- Rede de Distribuição:
População a ser servida: Zonas 1, 2 e 3;
Capacidade existente: 5.25 l/s;
Comprimento de rede a implantar: 9557.00 m;

3. Aplicação do Modelo de Expansão

Com base nos dados apresentados acima foi feita a aplicação do modelo de expansão apresentado no capítulo III. Os relatórios resultantes fazem parte do anexo 22.

Está apresentado no quadro a seguir o resumo dos resultados da aplicação do modelo de expansão para Água Doce.

Quadro 5.1. Plano de Expansão do Sistema da Cidade de Água Doce

Componentes S A A	Capacidade Existente	Capacidade a Executar	Ano a Implantar	Custo (\$ USA)
01-ERAB	3.50 l/s	3.26 l/s	00	3.853,00
	6.76 l/s	2.71 l/s	08	3.367,00
	9.47 l/s	3.79 l/s	14	4.298,00
02-AAB	0.00 l/s	13.26 l/s	00	2.624,00
03-ERAT(1)	0.00 l/s	7.15 l/s	00	12.020,00
	7.15 l/s	2.86 l/s	09	6.191,00
	10.01 l/s	3.25 l/s	15	6.778,00
04-ETA	3.50 l/s	4.06 l/s	00	24.340,00
	7.56 l/s	5.70 l/s	11	30.149,00
05-ERAT(2)	0.00 l/s	0.83 l/s	00	1.682,00
	0.83 l/s	0.33 l/s	09	866,00
	1.17 l/s	0.38 l/s	15	949,00
06-AAT(2)	3.50 l/s	9.76 l/s	00	26.425,00
07-RES(1)	25.00 m3	150.00 m3	00	15.569,00
	175.00 m3	70.00 m3	09	9.166,00
	245.00 m3	80.00 m3	15	9.999,00
08-RES(2)	50.00 m3	0.00 m3	--	-----
09-RES(3)	0.00 m3	14.00 m3	00	3.023,00
	14.00 m3	5.00 m3	10	1.380,00
	19.00 m3	6.00 m3	15	1.677,00
10-REDE(1)	5.25 l/s	6.75 l/s	00	47.262,00
	12.00 l/s	7.89 l/s	11	51.329,00

O modelo define um plano de expansão diferenciado para cada parte do sistema e calcula os seus respectivos custos. Cada parte do sistema é dimensionada para atender a demanda. O excesso de capacidade, quando o sistema é expandido, é determinado pelos fatores de economias de escala. Para o componente estação de recalque de água bruta (ERAB) foi definido um plano de expansão em três etapas sendo a primeira no início do plano (ano 0) com capacidade de 3.26 l/s e custo de 3.853,00 dólares, a segunda (ano 8) com 2.71 l/s e custo de 3.367,00 dólares e a última (ano 14) com 3.79 l/s e custo de 4.298,00 dólares.

Para as outras estações de recalque (ERAT1 e ERAT2) o modelo define o plano, também, em três etapas de implantação. Houve uma

pequena alteração do ano de implantação a partir da segunda etapa, a qual passou do ano 8 para o 9 e do ano 14 para o 15. A existência de uma capacidade já instalada para a ERAB provocou uma pequena redução no período da primeira etapa do seu plano de expansão e definiu a capacidade a ser executada na primeira etapa como a diferença entre a capacidade que deveria ser executada se não houvesse capacidade alguma instalada e a capacidade existente.

As adutoras aparecem indicadas para serem executadas em uma única etapa mesmo quando da existência de uma capacidade já instalada. Este resultado é consequência do alto valor da economia de escala detectado para a capacidade de adutoras (0.362).

Os Reservatórios, à semelhança das estações de recalques, são definidos também em três etapas.

Estações de tratamento e rede de distribuição tiveram como resultado duas etapas de implantação coincidindo para os mesmos anos mas com capacidades proporcionais diferentes. Por exemplo, enquanto as ampliações da estação de tratamento resultaram em 4.06 e 5.70 l/s, a serem implantadas nos anos 0 e 11, as capacidades de ampliações da rede de distribuição, para estes mesmos anos, resultaram em valores comparativos de 4.50 e 5.26 l/s (a rede de distribuição é dimensionada pela capacidade máxima horária, 1.50 vezes maior do que a capacidade máxima diária, logo os valores 6.75 e 7.89 do quadro 5.1 foram divididos por este coeficiente para efeito de comparação).

Da definição do plano ótimo de expansão estabelecida no quadro acima, o modelo avalia os custos globais do sistema em termos de investimento de construção e o custo operacional ao longo do horizonte do plano. São, também, calculados os respectivos valores presente, de construção, de operação e do custo global do plano de expansão.

No quadro 5.2 a seguir estão apresentados os custos de construção e de operação obtidos para a cidade de Água Doce.

O modelo de expansão registra para cada ano o custo segundo o plano de expansão e o respectivo custo operacional.

Na última linha do quadro 5.2 a seguir estão registrados os valores presentes dos custos estimados de construção e operação para o plano de expansão do sistema.

Quadro 5.2. Plano de Custeio do Sistema do Abastecimento de Água da Cidade Água Doce.

Ano	Custo de Construção	Custo de Operação
1	136.797,00	159.070,00
2	-----	163.741,00
3	-----	168.562,00
4	-----	173.545,00
5	-----	178.690,00
6	-----	184.005,00
7	-----	189.498,00
8	-----	195.174,00
9	3.367,00	201.041,00
10	16.223,00	207.107,00
11	31.529,00	220.824,00
12	51.329,00	234.948,00
13	-----	242.049,00
14	-----	249.392,00
15	4.298,00	256.987,00
16	19.403,00	264.843,00
17	-----	272.972,00
18	-----	281.383,00
19	-----	290.089,00
20	-----	299.102,00
Total Plano (VP)	181.171,00	1.707.675,00

4. Avaliação do Plano de Expansão Desenvolvido

O mesmo procedimento usado para a aplicação do modelo de expansão no sistema da cidade de Água Doce foi utilizado para as demais cidades da amostra.

Os resultados das análises das amostras apresentaram uma convergência dos componentes de um sistema de abastecimento de água em relação aos outros para a definição do número de etapas e uma pequena divergência quanto ao período de cada etapa.

Em geral, o custo mínimo dos componentes dos sistemas foram obtidos da seguinte forma:

Estações de Recalque, o plano de expansão ocorreu em três etapas de implantação: a primeira deve ser implantada no primeiro ano do plano com capacidade de atender até o décimo ano quando então se executa a segunda etapa com capacidade de atender até o décimo sexto ano. Finalmente no décimo sexto ano se implanta a terceira etapa e última.

Adutoras, o plano de expansão estabeleceu a implantação em uma única etapa para o início do plano para todos os sistemas.

Reservatórios, devem ser implantados em três etapas sendo as etapas implantadas no primeiro, décimo primeiro e décimo sexto ano.

Estações de Tratamento, devem ser implantadas em duas etapas sendo uma no início e a outra no décimo primeiro ano.

Redes de Distribuição, também devem ser implantadas em duas etapas sendo uma no início e a outra no décimo terceiro ano.

Quando o plano de expansão ocorre para um sistema existente não saturado, os períodos das etapas podem sofrer pequenas alterações em razão das capacidades dos componentes já instalados.

No quadro 5.3 a seguir, foram sintetizados os resultados em termos de investimentos iniciais e globais de construção correspondentes aos respectivos planos de expansão determinados. Os valores obtidos podem ser comparados com os dos planos de expansão adotados pela CASAN.

Para efeito desta comparação, os custos estimados de investimentos e de operação são baseados na mesma estrutura de custos determinada no capítulo anterior. Portanto, teoricamente eles se alteram somente devido à mudança da estratégia do plano.

Os resultados dos dados da amostra analisada mostram que a estratégia de expansão utilizada pelo Plano Nacional de Saneamento (PLANASA), no qual se inseriu a Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (CASAN), pode ser aprimorada pela redefinição de etapas de implantação explorando melhor a economia de escala dos componentes do sistema. Para o caso particular de Água Doce a redução do investimento inicial resultou em 48.2% e a redução do custo total do plano de expansão em 12.8%

Ao se comparar os investimentos é possível verificar que o modelo desenvolvido sempre apresenta uma redução dos recursos investidos. Os resultados das amostras analisadas apresentaram uma redução expressiva em relação ao investimento inicial. Considerando que os recursos para investimentos são os principais limitantes de expansão dos sistemas de abastecimento de água, a redução média de 45.8% dos recursos iniciais das amostras analisadas demonstra que é possível melhorar as estratégias de expansão. Os limites mínimo e máximo calculados de redução dos investimentos iniciais resultaram, respectivamente, em 13 e 237%. O modelo de expansão proposto também reduziu os investimentos globais da amostra ao longo do plano em 12.7%.

Quadro 5.3. Custos de Construção da Amostra Resultantes da Aplicação do Modelo de Expansão.

CIDADES	Modelo Casan (Total) (\$1000)	Modelo Desenv. (Total) (\$1000)	Modelo Desenv. (Inicial) (\$1000)	(1) (%)	(2) (%)
Palmeiras	57,00	54,00	46,00	5.7	23.9
Água Doce	203,00	181,00	137,00	12.2	48.2
Guaramirim	354,00	337,00	280,00	5.0	13.2
Lindóia	83,00	79,00	70,00	5.1	18.6
Ponte Serrada	230,00	214,00	179,00	7.5	28.5
Correia Pinto	346,00	313,00	224,00	10.5	54.5
Braço do Norte	492,00	437,00	330,00	12.6	49.1
Sombrio	605,00	552,00	479,00	9.6	26.3
Nova Veneza	134,00	129,00	113,00	3.9	18.6
Pouso Redondo	211,00	193,00	158,00	9.3	33.5
Catanduvas	317,00	216,00	94,00	46.8	237
Pedra de Amolar	148,00	144,00	136,00	2.3	8.8
Pinhalzinho	350,00	309,00	275,00	13.3	27.3
Praia Grande	219,00	212,00	184,00	3.3	19.0
Ilhota	91,00	74,00	48,00	23.0	89.6
Alfredo Wagner	123,00	115,00	92,00	7.0	33.7
Monte Castelo	208,00	198,00	184,00	5.1	13.0
Otacílio Costa	300,00	281,00	194,00	6.8	54.6
Ibirama	827,00	773,00	632,00	7.0	30.9
Caçador	1.617,00	1.327,00	888,00	21.9	82.1
CUSTO TOTAL	6.915,00	6.138,00	4.743,00	12.7	45.8

Obs.: Redução Percentual do recurso total aplicado no plano (1) e redução nos investimentos iniciais em relação ao plano da CASAN (2).

Foram calculados os custos de operação ao longo do plano para os dois modelos, aquele adotado pela CASAN e o desenvolvido neste trabalho.

Os resultados dos custos de operação estão registrados no quadro 5.4 a seguir, apresentando uma redução percentual média de 3.4%. Isto ocorre em função da menor capacidade instalada no início do plano.

Se for considerado que esta redução ocorre somente na primeira fase do projeto, pois na fase final as capacidades serão iguais para os dois planos, o percentual global de 3.4% representa aproximadamente uma redução de 6.5% nos custos operacionais iniciais, coincidindo com o período de maior dificuldade de obtenção de retornos financeiros.

Ao ser expandido o sistema, os recursos iniciais de construção são alocados para serem recuperados ao longo do plano de expansão através da tarifa de água. Entretanto, quando o sistema inicia operando logo após ser expandido, o excesso de capacidade instalada reduz a taxa de uso efetiva do sistema resultando em custos unitários de operação maiores. Portanto, a expansão por etapa beneficia duplamente a viabilização do sistema ao se reduzir os custos iniciais de construção e de operação proporcionando um custo de produção menor.

Os custos totais (construção e operação) dos planos, apresentados no quadro 5.5, demonstram que o custo total global da amostra poderia ser reduzido em 2.583.163,00 dólares. Representa este valor uma redução de 4.35% aproximadamente. Esta redução passa a ser significativa quando for verificado que com o valor obtido seria possível realizar 14 expansões de sistemas semelhantes ao da cidade de Água Doce.

Diante de um quadro de escassez de recursos para investimentos como ocorre nos países de terceiro mundo e nos em desenvolvimento, a redução dos investimentos iniciais de construção e a redução do custo inicial de operação são metas fundamentais no esforço de viabilizar os sistemas. Portanto o modelo poderá se tornar uma ferramenta útil na solução de viabilidade das expansões dos sistemas de água.

Quadro 5.4. Custos Globais de Operação da Amostra Resultantes da Aplicação do Modelo de Expansão

CIDADE	Modelo Casan	Modelo Desenvolvido	(1) (%)
Palmeiras	767.515,00	743.490,00	3.23
Água Doce	1.783.915,00	1.707.675,00	4.46
Guaramirim	3.015.527,00	2.920.712,00	3.25
Lindóia	1.030.052,00	1.000.819,00	2.92
Ponte Serrada	1.814.717,00	1.739.834,00	4.30
Correia Pinto	2.798.864,00	2.714.230,00	3.12
Braço do Norte	4.166.688,00	4.006.356,00	4.00
Sombrio	4.865.747,00	4.786.509,00	1.66
Nova Veneza	1.363.206,00	1.293.109,00	5.40
Pouso Redondo	2.197.775,00	2.130.693,00	3.15
Catanduvas	3.257.810,00	3.134.012,00	3.95
Pedra de Amolar	1.345.987,00	1.317.136,00	2.19
Pinhalzinho	2.798.864,00	2.714.230,00	3.12
Praia Grande	2.019.017,00	1.950.143,00	3.53
Ilhota	1.410.774,00	1.324.339,00	6.52
Alfredo Wagner	1.656.821,00	1.569.515,00	5.56
Monte Castelo	1.597.078,00	1.558.388,00	2.48
Otacílio Costa	4.249.160,00	4.106.266,00	3.48
Ibirama	5.037.233,00	4.867.589,00	3.49
Caçador	10.216.609,00	9.920.610,00	2.98
CUSTO TOTAL	57.393.359,00	55.505.655,00	3.40

Obs.: (1) Percentual de Redução de Custo Global Operacional.

Quadro 5.5. Custos Totais (Construção e Operação) dos Planos de Expansão da Amostra

CIDADE	Modelo CASAN	Modelo Desenvolvido	(1)	(2)
Palmeiras	824.515,00	797.490,00	27.025,00	3.4
Água Doce	1.986.915,00	1.888.675,00	98.240,00	5.2
Guaramirim	3.369.527,00	3.257.712,00	111.815,00	3.4
Lindóia	1.113.052,00	1.079.819,00	33.233,00	3.1
Ponte Serrada	2.044.717,00	1.953.834,00	90.883,00	4.7
Correia Pinto	3.144.864,00	3.027.230,00	117.634,00	3.9
Braço do Norte	4.658.688,00	4.443.356,00	215.332,00	4.8
Sombrio	5.470.747,00	5.338.509,00	132.238,00	2.5
Nova Veneza	1.497.747,00	1.422.109,00	75.097,00	5.3
Catanduvas	3.574.810,00	3.347.012,00	227.798,00	6.8
Pedra de Amolar	1.493.987,00	1.461.136,00	32.851,00	2.2
Pinhalzinho	3.148.864,00	3.023.230,00	125.634,00	4.2
Praia Grande	2.238.017,00	2.162.143,00	75.874,00	3.5
Ilhota	1.501.774,00	1.398.339,00	103.435,00	7.4
Alfredo Wagner	1.779.821,00	1.684.515,00	95.306,00	5.7
Monte Castelo	1.805.078,00	1.756.388,00	48.690,00	2.8
Otacílio Costa	4.549.160,00	4.387.266,00	161.894,00	3.7
Ibirama	5.864.233,00	5.640.589,00	223.644,00	4.0
Caçador	11.833.609,00	11.247.610,00	585.999,00	5.2
CUSTO TOTAL	61.900.125,00	59.316.962,00	2.583.163,00	4.4

Obs.: Diferença do modelo CASAN e o Desenvolvido: (1) em dólares e (2) em Percentagem

CAPÍTULO VI

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O desenvolvimento da metodologia para análise de expansão de sistemas de abastecimento de água resultou no modelo que se fundamenta na demanda e capacidade de uma dada configuração para estabelecer uma estratégia de custo mínimo para a implantação do sistema.

O modelo foi desenvolvido em linguagem computacional (Pascal). Desta maneira foi possível viabilizar a manipulação das variáveis de configuração, de demanda e de capacidade, e realizar as séries de cálculos de um plano de expansão para a escolha do custo mínimo de produção de um sistema num horizonte de projeto qualquer.

Explorando a economia de escala determinadas pelos modelos matemáticos de funções de custos estudadas no capítulo IV, os resultados da aplicação do modelo de expansão de sistemas em uma amostra de 20 projetos no Estado de Santa Catarina, mostrou que é possível facilitar a viabilização de expansão de sistemas reduzindo os custos de produção de água por introduzir um plano de expansão por etapa individual para cada componente do sistema.

Pelos resultados da amostra analisada pode-se concluir que é possível conseguir reduzir os custos de produção praticados nos sistemas ao se estruturar uma estratégia de expansão da capacidade que contemple a ampliação das partes componentes do sistema de forma individualizada, explorando os seus respectivos fatores de economia de escala e adequando a capacidade ao longo do plano para suprir a demanda.

Como resultado da aplicação da metodologia foi possível observar que as diversas partes componentes do sistema apresentaram capacidades e etapas diferentes de expansão sem prejuízo do suprimento da demanda. Provavelmente, o fato de se efetuar implantações periódicas no sistema resultará em uma atividade gerencial e construtiva maior ao longo do plano de expansão. Por outro lado é possível reduzir os custos iniciais de expansão (45.8%) com ganhos também na redução dos custos de operação ao longo do plano de 3.4% na média das cidades examinadas.

A redução possível de ser obtida de aproximadamente 6.5% nos custos de operação na primeira etapa, que em média ocorre para 11 anos, pode ser muito expressiva se for considerado que o montante no final do décimo primeiro ano, pode resultar um valor monetário suficiente para implantar a primeira etapa de um sistema semelhante. Por exemplo, o valor desta redução para o sistema da cidade de Água Doce, considerando uma taxa mínima de atratividade de 10% ao ano, representará no décimo ano o montante de 227.000,00 dolares. Este valor é superior em 66% ao valor de investimento inicial de construção do plano de expansão proposto para o sistema da cidade de Água Doce.

Em geral a metodologia estudada estabelece da seguinte forma o custo mínimo dos componentes de um sistema num plano de expansão de 20 anos:

Estações de Recalques, o plano de expansão ocorre em três etapas de implantação: a primeira deve ser implantada no primeiro ano do plano com capacidade de atender até o décimo ano quando então se executa a segunda etapa com capacidade de atender até o décimo sexto ano. Finalmente no décimo sexto ano se implanta a terceira etapa e última. A definição da expansão de estações de recalques em três etapas reflete a grandeza do fator de economia de escala em relação à capacidade (0.75) o qual não apresentou um valor muito significativo. Quanto menor o fator de economia de escala maior o número de etapas durante o período do plano expansão.

Adutoras, o plano de expansão estabelece a implantação em uma única etapa para o início do plano. O fator de economia de escala em relação à capacidade (0.214 para PVC e 0.362 para ferro fundido)

reduz sensivelmente os custos unitários de construção com o aumento da capacidade instalada resultando na indicação de se implantar as adutoras em uma única etapa.

Reservatórios, devem ser implantados em três etapas sendo as etapas implantadas no primeiro, décimo primeiro e décimo sexto ano. À semelhança das estações de recalques, o fator de economia de escala obtido (0.696) para capacidades de reservatórios não é muito significativo.

Estações de Tratamento, devem ser implantadas em duas etapas sendo uma no início e a outra no décimo primeiro ano. Os estudos efetuados apresentaram para as estações de tratamento um fator de economia de escala equivalente a 0.61.

Redes de Distribuição, também devem ser implantadas em duas etapas sendo uma no início e a outra no décimo terceiro ano. O fator de economia de escala obtido em relação à capacidade foi de 0.53.

A influência dos custos operacionais nas estratégias de expansão de sistemas de abastecimento de água foram analisadas pela taxa de uso efetiva e capacidade do sistema.

Dos modelos matemáticos das funções de custos de operação, apenas aquele com despesas de pessoal apresentou fator de economia de escala com valores de 0.457 e 0.594, respectivamente para a taxa anual média de uso e a capacidade.

Os custos relativos à despesa de energia elétrica, materiais de tratamento e outras apresentaram um comportamento linear em relação à capacidade do sistema. Este fato demonstra que os custos unitários tendem a ser, aproximadamente, os mesmos para qualquer capacidade instalada do sistema. Entretanto a possibilidade de se explorar a economia de escala nos custos operacionais é expressiva porque o custo com despesas de pessoal representa a maior parcela destes. Podem representar o valor de 56.4 a 91.2% do custo total com despesas de operação.

Conforme a capacidade do sistema, variar a taxa de uso efetiva anual, pode alterar os custos unitários de operação de 40 a 60%. Sistemas com capacidades menores apresentaram influências maiores. Este resultado é explicável pela menor economia de escala da capacidade dos sistemas menores sobre o qual age a taxa de uso. Por

exemplo, sistemas menores apresentam resultados de produção com custos unitários maiores, logo, o ganho com a economia de escala da taxa da uso, proporciona uma variação maior nos custos unitários maiores.

A metodologia de Análise de Expansão de Abastecimento de Água desenvolvida permitiu uma avaliação dos planos de expansão adotados pelo PLANASA em Santa Catarina e pode representar uma ferramenta útil para a realização de estudos de expansão dos sistemas.

Sugestões e Recomendações

Há dois aspectos a considerar nas sugestões e recomendações para o aprofundamento desta pesquisa. Primeiro, o aprimoramento do modelo em si, e segundo, a aplicabilidade do modelo de expansão nas investigações das estratégias de ampliação dos sistemas de abastecimento de água.

No modelo de expansão desenvolvido dois pontos importantes são passíveis de aprimoramentos, a função de demanda e a estrutura de custo.

A precisão na previsão da demanda pode ser melhorada se estudos específicos identificarem variáveis ambientais climáticas, populações flutuantes e outras como renda, concentração industrial, cultura etc. para serem incluídas na atuais projeções de consumo.

Nos modelos matemáticos seria interessante investigar, desde que existam dados suficientes, se o ajustamento das funções de custos não alcançaria maior precisão, divididas em pequenos, médios e grandes sistemas.

A estrutura de custo pode ser, também, estendida para estações de recalque para poço profundo e casas de química para desinfecção da água.

No segundo aspecto, aplicabilidade do modelo de expansão,

recomenda-se que sejam feitas simulações com as variáveis técnicas que definem o modelo, demanda e capacidade, e variáveis associadas ao financiamento. Estas simulações teriam como objetivo específico conhecer a influência destas variáveis nas estratégias de expansão dos sistemas.

Recomenda-se, também que novos estudos de custos de produção sejam realizados em sistemas não administrados pela CASAN.

Finalmente, os resultados obtidos da aplicação do modelo de expansão de abastecimento de água desenvolvido, sugerem que novas estratégias, explorando a capacidade individual de ampliação dos componentes do sistema, sejam adotadas.

O custo com despesas de pessoal mostrou ser o de maior peso nos custos de operação. Estudos para investigar o aumento do grau de automatização e a terceirização poderão mostrar que é possível obter reduções significativas nos custos de produção.

No aspecto institucional chama-se a atenção para pesquisas sobre descentralização e a privatização pois muito pouco se conhece, efetivamente, da dinâmica da relação gestão central/gestão local e gestão pública/gestão privada, e suas influências nos custos de produção e no atendimento a demanda.

B I B L I O G R A F I A S

Referências Bibliográficas

- ABES, (1985), **Análise Retrospectiva do Plano Nacional de Saneamento-PLANASA e Diretrizes para o Equacionamento dos Principais Problemas Evidenciados**, Trabalho preparado pelo Comitê Permanente de Empresas de Saneamento Básico, Rio de Janeiro, Abril.
- ABES, (1990), (Associação Brasileira de Eng. Sanit. e Ambiental) e OPS (Organização Panamericana da Saúde), **Avaliação Nacional da Década Internacional do Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário**, Revista BIO No.2 Edição Especial.
- BANCO NACIONAL DA HABITAÇÃO, (1974), **BNH-Documenta**, Brasília, DF. Banco Nacional da Habitação, BNH, **Sistemática de Aprovação de Projetos, Pedidos de Financiamentos, Verificação de Comprovações dos Desembolsos do BNH e Inspeção Técnica de Obras e Serviços**, Publicação Interna.
- BELLMAN, R.E., (1957), **Dynamic Programming**, Princeton University Press, Princeton, pp. 3-10, New York.
- BNH-DEPEA, (1983), **Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices de Equipamentos Urbanos**, Banco Nacional da Habitação, Março.
- BERTHOUEX, P.M. & Polkowski, L.B., (1970), **Design Capacities to Accommodate Forecast Uncertainties**, Journal of the Sanit. Division, ASCE, Vol.96, No SA5, October, pp. 1183-1210.
- CABES, (1990), **Catálogo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES.
- CAPOCCHINI, J., (1962), **Notas para a História da Engenharia Sanitária no Brasil Colonial**, Revista D.A.E., No.23.
- CASAN-ASSESSORIA DE PLANEJAMENTO, (1991), **Relatório Mensal de Despesas de Exploração (DEXP)**, Janeiro a Dezembro.

- CASAN-ASSESSORIA DE PLANEJAMENTO, (1991), **Estudo de Viabilidade Global (EVG)**, Janeiro a Dezembro.
- CASAN-GERENCIA OPERACIONAL, (1991), **Relatórios de Acompanhamento e Controle Operacional**, Janeiro a Dezembro.
- CASAN, (1981), **Termo de Referência, Comunidades de Pequeno Porte**, jan./81 e Revisado pela CASAN, BNH e CETESB em dez./1981.
- CHARNES, A. & Cooper, W.W. (1961), **Management Models and Industrial Application of Linear Programming**, John Wiley & Sons, New York.
- CHENERY, H.B., (1952), **Overcapacity and the Acceleration Principle**, *Econometrica*, 20 (1), 1-28.
- CLARK, R.M. & MORAND, J.M., (1981), **A Cost Effective Solution to Small Water System Treatment Needs**, *Journal AWWA*, Jan. pp.24-30.
- CLARK, Robert M., (1987), **Applying Economic Principles to Small Water Systems**, *Journal AWWA*, May, pp. 57-61.
- COHON, T.E. & Marks, D.H. (1975), **"A Review and Evolution of Multiobjective Programming Techniques"**, *Journal Water Resources Research* 11 (2) pp. 208-219.
- COMER, Dorothy & Beilock, R., (1982), **How Rate Structures and Elasticities Affect Water Consumption**, *Journal AWWA*, June pp. 285-187.
- DAL FABRO, (1984), **Evolução Recente do Financiamento ao Setor de Água no Brasil**, Tese de Doutorado da USP.
- DANDY, G.C., McBean, E.A. & Hutchinson, B.G., (1984), **A General Model for Constrained Optimum Water Pricing and Capacity Expansion**, *Journal Water Resources Research*, Vol.20, No.5, pp. 511-520.
- DANDY, G.C., McBean, E.A. & Hutchinson, B.G., (1985), **Pricing and Expansion of a Water Supply System**, *Journal of Water Resources Planning and Management*, ASCE, Vol.111, No.1, pp. 24-42.
- DYER, J., (1973), **"A Time-Sharing Computer Program for The Solution of the Multiple Criteria Problem"**, *Management Science* 19, pp.1379-1383.
- ELIASSEN, R., (1967), **The Economics of Water in the Pulp and Paper Industry**, Engineering-Economic Planning Program, Department of Civil Eng., Stanford University, California.
- ERLENKONTTER, D., (1976), **Coordinating Scale and Sequencing Decisions for Water Resources Projects**, in *Economic Modelling*

- for Water Policy Evaluation, Studies Manage, Sci., Vol.3, pp. 97-112, North-Holland, Amsterdam.
- FATTI, L.P., (1989), "Water Research Planning in South Africa" in: B.L.Golden, E.A.Wasil and P.T.Harker (eds.), Applications of the Analytic Hierarchy Process, Springer-Verlag, New York, pp.122-137.
- FORD, Lester R.Jr. & Fulkerson, D.R., (1954), Maximal Flow Through a Network, Cand.J.Math, vol.8, No.3, pp 399-404.
- GUARISO, G., Rinaldi, S. & Soncini-Sessa, R., (1985), Decision Support Systems for Water Management: The Lake Como Case Study, European Journal of Operational Research 21, pp. 295-306.
- GYSI, M. & Loucks, D.P., (1971), Some Long Run Effects of Water-Pricing Policies, Journal Water Resources Research, 7 (6), pp. 1371-1382.
- HALL, W.A. & Howell, D.T., (1963), "The Optimization of a Single Purpose Reservoir Design with the Application of Dynamic Programming to Synthetic Hydrology Samples" Journal of Hidrology vol.1, pp. 353-363.
- HARBOE, R.C., Mobasher, F. & Yeh, W., (1970), "Optimal Policy for Reservoir Operation", Journal of the Hydraulics Division of ASCE 96 (11), pp. 2297-2308.
- HELMS, B.P. & Valley, J.F., (1980), Treated Water Demand and the Economics of Regionalization, Journal Water Resources Research, August.
- HELWEG, O.J., Hinks, R.W. & Ford, D.T., (1982), "Reservoir Systems Optimization", Journal Water Resources Planning and Management Division of the ASCE 108 (2), pp. 169-179.
- HINOMOTO, H., (1972), Dynamic Programming of Capacity Expansion of Municipal Water Treatment System, Journal Water Resources Research, Vol.8, No.5, October, pp. 1178-1186.
- HINOMOTO, H., (1971), Unit and Total Cost Function for Water Treatment Based on Koenig's Data, Journal Water Resources Research, Vol.7, No.5, October.
- HIRSHLEIFER, J., DeHaven J.C. & Milliman J.W., (1960), Water Supply: Economics, Technology and Policy, University of Chicago Press, Chicago, Illinois.
- HOUCK, M.H. & Cohon, J.L., (1978), "Sequential Explicitly Stochastic

- Linear Programming Models: A Proposed Method for Design and Management of Multipurpose Reservoir Systems**", Journal Water Resources Research 14 (2), pp. 161-169.
- HU, T.C. & Stephen, M.R.,(1973), **Mathematical Programming**, Mathematics Research Center, University of Wisconsin, New York.
- MAYS,L.W.,(1990), **Risk and Reliably Analysis of Water Distribution Systems**, Hydraulics Division of the American Society of Civil Engineers Task Committee, Editado por Larry W.Mays.
- HWANG, C.L. & Masud, A. (1979), **Multiple Objective Decision Making- Methods and Applications: A State-of-art Survey**, Spring-Verlag, Berlin.
- KEENEY, R.L., & Raiffa, H.,(1976), **Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Tradeoffs**, John Wiley & Sons, New York.
- KLEMES, V.,(1977), **"Discrete Representation of Storage for Stochastic Reservoir Optmization"**, Journal Water Resources Research 13(1) pp. 149-158.
- KOENIG, L.,(1967), **Cost of Water Treatment by Coagulation, Sedimentation, and Rapid Sand Filtration**, Journal American Water Work Assoc., March.
- KOHLBERG, R. et al.,(1967), **A Behavioral Analysis of Peaking in Residencial Electrical Energy Consumers**, Journal Applied Behavior Analisis, vol.9, pp. 13-18.
- KORHONEN, P.,(1987), **"VIG - Visual Interactive Support System for Multiple Criteria Decision Marking"**, Belgian Journal of Operations Research, Statistics and Computer Science 27, pp.3-15.
- KORHONEN, P.,(1988), **"A Visual Reference Direction Approach to Solving Discrete Multiple Criteria Problems"**, European Journal of Operational Research 34, pp. 152-159.
- KORHONEN, P., Moskowitz, H. & Wallenius,J.(1992), **Multiple Criteria Decision Support - a Review**, European Journal of Operational Research 63, pp. 361-375.
- LAURIA, D.T., Schlenger D.L. & Wentworth, R.W.,(1977), **Models for Capacity Planning of Water Systems**, Journal Environ. Eng. Div. Am. Soc. Civ. Eng., 103 (EE2), pp. 273-291.
- LEONTIEF, W., (1951), **The Structure of American Economy, 1919-1931**,

- Oxford University Press, New York.
- LEWANDOWSKI, A., Kreglewski, T., Rogowski, T. & Wierzbicki, A. (1989), "Decision Support Systems of DIDAS Family (Dynamic Interactive Decision Analysis & Support)", Springer-Verlag, pp.21-47.
- MAASS, A. et al., (1996), *Design of Water-Resource Systems; New Techniques for Relating Economic Objectives, Engineering Analysis, and Governmental Planning*, Harvard University Press Cambridge Massachusetts.
- MANDEL, E., et al., (1976), *Crisis y "Recuperación" de la Economía Mundial*, Bogotá, Editora Pluma.
- MANNE, A.S., (1961), *Capacity Expansion and Probabilistic Growth*, *Econometrica*, 29 (4), 632-649.
- MANNE, A.S., (1967), *Investments for Capacity Expansion: Size, Location and Time Phasing*, MIT Press, Cambridge, Mass.
- MOISEEV, N.N., Berezner, A.S., Ereshko, F.I. & Lotov, A.V., (1980), *A Systems Approach to the Study of Interbasin Water Transfers: The Partial Diversion of the USSR's Northern Rivers Flow into the Voga*, *Journal Water Supply & Management*, vol.4, pp. 323-337.
- NAÇÕES UNIDAS, (1971), *Estudo Econômico da América Latina*, New York,
- ORLOB, G.T., & Lindorf, M.R., (1958), *Cost of Water Treatment in California*, *Journal American Water Work Assoc.*, 50 (1).
- PASSOS, D.F.A., (1972), *Tendencias y Dirección del Crecimiento Urbano en América Latina entre 1950 y 1970*, *Revista Interamericana de Planificación*, Dezembro.
- PRADILLA Cobos, E., (1981), *Desarrollo Capitalista Dependiente y Proceso de Urbanización en América Latina*, *Revista Interamericana de Planificación*, No.57, Março.
- PIERRE, Donald.A., (1969), *Optimization Theory with Application*, John Wiley & Sons, New York.
- RAMOS, Atila, (1986), *Memórias do Saneamento Desterrense*, Artgraf, Florianópolis, SC.
- RIORDAN, C., (1971), *General Multistage Marginal Cost Dynamic Programming Model for the Optimization of a Class of Investment Pricing Decisions*, *Journal Water Resources Research*, 7(2), pp. 245-253.
- RIORDAN, C., (1971), *Multistage Marginal Cost Model of Investment Pricing Decisions: Application to Urban Water Supply Treatment*

- Facilities, *Journal Water Resources Research*, 7 (3), pp. 463-478.
- SAATY, T.L., (1990), *How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process*, *European Journal Research* 48, pp.9-26.
- SAVELLI, M., (1964), *Histórico de Aproveitamento das Águas da Região Paulistana*, *Revista D.A.E.*, No.25.
- SCARATO, R.F., (1969), *Time-Capacity Expansion of Urban Water Systems*, *Journal Water Resources Research*, 5(5), 929-936.
- SHAMIR, U., (1980), *Application of Operations Research in Israel's Water Sector*, *European Journal of Operational Research* 5, pp. 332-345.
- SHIN, W. S. & Ravindran, A., (1991), "Interactive Multiple Objective Optimization: Survey I - Continuous Case", *Computer & Operations Research* 18, pp. 97-114.
- STEUER, R.E. (1986), *Multiple Criteria Optimization: Theory, Computation and Application*, John Wiley, New York.
- STEUER, R.E. & Choo, E.U., (1983), "An Interactive Weighted Tchebycheff Procedure for Multiple Objective Programming", *Journal, Mathematical Programming*, 26, pp. 326-344.
- TAUXE, G. W., Inman, R.R. & Mades, D.M., (1979), "Multiobjective Dynamic Programming with Application to a Reservoir", *Journal Water Resources Research* 15 (6), pp. 1403-1408.
- THOMAS, H.A.Jr. & Burdon, R.J., (1963), *Operations Research in Water Quality Management*, Harvard University, Cambridge, March.
- THRALL, Robert M., (1975), *Some Reflections on Modeling for Policy Guidance*, *Journal Water Resources Research*, April.
- TOKMAN, Victor E., (1979), *Empleo y Distribución del Ingreso en América Latina. Avance a Retroceso?* *Revista Interamericana de Planificación*, pp. 50-51.
- VARGAS, L.G., (1990), *An Overview of the Analytic Hierarchy Process and its Applications*, *European Journal Operational Research* 48, pp. 2-8.
- WALLENIUS, J., & Zionts, S., (1976), *Some Test of an Interactive Programming Method for Multicriteria Optimization and an Attempt at implementation*, Springer-Verlag, Berlin, pp. 319-331.
- WALSKI, T.W., (1987), *Water Supply System Rehabilitation*, Task Committe on Water Supply, American Society of Civil Engineers,

New York, NY.

- WALSKI, T.M., Gessler J. & Sjostrom J.W., (1990), **Water Distribution Systems: Simulation and Sizing**, Lewis Publishers.
- WIERBICKI, A., (1980), **"The Use of Reference Objectives in Multiobjective Optimization"**, Springer-Verlag, Berlin, pp. 468-486.
- WOOD, Marshall K. & Geisler, M.A., (1951), **Development of Dynamic Model for Program Planning**, in Te, Koopmans (ed) **Activity Analysis of Production and Allocation**, John Wiley & Sons, New York, pp.189-192.
- YEH, W.W.G., (1985), **Reservoir Management and Operations Models: A State-of Art Review**, *Journal Water Resources Research* 21 pp. 1797-1818.
- YOUNG, G.K., (1967), **"Finding Reservoir Operating Rules"**, *Journal of Hydraulics Division ASCE* 93 (6), pp.297-321.

Bibliografias Consultadas

- ABES/SC, Associação Brasileira de Eng. Sanitária e Ambiental
Seção SC, **Proposta para o Desenvolvimento do Saneamento no Estado de Santa Catarina**, Out. 1989.
- ANAIS - XIII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, São Paulo, 1987.
- ANAIS - Simpósio Internacional sobre Economia de Água de Abastecimento Público, IPT, São Paulo, 1986.
- ANALES- XXI Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitária y Ambiental, Rio de Janeiro, 1988.
- AYRES, D.W. & Thorpe, S., **Financing Capital Improvements**, *Journal AWWA*, Aug./1991.
- BELLMAN, R.E. & Zadeh, L.A., **Decision-Making in a Fuzzy Environment**, NASA Contractor Report, NASA Scientific and

- Technical Publications, 1970.
- CAMPBELL, M. & Lehr, J.H., **Engineering Economics of Rural Systems: A New US Approach**, Journal AWWA, May/1975.
- CARDOSO, M.del Carmen Z., **Participação Comunitária em Programas de Avaliação da Qualidade da Água**, Revista DAE, Vol.49, No.157, Out.-Dez. 1989.
- CHANDRASHEKAR, M. & Kesavan, H.K., **Graph-Theoretic Models For Pipe Network Analysis**, Journal of the Hydraulics Division, Feb. 1972.
- CHANDRASHEKAR, M., **Extended Set of Components in Pipe Networks**, Journal ASCE, Hydraulics Division, Vol.106, Jan. 1980.
- CHECKLAND, P.B., **Towards a Systems-Based Methodology for Real Word Problem Solving**, Journal of Systems Engineering, Vol.3 No.2, 1972.
- CLARK, Robert M. & Goodrich, J.A. & Gillean, J.I., **Predicting Future Water Demand**, Journal ASCE, vol.108, No.EE6, Dec./1982.
- CLARK, R.M. & Goddard, H.C., **Cost and Quality of Water Supply**, Journal AWWA, Jan/1987.
- CLARK, R.M. & Morand, J.M., **Package Plants: A Cost-Effective Solution to Small Water System Treatment Needs**, Journal AWWA, Jan/1981.
- CLARK, R.M. & Fender, V.F. & Gillean, J.I., **A Spatial Costing System for Drinking Water**, Journal AWWA, Jan/1982.
- COING Henri, **Camiños Recorridos y por Recorrer**, Texto apresentado ao Seminário La Investigacion Urbana en América Latina, Equador, 1987. (N.T.:publicado em português em Espaços & Debates No.23, 1988).
- DAVIS, R.K. & Hanke, S.H., **Conventional and Unconventional Alternatives for Water Supply Management**, Journal Water Resources Research, Vol.9, No.4, Aug./1973.
- FLORIOT, J.Louis, **Pratique de L'analyse de Filiere et Génie des Systemes Industriels-DEGE/INPL**, França, 1984.
- FRIEDMAN, R. & Ansell, C. & Diamond, S. & Haines, Y.Y., **The Use of Models for Water Resources Management, Planning and Policy**, Journal Water Resources Reserch, Vol.20, No.7, Jul./1984.
- GINN, T.R. & Houck, M., **Calibration of an Objective Function for the Optimization of Real-time Reservoir Operations**, Journal

- Water Resources Research, Vol.15, No.8, April, 1989.
- GOOLSBY, W., **Optimal Pricing and Investment in Community Water Supply**, Journal AWWA, May/1975.
- HARBERG, R.J. & Macy, P.P., **Reliability Analysis for Master Planning of a Water System**, Journal AWWA, Aug./1991.
- HELWEG, Otto J., **Water Resources-Planning and Management**, Editora John Wiley & Sons, 1985.
- HOBBS, B.F. & Beim, G.K., **Analytical Simulation of System Capacity Reliability: Modified Frequency-Duration Analysis**, Journal Water Resources Research, Vol.24, No.9, Set./1988.
- IESP (Instituto de Engenharia de São Paulo), SEESP (Sindicato dos Engenheiros de São Paulo), ABES-SP (Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental), ABAS (Assoc. Bras.de Águas Subterrâneas), ABRH (Assoc.Bras. de Recursos Hídricos), ABID-SP (Assoc.de Irrigação e Drenagem), **Doc. resultado do Seminário Renovação e Desenvolvimento do Saneamento do País**, Junho 1990.
- JACOBI, P.R., **Saneamento Básico e Reivindicações Sociais na Grande São Paulo**, Fundação Getulio Vargas, 1986.
- JACOBS, M. & Stevenson, G. **Health and Housing: A Historical Examination of Alternative Perspectives**, International Journal of Health Services, vol.1, No.1, 1981.
- KELLER, C.W., **Pricing of Water**, Journal AWWA, Jan/1977.
- LECONTE, R. & Hughes, T.C., **Economie Efficiency and Investment Timing for Dual Water Systems**, Journal Water Resources Research, Vol.23, No.10, Oct./1987.
- LEVY, L., Corrar, L.J. & Gabarrone, C. & Assis, M.V., **Crise no Abastecimento de Recursos Financeiros**, Revista DAE, Vol.49, No.157, out-dez. 1989.
- LEWIS, W.C., **Public Investment Impacts and Reginal Economic Growth**, Journal Water Resources Research, Vol.9, No.4, Aug./1973.
- LOGSDON, G.S., Sorg, T.J. & Clark, R.M., **Capability and Cost of Treatment Technologies for Small Systems**, Journal AWWA, Jun./1990.
- MCCUEN, R.H., **The Role of Sensitivity Analysis in Hydrologic Modeling**, Journal of Hydrology, 18, pp.37-53, Out. 1973.
- MIAOU, S.P., **A Stepwise Time Series Regression Procedure for Water Demand Model Identification**, Journal Water Resources

- Research, Vol.26, No.9, Sep./1990.
- MINISTÉRIO DO INTERIOR -BNH- Banco Nacional da Habitação,
Desenvolvimento do Plano Nacional do Saneamento Básico -
Planasa - SC, 1983.
- MINISTÉRIO DO INTERIOR, Depart. de Infra-Estrutura e Serviços,
Proposições para uma Nova Política de Saneamento, Edição
Especial, Recife, 1987.
- MONTANARI, F.W. & Mattern, D.E., True Cost of Conventional Water,
Journal AWWA, May/1975.
- MORIN T.L., A Useful Theorem in the Dynamic Programming Solution
of Sequencing and Scheduling Problems Occurring in Capital
Expenditure Planning, Journal Water Resources Research, Vol.10,
No.1, Feb./1974.
- MU XINMING, Whittington, D. & Briscoe J., Modeling Village Water
Demand Behavior: A Discrete Choice Approach, Journal Water
Resources Research, Vol.26, No.4, April/1989.
- PERRIER, François, Conservação de Água: Síntese dos Trabalhos
Desenvolvidos pelos Membros do CIB W 62, Revista Eng. Sanitária,
Vol.27, No.2, Abril-Junho/1988.
- PRADILLA, E.C., Crise Econômica, Política de Austeridade e
Questão Urbana na América Latina, Espaço & Debates, No.23, 1988.
- RAGADE, R.K., Hipel, K.W. & Unny, T.E., Metarationality in
Benefit-Cost Analyses, Journal Water Resources Research, Vol.12,
No.5, Out./1976.
- RAUSSER, G.C., Investment Sequencing, Allocation, and Learning in
the Design of Water Resources Systems: An Empirical Application,
Journal Water Resources Research, Vol.12, No.3, June/1976.
- RICHARDSON, I.A., Water Aid and Third World- A Partnership in
Low-Cost Technology, Journal Water and Environmental Management,
April/1989.
- SANWCHUK, L., Declining Block Rates Can Encourage Water
Conservation, Journal AWWA, Jan. 1981.
- STEVIE, R.G. & Clark, R .M., Cost for Small Systems to Meet The
National Interim Drinking Water Regulations, Journal AWWA,
Jan/1982.
- SUTHERLAND, F.R. & Lambourne, J.J., A Graphics Utility for
Integration in Water Resource and Hydrological Simulation

- Problems, Journal Microcomputers in Civil Engineering, 4, pp. 307-315, 1989.
- TEEPLES, R. & Glycer, D., Production for Water Delivery Systems: Analysis and Estimation Using Dual Cost Function and Implicit Price Specifications, Journal Water Resources Research, Vol.23, No.5, May/1987.
- THOMAS, J.F. & Syme, G.J., Estimating Residential Price Elasticity of Demand for Water: A Contingent Valuation Approach, Journal Water Resources Research, Vol.4, No.11, Nov./1988.
- WALSKI, T.M., Gessler, J. & Sjostrom, J.W., Selecting Optimal Pipe Sizes for Water Distribution Systems, Journal AWWA, Feb./1988.
- WEBER, S.F. & Lippiatt, B.C., Water Rates and Residential Water Conservation, Journal AWWA, June/1982.
- WHITTINGTON, D., Okore, A., Okorafor, A. & MacPhal, A., Strategy for Cost Recovery in the Rural Water Sector: A Case Study of Nsukka District, Anambra State, Nigeria, Journal Water Resources Research, Vol.26, No.9, Sep./1990.
- YOUNG, R. & Gray, S.L., Input-Output Models Surplus, and the Evolution of State or Regional Water Plan, Journal Water Resources Research, Vol.21, No.12, Dec./1985.
- YSNARD, Machado E., Tratamento da Agua: Entre o Superfluo e a Tecnologia Apropriada, Revista da Eng. Sanitária, ABES, Março de 1988.

A N E X O No. 01

Quadro A 1. Dados de Adutoras em PVC Executadas pela CASAN

Capacidade l/s	DN (mm)	Comprimento (m)	Orçamento Cr\$(3/86)	Orçamento (\$USA)
0.55	50	1070	116.824,70	8.441,09
0.91	40	290	11.687,01	844,44
1.10	50	1280	135.825,60	9.813,99
1.11	50	308	33.922,74	2.451,07
1.50	50	415	47.943,17	3.464,10
1.60	100	3018	449.108,00	32.450,00
1.80	50	520	61.959,36	4.476,83
2.59	50	485	49.144,01	3.550,87
3.16	75	1280	128.013,50	9.249,53
3.88	75	160	21.212,72	1.532,71
4.00	75	700	127.157,90	9.187,71
4.24	100	965	119.431,60	8.629,45
4.49	100	2610	335.961,50	24.274,67
4.69	75	797	85.811,46	6.200,25
5.00	100	675	221.315,30	15.990,99
5.50	75	780	44.237,98	3.196,37
5.50	100	550	85.906,88	6.207,15
7.04	75	390	41.865,10	3.024,94
7.68	150	1823	333.516,80	24.098,03
12.44	150	964	212.135,80	15.327,73
12.87	150	1012	245.660,90	17.750,07
15.68	200	2200	575.101,90	41.553,60
16.81	150	1172	297.058,10	21.463,74
17.01	150	1975	376.785,90	27.224,42
20.39	200	2989	1.123.554,00	81.181,63
36.14	150	41	15.049,02	1.087,36
64.00	250	3152	2.774.671,00	200.482,00

Obs.: Diâmetro Nominal da Tubulação (DN)

A N E X O No. 02

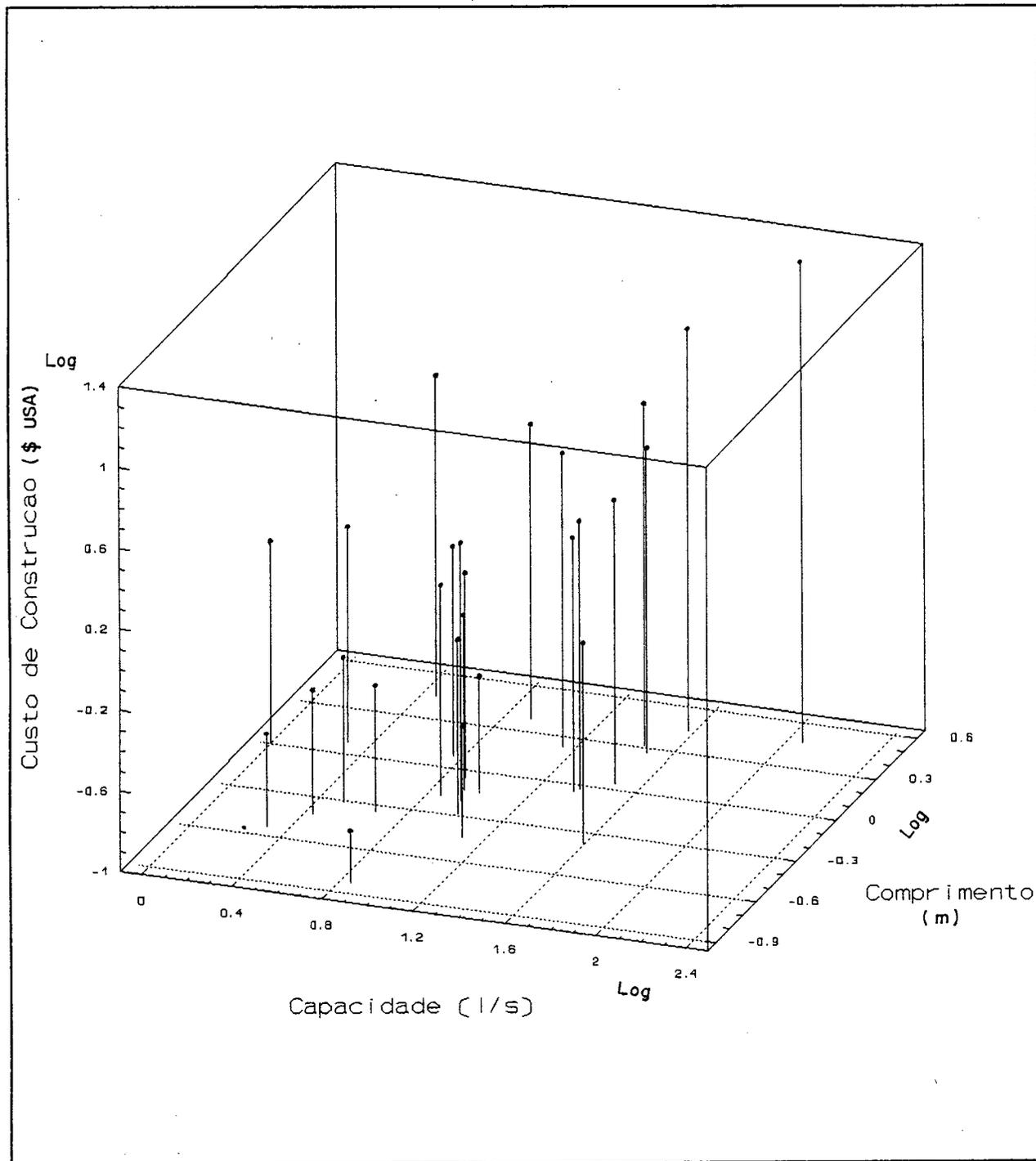


Fig. A2.1 Custos de Construção de Adutoras em PVC vs Capacidade e Comprimento de Adução

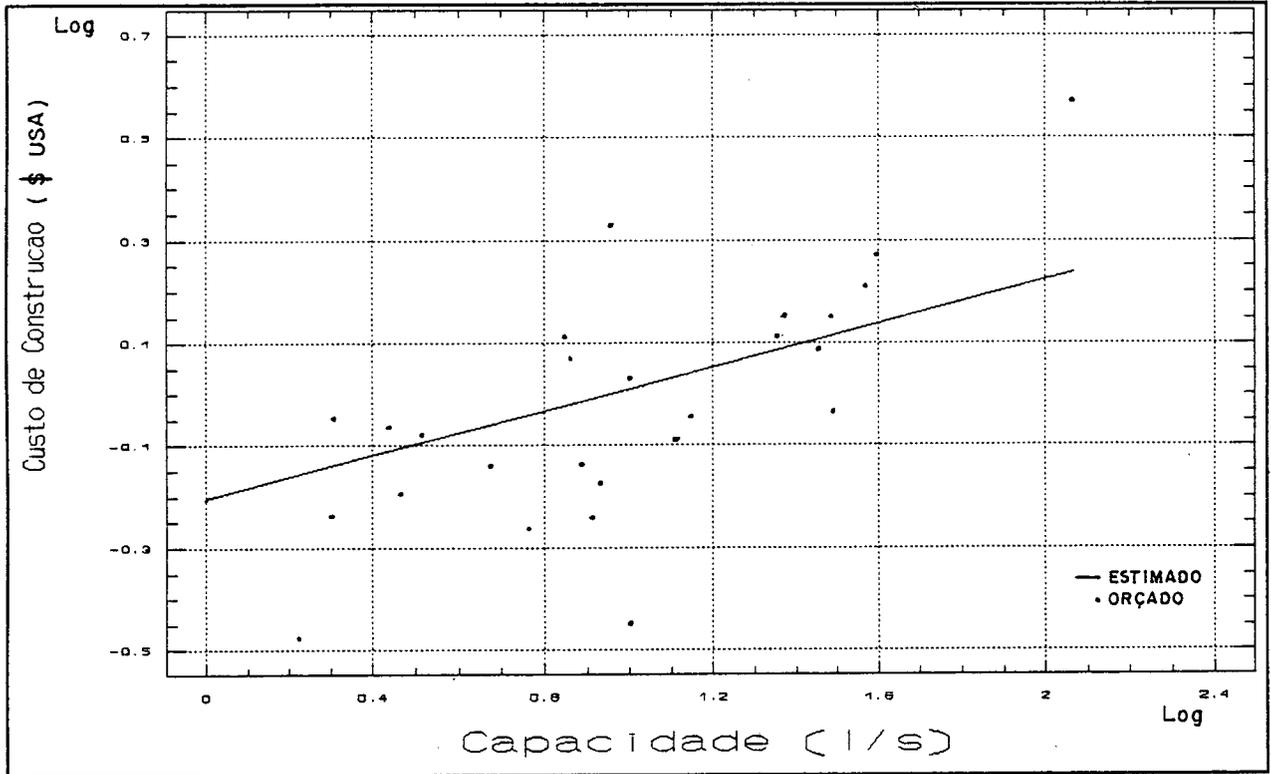


Fig.A2.2. Influência da Variável Capacidade nos Custos de Construção de Adutoras em PVC.

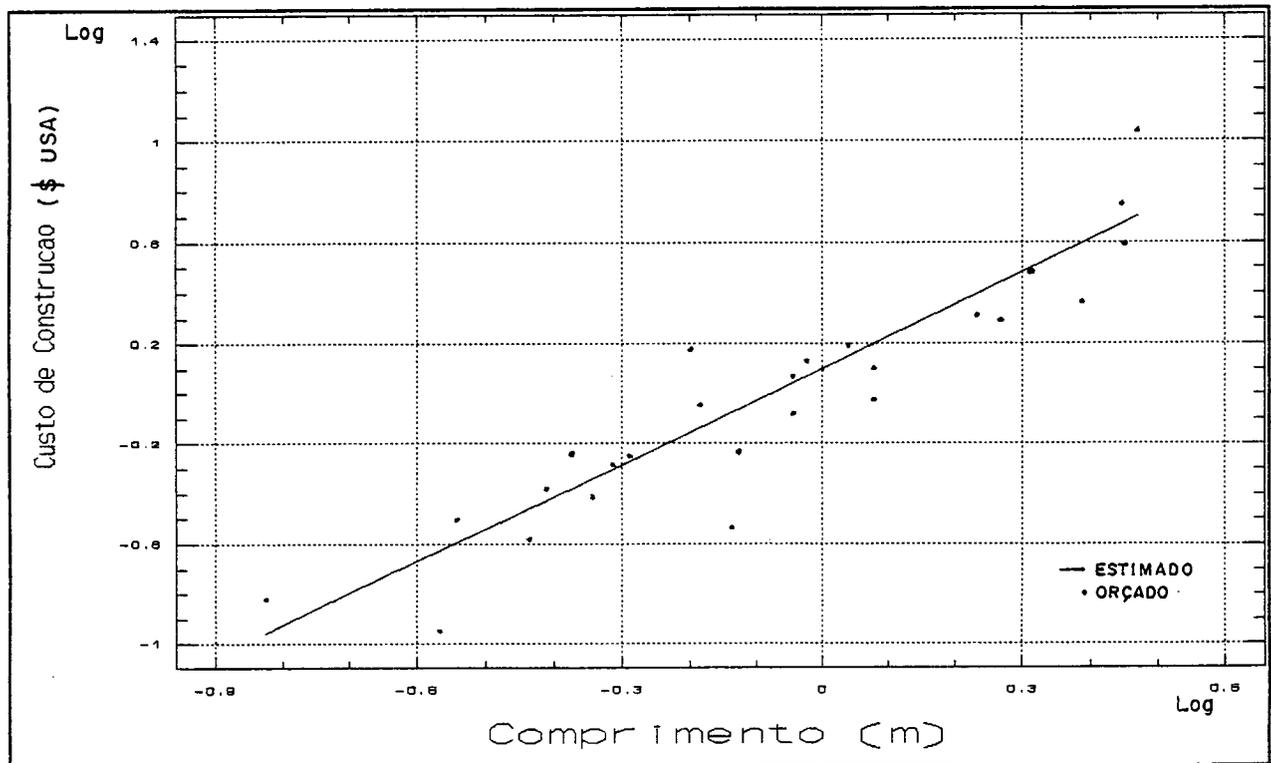


Fig. A2.3. Influência da Variável Comprimento nos Custos De Construção de Adutoras em PVC.

A N E X O No. 03

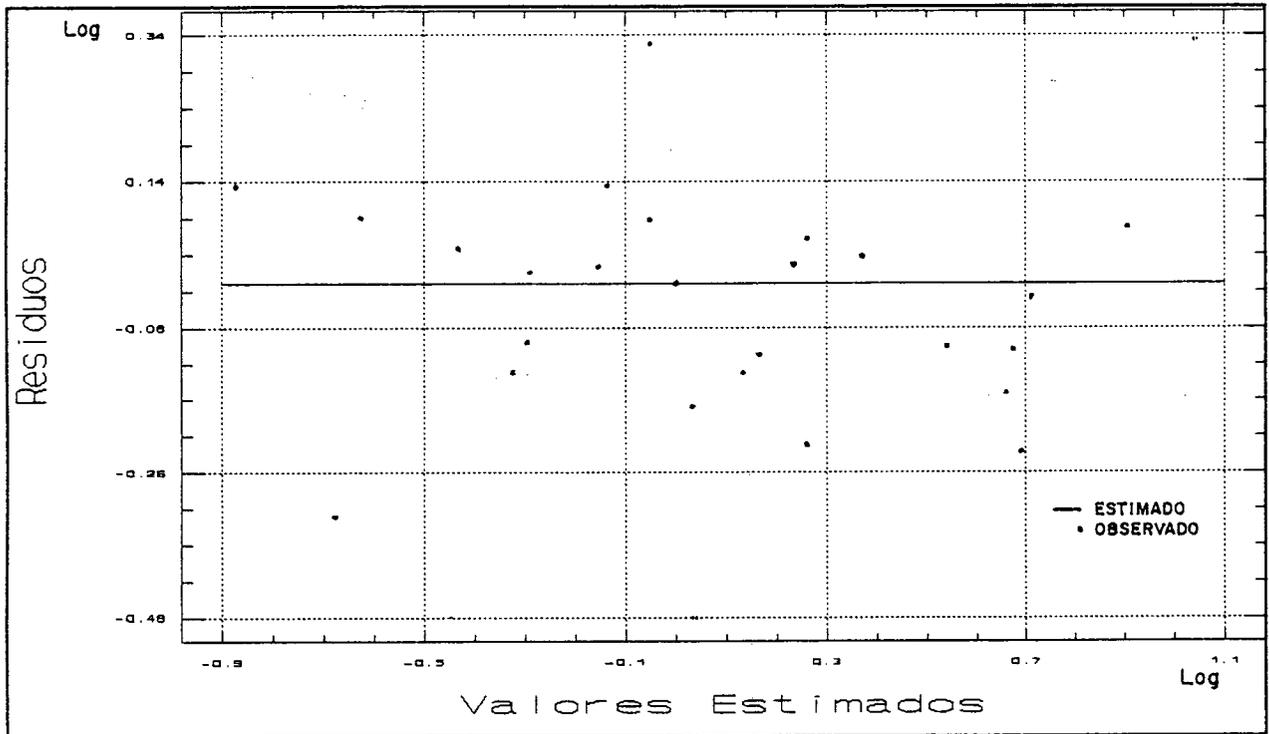


Fig. A3.1. Resíduos dos Custos de Adutoras em PVC

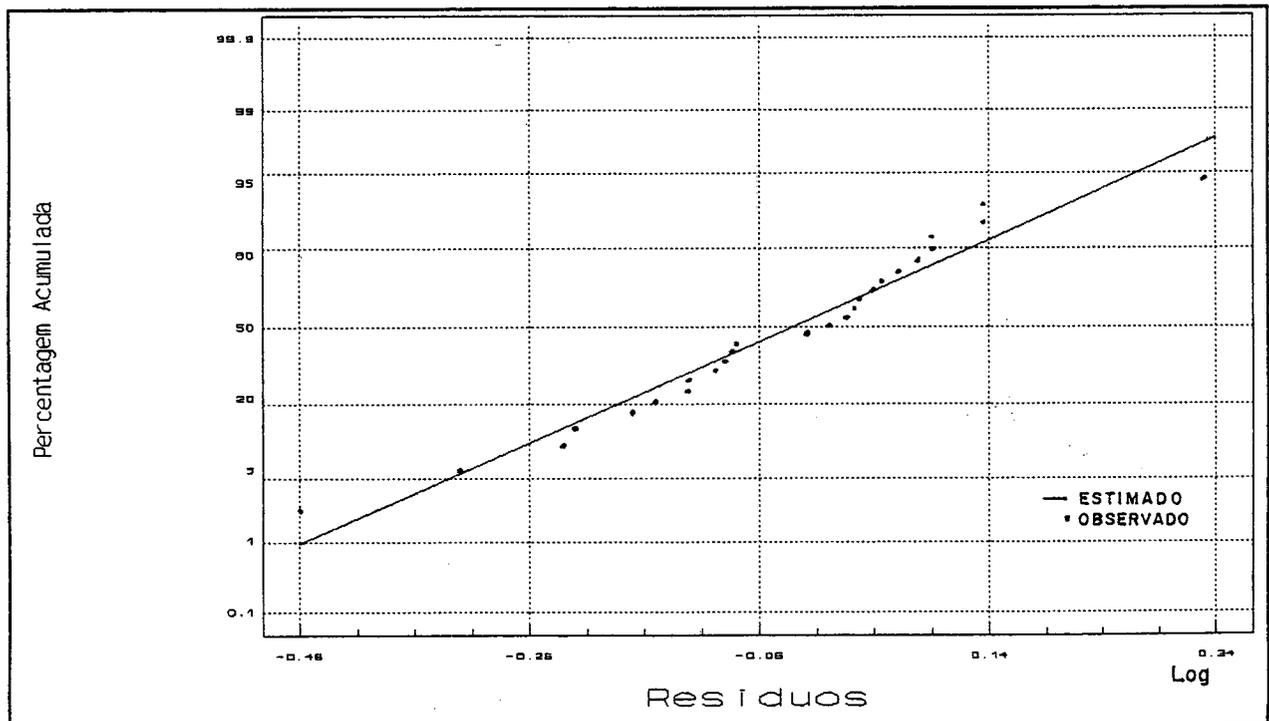


Fig. A3.2. Gráfico da Probabilidade Normal dos Resíduos dos Custos Estimados das Adutoras em PVC

A N E X O No. 04

Quadro A.2 Dados de Adutoras em Ferro Fundido Executadas pela CASAN

Capacidade l/s	DN (mm)	Comprimento (m)	Custo Orçado Cr\$ 3/86	Custo Orçado (\$ USA)
0.91	50	300	35.781,46	2.585,37
0.92	50	830	103.181,90	7.455,34
1.67	75	244	30.258,14	2.186,28
2.42	75	1350	174.984,90	12.643,42
2.42	100	27	3.842,30	277,62
2.53	75	800	116.039,30	8.384,35
2.61	75	1799	423.373,90	30.590,60
2.61	75	70	11.803,31	852,84
3.15	75	370	44.106,45	3.186,88
3.19	50	1030	128.717,20	9.300,38
3.33	100	362	123.354,00	8.912,86
3.74	75	610	89.165,00	6.442,56
4.76	100	480	90.294,14	6.524,14
6.53	75	420	71.445,55	5.162,25
6.90	100	1103	163.137,80	11.787,42
7.77	100	1008	184.670,70	13.343,26
8.17	150	700	127.157,80	9.187,71
9.28	150	2350	672.163,10	48.566,69
9.34	100	1115	270.381,30	19.536,22
9.72	100	1150	266.159,60	19.231,18
10.73	150	1600	393.035,70	28.398,53
12.55	150	54	32.927,23	2.379,14
12.55	100	1586	241.024,50	17.415,07
12.87	150	811	220.754,00	15.950,43
15.15	150	620	213.291,90	15.411,26
16.73	150	1600	447.708,50	32.348,88
18.36	150	2680	756.773,80	54.680,19
20.30	150	850	261.499,90	18.894,50
20.30	150	1400	390.537,80	28.218,05
21.67	200	440	303.067,00	21.897,90
22.00	150	1639	457.634,40	33.066,07
22.35	150	684	298.544,00	21.571,10
22.44	200	1430	496.244,50	35.855,82
23.90	150	3254	931.391,40	67.297,06
23.90	200	4615	1.397.062,00	100.943,80
36.14	150	900	317.790,60	22.961,75
40.70	250	200	139.272,10	10.063,01
41.10	150	1085	275.285,10	19.890,54

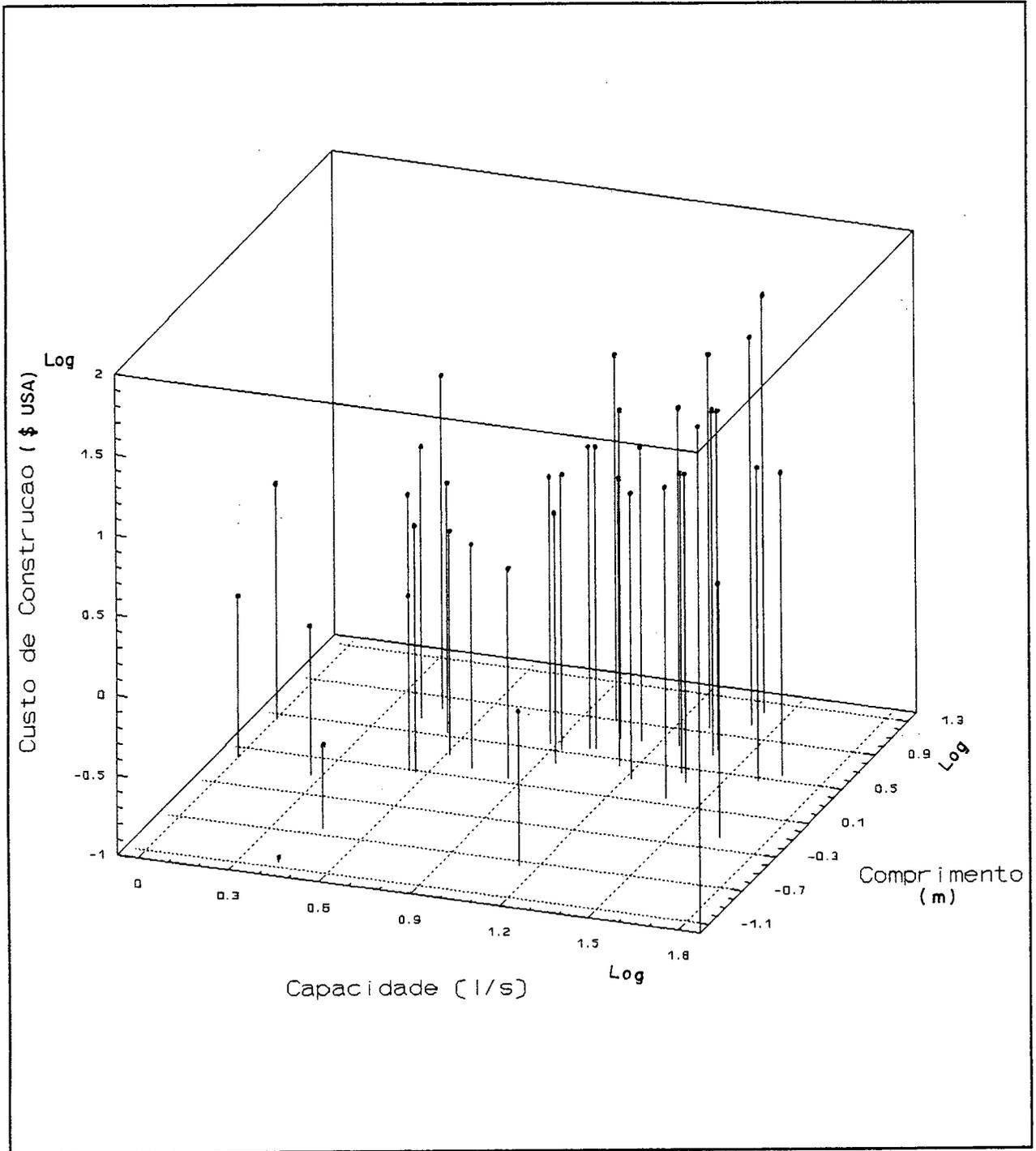


Fig. A5.1 Custos de Construção de Adutoras em Ferro Fundido vs Capacidade e Comprimento de Adução

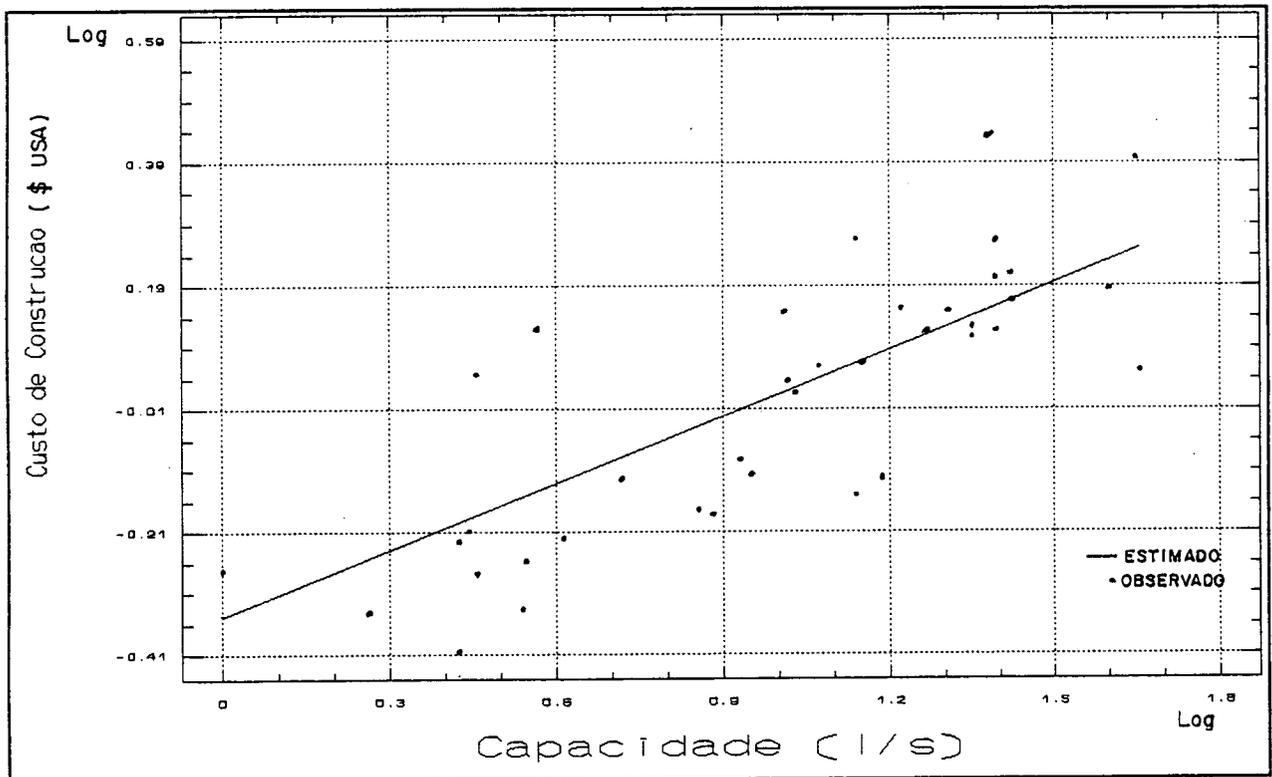


Fig. A5.2. Influência da Variável Capacidade nos Custos de Construção de Adutoras em Ferro Fundido

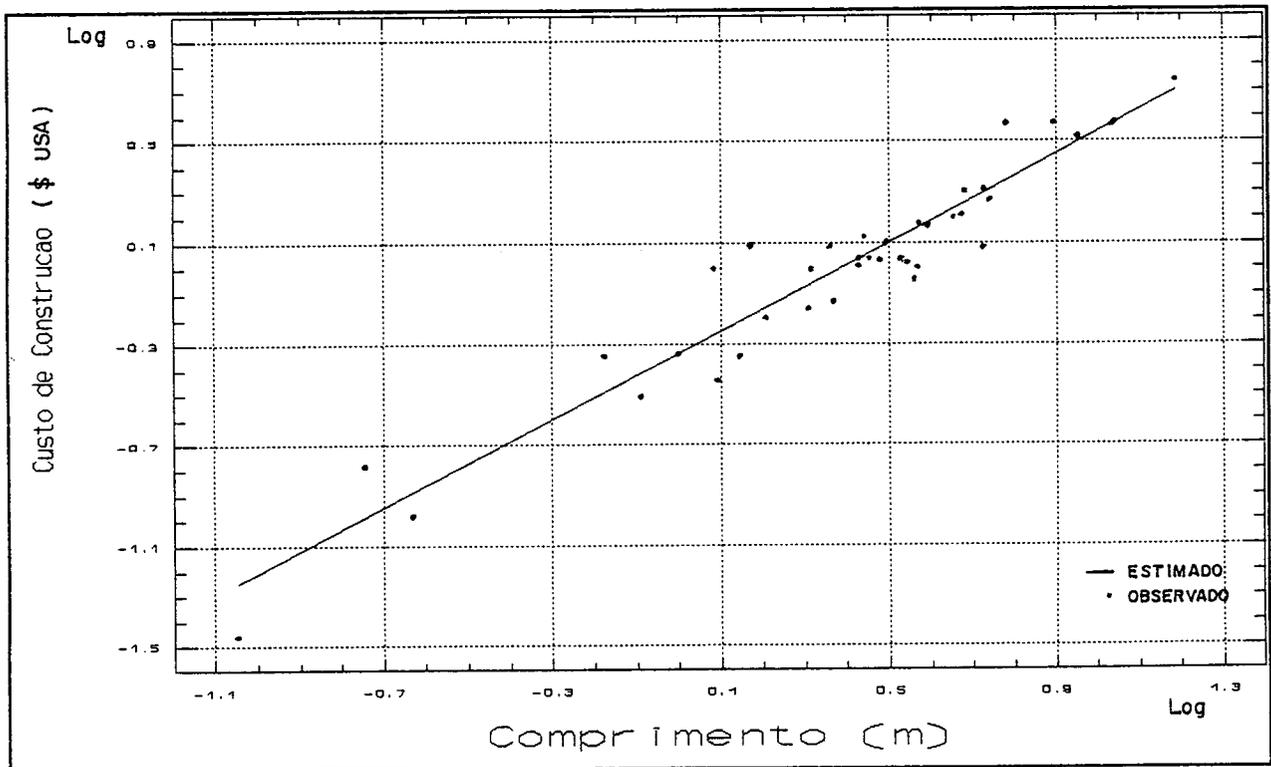


Fig. A5.3. Influência da Variável Comprimento nos Custos de Construção de Adutoras em Ferro Fundido

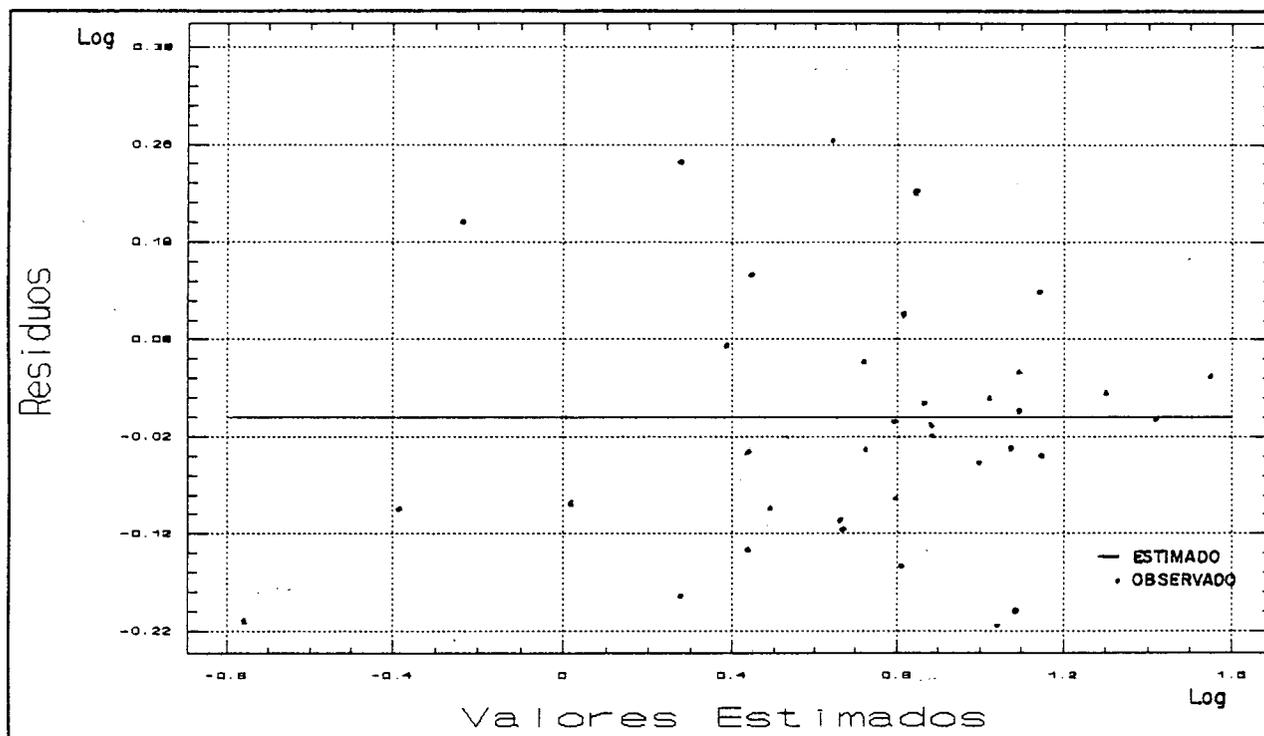


Fig. A6.1. Resíduos dos Custos de Adutoras em Ferro Fundido

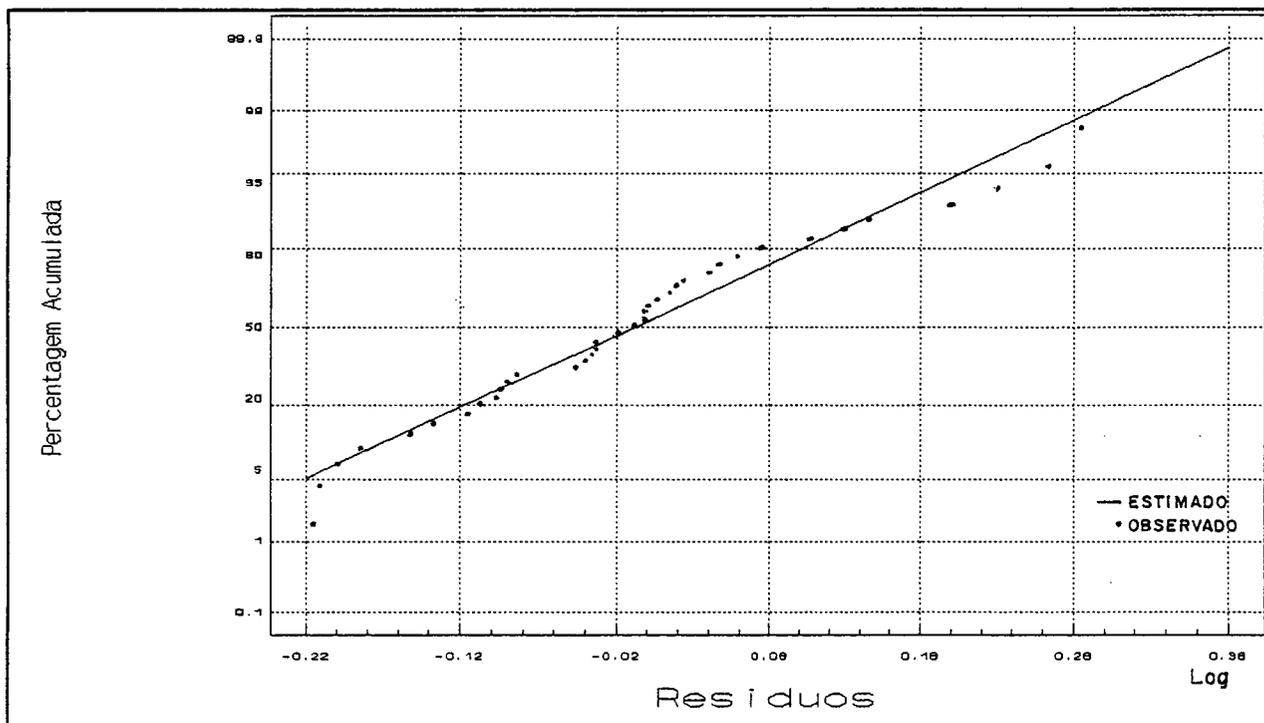


Fig. A6.2 Gráfico da Probabilidade Normal dos Resíduos dos Custos Estimados das Adutoras em Ferro Fundido

A N E X O No. 07

Quadro A.3 Dados de Estações de Tratamento de Água Executadas pela CASAN

Capacidade (l/s)	Custo Orçado Cr\$(3/86)	Custo Orçado (\$ USA)
3.00	232.942,20	16.831,09
3.00	233.735,10	16.888,38
3.00	238.994,20	17.268,37
3.00	278.161,10	20.098,35
3.00	310.448,90	22.431,28
6.00	368.614,80	26.634,02
6.00	244.616,50	17.674,60
6.00	334.443,30	24.164,98
6.00	240.086,50	17.347,29
9.00	518.036,20	37.430,36
9.00	583.962,00	42.193,79
9.00	518.429,10	37.458,75
12.00	432.819,50	31.273,09
12.00	786.921,00	56.858,45
12.00	345.967,40	24.997,64
12.00	463.959,80	33.523,10
13.20	599.133,40	43.289,98
15.00	638.222,70	46.114,36
15.00	906.917,40	65.528,72
15.00	613.985,50	44.363,11
15.00	528.640,50	38.196,56
15.00	604.536,80	43.680,40
20.00	908.093,30	65.613,67
20.00	558.720,70	40.369,99
20.00	875.887,40	63.286,66
22.00	1.299.652,00	93.905,46
22.00	795.278,40	57.462,31
23.00	679.990,00	49.132,22
31.00	998.353,30	72.135,36
40.70	1.251.040,00	90.393,08
53.30	1.162.057,00	83.963,64
75.00	1.327.756,00	95.936,14
130.00	2.770.504,00	200.180,90
156.40	2.127.890,00	153.749,30
290.00	3.883.065,00	280.568,30

A N E X O No. 08

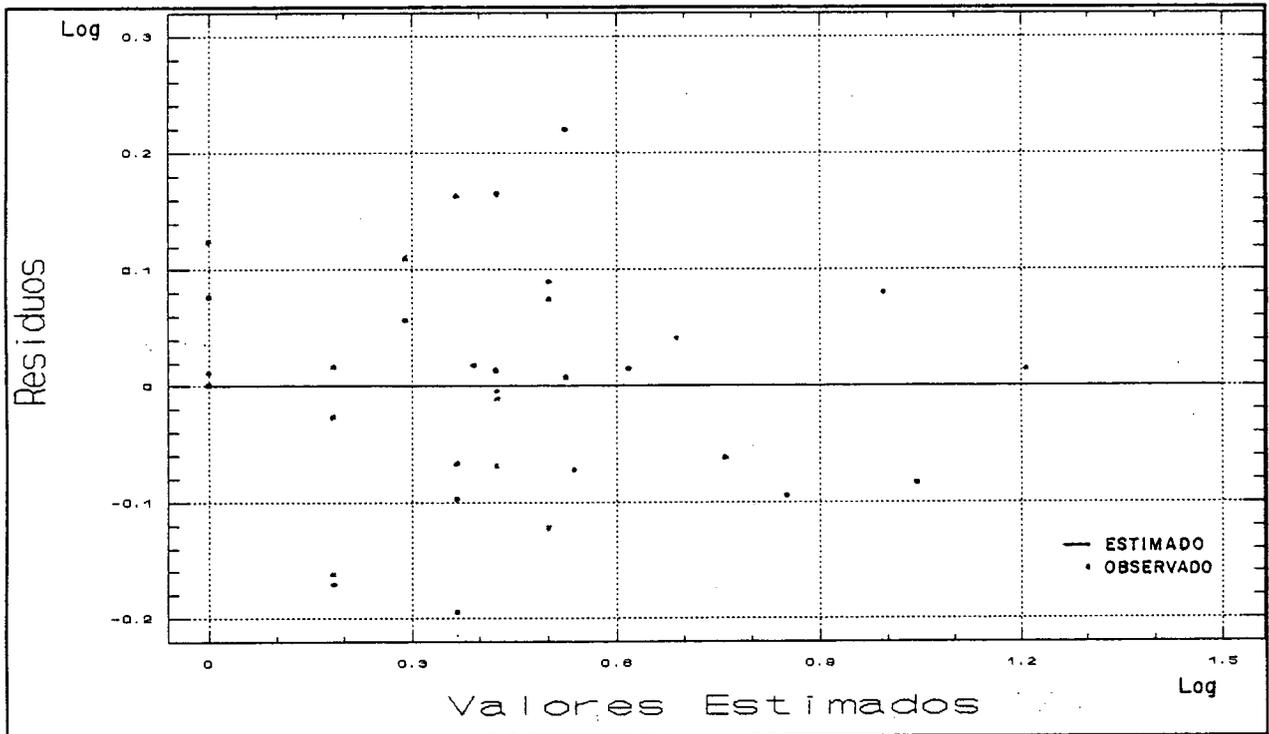


Fig. A8.1. Resíduos de Custos de Estações de Tratamento

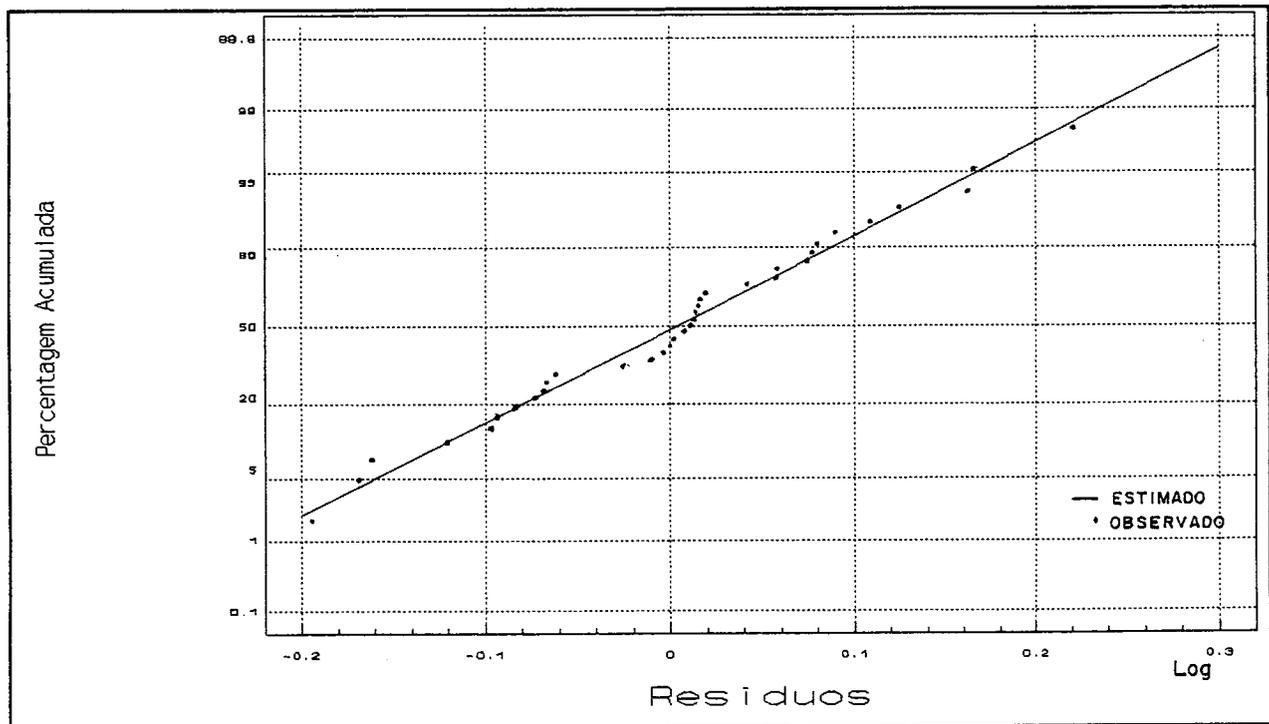


Fig. A8.2. Gráfico da Probabilidade Normal dos Resíduos de Custos de Estações de Tratamento

A N E X O No. 09

Quadro A.4 Dados de Reservatórios Apoiados em Concreto Armado Executados pela CASAN

Volume (m3)	Custo Orçado Cr\$(3/86)	Custo Orçado (\$ USA)
25	47.182,01	3.409,10
25	45.150,35	3.262,30
25	71.855,61	5.191,88
25	78.770,87	5.691,98
25	68.258,61	4.931,98
25	67.948,81	4.909,60
50	117.444,10	8.485,84
50	81.993,76	5.924,40
50	102.798,40	7.427,63
50	108.771,40	7.859,20
50	121.713,20	8.794,31
50	109.657,40	7.923,22
50	98.452,75	7.113,63
50	112.534,70	8.131,12
50	86.534,24	6.252,47
50	104.248,90	7.532,44
50	122.794,90	8.872,46
50	129.529,10	9.359,04
75	114.331,50	8.260,95
75	155.357,10	11.225,22
75	127.066,00	9.181,07
75	110.672,80	7.996,59
75	110.882,10	8.011,71
100	173.846,00	12.561,13
100	178.909,30	12.926,97
100	192.993,60	13.944,62
100	140.325,80	10.139,15
100	213.260,80	15.409,02
100	188.794,00	13.641,18
100	233.808,70	16.893,69
100	206.478,30	14.918,95
150	243.124,60	17.566,81
150	221.956,80	16.037,34
150	174.828,10	12.632,09
150	224.995,50	16.256,90
150	217.070,60	15.684,29
200	295.734,70	21.368,12

Volume (m3)	Custo Orçado Cr\$(3/86)	Custo Orçado (\$ USA)
200	275.097,20	19.876,97
200	280.414,70	20.261,18
200	235.919,50	17.046,21
200	308.624,40	22.299,45
200	269.112,80	19.444,56
200	217.974,80	15.749,62
250	352.703,90	25.484,39
250	235.686,60	17.029,38
250	296.004,70	20.665,08
300	454.061,70	32.807,92
300	333.728,10	24.113,30
300	291.220,10	21.041,91
350	400.320,50	28.924,89
350	443.088,60	32.015,07
350	315.227,60	22.776,56
400	420.571,50	30.388,11
500	610.552,10	44.115,04
500	528.266,20	38.169,52
500	348.899,50	25.209,50
500	528.266,20	38.169,52
500	637.506,70	46.062,62
500	483.300,80	34.920,57
500	358.588,80	25.909,59
500	421.186,20	30.432,53
500	506.951,50	36.629,44
600	480.535,50	34.720,77
600	665.879,80	48.112,70
1000	747.744,20	54.027,76
1000	680.947,30	49.201,39
1000	774.163,40	55.936,66
1250	968.764,80	69.997,46
1500	853.251,40	61.651,11
1500	1.246.680,00	90.078,03
1500	1.197.917,00	86.554,70
2200	944.533,70	68.246,65
3200	2.059.289,00	148.792,60

A N E X O No. 10

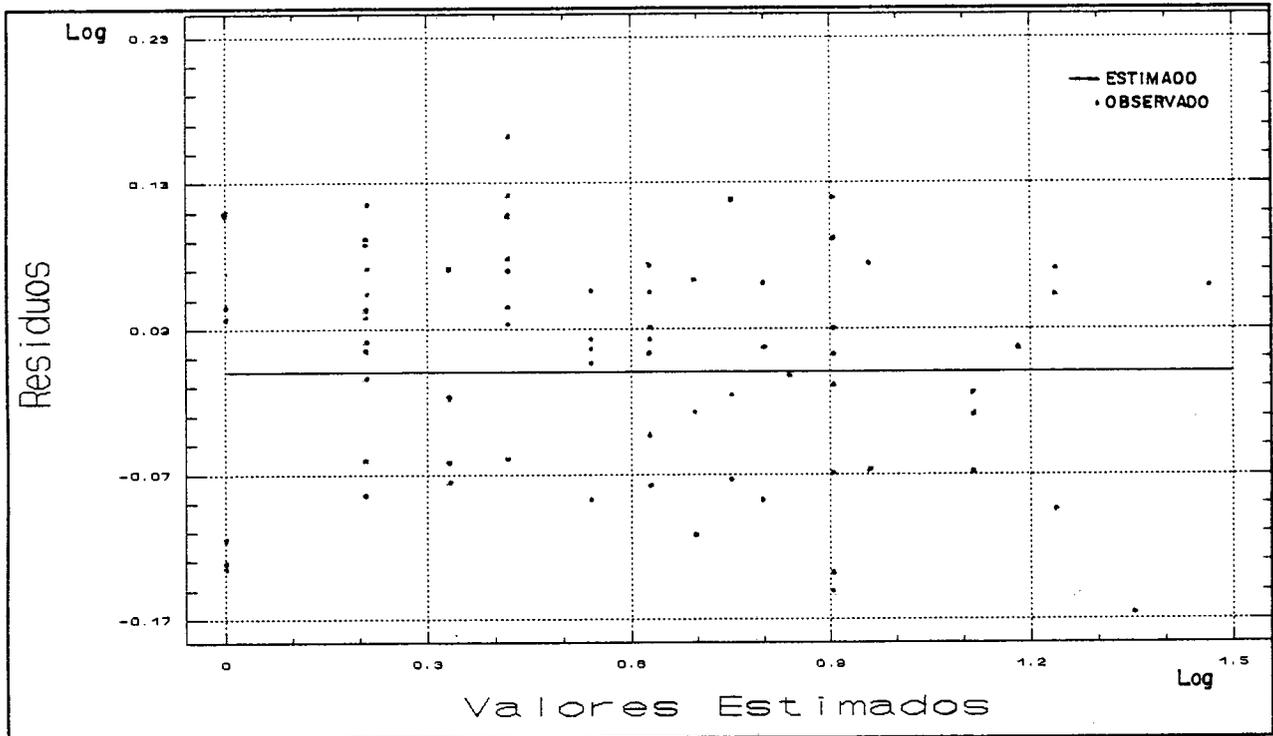


Fig. A10.1 Resíduos de Custos de Reservatórios em Concreto Armado

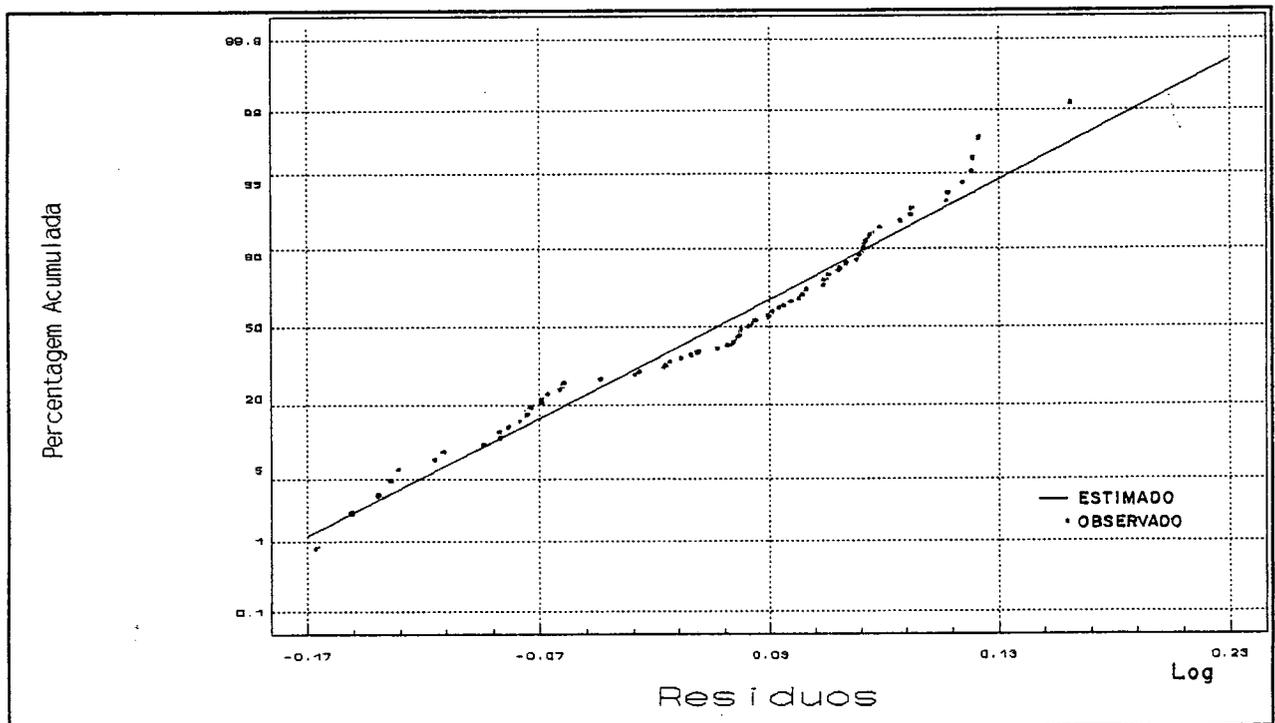


Fig. A10.2 Gráfico da Probabilidade Normal dos Resíduos de Custos de Reservatórios de Concreto Armado

A N E X O No. 11

Quadro A.5 Dados de Redes de Distribuição Executadas pela CASAN

Capacidade Incremental l/s	Comprimento (m)	Custo Orçado Cr\$(3/86)	Custo Orçado (\$ USA)
126.61	103236	7.873.776,00	568.914,40
18.54	11780	146.195,46	105.632,56
5.00	5414	318.928,82	23.823,99
6.08	6038	324.834,80	27.834,00
24.00	12415	1.743.039,63	125.942,17
72.00	37564	3.848.948,00	278.103,20
69.00	49858	8.316.841,58	600.927,86
25.00	6829	1.042.545,00	75.328,41
45.00	12158	1.873.735,87	135.385,54
48.23	32887	2.818.170,00	203.625,00
221.00	141615	11.911.863,00	860.683,70
160.00	144664	11.557.330,00	835.067,20
1.96	3795	184.955,27	13.363,82
156.40	100049	12.441.510,49	898.953,07
10.62	4405	548.181,92	39.608,52
9.53	10565	858.370,20	62.020,97
4.04	6085	520.174,10	37.584,84
10.02	12024	867.424,59	62.675,19
5.60	7755	715.092,32	38.982,94
21.91	24547	1.874.129,07	135.413,95
15.07	8199	1.008.474,05	72.866,62
2.80	1198	196.119,66	14.170,50
5.00	6666	542.952,90	39.230,70
5.81	3015	369.934,60	26.729,38
1.80	3010	173.009,41	12.500,62
3.88	2981	200.939,40	14.518,74
7.04	8273	456.673,80	32.996,66
16.50	8273	1.036.470,96	74.889,52
4.74	7285	375.018,70	27.096,73
29.45	27048	2.749.839,84	198.687,85
15.35	15841	1.821.611,00	131.619,30
7.26	5857	698.188,97	50.447,18
2.42	3212	262.344,54	18.955,53
30.59	42222	6.336.264,51	457.822,58

Capacidade Incremental l/s	Comprimento (m)	Custo Orçado Cr\$(3/86)	Custo Orçado (\$ USA)
12.57	13900	1.140.598,41	82.413,18
14.51	12385	958.174,60	69.232,27
10.73	11290	801.132,40	57.885,29
3.36	2103	167.277,85	12.086,55
117.00	35920	6.892.267,00	497.996,20
53.00	44939	3.870.902,00	279.689,50
7.68	8500	493.882,60	35.685,16
16.10	18270	1.936.200,50	139.898,88
3.31	3542	248.755,18	17.973,64
13.92	11945	1.350.490,18	97.578,77
33.90	16382	1.696.286,18	122.558,25
4.49	3386	333.864,81	24.123,18
3.15	2084	175.131,78	12.654,03
3.91	7860	664.936,70	46.743,98
10.35	9949	1.224.367,09	88.465,83
18.24	15445	1.765.643,81	127.575,42
9.34	8360	844.982,38	61.053,64
85.14	41120	8.589.837,24	620.652,98
18.10	7326	980.369,41	70.835,94
6.89	7840	728.713,35	52.652,72
12.86	12549	950.627,10	68.686,93
29.58	15083	2.085.609,39	150.694,32
2.80	1198	155.897,49	11.264,27
35.20	30591	2.444.088,92	176.596,02
15.69	20439	1.652.110,00	119.372,10
26.32	20610	1.960.680,00	141.667,70
365.00	105507	14.447.878,00	1.043.922,00
19.30	9395	1.529.294,81	110.498,18
123.25	30005	449.376,00	324.882,70
14.24	9557	882.650,41	63.775,32
7.63	12415	749.448,39	54.150,89
5.41	7257	399.547,79	28.869,06
21.00	13165	1.769.578,07	127.859,69
5.00	4186	329.724,13	23.824,00
4.50	7077	378.927,15	27.379,13
5.00	4156	412.860,87	29.830,99

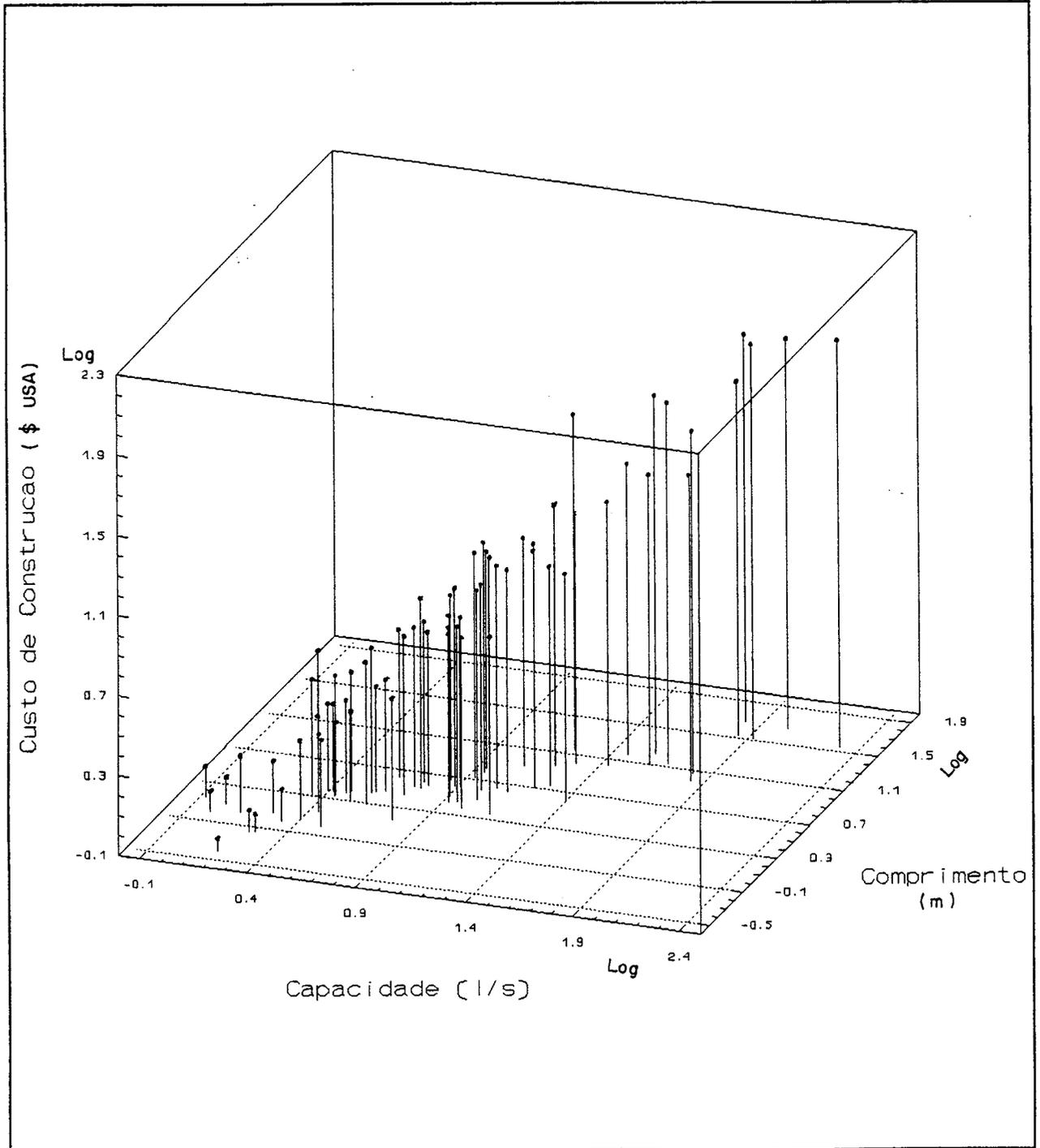


Fig. A12.1 Custos de Construção de Rede de Distribuição vs Capacidade e Comprimento

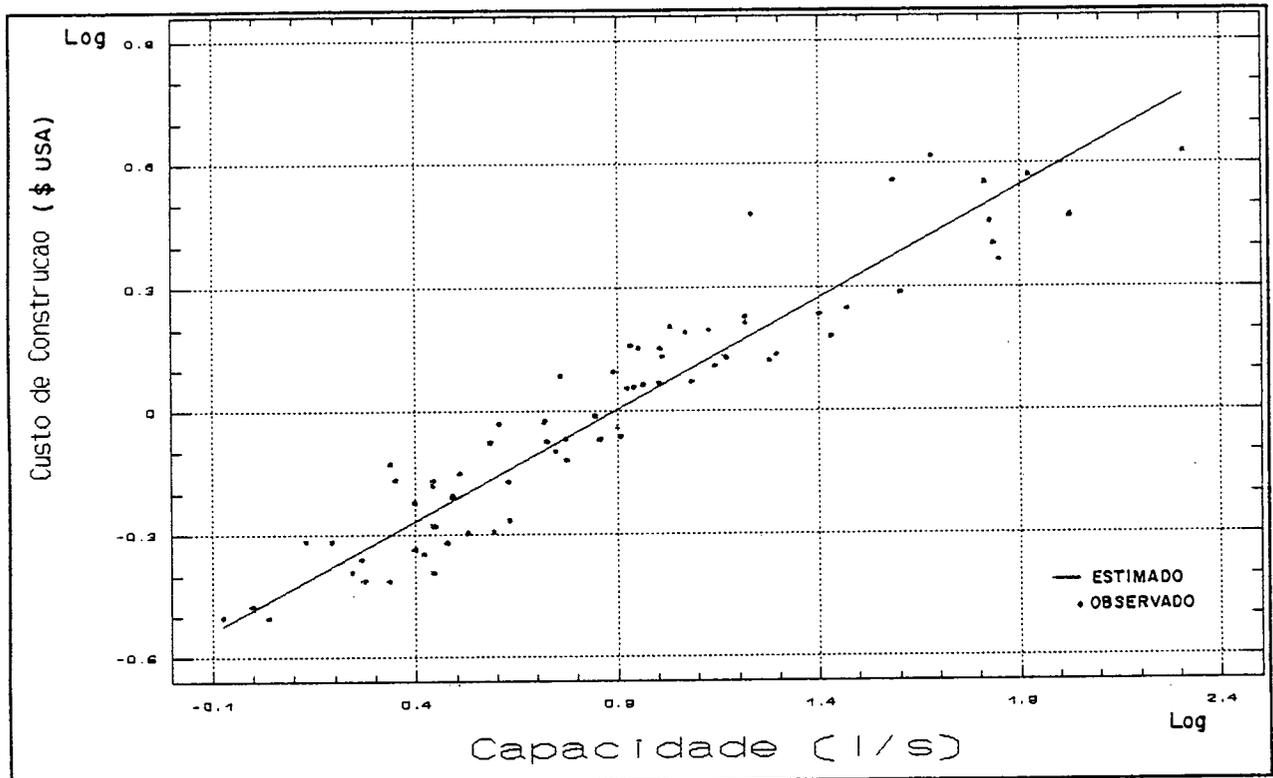


Fig. A12.2 Influência da Variável Capacidade nos Custos de Construção de Rede de Distribuição

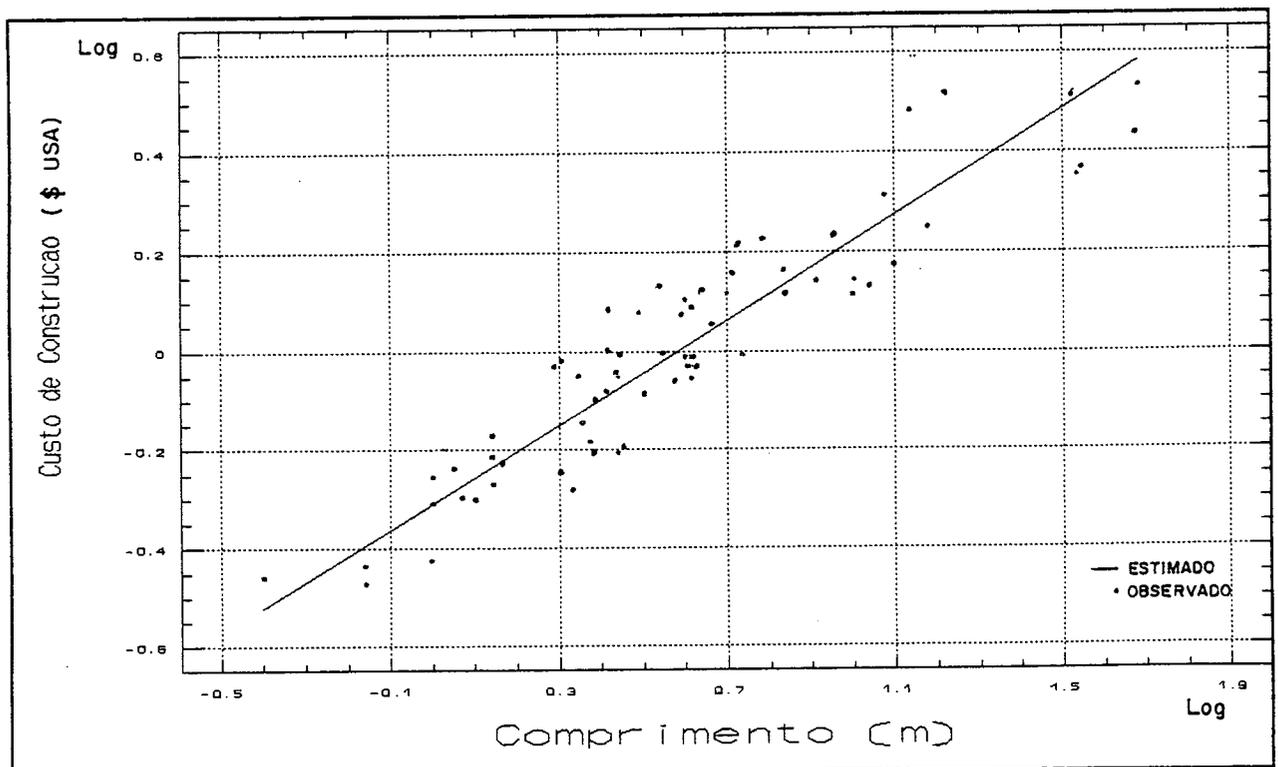


Fig. A12.3 Influência da Variável Comprimento nos Custos de Construção de Rede de Distribuição

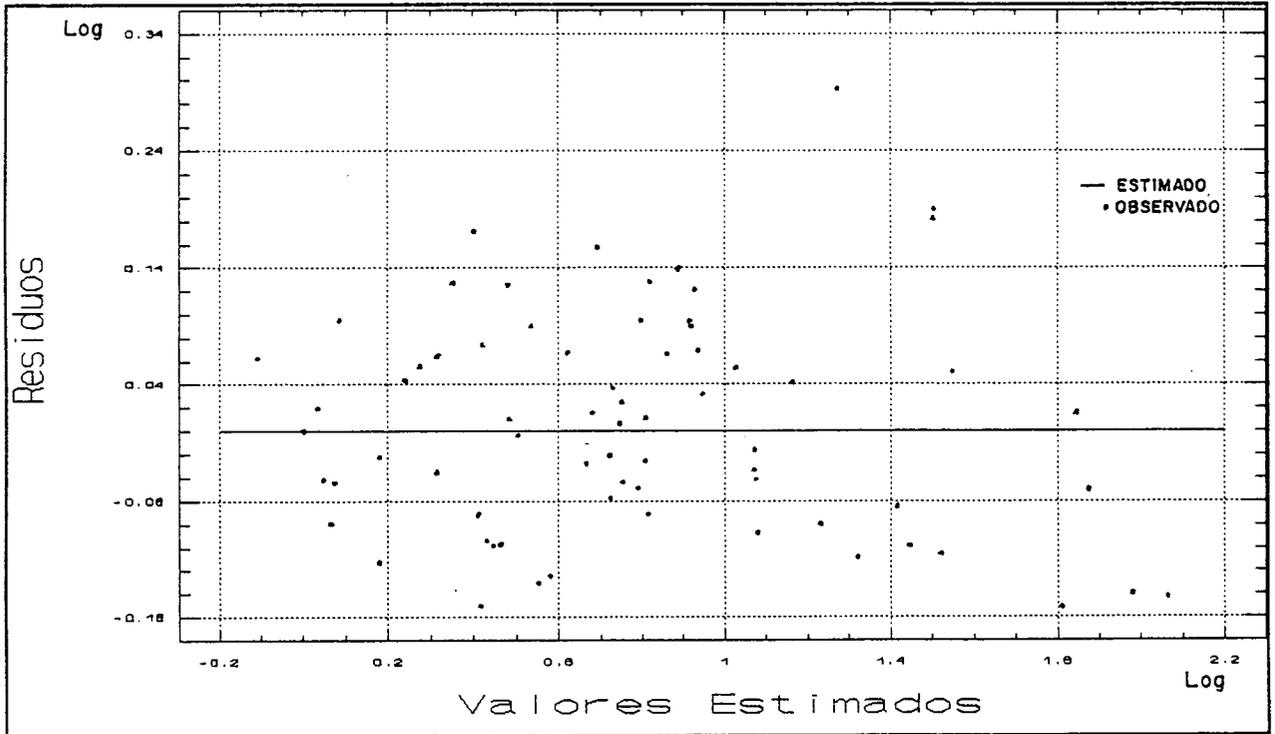


Fig. A13.1 Resíduos de Custos Estimados de Rede de Distribuição

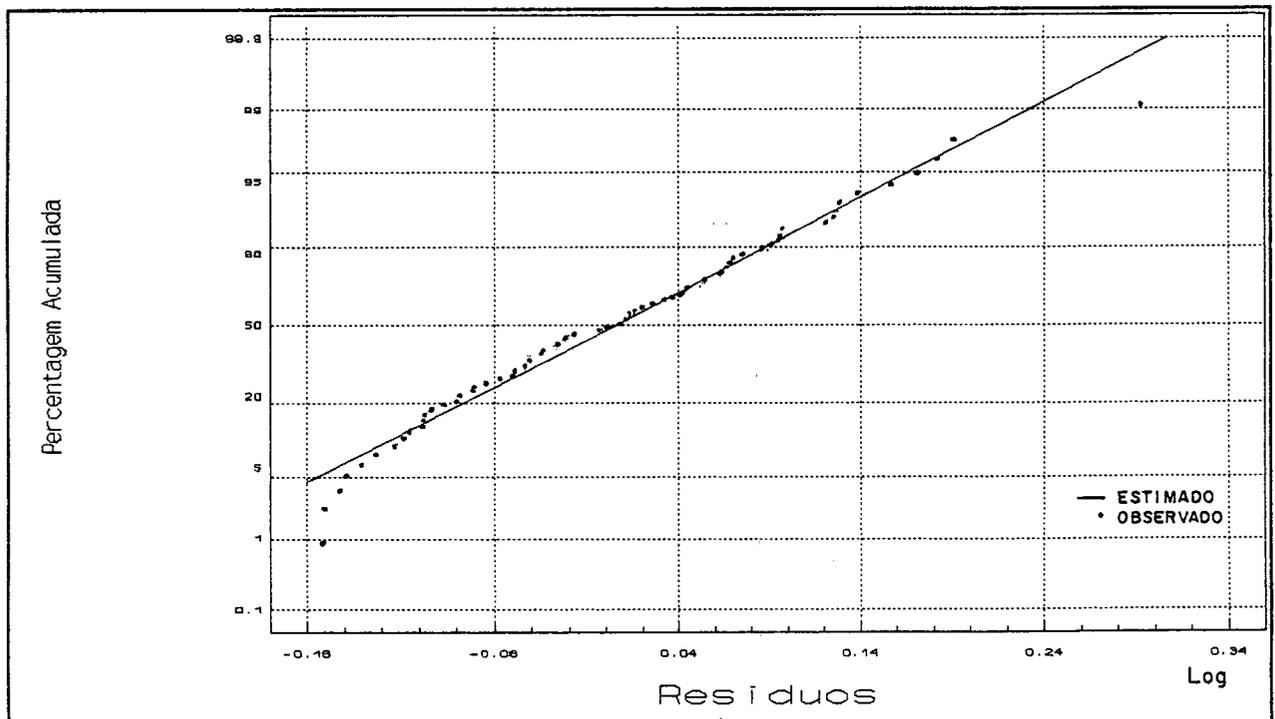


Fig. A13.2 Gráfico da Probabilidade Normal dos Resíduos de Custos de Rede de Distribuição

A N E X O No. 14

Quadro A.6 Dados Anual com Despesas de Pessoal Praticados pela CASAN (1991)

Capac. Nominal l/s	Horas de Operação Diárias	Produção Média Anual (m3)	Taxa Média Anual de Uso	Despesa Anual de Pessoal (\$ USA)
3.00	24.0	81753	0.86	102.748,10
3.00	15.0	34317	0.36	121.771,00
3.00	19.0	54320	0.57	105.761,80
3.00	16.0	59421	0.63	103.855,40
3.00	23.0	71887	0.76	115.273,70
3.75	18.0	55924	0.47	87.446,33
4.67	15.0	104681	0.71	88.373,29
4.92	17.0	92057	0.59	79.039,90
6.00	15.0	64823	0.34	153.090,90
6.00	11.0	55712	0.29	75.567,26
6.00	13.5	85377	0.45	168.315,60
6.00	16.0	90272	0.48	76.159,23
6.00	22.0	162256	0.86	135.401,70
6.00	12.5	92377	0.49	105.500,90
6.00	10.0	69925	0.37	77.969,40
6.20	22.0	149337	0.76	184.444,00
6.54	10.0	57869	0.28	107.629,50
6.94	13.0	130275	0.60	103.296,10
7.15	18.0	159527	0.71	132.732,30
8.00	24.0	192159	0.76	117.826,30
8.73	22.0	244514	0.89	172.868,30
9.00	14.0	107160	0.38	118.131,40
9.00	12.0	94424	0.33	112.387,20
9.00	18.0	172753	0.61	91.419,40
9.00	22.5	232843	0.82	230.062,60
9.28	12.0	150828	0.52	114.036,40
10.13	10.0	106952	0.33	98.495,93
11.27	11.0	152087	0.43	111.320,60
12.00	15.0	174698	0.46	144.760,50
12.00	17.0	198177	0.52	269.063,10
12.00	10.0	122073	0.32	134.894,60
12.00	13.0	159432	0.42	153.212,90
12.00	10.5	142284	0.38	88.591,73
12.00	18.5	306365	0.81	128.367,60
12.00	16.5	325696	0.86	205.261,90
12.13	22.0	281165	0.74	176.355,90
12.60	22.0	329853	0.83	208.876,70
15.00	08.0	196055	0.41	104.788,60

Capac. Nominal l/s	Horas de Operação Diárias	Produção Média Anual (m3/ano)	Taxa Média Anual de Uso	Despesa Anual de Pessoal (\$ USA)
15.00	22.0	308267	0.65	193.807,00
15.41	12.5	229044	0.47	150.430,00
15.50	08.0	137015	0.28	112.027,10
15.97	20.5	327912	0.65	225.585,10
16.00	21.5	458081	0.91	224.418,50
16.00	15.0	258177	0.51	107.595,50
20.00	10.5	307524	0.49	156.941,10
20.00	23.0	326776	0.52	367.032,60
20.00	21.0	137929	0.22	99.163,67
20.00	17.0	366453	0.58	204.485,20
20.00	13.5	328389	0.52	223.674,00
20.00	23.5	559392	0.89	304.231,00
22.00	16.0	441871	0.64	139.157,30
22.67	21.5	476109	0.67	343.185,50
23.00	24.0	455803	0.63	187.302,00
23.80	20.0	522096	0.70	279.699,00
24.00	24.0	734960	0.97	443.116,70
24.00	23.0	612840	0.81	340.732,20
27.89	20.0	727249	0.83	213.072,80
29.00	15.0	394315	0.43	110.485,70
36.14	15.0	490341	0.43	237.324,00
40.00	15.0	694019	0.55	340.364,10
43.00	23.5	334912	0.25	204.411,10
44.00	16.0	916764	0.66	628.417,80
50.00	24.0	1475073	0.94	409.832,20
60.00	23.5	1996656	1.06	528.239,10
63.00	21.0	1610938	0.81	561.121,70
75.00	13.0	1003643	0.42	415.115,20
82.00	20.0	1845696	0.71	851.580,30
84.21	23.5	2015060	0.76	485.935,20
92.52	20.5	2301604	0.79	570.620,20
128.00	19.0	2548039	0.63	706.745,50
128.00	24.0	3668824	0.91	846.980,50
150.00	23.0	4461323	0.94	1.014.317,00
200.00	24.0	5846341	0.93	1.326.374,00
290.00	18.0	4564034	0.50	1.159.984,00
300.00	18.0	7166596	0.76	1.359.411,00
400.00	22.0	10907707	0.86	2.867.364,00
400.00	23.0	12604232	1.00	2.949.090,00
630.00	24.0	13998288	0.70	1.530.834,00
1150.00	24.0	32411247	0.89	4.307.692,00

A N E X O No. 15

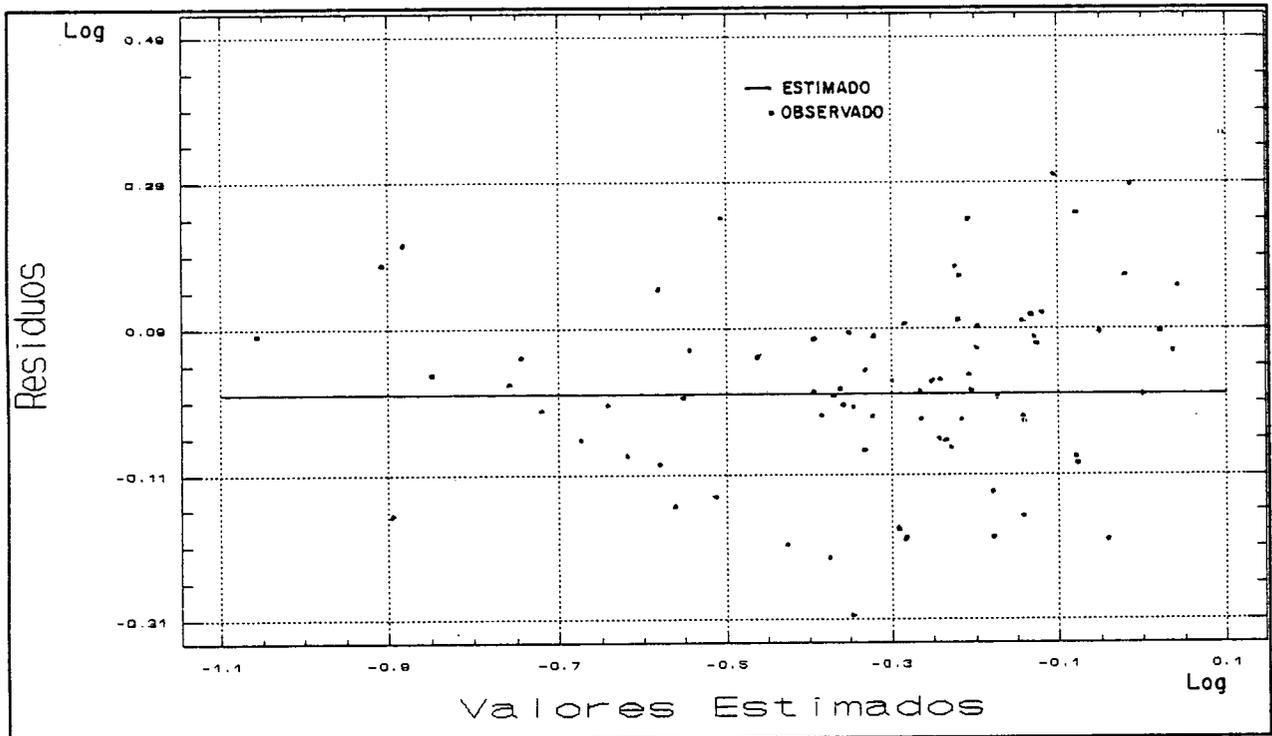


Fig. A15.1 Resíduos de Custos com Despesas de Pessoal

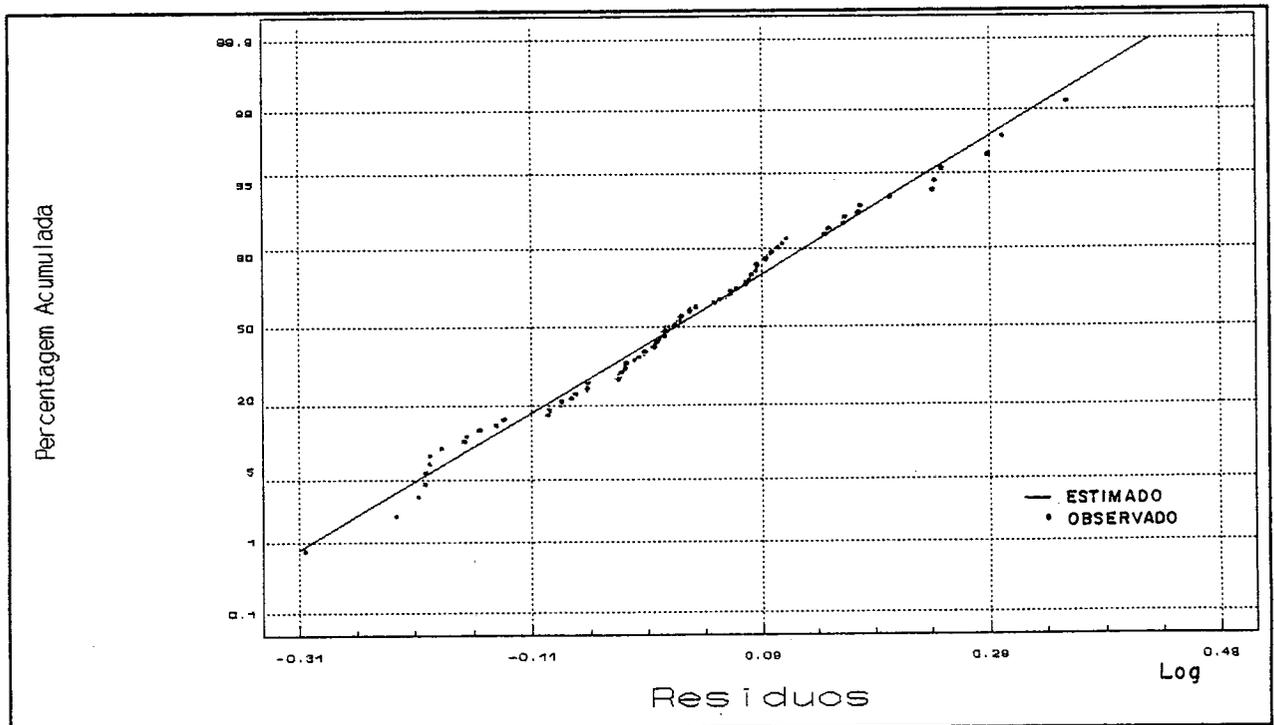


Fig. A15.2 Gráfico da Probabilidade Normal dos Resíduos de Custos com Despesas de Pessoal

A N E X O No. 16

Quadro A.7 Dados com Despesa Anual de Energia Elétrica
Praticados pela CASAN (1991)

Capac. Nominal l/s	Horas de Operação Diária	Produção Média Anual (m3)	Taxa Média Anual de Uso	Despesa Anual com Energia Elétrica (\$ USA)
3.00	24.0	81753	0.86	39.184,38
3.00	15.0	34317	0.36	8.780,15
3.00	19.0	54320	0.57	5.112,95
3.00	16.0	59421	0.63	13.260,95
3.00	23.0	71887	0.76	10.563,38
3.75	18.0	55924	0.47	12.753,36
4.67	15.0	104681	0.71	18.444,35
4.92	17.0	92057	0.59	13.220,21
6.00	15.0	64823	0.34	8.638,45
6.00	13.5	85377	0.45	17.762,96
6.00	16.0	90272	0.48	19.001,36
6.00	22.0	162256	0.86	16.356,06
6.00	10.0	69925	0.37	12.746,05
6.20	22.0	149337	0.76	22.708,18
6.54	10.0	57869	0.28	11.955,07
6.94	13.0	130275	0.60	19.292,57
7.15	18.0	159527	0.71	30.075,85
8.00	24.0	192159	0.76	23.068,34
8.73	22.0	244514	0.89	40.705,83
9.00	14.0	107160	0.38	15.674,54
9.00	12.0	94424	0.33	14.587,36
9.00	18.0	172753	0.61	6.397,07
9.00	10.5	102393	0.36	33.663,91
9.00	22.5	232843	0.82	14.905,63
9.28	12.0	150828	0.52	25.180,97
10.13	10.0	106952	0.33	34.989,19
11.27	11.0	152087	0.43	30.190,57
12.00	15.0	174698	0.46	51.228,55
12.00	17.0	198177	0.52	32.160,94
12.00	10.0	122073	0.32	1.994,48
12.00	13.0	159432	0.42	5.041,38
12.00	10.5	142284	0.38	19.900,61
12.00	18.5	306365	0.81	42.489,64
12.00	16.5	325696	0.86	83.351,46
12.13	22.0	281165	0.74	40.672,23
12.60	22.0	329853	0.83	15.659,74

Capac. Nominal l/s	Horas de Operação Diária	Produção Média Anual (m3/ano)	Taxa Média Anual de Uso	Despesa Anual com Energia Elétrica (\$ USA)
15.00	22.0	308267	0.65	66.758,93
15.41	12.5	229044	0.47	47.563,16
15.97	20.5	327912	0.65	37.734,68
16.00	21.5	458081	0.91	59.499,20
16.00	13.0	244241	0.48	33.154,66
16.00	15.0	258177	0.51	20.142,50
20.00	10.5	307524	0.49	10.220,29
20.00	23.0	326776	0.52	81.580,09
20.00	21.0	137929	0.22	28.727,41
20.00	17.0	366453	0.58	1.285,45
20.00	13.5	328389	0.52	30.206,88
20.00	23.5	559392	0.89	57.157,00
22.00	16.0	441871	0.64	135.122,50
23.80	20.0	522096	0.70	4.371,66
24.00	24.0	734960	0.97	160.794,30
24.00	23.0	612840	0.81	66.073,99
27.89	20.0	727249	0.83	46.591,21
36.14	15.0	490341	0.43	40.697,03
40.00	15.0	694019	0.55	68.314,14
43.00	23.5	334912	0.25	29.833,97
44.00	16.0	916764	0.66	232.785,00
50.00	24.0	1475073	0.94	110.398,30
60.00	23.5	1996656	1.06	193.175,10
63.00	21.0	1610938	0.81	426.470,00
75.00	13.0	1003643	0.42	100.638,50
82.00	20.0	1845696	0.71	160.894,90
84.21	23.5	2015060	0.76	120.349,20
92.52	20.5	2301604	0.79	102.257,00
128.00	19.0	2548039	0.63	205.042,70
128.00	24.0	3668824	0.91	270.914,20
200.00	24.0	5846341	0.93	600.786,70
290.00	18.0	4564034	0.50	531.562,00
300.00	18.0	7166596	0.76	622.226,00
400.00	22.0	10907707	0.86	847.000,70
400.00	23.0	12604232	1.00	1.002.970,00
630.00	24.0	13998288	0.70	840.198,80

A N E X O No. 17

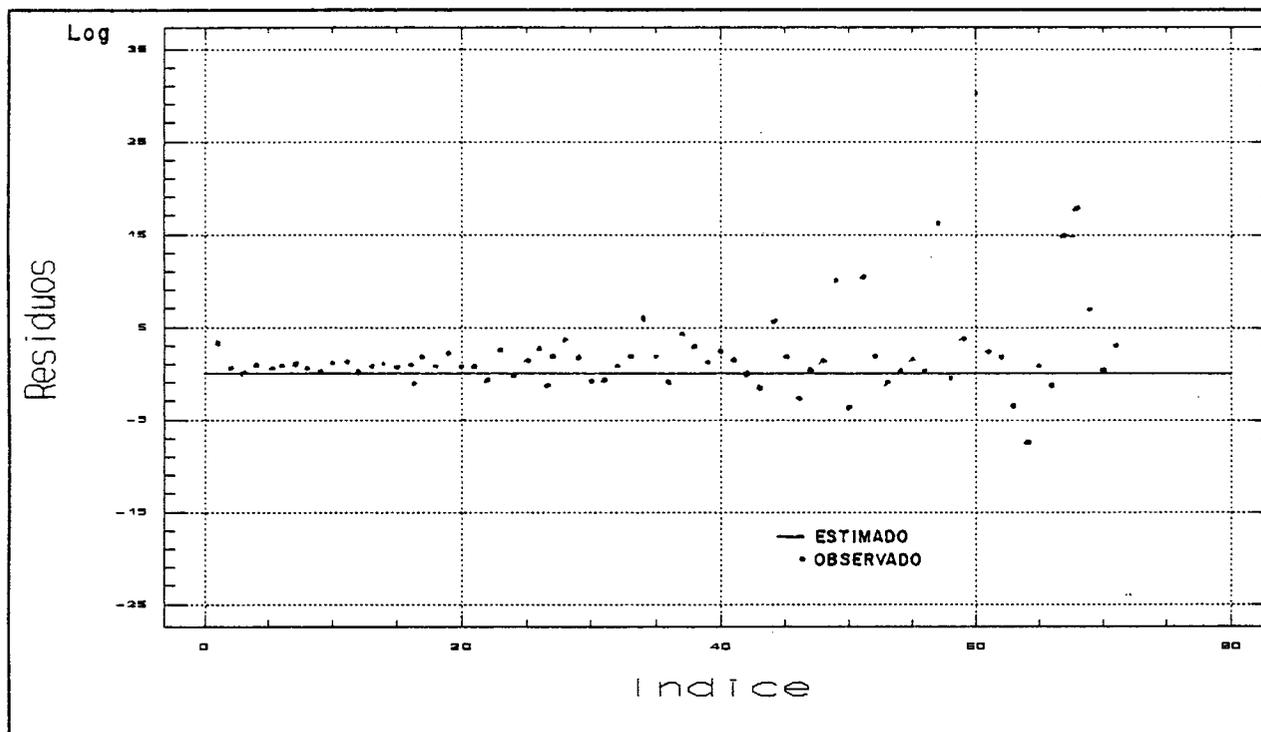


Fig. A17.1 Resíduos de Custos com Despesas de Energia Elétrica

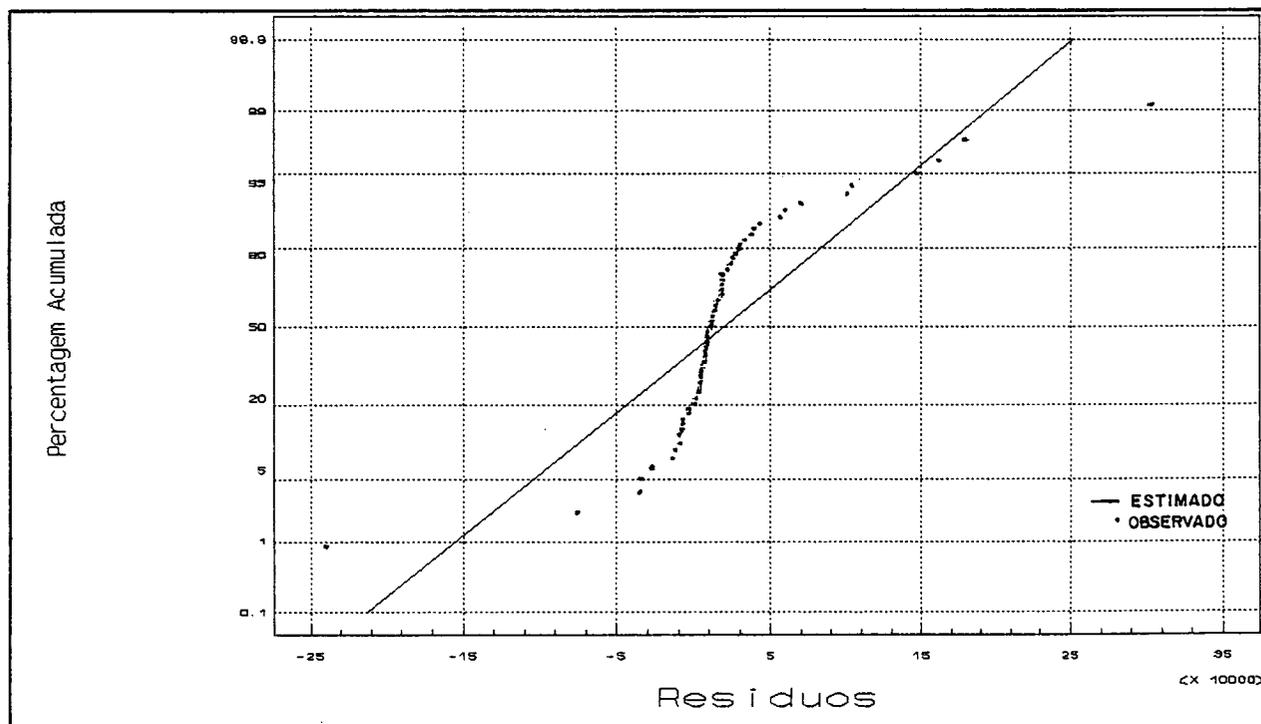


Fig. A17.2 Gráfico da Probabilidade Normal dos Resíduos de Custos com Despesas de Energia Elétrica

A N E X O No. 18

Quadro A.8 Dados de Despesa Anual com Materiais de Tratamento Praticados pela CASAN (1991)

Capac. Nominal l/s	Horas de Operação Diária	Produção Média Anual (m3)	Taxa Média Anual de Uso	Despesa Anual com Materiais Tratam.(\$ USA)
3.00	24.0	81753	0.86	2.836,58
3.00	15.0	34317	0.36	1.012,84
3.00	19.0	54320	0.57	932,77
3.00	16.0	59421	0.63	2.576,47
3.00	23.0	71887	0.76	2.611,26
3.75	18.0	55924	0.47	752,41
4.67	15.0	104681	0.71	1.066,04
4.92	17.0	92057	0.59	3.111,31
6.00	15.0	64823	0.34	2.280,61
6.00	13.5	85377	0.45	1.727,92
6.00	16.0	90272	0.48	815,66
6.00	22.0	162256	0.86	2.675,31
6.00	12.5	92377	0.49	1.551,95
6.00	10.0	69925	0.37	1.183,93
6.20	22.0	149337	0.76	3.138,30
6.54	10.0	57869	0.28	1.726,50
6.94	13.0	130275	0.60	1.760,68
7.15	18.0	159527	0.71	5.460,76
8.00	24.0	192159	0.76	2.601,68
8.73	22.0	244514	0.89	3.593,26
9.00	14.0	107160	0.38	1.514,65
9.00	12.0	94424	0.33	3.319,00
9.00	18.0	172753	0.61	2.065,27
9.00	10.5	102393	0.36	2.074,60
9.00	22.5	232843	0.82	3.927,06
9.28	12.0	150828	0.52	1.409,98
10.13	10.0	106952	0.33	1.623,57
11.27	11.0	152087	0.43	2.067,49
12.00	15.0	174698	0.46	1.732,91
12.00	17.0	198177	0.52	3.713,87
12.00	10.0	122073	0.32	975,14
12.00	13.0	159432	0.42	2.583,99
12.00	10.5	142284	0.38	2.488,98
12.00	18.5	306365	0.81	2.912,37
12.00	16.5	325696	0.86	5.166,39
12.13	22.0	281165	0.74	4.064,54
12.60	22.0	329853	0.83	6.273,44
15.00	22.0	308267	0.65	2.942,85

Capac. Nominal l/s	Horas de Operação Diária	Produção Média Anual (m3/ano)	Taxa Média Anual de Uso	Despesa Anual com Materiais Tratam. (\$ USA)
15.41	12.5	229044	0.47	3.649,23
15.50	8.0	137015	0.28	1.759,47
15.97	20.5	327912	0.65	12.198,84
16.00	21.5	458081	0.91	9.034,18
16.00	13.0	244241	0.48	7.530,76
16.00	15.0	258177	0.51	4.532,31
20.00	10.5	307524	0.49	2.451,63
20.00	23.0	326776	0.52	11.191,54
20.00	21.0	137929	0.22	3.167,41
20.00	17.0	366453	0.58	5.830,68
20.00	13.5	328389	0.52	4.677,04
20.00	23.5	559392	0.89	7.365,07
22.00	16.0	441871	0.64	5.038,42
22.67	21.5	476109	0.67	5.904,57
23.00	24.0	455803	0.63	4.786,79
23.80	20.0	522096	0.70	11.179,04
24.00	24.0	734960	0.97	18.793,80
24.00	23.0	612840	0.81	11.764,11
27.89	20.0	727249	0.83	13.918,84
29.00	15.0	394315	0.43	3.939,04
36.14	15.0	490341	0.43	11.842,35
40.00	15.0	694019	0.55	17.262,88
43.00	23.5	334912	0.25	5.357,79
44.00	16.0	916764	0.66	16.179,28
50.00	24.0	1475073	0.94	25.708,78
60.00	23.5	1996656	1.06	14.919,26
63.00	21.0	1610938	0.81	53.012,03
75.00	13.0	1003643	0.42	37.273,76
82.00	20.0	1845696	0.71	29.724,29
84.21	23.5	2015060	0.76	43.534,27
92.52	20.5	2301604	0.79	26.229,30
128.00	19.0	2548039	0.63	39.316,33
128.00	24.0	3668824	0.91	90.736,13
150.00	23.0	4461323	0.94	61.188,61
200.00	24.0	5846341	0.93	163.936,60
290.00	18.0	4564034	0.50	73.748,67
300.00	18.0	7166596	0.76	138.653,60
400.00	22.0	10907707	0.86	156.518,10
400.00	23.0	12604232	1.00	135.334,40
630.00	24.0	13998288	0.70	282.696,30

A N E X O No. 19

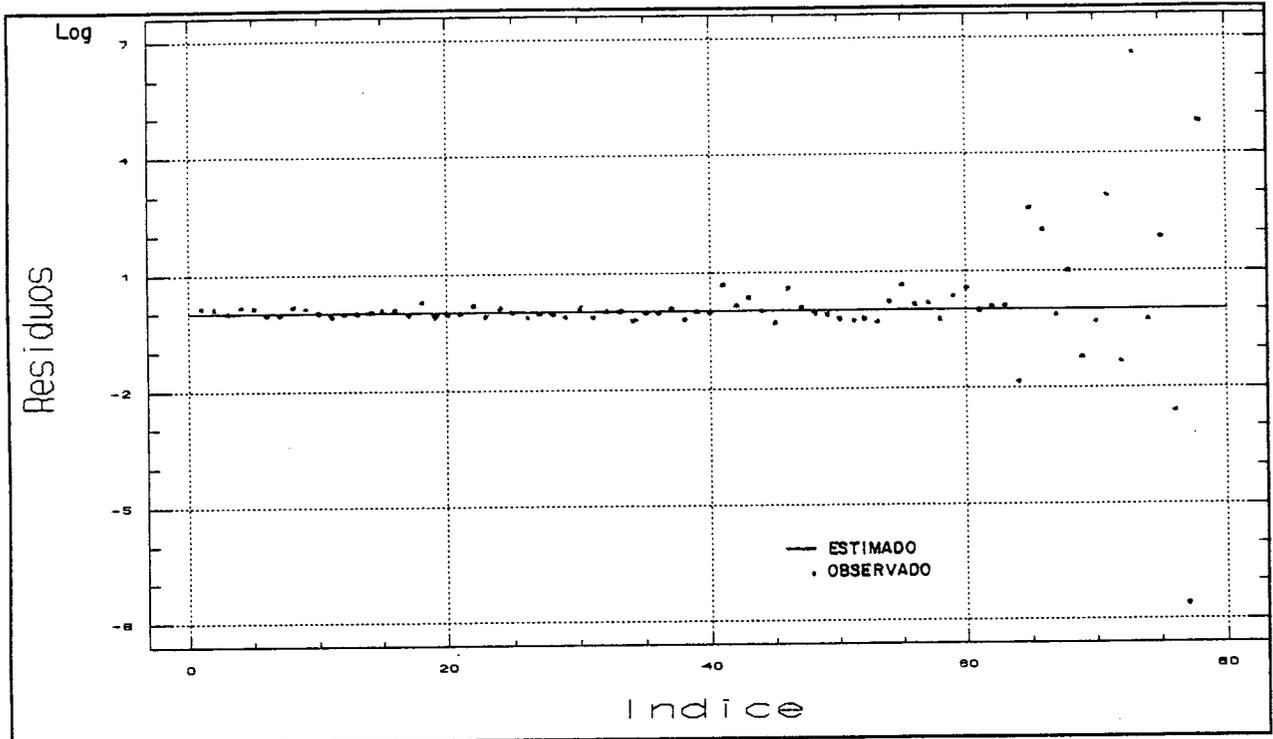


Fig. A19.1 Resíduos de Custos Estimados para Despesas com Materiais de Tratamento

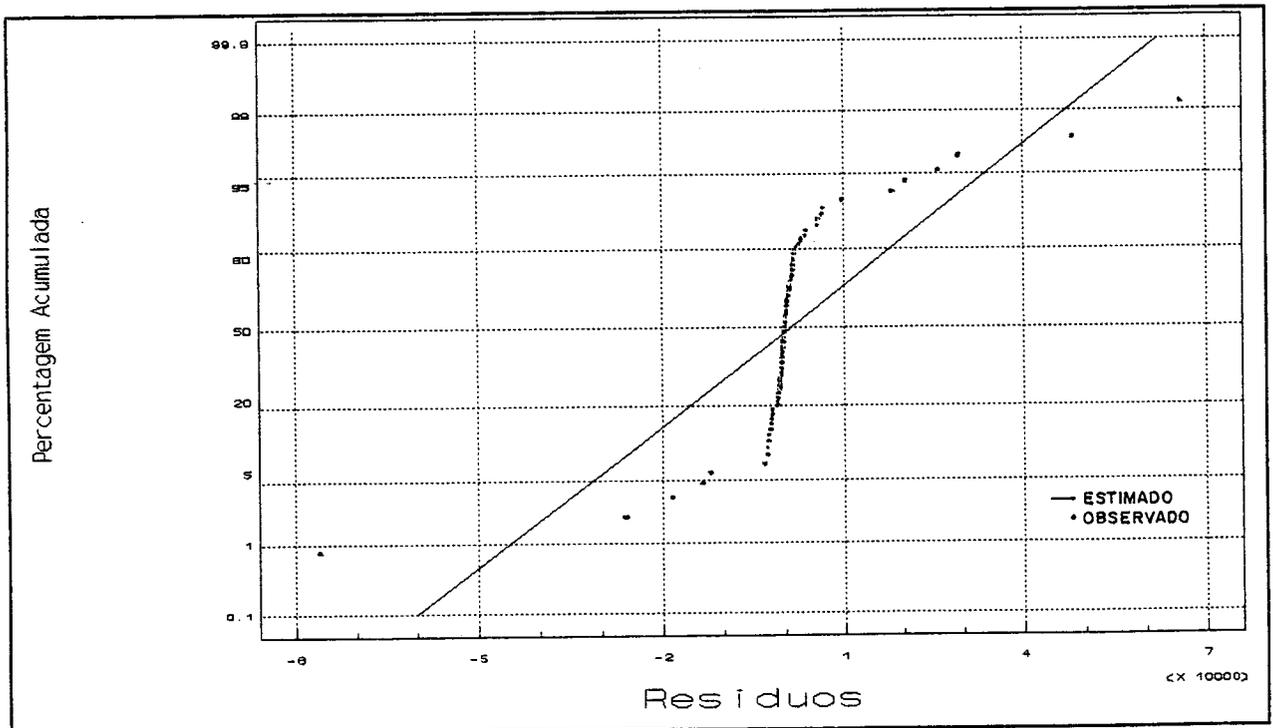


Fig. A19.2 Gráfico da Probabilidade Normal dos Resíduos de Custos com Despesas de Materiais de Tratamento

A N E X O No. 20

Quadro A.9 Dados de Outras Despesa Anual Praticados pela CASAN (1991)

Capac. Nominal l/s	Horas de Operação Diárias	Produção Média Anual (m3)	Taxa Média Anual de Uso	Despesa Anual "Outras" (\$ USA)
3.00	24.0	81753	0.86	5.529,02
3.00	15.0	34317	0.36	1.232,74
3.00	19.0	54320	0.57	6.666,13
3.00	16.0	59421	0.63	13.742,88
3.00	23.0	71887	0.76	1.713,08
3.75	18.0	55924	0.47	1.546,04
4.67	15.0	104681	0.71	7.743,73
4.92	17.0	92057	0.59	5.918,31
6.00	15.0	64823	0.34	2.260,53
6.00	11.0	55712	0.29	7.222,34
6.00	13.5	85377	0.45	10.305,85
6.00	16.0	90272	0.48	2.087,22
6.00	22.0	162256	0.86	6.707,87
6.00	12.5	92377	0.49	3.468,86
6.00	10.0	69925	0.37	1.833,54
6.20	22.0	149337	0.76	5.056,68
6.54	10.0	57869	0.28	8.858,19
6.94	13.0	130275	0.60	3.944,11
7.15	18.0	159527	0.71	3.313,61
8.00	24.0	192159	0.76	2.973,76
8.73	22.0	244514	0.89	7.869,72
9.00	14.0	107160	0.38	1.579,19
9.00	12.0	94424	0.33	5.070,78
9.00	18.0	172753	0.61	3.670,30
9.00	10.5	102393	0.36	5.542,77
9.00	22.5	232843	0.82	5.245,73
9.28	12.0	150828	0.52	3.984,87
10.13	10.0	106952	0.33	3.801,44
11.27	11.0	152087	0.43	3.568,63
12.00	15.0	174698	0.46	3.844,69
12.00	17.0	198177	0.52	3.924,63
12.00	10.0	122073	0.32	4.640,27
12.00	13.0	159432	0.42	5.837,22
12.00	10.5	142284	0.38	3.426,01
12.00	18.5	306365	0.81	8.303,81
12.00	16.5	325696	0.86	11.841,33
12.13	22.0	281165	0.74	6.309,09
12.60	22.0	329853	0.83	10.434,54
15.00	8.0	196055	0.41	3.676,35
15.00	22.0	308267	0.65	4.663,87

Capac. Nominal l/s	Horas de Operação Diárias	Produção Média Anual (m3/ano)	Taxa Média Anual de Uso	Despesa Anual "Outras" (\$ USA)
15.00	15.0	236589	0.50	240,17
15.41	12.5	229044	0.47	6.809,43
15.50	8.0	137015	0.28	3.954,81
15.97	20.5	327912	0.65	6.043,87
16.00	21.5	458081	0.91	9.417,08
16.00	13.0	244241	0.48	8.461,55
16.00	15.0	258177	0.51	6.399,98
20.00	10.5	307524	0.49	31.974,67
20.00	23.0	326776	0.52	22.513,73
20.00	21.0	137929	0.22	5.091,00
20.00	17.0	366453	0.58	5.496,85
20.00	13.5	328389	0.52	6.697,06
20.00	23.5	559392	0.89	20.416,36
22.00	16.0	441871	0.64	7.928,10
22.67	21.5	476109	0.67	13.963,86
23.00	24.0	455803	0.63	13.871,73
23.80	20.0	522096	0.70	50.710,03
24.00	24.0	734960	0.97	19.598,93
24.00	23.0	612840	0.81	22.521,86
27.89	20.0	727249	0.83	14.563,76
29.00	15.0	394315	0.43	5.395,55
36.14	15.0	490341	0.43	13.178,00
40.00	15.0	694019	0.55	21.796,74
43.00	23.5	334912	0.25	8.875,85
44.00	16.0	916764	0.66	20.360,35
50.00	24.0	1475073	0.94	38.065,38
60.00	23.5	1996656	1.06	57.126,72
63.00	21.0	1610938	0.81	55.916,67
75.00	13.0	1003643	0.42	17.108,11
82.00	20.0	1845696	0.71	39.354,32
84.21	23.5	2015060	0.76	42.499,66
92.52	20.5	2301604	0.79	29.801,23
128.00	19.0	2548039	0.63	42.365,48
128.00	24.0	3668824	0.91	131.754,90
150.00	23.0	4461323	0.94	85.758,35
200.00	24.0	5846341	0.93	332.953,50
290.00	18.0	4564034	0.50	61.621,32
300.00	18.0	7166596	0.76	324.017,30
400.00	22.0	10907707	0.86	313.929,60
400.00	23.0	12604232	1.00	312.303,40
630.00	24.0	13998288	0.70	409.115,90
1150.00	24.0	32411247	0.89	1.120.937,00

A N E X O No. 21

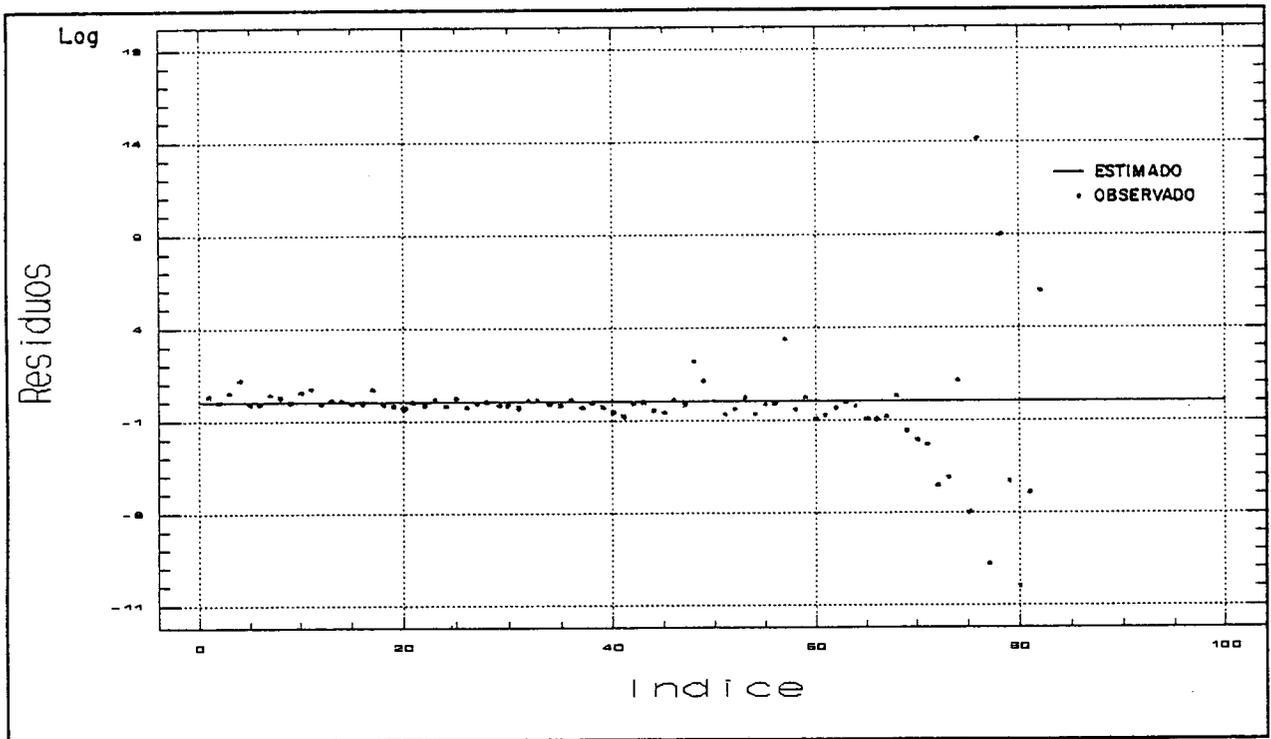


Fig. A21.1 Resíduos de Custos Estimados para Despesas "Outras"

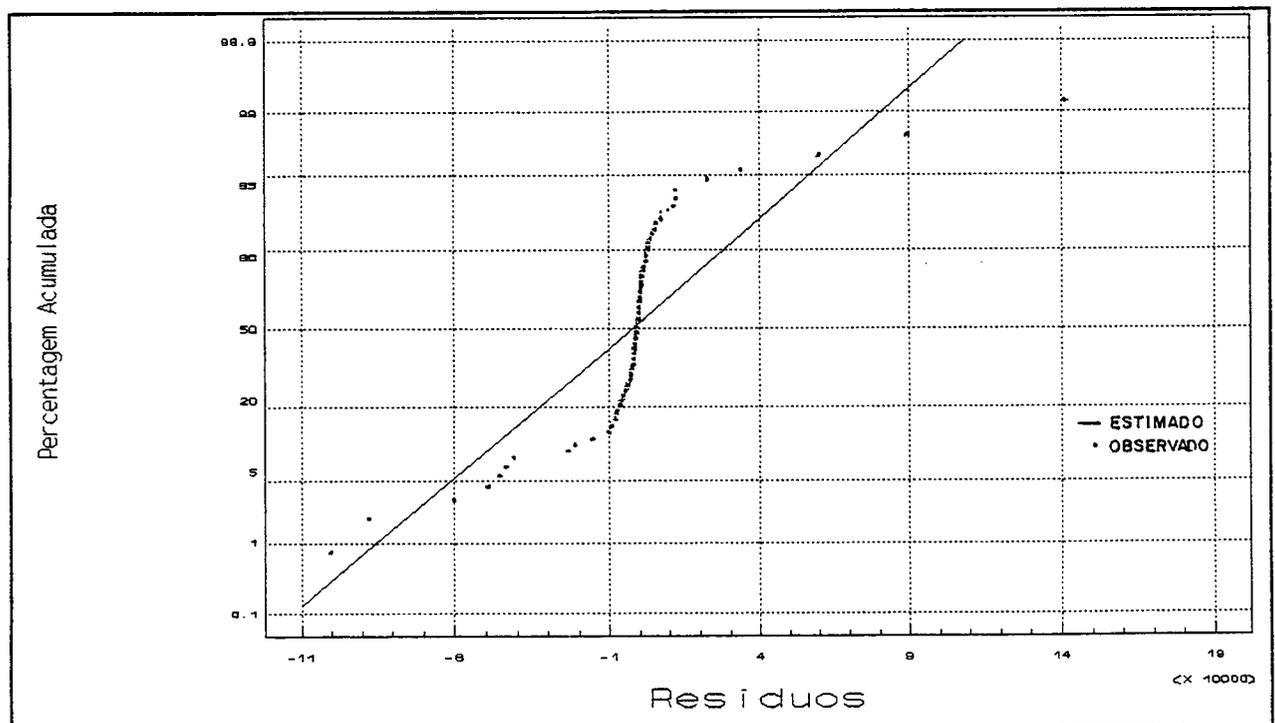


Fig. A21.2 Gráfico da Probabilidade Normal dos Resíduos de Custos com Outras Despesas

Relatório do Estudo de Expansão do Sistema de Abastecimento de
Água da Cidade de Água Doce Gerado na Otimização do Sistema.

RELATÓRIO RECALQUE # 1

Estação de Recalque de Agua Bruta
 Altura Manométrica [mca] 19.00
 Capacidade Instalada [l/s] 3.50

DEMANDA

# Comunidade	1	2	3
Taxa Crescimento %		5.77	
Consumo Per Cápita		150.00	

Ano	População	Consumo
0	2071	4.31
1	2191	4.56
2	2317	4.83
3	2451	5.11
4	2592	5.40
5	2742	5.71
6	2900	6.04
7	3068	6.39
8	3245	6.76
9	3432	7.15
10	3631	7.56
11	3840	8.00
12	4062	8.46
13	4296	8.95
14	4544	9.47
15	4807	10.01
16	5084	10.59
17	5378	11.20
18	5689	11.85
19	6017	12.54
20	6364	13.26

PLANO DE EXPANSÃO

DATA	CAPACIDADE			INVESTIMENTO (US\$)
	ANTES	DEPOIS	EXECUTAR	
0	3.50	6.76	3.26	3852.93
8	6.76	9.47	2.71	3367.16
14	9.47	13.26	3.79	4298.45

RELATÓRIO RECALQUE # 2

Estação de Recalque de Agua Tratada 1
 Altura Manométrica [mca] 106.91
 Capacidade Instalada [l/s] 0.00

DEMANDA

# Comunidade		1	2	3
Taxa	Crescimento %		5.77	
Cons.	Per Cápita		150.00	

Ano	População	Consumo
0	2071	4.31
1	2191	4.56
2	2317	4.83
3	2451	5.11
4	2592	5.40
5	2742	5.71
6	2900	6.04
7	3068	6.39
8	3245	6.76
9	3432	7.15
10	3631	7.56
11	3840	8.00
12	4062	8.46
13	4296	8.95
14	4544	9.47
15	4807	10.01
16	5084	10.59
17	5378	11.20
18	5689	11.85
19	6017	12.54
20	6364	13.26

PLANO DE EXPANSÃO

DATA	CAPACIDADE			INVESTIMENTO (US\$)
	ANTES	DEPOIS	EXECUTAR	
0	0.00	7.15	7.15	12020.23
9	7.15	10.01	2.86	6191.21
15	10.01	13.26	3.24	6778.38

RELATÓRIO RECALQUE # 3

Estação de Recalque de Agua Tratada 2
 Altura Manométrica [mca] 31.00
 Capacidade Instalada [l/s] 0.00

DEMANDA

# Comunidade		1
Taxa Crescimento %		5.77
Cons. Per Cápita		150.00
Ano	População	Consumo
0	241	0.50
1	255	0.53
2	270	0.56
3	285	0.59
4	302	0.63
5	319	0.67
6	338	0.70
7	357	0.74
8	378	0.79
9	400	0.83
10	423	0.88
11	447	0.93
12	473	0.99
13	500	1.04
14	529	1.10
15	560	1.17
16	592	1.23
17	626	1.30
18	662	1.38
19	700	1.46
20	741	1.54

PLANO DE EXPANSÃO

DATA	CAPACIDADE			INVESTIMENTO (US\$)
	ANTES	DEPOIS	EXECUTAR	
0	0.00	0.83	0.83	1682.23
9	0.83	1.17	0.33	866.46
15	1.17	1.54	0.38	948.64

RELATÓRIO ADUTORA # 1

Adutora de Agua Bruta

Material Ferro Fundido
 Comprimento [m] 100.00
 Capacidade Instalada [l/s] 0.00

DEMANDA

# Comunidade	1	2	3
Taxa Crescimento %		5.77	
Cons. Per Cápita		150.00	

Ano	População	Consumo
0	2071	4.31
1	2191	4.56
2	2317	4.83
3	2451	5.11
4	2592	5.40
5	2742	5.71
6	2900	6.04
7	3068	6.39
8	3245	6.76
9	3432	7.15
10	3631	7.56
11	3840	8.00
12	4062	8.46
13	4296	8.95
14	4544	9.47
15	4807	10.01
16	5084	10.59
17	5378	11.20
18	5689	11.85
19	6017	12.54
20	6364	13.26

PLANO DE EXPANSÃO

DATA	CAPACIDADE			INVESTIMENTO (US\$)
	ANTES	DEPOIS	EXECUTAR	
0	0.00	13.26	13.26	2624.32

RELATÓRIO ADUTORA # 2

Adutora Agua Tratada 1
 Material Ferro Fundido
 Comprimento [m] 1605.00
 Capacidade Instalada [l/s] 3.50

DEMANDA

# Comunidade	1	2	3
Taxa Crescimento %		5.77	
Cons. Per Cápita		150.00	

Ano	População	Consumo
0	2071	4.31
1	2191	4.56
2	2317	4.83
3	2451	5.11
4	2592	5.40
5	2742	5.71
6	2900	6.04
7	3068	6.39
8	3245	6.76
9	3432	7.15
10	3631	7.56
11	3840	8.00
12	4062	8.46
13	4296	8.95
14	4544	9.47
15	4807	10.01
16	5084	10.59
17	5378	11.20
18	5689	11.85
19	6017	12.54
20	6364	13.26

PLANO DE EXPANSÃO

DATA	CAPACIDADE			INVESTIMENTO (US\$)
	ANTES	DEPOIS	EXECUTAR	
0	3.50	13.26	9.76	26424.53

RELATÓRIO RESERVATÓRIO # 1

Reservatório..... Zona 2
 Volume Instalado [m3] 25.00
 Autonomia [horas]..... 8

DEMANDA

# Comunidade	2	
Taxa Crescimento %	5.77	
Cons. Per Cápita	150.00	
Ano	População	Consumo
0	1763	3.67
1	1864	3.88
2	1972	4.11
3	2086	4.35
4	2206	4.60
5	2334	4.86
6	2468	5.14
7	2611	5.44
8	2762	5.75
9	2921	6.09
10	3090	6.44
11	3268	6.81
12	3457	7.20
13	3657	7.62
14	3868	8.06
15	4091	8.52
16	4327	9.02
17	4577	9.54
18	4841	10.09
19	5121	10.67
20	5417	11.28

PLANO DE EXPANSÃO

DATA	CAPACIDADE			INVESTIMENTO (US\$)
	ANTES	DEPOIS	EXECUTAR	
0	25.00	175.27	150.27	15568.92
9	175.27	245.46	70.19	9165.64
15	245.46	325.00	79.54	9998.61

RELATÓRIO RESERVATÓRIO # 2

Reservatório Zona 3
 Volume Instalado [m3] 50.00
 Autonomia [horas]..... 8

DEMANDA

# Comunidade	3	
Taxa Crescimento %	5.77	
Cons. Per Cápita	150.00	
Ano	População	Consumo
0	271	0.56
1	287	0.60
2	303	0.63
3	321	0.67
4	339	0.71
5	359	0.75
6	380	0.79
7	402	0.84
8	425	0.89
9	449	0.94
10	475	0.99
11	503	1.05
12	532	1.11
13	563	1.17
14	595	1.24
15	629	1.31
16	666	1.39
17	704	1.47
18	745	1.55
19	788	1.64
20	833	1.74

PLANO DE EXPANSÃO

DATA	CAPACIDADE			INVESTIMENTO (US\$)
	ANTES	DEPOIS	EXECUTAR	
19	50.00	50.00	0.00	0.00

RELATÓRIO RESERVATÓRIO # 3

Reservatório..... Zona 1
 Volume Instalado [m3] 0.00
 Autonomia [horas]..... 8

DEMANDA

# Comunidade	1
Taxa Crescimento %	5.77
Cons. Per Cápita	150.00

Ano	População	Consumo
0	136	0.28
1	143	0.30
2	152	0.32
3	160	0.33
4	170	0.35
5	180	0.37
6	190	0.40
7	201	0.42
8	212	0.44
9	225	0.47
10	238	0.50
11	251	0.52
12	266	0.55
13	281	0.59
14	298	0.62
15	315	0.66
16	333	0.69
17	352	0.73
18	372	0.78
19	394	0.82
20	417	0.87

PLANO DE EXPANSÃO

DATA	CAPACIDADE			INVESTIMENTO (US\$)
	ANTES	DEPOIS	EXECUTAR	
0	0.00	14.26	14.26	3023.08
10	14.26	18.88	4.62	1379.78
15	18.88	25.00	6.12	1677.44

RELATÓRIO DISTRIBUIÇÃO # 1

Capacidade Instalada [l/s] 3.50
 Coef. Máximo Horário 1.50
 Comprimento [m] 9557.00

DEMANDA

# Comunidade	1	2	3
Taxa Crescimento %		5.77	
Cons. Per Cápita		150.00	

Ano	População	Consumo
0	2071	4.31
1	2191	4.56
2	2317	4.83
3	2451	5.11
4	2592	5.40
5	2742	5.71
6	2900	6.04
7	3068	6.39
8	3245	6.76
9	3432	7.15
10	3631	7.56
11	3840	8.00
12	4062	8.46
13	4296	8.95
14	4544	9.47
15	4807	10.01
16	5084	10.59
17	5378	11.20
18	5689	11.85
19	6017	12.54
20	6364	13.26

PLANO DE EXPANSÃO

DATA	CAPACIDADE			INVESTIMENTO (US\$)
	ANTES	DEPOIS	EXECUTAR	
0	3.50	8.00	4.50	47261.74
11	8.00	13.26	5.26	51329.23

RELATÓRIO TRATAMENTO # 1

Capacidade Instalada [l/s] 3.50

DEMANDA

# Comunidade	1	2	3
Taxa Crescimento %		5.77	
Cons. Per Cápita		150.00	

Ano	População	Consumo
0	2071	4.31
1	2191	4.56
2	2317	4.83
3	2451	5.11
4	2592	5.40
5	2742	5.71
6	2900	6.04
7	3068	6.39
8	3245	6.76
9	3432	7.15
10	3631	7.56
11	3840	8.00
12	4062	8.46
13	4296	8.95
14	4544	9.47
15	4807	10.01
16	5084	10.59
17	5378	11.20
18	5689	11.85
19	6017	12.54
20	6364	13.26

PLANO DE EXPANSÃO

DATA	CAPACIDADE			INVESTIMENTO (US\$)
	ANTES	DEPOIS	EXECUTAR	
0	3.50	7.56	4.06	24339.54
10	7.56	13.26	5.70	30149.21

A N O	CUSTO DE CONSTRUÇÃO					CUSTO EQUIVALENTE	
	RECAL.	ADUT.	TRAT.	RESERV.	REDES	AMPLIAÇÃO	OPERAÇÃO
01	02	03	04	05	06	07	08
0	17555.39	29048.85	24339.54	18592.00	47261.74	136797.51	159070.40
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	163740.90
2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	168563.80
3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	173544.70
4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	178689.80
5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	184005.30
6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	189497.80
7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	195174.00
8	3367.16	0.00	0.00	0.00	0.00	3367.16	201041.10
9	7057.67	0.00	0.00	9165.64	0.00	16223.31	207106.60
10	0.00	0.00	30149.21	1379.78	0.00	31528.98	220823.60
11	0.00	0.00	0.00	0.00	51329.23	51329.23	234948.40
12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	242049.30
13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	249392.30
14	4298.45	0.00	0.00	0.00	0.00	4298.45	256986.80
15	7727.01	0.00	0.00	11676.05	0.00	19403.06	264843.10
16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	272971.50
17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	281383.10
18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	290089.40
19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	299102.40
V A L O R P R E S E N T E						181171.00	1707675.00
V A L O R P R E S E N T E G L O B A L							1888846.00

(01) Data de início de operação das diversas etapas do sistema;

(02)-(06)Custo de ampliação das partes componentes do sistema;

(07) Custo equivalente de ampliação na data de entrada de operação de cada etapa do sistema;

(08) Custo anual equivalente de operação, considerado no início de cada ano;

Listagem do Programa Computacional do Modelo de Expansão de
Sistemas de Abastecimento de Água.

```
Unit UParam;
```

Interface

Const

```
  NumMaxCom   = 50;  
  MaxHorizonte = 50;
```

Var

```
  Horizonte,TC,TA           : Byte;  
  TMA,Juros,TMAM,JuroM,    : Real;  
  TaxaObrasEsp,k1         : Real;  
  MatCustos                : Array [1..7,0..MaxHorizonte] of Real;  
  Function Potenc (A,B : Real) : Real;  
  Procedure LerParametros (Cidade : String);
```

Implementation

```
Function Potenc (A,B : Real) : Real;
```

```
begin
```

```
  Potenc := exp (ln (A) * B);
```

```
end;
```

```
Procedure LerParametros (Cidade : String);
```

```
Var
```

```
  Arq : Text;  
  i,j : Byte;
```

```
begin
```

```
  Writeln;
```

```
  Writeln ('LEITURA DOS PARAMETROS .... ');
```

```
  Assign (Arq,Cidade + '.007');
```

```
  Reset (Arq);
```

```
  Readln (Arq,TMA);
```

```
  Readln (Arq,Juros);
```

```
  Readln (Arq,Horizonte);
```

```
  Readln (Arq,TA);
```

```
  Readln (Arq,TC);
```

```
  Readln (Arq,k1);
```

```
  Readln (Arq,TaxaObrasEsp);
```

```
  Close (Arq);
```

```
  TMAM := Potenc (1+TMA,1/12.0) - 1;
```

```
  JuroM := Potenc (1+Juros,1/12.0) -1;
```

```
  For i := 1 to 7 do For j:= 0 to Horizonte do MatCustos [i,j]:= 0;
```

```
end;
```

```
end.
```

Unit UComunid;

Interface

Uses Crt,UParam;

Type

```
PTComunidade = ^TComunidade;
TComunidade = object
  P0,Taxa,ConsPerCapita : Real;
  Referencia           : Byte;
  Vazao,Populacao      : Array [0..MaxHorizonte] of Real;
  Procedure Ler (Var Arq : Text);
  Function GetPop (Ano : Byte) : Real;
  Function GetVazao (Ano : Byte) : Real;
  Function GetConsCap : Real;
  Function GetP0 : Real;
  Function GetTaxa : Real;
  Function GetRef : Byte;
end;
TListaComunidades = object
  Comunidade : Array [1..NumMaxCom] of PTComunidade;
  Num        : Byte;
  Procedure Ler (Cidade : String);
  Procedure Escrever (Var Arq : Text);
  Function PopTotal (Ano : Byte) : Real;
  Function VazaoTotal (Ano : Byte) : Real;
  Procedure LerIndices (Var Arq : Text; ListaOriginal :
TListaComunidades);
  Function GetNum : Byte;
end;
Var
  TodasComunidades : TListaComunidades;
Implementation
Procedure TComunidade.Ler (Var Arq : Text);
Var
  i : Byte;
begin
  Readln (Arq,Referencia,ConsPerCapita,P0,Taxa);
  Taxa := Taxa / 100;
  For i := 0 to Horizonte do
  begin
    Populacao [i] := P0 * exp (ln (1+Taxa) * i);
    Vazao [i] := k1 * Populacao [i] * ConsPerCapita / 86400;

  end;

end;

Function TComunidade.GetPop (Ano : Byte) : Real;
begin
  GetPop := Populacao [Ano];
end;
Function TComunidade.GetVazao (Ano : Byte) : Real;
begin
  GetVazao := Vazao [Ano];
end;
```

```

Function TComunidade.GetConsCap : Real;
begin
  GetConsCap := ConsPerCapita;
end;
Function TComunidade.GetP0 : Real;
begin
  GetP0 := P0;
end;
Function TComunidade.GetTaxa : Real;
begin
  GetTaxa := Taxa * 100;
end;
Function TComunidade.GetRef : Byte;
begin
  GetRef := Referencia;
end;
Procedure TListaComunidades.Ler (Cidade : String);
Var
  Arq : Text;
begin
  Writeln ('LEITURA DAS COMUNIDADES ... ');
  Assign (Arq,Cidade + '.001');
  Reset (Arq);
  Num := 0;
  Readln (Arq);
  While Not Eof (Arq) do
  begin
    Num := Num + 1;
    New (Comunidade [Num]);
    Comunidade [Num]^ .Ler (Arq);

  end;

  Close (Arq);
end;
Procedure TListaComunidades.Escriver (Var Arq : Text);
Var
  Ano,k : Byte;
begin
  Writeln (Arq,'-----');
  Writeln (Arq,' DEMANDA ');
  Write (Arq,'-----+');
  For k := 1 to Num do Write (Arq,'-----+');
                        Writeln (Arq,'----- ');
  Write (Arq,' # Comunidade |');
  For k := 1 to Num do Write (Arq,Comunidade [k]^ .GetRef:14,' |');
                        Writeln (Arq,' TOTAL ');
  Write (Arq,' Taxa Crescimento % |');
  For k := 1 to Num do Write(Arq,Comunidade [k]^ .GetTaxa:14:2,' |');
                        Writeln (Arq);
  Write (Arq,' Cons. Per Capita |');
  For k:=1 to Num do Write (Arq,Comunidade[k]^ .GetConsCap:14:2,' |');
                        Writeln (Arq);
  Write (Arq,'-----+');
  For k := 1 to Num do Write (Arq,'-----+');
                        Writeln (Arq,'----- ');
  Write (Arq,' Ano |');
  For k := 1 to Num do Write (Arq,' Populacao Consumo|');
                        Writeln (Arq,' Populacao Consumo ');

```

```

Write (Arq, '-----+');
For k := 1 to Num do Write (Arq, '-----+');
                        Writeln (Arq, '----- ');
For Ano := 0 to Horizonte do
begin
  Write (Arq, Ano:10, ' | ');
  For k := 1 to Num do With Comunidade [k]^ do
    Write (Arq, GetPop (Ano):10:0, GetVazao (Ano):9:2, '| ');
    Writeln (Arq, PopTotal (Ano):10:0, VazaoTotal (Ano):9:2);

  end;

  Write (Arq, '-----+');
  For k := 1 to Num do Write (Arq, '-----+');
                        Writeln (Arq, '----- ');
end;
Function TListaComunidades.PopTotal (Ano : Byte) : Real;
Var
  Total : Real;
  k : Byte;
begin
  Total := 0;
  For k :=1 to Num do Total := Total + Comunidade [k]^ .GetPop (Ano);
  PopTotal := Total;
end;
Function TListaComunidades.VazaoTotal (Ano : Byte) : Real;
Var
  Total : Real;
  k : Byte;
begin
  Total := 0;
  For k :=1 to Num do Total :=Total + Comunidade[k]^ .GetVazao (Ano);
  VazaoTotal := Total;
end;
Procedure TListaComunidades.LerIndices (Var Arq : Text;
ListaOriginal : TListaComunidades);
Var UmIndice, k : Byte;
begin
  Num := 0;
  While not Eoln (Arq) do
  begin
    Read (Arq, UmIndice);
    For k := 1 to ListaOriginal.GetNum do
    begin
      If ListaOriginal.Comunidade [k]^ .GetRef = UmIndice
      then begin
        Num := Num + 1;
        Comunidade [Num] := ListaOriginal.Comunidade [k];
      end;
    end;
  end;
  Readln (Arq);
end;
Function TListaComunidades.GetNum : Byte;
begin
  GetNum := Num;
end;
end.

```

Unit UDynamic;

Interface

Uses Crt,UParam;

Const

 Infinito = 1E+30;

Type

 TEstado = record

 AcaoOtima : Byte;

 Valor : Real;

 end;

 TEstados = object

 Estado : Array [0..MaxHorizonte] of TEstado;

 NEstados : Byte;

 Procedure Inicializar (InitNEst : Byte);

 Procedure ValorResidual;

 Procedure SetValorAcao (iEst,kAcao : Byte; InitValor : Real);

 Function GetValor (iEst : Byte) : Real;

 Function GetAcao (iEst : Byte) : Byte;

 end;

Var

 Estagio : Array [0..MaxHorizonte] of TEstados;

Implementation

Procedure TEstados.Inicializar (InitNEst : Byte);

Var

 i : Byte;

begin

 NEstados := InitNEst;

 For i := 0 to NEstados do Estado [i].Valor := Infinito;

end;

Procedure TEstados.ValorResidual;

Var

 i : Byte;

begin

 For i := 1 to NEstados do Estado [i].Valor := 0;

end;

Procedure TEstados.SetValorAcao (iEst,kAcao:Byte;InitValor : Real);

begin

 With Estado [iEst] do begin

 Valor := InitValor;

 AcaoOtima := kAcao;

 end;

end;

Function TEstados.GetValor (iEst : Byte) : Real;

begin

 GetValor := Estado [iEst].Valor;

end;

Function TEstados.GetAcao (iEst : Byte) : Byte;

begin

 GetAcao := Estado [iEst].AcaoOtima;

end;

end.

Unit UEquip;

Interface

Uses Crt,UComunid,UDynamic,UParam;

Const

Operacao = 7;

Type

PTEquip = ^TEquip;

TEquip = object

Referencia : Byte;

CapInst : Real;

Comunidade : TListaComunidades;

Constructor Ler (Var Arq : Text);

Procedure Escrever (Var Arq : Text); Virtual;

Function Custo (Ano,Acao:Byte;Var CapIncr: Real):Real; Virtual;

Procedure EscreverPlanoExpansao (Var Arq : Text; Tipo : Byte);

Procedure Otimiza (Var Arq : Text);

Function CustoAmpliacao (Ano,Acao:Byte;Var Executar:Real):Real;

Function CustoOperacao (Ano,iEst,Acao : Byte) : Real; Virtual;

end;

Implementation

Constructor TEquip.Ler;

begin

end;

Procedure TEquip.Escrever;

begin

end;

Function TEquip.Custo (Ano,Acao : Byte; Var CapIncr : Real) : Real;

begin

end;

Procedure TEquip.EscreverPlanoExpansao (Var Arq:Text; Tipo : Byte);

Var

iEst,kOtimo,n : Byte;

Antes,Depois,Executar,Investimento : Real;

begin

Writeln (Arq); Writeln (Arq);

Writeln (Arq,'-----');

Writeln (Arq,'PLANO DE EXPANSAO');

W r i t e l n

(Arq,'-----+-----+-----+-----+-----');

Writeln (Arq,' | CAPACIDADE | ');

Writeln (Arq,' DATA +-----+-----+-----+-----+
INVESTIMENTO ');

Writeln (Arq,' | ANTES | DEPOIS | EXECUTAR |
(US\$) ');

W r i t e l n

(Arq,'-----+-----+-----+-----+-----');

iEst := 0;

```

Antes := CapInst;
For n := 0 to Horizonte-1 do
begin
  kOtimo := Estagio [n].GetAcao (iEst);
  Investimento := CustoAmpliacao (n,kOtimo,Executar);
  MatCustos [Tipo,n] := MatCustos [Tipo,n] + Investimento;
  MatCustos [Operacao,n] := MatCustos [Operacao,n] +
CustoOperacao (n,iEst,kOtimo);
  Depois := Antes + Executar;
  If Executar > 0 then
  begin
    Writeln (Arq,n:5,' |',Antes:9:2,' |',Depois:9:2,'
|',Executar:9:2,' |',Investimento:14:2);
    end;

    iEst := iEst + kOtimo;
    Antes := Depois;
  end;

          W           r           i           t           e           l           n
(Arq,'-----+-----+-----+-----+-----');
end;
Procedure TEquip.Otimiza (Var Arq : Text);
Var
  i,j,k,n : Byte;
  Valor : Real;
  PosX,PosY : Integer;
  Executar : Real;
begin
  With Estagio [Horizonte] do
  begin
    Inicializar (Horizonte);
    SetValorAcao (Horizonte,0,0);
  end;

  PosX := WhereX;
  PosY := WhereY;
  For n := 1 to Horizonte do Write ('. ');
  GotoXY (PosX,PosY);
  For n := (Horizonte - 1) downto 0 do With Estagio [n] do
  begin
    Write ('■');
    Inicializar (Horizonte);
    For i := n to Horizonte do
    begin
      If i = n
      then begin
        For k := 1 to (Horizonte - i) do
        begin
          Valor := CustoAmpliacao (n,k,Executar) +
          CustoOperacao (n,i,k) +
          Estagio [n+1].GetValor (i+k) / (1 + TMA);
          If Valor < GetValor (i)
          then SetValorAcao (i,k,Valor)

          end

        end

      end

    else begin

```

```

        Valor := CustoOperacao (n,i,0) +
                Estagio [n+1].GetValor (i) / (1 + TMA);
        SetValorAcao (i,0,Valor);
    end;

```

```

end;

```

```

end;

```

```

    Escrever (Arq);

```

```

    Writeln;

```

```

end;

```

```

Function TEquip.CustoAmpliacao (Ano,Acao : Byte; Var Executar :
Real) : Real;

```

```

Var

```

```

    CustoAux : Real;

```

```

begin

```

```

    CustoAux := Custo (Ano,Acao,Executar);

```

```

    CustoAux := CustoAux / (1 - TaxaObrasEsp);

```

```

    CustoAmpliacao := (CustoAux / (TC * TMAM)) *
                      (Potenc (1+JuroM,TC) - 1) *
                      (1 - 1 / Potenc (1+TMAM,TA)) /
                      (1 - 1 / Potenc (1+JuroM,TA));

```

```

end;

```

```

Function TEquip.CustoOperacao (Ano,iEst,Acao : Byte) : Real;

```

```

begin

```

```

    CustoOperacao := 0;

```

```

end;

```

```

end.

```

Unit URecalqu;

Interface

Uses Crt,UEquip,UParam,UComunid;

Const

Recalque = 1;

Type

PTRecalque = ^ TRecalque;

TRecalque = object (TEquip)

Hm : Real;

Constructor Ler (Var Arq : Text);

Procedure Escrever (Var Arq: Text); Virtual;

Function Custo (Ano,Acao :Byte;Var CapIncr :Real):Real;Virtual;

end;

Implementation

Constructor TRecalque.Ler (Var Arq : Text);

begin

Read (Arq,Referencia,Hm,CapInst);

Comunidade.LerIndices (Arq,TodasComunidades);

end;

Procedure TRecalque.Escrever (Var Arq: Text);

begin

Writeln (Arq,Chr(12));

Writeln (Arq,'RELATORIO RECALQUE #',Referencia:3);

Writeln (Arq,'-----');

Writeln (Arq);

Writeln (Arq,' Altura Manometrica [mca] ',Hm:8:2);

Writeln (Arq,' Capacidade Instalada [l/s] ',CapInst:8:2);

Writeln (Arq);

Comunidade.Escrever (Arq);

EscreverPlanoExpansao (Arq,Recalque);

end;

Function TRecalque.Custo (Ano,Acao :Byte; Var CapIncr :Real) :Real;

Var

CapExist : Real;

begin

CapExist := CapInst;

With Comunidade do

begin

If (Ano > 0) and (VazaoTotal (Ano) > CapExist)

then CapExist := VazaoTotal (Ano);

CapIncr := VazaoTotal (Ano + Acao) - CapExist;

end;

If CapIncr <= 0

then begin

Custo := 0;

CapIncr := 0;

end

else Custo := 599.12 * Potenc (Hm,0.34) * Potenc (CapIncr,0.75);

end;

end.

Unit UAdutora;

Interface

Uses Crt,UEquip,UComunid,UParam;

Const

FOFO = 'FOFO';

PVC = 'PVC ';

Adutora = 2;

Type

PTAdutora = ^ TAdutora;

TAdutora = object (TEquip)

Compr : Real;

Material : String[4];

Constructor Ler (Var Arq : Text);

Procedure Escrever (Var Arq: Text); Virtual;

Function Custo (Ano,Acao :Byte; Var CapIncr :Real):Real;

Virtual;

end;

Implementation

Constructor TAdutora.Ler (Var Arq : Text);

begin

Read (Arq,Material,Referencia,Compr,CapInst);

Comunidade.LerIndices (Arq,TodasComunidades);

end;

Procedure TAdutora.Escrever (Var Arq: Text);

begin

Writeln (Arq,Chr(12));

Writeln (Arq,'RELATORIO ADUTORA #',Referencia:3);

Writeln (Arq,'-----');

Writeln (Arq);

Writeln (Arq,' Material ',Material:8);

Writeln (Arq,' Comprimento [m] ',Compr:8:2);

Writeln (Arq,' Capacidade Instalada [l/s] ',CapInst:8:2);

Writeln (Arq);

Comunidade.Escrever (Arq);

EscreverPlanoExpansao (Arq,Adutora);

end;

Function TAdutora.Custo (Ano,Acao : Byte; Var CapIncr:Real) : Real;

Var CapExist : Real;

begin CapExist := CapInst;

With Comunidade do

begin

If (Ano >0) and (VazaoTotal (Ano) > CapExist)

then CapExist := VazaoTotal (Ano);

CapIncr := VazaoTotal (Ano + Acao) - CapExist;

end;

If CapIncr <= 0

then begin Custo := 0;

CapIncr := 0;

end

else If Material = FOFO

then Custo:= 18.49*Potenc (Compr,0.872)*Potenc (CapIncr,0.362)

else Custo := 1.28*Potenc (Compr,1.279)*Potenc (CapIncr,0.214);

end;

end.

Unit UTratame;

Interface

Uses Crt,UEquip,UComunid,UParam;

Const

Tratamento = 4;

Operacao = 7;

Type

PTTratamento = ^ TTratamento;

TTratamento = object (TEquip)

Constructor Ler (Var Arq : Text);

Procedure Escrever (Var Arq: Text); Virtual;

Function CapacidadeNominal (Ano : Byte) : Real;

Function Custo (Ano,Acao: Byte;Var CapIncr: Real):Real; Virtual;

Function CustoOperacao (Ano,iEst,Acao : Byte) : Real; Virtual;

end;

Implementation

Constructor TTratamento.Ler (Var Arq : Text);

begin

Read (Arq,Referencia,CapInst);

Comunidade.LerIndices (Arq,TodasComunidades);

end;

Procedure TTratamento.Escrever (Var Arq: Text);

begin

Writeln (Arq,Chr(12));

Writeln (Arq,'RELATORIO TRATAMENTO #',Referencia:3);

Writeln (Arq,'-----');

Writeln (Arq);

Writeln (Arq,' Capacidade Instalada [l/s] ',CapInst:8:2);

Writeln (Arq);

Comunidade.Escrever (Arq);

EscreverPlanoExpansao (Arq,Tratamento);

end;

Function TTratamento.Custo (Ano,Acao:Byte;Var CapIncr: Real): Real;

Var

CapExist : Real;

begin

CapExist := CapInst;

With Comunidade do

begin

If (Ano > 0) and (VazaoTotal (Ano) > CapExist)

then CapExist := VazaoTotal (Ano);

CapIncr := VazaoTotal (Ano + Acao) - CapExist;

end;

```

If CapIncr <= 0
then begin
    Custo := 0;
    CapIncr := 0;
end

else Custo := 10761.9 * Potenc (CapIncr,0.61);
end;
Function TTratamento.CustoOperacao (Ano,iEst,Acao : Byte) : Real;
Var
    Taxa,Capacidade,Custo1,Custo2 : Real;
    CustoPessoal,CustoMaterial,
    CustoEnergia,CustoOutros      : Real;
begin
    Capacidade := CapacidadeNominal (Ano);
    Taxa := TodasComunidades.VazaoTotal (Ano) / Capacidade;
    CustoPessoal:= 57193*Potenc(Taxa,0.457)*Potenc(Capacidade,0.594);
    CustoMaterial := 528.62 * Taxa * Capacidade;
    CustoEnergia := 2434.105 * Taxa * Capacidade;
    CustoOutros := 1032.59 * Taxa * Capacidade;
    Custo1:=CustoPessoal + CustoMaterial + CustoEnergia+ CustoOutros;
    Taxa := TodasComunidades.VazaoTotal (Ano+1) / Capacidade;
    CustoPessoal:= 57193*Potenc(Taxa,0.457)*Potenc(Capacidade,0.594);
    CustoMaterial := 528.62 * Taxa * Capacidade;
    CustoEnergia := 2434.105 * Taxa * Capacidade;
    CustoOutros := 1032.59 * Taxa * Capacidade;
    Custo2:=CustoPessoal+ CustoMaterial + CustoEnergia + CustoOutros;
    CustoOperacao := Sqrt (1 + TMA) * (Custo1 + Custo2) / 2;
end;

Function TTratamento.CapacidadeNominal (Ano : Byte) : Real;
Var
    Capacidade : Real;
    k          : Byte;
begin
    CapacidadeNominal := Comunidade.VazaoTotal (Ano);

end;

end.

```

Unit UReserva;



Interface

Uses Crt,UEquip,UComunid,UParam;

Const

Reservatorio = 5;

Type

PTReservatorio = ^ TReservatorio;

TReservatorio = object (TEquip)

Autonomia : Integer;

Constructor Ler (Var Arq : Text);

Procedure Escrever (Var Arq: Text); Virtual;

Function Custo (Ano,Acao: Byte;Var CapIncr: Real): Real;Virtual;

end;

Implementation

Constructor TReservatorio.Ler (Var Arq : Text);

begin

Read (Arq,Referencia,Autonomia,CapInst);

Comunidade.LerIndices (Arq,TodasComunidades);

end;

Procedure TReservatorio.Escrever (Var Arq: Text);

begin

Writeln (Arq,Chr(12));

Writeln (Arq,'RELATORIO RESERVATORIO #',Referencia:3);

Writeln (Arq,'-----');

Writeln (Arq);

Writeln (Arq,' Volume Instalado [m3] ',CapInst:8:2);

Writeln (Arq,' Autonomia [horas]..... ',Autonomia:8);

Writeln (Arq);

Comunidade.Escrever (Arq);

EscreverPlanoExpansao (Arq,Reservatorio);

end;

Function TReservatorio.Custo (Ano,Acao:Byte;Var CapIncr:Real):Real;

Var

VolExist,VolIncr : Real;

VolDem : Real;

begin

VolExist := CapInst;

With Comunidade do

begin

VolDem := 3.6 * VazaoTotal (Ano) * Autonomia;

If (Ano >0) and (VolDem > VolExist)

then VolExist := VolDem;

VolIncr := 3.6 * VazaoTotal (Ano + Acao) * Autonomia - VolExist;

end;

If VolIncr <= 0

then begin

Custo := 0;

VolIncr := 0;

end

else Custo := 473.61 * Potenc (VolIncr,0.696);

CapIncr := VolIncr;

end;

end.

Unit UDistrib;

Interface

Uses Crt,UEquip,UComunid,UParam;

Const

Distribuicao = 6;

Type

PTDistribuicao = ^ TDistribuicao;

TDistribuicao = object (TEquip)

k2 : Real;

Compr : Real;

Constructor Ler (Var Arq : Text);

Procedure Escrever (Var Arq: Text); Virtual;

Function Custo (Ano,Acao:Byte;Var CapIncr: Real): Real; Virtual;

end;

Implementation

Constructor TDistribuicao.Ler (Var Arq : Text);

begin

Read (Arq,Referencia,k2,CapInst,Compr);

Comunidade.LerIndices (Arq,TodasComunidades);

end;

Procedure TDistribuicao.Escrever (Var Arq: Text);

begin

Writeln (Arq,Chr(12));

Writeln (Arq,'RELATORIO DISTRIBUICAO #',Referencia:3);

Writeln (Arq,'-----');

Writeln (Arq);

Writeln (Arq,' Capacidade Instalada [l/s] ',CapInst:8:2);

Writeln (Arq,' Coef. Maximo Horario ',K2:8:2);

Writeln (Arq,' Comprimento [m] ',Compr:8:2);

Writeln (Arq);

Comunidade.Escrever (Arq);

EscreverPlanoExpansao (Arq,Distribuicao);

end;

Function TDistribuicao.Custo (Ano,Acao:Byte;Var CapIncr:Real):Real;

Var

CapExist : Real;

begin

CapExist := CapInst;

With Comunidade do

begin

If (Ano > 0) and (VazaoTotal (Ano) > CapExist)

then CapExist := VazaoTotal (Ano);

CapIncr := VazaoTotal (Ano + Acao) - CapExist;

end;

If CapIncr <= 0

then begin

Custo := 0;

CapIncr := 0;

end

else Custo:=121.3* Potenc (k2* CapIncr,0.53)*Potenc (Compr,0.54);

end;

end.

Unit ULista;

Interface

```
U                               s                               e                               S
Crt,UComunid,UEquip,UREcalqu,UAdutora,UTratame,UReserva,UDistrib;
Const
  NumMax = 30;
Type
  TListaEquip = object
    Equip : Array [1..NumMax] of PTEquip;
    Num    : Byte;
    Procedure Ler (Tipo : Byte; Cidade,Extensao : String);
    Procedure Otimiza (Var Arq : Text);
    Function Custo (Ano,Acao : Byte) : Real;
  end;
Implementation
Procedure TListaEquip.Ler (Tipo : Byte; Cidade,Extensao : String);
Var
  Arq : Text;
begin
  Assign (Arq,Cidade + '.' + Extensao);
  Reset (Arq);
  Readln (Arq);
  Num := 0;
  While Not Eof (Arq) do
  begin
    Num := Num + 1;
    Case Tipo of
      Recalque      : Equip[Num] := New (PTRecalque,Ler (Arq));
      Adutora       : Equip[Num] := New (PTAdutora,Ler (Arq));
      Tratamento   : Equip[Num] := New (PTTratamento,Ler (Arq));
      Reservatorio  : Equip[Num] := New (PTReservatorio,Ler (Arq));
      Distribuicao   : Equip[Num] := New (PTDistribuicao,Ler (Arq));
    end;
  end;
  Close (Arq);
end;
Procedure TListaEquip.Otimiza (Var Arq : Text);
Var  k : Byte;
begin
  For k := 1 to Num do
  begin
    Write (k:12,' ');
    Equip [k]^Otimiza (Arq);
  end;
end;
Function TListaEquip.Custo (Ano,Acao : Byte) : Real;
Var
  CustoTotal,Lixo : Real;
  k              : Byte;
begin
  CustoTotal := 0;
  For k: = 1 to Num do CustoTotal:= CustoTotal + Equip [k]^Custo
    (Ano,Acao,Lixo);
  Custo := CustoTotal;
end;

end.
```

```

Unit USistema;
Interface
Uses      Crt, UComunid, URecalqu, UAdutora, ULista, UTratame,
          UReserva, UDistrib, UDynamic, UParam;

Type
  TSistema = object
    Cidade          : String;
    LRecalque, LAdutora, LTratamento, LReservatorio, LRede      :
TListaEquip;
    Procedure Init (InitCidade : String);
    Procedure Ler;
    Procedure Otimiza;
  end;
Implementation
Procedure TSistema.Init (InitCidade : String);
begin
  Cidade := InitCidade;
end;
Procedure TSistema.Ler;
begin
  Writeln;
  Writeln ('LEITURA DO SISTEMA...');
  Writeln ('      Recalques ...');
  LRecalque.Ler (Recalque,Cidade,'002');
  Writeln ('      Adutoras ... ');
  LAdutora.Ler (Adutora,Cidade,'003');
  Writeln ('      Estacoes de tratamento ... ');
  LTratamento.Ler (Tratamento,Cidade,'004');
  Writeln ('      Reservatorios ... ');
  LReservatorio.Ler (Reservatorio,Cidade,'005');
  Writeln ('      Redes de Distribuicao ... ');
  LRede.Ler (Distribuicao,Cidade,'006');
end;
Procedure TSistema.Otimiza;
Var
  Arq          : Text;
  iEst,kOtimo,n : Byte;
  VPinv,VPop    : Real;
begin
  ClrScr;
  Writeln ('OTIMIZACAO DO SISTEMA');
  Assign (Arq,Cidade + '.out');
  Rewrite (Arq);
  Writeln ('      Recalques');
  LRecalque.Otimiza (Arq);
  Writeln ('      Adutoras');
  LAdutora.Otimiza (Arq);
  Writeln ('      Reservatorios');
  LReservatorio.Otimiza (Arq);
  Writeln ('      Redes de Distribuicao');
  LRede.Otimiza (Arq);
  Writeln ('      Estacoes de tratamento');
  LTratamento.Otimiza (Arq);
  Writeln ('      Sistema');
  Writeln (Arq,Chr(12));
  VPinv := 0;
  VPop := 0;
  Writeln (Arq,'RELATORIO DO SISTEMA');
  Writeln (Arq,'-----');

```

```

Writeln (Arq);
TodasComunidades.Escrever (Arq);
Writeln (Arq);
      W           r           i           t           e           l           n
(Arq,'-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----');
Writeln (Arq,'| CUSTO DE CONSTRUCAO | CUSTO EQUIVALENTE ');
      W r i t e l n ( A r q , ' D A T A
+-----+-----+-----+-----+-----+-----');
Writeln (Arq,'| RECALQUES | ADUTORAS | TRATAMENTO | RESERVACAO |
      REDES | AMPLIACAO | OPERACAO ');
      W           r           i           t           e           l           n
(Arq,'-----+-----+-----+-----+-----+-----');
Writeln (Arq,'(01) |(02) |(03) |(04) |(05) | (06) | (07) | (08)');
      W           r           i           t           e           l           n
(Arq,'-----+-----+-----+-----+-----+-----');
iEst := 0;
For n := 0 to (Horizonte-1) do With Estagio [n] do
begin
  kOtimo := GetAcao (iEst);
  Writeln (Arq,n:4,' |',
          MatCustos [Recalque,n]:11:2,' |',
          MatCustos [Adutora,n]:11:2,' |',
          MatCustos [Tratamento,n]:11:2,' |',
          MatCustos [Reservatorio,n]:11:2,' |',
          MatCustos [Distribuicao,n]:11:2,' |',
          MatCustos [Recalque,n] + MatCustos [Adutora,n] +
          MatCustos [Tratamento,n] + MatCustos
[Reservatorio,n] +
          MatCustos [Distribuicao,n]:12:2,' |',
          MatCustos [Operacao,n]:12:2);
VPinv:=VPinv + ( MatCustos [Recalque,n] + MatCustos [Adutora,n]
+ MatCustos [Tratamento,n] + MatCustos [Reservatorio,n]
+ MatCustos [Distribuicao,n] ) / Potenc (1+TMA,n);
VPop := VPop + MatCustos [Operacao,n] / Potenc (1+TMA,n);
iEst := iEst + kOtimo;
end;
      W           r           i           t           e           l           n
(Arq,'-----+-----+-----+-----+-----+-----');
Writeln (Arq,' VALOR PRESENTE |',VPinv:12:2,' |',VPop:12:2);
      W           r           i           t           e           l           n
(Arq,'-----+-----+-----+-----+-----');
Writeln (Arq,' VALOR PRESENTE GLOBAL |',VPinv + VPop:13:2);
      W           r           i           t           e           l           n
(Arq,'-----+-----+-----+-----+-----');
Writeln (Arq,'(01) Data de inicio de operacao das diversas etapas
do sistema; ');
Writeln (Arq,'(02)-(06) Custo nominal de ampliacao das partes
componentes do sistema; ');
Writeln (Arq,'(07) Custo equivalente de ampliacao na data de
entrada de operacao de cada etapa do sistema,');
Writeln (Arq,' incluindo os custos de obras especiais, captacao
e ligacoes domiciliares; ');
Writeln (Arq,'(08) Custo anual equivalente de operacao,
considerado no inicio de cada ano; ');
      W           r           i           t           e           l           n
(Arq,'-----+-----+-----+-----+-----');
Close (Arq);
end;
end.

```