

GLADIS BORDIN SCHUCH

**UM MODELO PARA ESTUDOS DA DEMANDA DE
ENERGIA ELÉTRICA EM AMBIENTE
COMPETITIVO**

**FLORIANÓPOLIS
2000**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
ELÉTRICA

UM MODELO PARA ESTUDOS DA DEMANDA
DE ENERGIA ELÉTRICA EM AMBIENTE
COMPETITIVO

Tese submetida à
Universidade Federal de Santa Catarina
como parte dos requisitos para a
obtenção do grau de Doutor em Engenharia Elétrica.

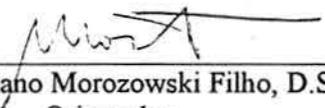
GLADIS BORDIN SCHUCH

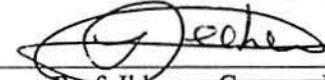
Florianópolis, Abril de 2000.

UM MODELO PARA ESTUDOS DA DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA EM AMBIENTE COMPETITIVO

Gladis Bordin Schuch

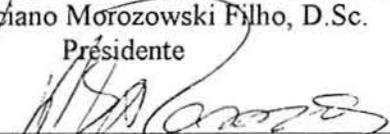
‘Esta Tese foi julgada adequada para obtenção do Título de Doutor em Engenharia Elétrica, Área de Concentração em Planejamento de Sistemas de Energia Elétrica, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Catarina’.

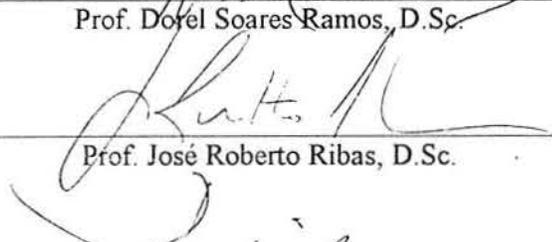

Prof. Marciano Morozowski Filho, D.Sc. — 20K
Orientador

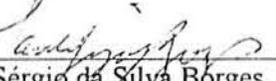

Prof. Idemar Cassana Decker, D.Sc.
Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica

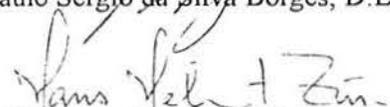
Banca Examinadora:

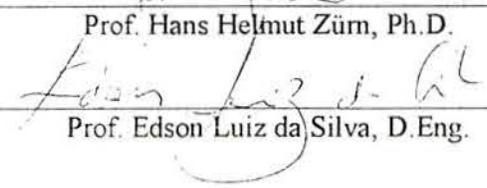

Prof. Marciano Morozowski Filho, D.Sc.
Presidente


Prof. Dorel Soares Ramos, D.Sc.


Prof. José Roberto Ribas, D.Sc.


Prof. Paulo Sérgio da Silva Borges, D.Eng.


Prof. Hans Helmut Züm, Ph.D.


Prof. Edson Luiz da Silva, D.Eng.

“Não tema o insucesso,
não ambicione o sucesso.
A recompensa não está nos resultados,
mas no fazer.”

Wilson Greatbch, inventor do marca-passo.

Para Hélio e Rafael.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Marciano Morozowski Filho pela orientação e sugestões sempre oportunas e fundamentais, e, também, pela amizade e estímulo.

Aos Professores Edson Luis da Silva e Ildemar Cassana Decker pelas discussões que contribuíram para o avanço do trabalho.

À banca examinadora pela leitura, análise e comentários.

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul e à CAPES/PICD pelo suporte financeiro.

Ao Departamento de Engenharia Elétrica da UFRGS que viabilizou meu afastamento, e aos colegas do Laboratório de Máquinas Elétricas por assumirem meus encargos docentes.

Aos colegas e amigos do Laboratório de Planejamento em Sistemas de Energia Elétrica da UFSC com os quais tive a oportunidade de trocar informações, e especialmente à Fabíola Sena Vieira Silveira, que auxiliou-me em problemas computacionais, ao Carlos Manuel Cardozo Florentin pelas valiosas discussões sobre o tema e estímulo para a conclusão do trabalho.

Aos meus pais pelo incentivo.

Resumo da Tese apresentada à UFSC como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Doutor em Engenharia Elétrica.

UM MODELO PARA ESTUDOS DA DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA EM AMBIENTE COMPETITIVO

Gladis Bordin Schuch

Abril/2000

Orientador: Prof. Marciano Morozowski Filho, D. Sc.

Área de Concentração: Planejamento de Sistemas de Energia Elétrica.

Palavras-chave: Projeção de Demanda, Competição, Participação de Mercado.

Número de Páginas: 191.

A metodologia para planejamento da demanda de energia elétrica em ambiente competitivo representa uma proposta de tratamento sistemático e integrado dos problemas de análise e projeção, utilizado nas áreas de estratégia mercadológica e planejamento empresarial. A tese consiste na suposição de que os fatores estratégicos e comportamentais dos agentes de mercado devem ser incluídos na modelagem das estimativas de demanda de empresas distribuidoras/comercializadoras, pois estes fatores constituem-se em uma nova fonte de incerteza nos estudos desta área.

O trabalho é dividido em duas partes principais. Na primeira, é caracterizado e estruturado o problema da demanda nos níveis setorial e empresarial, que usualmente orientam as decisões de investimento. Na segunda, são definidos a metodologia e o modelo conceitual, com base na técnica de análise e modelagem de dinâmica de sistemas. Em ambas as situações, foram consultados trabalhos que incorporaram extensivamente os conceitos de interesse desta tese, com o propósito de apoiar a sua fundamentação teórica.

Uma análise adicional mais detalhada se ateve às técnicas que propiciaram a base conceitual da metodologia, a exemplo da modelagem estática tradicional por área de concessão e da nova modelagem dinâmica via participação de mercado. Com objetivo de testar a adequação da proposta foi desenvolvido um modelo computacional, com base nas convenções de dinâmica de sistemas, que contempla duas empresas. A seguir, foi efetuada uma aplicação prática sobre a divisão de mercado entre estas empresas, na tentativa de validar empiricamente a metodologia proposta, comprovando a necessidade de englobar os aspectos estratégicos e comportamentais na avaliação da demanda para o novo contexto.

Abstract of Thesis presented to UFSC as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor in Electrical Engineering.

A MODEL FOR STUDIES ON THE ELECTRIC ENERGY DEMAND IN A COMPETITIVE ENVIRONMENT

Gladis Bordin Schuch

April/2000

Advisor: Prof. Marciano Morozowski Filho, D. Sc.
Area of Concentration: Planning of Electric Energy Systems.
Keywords: Demand Forecasting, Competition, Market Share.
Number of Pages: 191.

A methodology for planning the demand for electric energy in a competitive environment represents a proposal for the systematic and integrated treatment of the problems of analysis and projection as, utilized in the areas of marketing strategy and corporate planning. The thesis consists on the supposition that strategic and behavioural factors of the market agents might be considered in problems of demand estimation modelling by distribution/retail utilities, since these factors constitute a new source of uncertainty in the studies of this area.

The work is divided into two main parts. First, it characterizes and structures the problem of demand at industrial and corporate level, which is usually the guideline for investment decisions. Second, it defines the methodology and the conceptual model, based on analysis and modeling by system dynamics technique. In both situations, a survey over past works were made which extensively incorporate as the concepts that are in the scope this thesis. Suck survey was aimed at providing support for theoretical foundation of the proposed methodology. An additional detailed analysis had covered techniques that established the conceptual basis of the methodology as, for instance, the traditional static modelling for area of concession and the new dynamic modelling by market participation.

Aiming at of testing the adequacy of the proposal, a computer model was developed, based on the principles of system dynamics, in business environment two utilities. Subsequently, an example is presented wich demonstrates competitive stare the of a market between these two utilities, attempting to empirically validate the proposed methodology, demonstrating the necessity of embracing the strategic and behavioural aspects in the evaluation of the demand for the new context.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	1
1.1 MOTIVAÇÃO	1
1.2 APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA	2
1.3 OBJETIVOS	3
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	3
CAPÍTULO 2 - METODOLOGIA DE PLANEJAMENTO DA EXPANSÃO	4
2.1 INTRODUÇÃO	4
2.2 ESTRUTURA INSTITUCIONAL DO SETOR ELÉTRICO: PRÉ-REFORMA	4
2.3 METODOLOGIA DE PLANEJAMENTO DA EXPANSÃO: PRÉ-REFORMA	6
2.3.1 Estrutura do Problema de Planejamento da Expansão	7
2.3.2 Decomposição do Problema de Planejamento da Expansão	8
2.3.3 Fluxo de Informações no Planejamento da Expansão	10
2.3.4 Cadeia Hierárquica de Modelos	11
2.4 ESTRUTURA INSTITUCIONAL DO SETOR ELÉTRICO: PÓS-REFORMA	12
2.5 EFEITOS DA REFORMA SOBRE A METODOLOGIA DE PLANEJAMENTO	15
2.5.1 Metodologia de Planejamento da Oferta	15
2.5.2 Metodologia de Planejamento da Demanda	16
2.5.3 Critérios e Modelos para o Planejamento	17
2.6 METODOLOGIA DE PLANEJAMENTO DA EXPANSÃO: PÓS-REFORMA	18
2.7 PARTICIPAÇÃO DE MERCADO	19
2.7.1 Descrição do Problema	20
2.8 CONCLUSÕES	25
CAPÍTULO 3 - METODOLOGIA DE PLANEJAMENTO DA DEMANDA	26
3.1 INTRODUÇÃO	26
3.2 CONCEITUAÇÃO DE MERCADO E DEMANDA	26
3.3 PROCESSO DE PLANEJAMENTO DA DEMANDA	32
3.3.1 O Problema de Planejamento da Demanda Pré-Reforma	33
3.3.2 Níveis no Planejamento da Demanda Pré-Reforma	33
3.3.3 Estrutura do Problema de Planejamento da Demanda Pré-Reforma	33
3.4 EVOLUÇÃO DA METODOLOGIA DE PLANEJAMENTO DA DEMANDA	34
3.4.1 Fase I	35
3.4.2 Fase II	39
3.4.3 Fase III	41
3.4.4 Fase IV	43

3.5 EFEITOS DA REFORMA SOBRE A METODOLOGIA DE PLANEJAMENTO DA DEMANDA	44
3.5.1 Base de Consumidores e Participação de Mercado	46
3.5.2 O Problema de Planejamento da Demanda Pós-Reforma	47
3.5.3 Enfoques no Planejamento da Demanda Pós-Reforma	48
3.5.4 Estrutura do Problema de Planejamento da Demanda Pós-Reforma	50
3.6 METODOLOGIA PARA PLANEJAMENTO DA DEMANDA EM AMBIENTE COMPETITIVO	52
3.6.1 Enfoque Macroeconômico	52
3.6.2 Enfoque Microeconômico	53
3.7 MODELOS PARA PLANEJAMENTO DA DEMANDA	56
3.7.1 Modelos de Extrapolação Simples	57
3.7.2 Modelos Econométricos	57
3.7.3 Modelos Insumo-Produto (I/O – <i>Input/Output</i>)	58
3.7.4 Modelos de Decomposição do Consumo	60
3.7.5 Modelos de Usos Finais	62
3.7.6 Modelos Globais	63
3.7.7 Modelos Integrados	63
3.7.8 Modelos Dinâmicos	64
3.8 ASPECTOS DE IMPLEMENTAÇÃO	66
3.9 CONCLUSÕES	67
CAPÍTULO 4 – MODELO PARA PLANEJAMENTO DA DEMANDA EM AMBIENTE COMPETITIVO: CONCEITUAÇÃO	69
4.1 INTRODUÇÃO	69
4.2 CARACTERIZAÇÃO DAS ATIVIDADES DE DISTRIBUIÇÃO E COMERCIALIZAÇÃO	69
4.2.1 Alternativas de Suprimento	75
4.2.2 Alternativas de Fornecimento	76
4.3 ETAPAS DE CONSTRUÇÃO DO MODELO	80
4.3.1 Comportamento da Demanda	82
4.3.2 Diagrama de Laço Causal do Problema de Projeção da Demanda	83
4.4 CONCLUSÕES	88
CAPÍTULO 5 – MODELO PARA PLANEJAMENTO DA DEMANDA EM AMBIENTE COMPETITIVO: FORMULAÇÃO E DIAGRAMAÇÃO	89
5.1 INTRODUÇÃO	89
5.2 ESTRUTURA DO MODELO	89

ANEXO 2 – CONCEITOS BÁSICOS DA DINÂMICA DE SISTEMAS	174
REFERÊNCIAS	187

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Estrutura Organizacional do Setor Elétrico: Pré-Reforma	5
Figura 2.2 – Planejamento Baseado na Confiabilidade	6
Figura 2.3 – Estrutura do Problema da Expansão: Pré-Reforma	7
Figura 2.4 – Fluxo de Informações no Planejamento da Expansão	10
Figura 2.5 – Cadeia Hierárquica de Modelos	11
Figura 2.6 – Estrutura Organizacional do Setor Elétrico: Pós-Reforma	12
Figura 2.7 – Estrutura do Problema de Planejamento da Expansão: Pós-Reforma	19
Figura 3.1 – Mercado de Energia Elétrica	27
Figura 3.2 – Tipos de Mercado	29
Figura 3.3 – Curva de Carga Cronológica	30
Figura 3.4 – Curva de Duração de Carga	30
Figura 3.5 – Curvas de Carga Horária de Dias Típicos	31
Figura 3.6 – Estrutura da Demanda de Energia Elétrica	32
Figura 3.7 – Variáveis Básicas da Projeção de Demanda	32
Figura 3.8 – Processo de Planejamento da Demanda	33
Figura 3.9 – Estrutura do Problema de Planejamento da Demanda: Pré-Reforma	34
Figura 3.10 – Metodologia de Projeção Probabilística	40
Figura 3.11 – Processo de Construção de Cenários	42
Figura 3.12 – Estrutura Proposta do Problema de Planejamento da Demanda	51
Figura 3.13 – Metodologia de Planejamento da Demanda Setorial	53
Figura 3.14 – Metodologia para Avaliação da Participação de Mercado	54
Figura 3.15 – Metodologia para Qualificação da Base de Consumidores	55
Figura 4.1 – Diagrama Olho de Touro	74
Figura 4.2 – Mercados de Atuação da Empresa D/C	75
Figura 4.3 – Alternativas de Suprimento e Fornecimento	77
Figura 4.4 – Comportamento da Demanda	82
Figura 4.5 – Modo de Referência para o Modelo de Divisão de Mercado	83
Figura 4.6 – DLC do Problema de Projeção da Demanda	84
Figura 4.6 (a) – Laço de Realimentação 1	85
Figura 4.6 (b) – Laço de Realimentação 2	85
Figura 4.6 (c) – Laço de Realimentação 3	86
Figura 4.6 (d) – Laço de Realimentação 4	87

Figura 4.6 (e) – Laço de Realimentação 5	87
Figura 5.1 – Estrutura Global do Modelo para Divisão de Mercado	90
Figura 5.2 – Classe Industrial	91
Figura 5.3 – DEF para Projeção da Demanda da Classe Industrial	94
Figura 5.4 – Classe Residencial	95
Figura 5.5 – DEF para Projeção da Demanda da Classe Residencial	100
Figura 5.6 – DEF para Projeção da Demanda da Classe Comercial e Outras Classes	102
Figura 5.7 – DEF para Projeção da Demanda Nacional e Regional Sul	103
Figura 5.8 – DEF para Projeção da Demanda Empresarial	105
Figura 5.9 – DEF para Projeção da Demanda por Segmento de Tensão	110
Figura 5.10 – DEF para Divisão de Mercado	115
Figura 5.11 – Segmentação da Base de Consumidores	116
Figura 5.12 – DEF para Segmentação da Base de Consumidores	119
Figura 5.13 – DEF para Projeção do Balanço Econômico	122
Figura 5.14 – Painel de Controle da Demanda Nacional	124
Figura 5.15 – Painel de Controle da Divisão de Mercado	126
Figura 5.16 – Painel de Controle Financeiro	128
Figura 6.1 – Projeção Macroeconômica da Demanda	135
Figura 6.2 – Projeção Microeconômica da Demanda: Etapa I	137
Figura 6.3 – Estrutura do Sistema sem Competição	138
Figura 6.4 – Estrutura do Sistema com Competição	139
Figura 6.5 – Matriz de Estratégias das Empresas “A” e “B”	141
Figura 6.6 – Resultados do Caso Base	143
Figura 6.7 – Resultados do Caso 1	146
Figura 6.8 – Resultados do Caso 2	151
Figura 6.9 – Resultados do Caso 3	154
Figura 6.10 – Participações das Empresas na Região Geográfica Sul	155
Figura A1.1 – Determinação do Preço Ótimo	166
Figura A1.2 – Árvore de Decisões com Duas Estratégias	170
Figura A1.3 – Árvore de Decisões com Três Estratégias	172
Figura A2.1 – Laço de Realimentação	176
Figura A2.2 – Símbolos para DEF (<i>Powersim 2.5</i>)	177

Figura A2.3 – Diagrama de Laço Causal com Polaridade Negativa	180
Figura A2.4 – DEF para o Modelo de Consumo Comercial	182
Figura A2.5 – Taxa de Crescimento x Consumo Comercial	183
Figura A2.6 – Diagrama de Fluxo Simplificado para Sistema de Estoque	184
Figura A2.7 – Taxa de Pedido x Estoque	185

LISTA DE TABELAS

Tabela 6.1 – Taxas Anuais Médias de Crescimento do PIB (% a.a.)	131
Tabela 6.2 – Cenário Populacional (10 ⁶ hab.)	131
Tabela 6.3 – Taxas de Crescimento Populacional (% a.a.)	131
Tabela 6.4 – Número de Domicílios (10 ⁶ domicílios)	131
Tabela 6.5 – Taxas Geométricas Médias (% a.a.)	132
Tabela 6.6 – Participação da Região Sul (%)	132
Tabela 6.7 – Taxas de Crescimento de Participação por Classe (% a.a.)	133
Tabela 6.8 – Participação dos Segmentos de Tensão (%)	133
Tabela 6.9 – Projeção da Demanda Nacional (MWh)	134
Tabela 6.10 – Projeção da Demanda Regional Sul (MWh)	135
Tabela 6.11 – Projeção Global da Demanda por Empresa (MWh)	135
Tabela 6.12 – Projeção da Demanda da Empresa “A” por Classe (MWh)	136
Tabela 6.13 – Projeção da Demanda da Empresa “B” por Classe (MWh)	136
Tabela 6.14 – Projeção da Demanda Cativa e Livre Potencial da Empresa “A” (MWh)	137
Tabela 6.15 – Projeção da Demanda Cativa e Livre Potencial da Empresa “B” (MWh)	137
Tabela 6.16 – Parâmetros Principais do Caso Base	139
Tabela 6.17 – Resultados do Caso Base	141
Tabela 6.18 – Caso Base: Demanda Migrante Interna (MWh)	143
Tabela 6.19 – Resultados do Caso 1	144
Tabela 6.20 – Caso 1: Decomposição da DaBdC (MWh)	147
Tabela 6.21 – Resultados do Caso 2	149
Tabela 6.22 – Caso 2: Decomposição da DaBdC (MWh)	150
Tabela 6.23 – Resultados do Caso 3	152
Tabela 6.24 – Caso 3: Decomposição da DaBdC (MWh)	153
Tabela 6.25 – Síntese de Resultados	155
Tabela A1.1 – Matriz de Pagamentos Conceitual	167
Tabela A1.2 – Matriz de Pagamentos: Lucros Contábeis (R\$)	168
Tabela A1.3 – Matriz de Pagamentos: Demanda (MWh)	168
Tabela A1.4 – Matriz de Pagamentos: PdM (%)	169

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 – Critérios de Decomposição do Problema de Planejamento	8
Quadro 2.2 – Estudos Realizados no Planejamento da Expansão	10
Quadro 2.3 – Critérios para Consumidores Livres e Cativos	15
Quadro 2.4 – Requisitos de Modelagem	21
Quadro 2.5 – Técnicas de Modelagem para Divisão de Mercado	24
Quadro 3.1 – Fatores de uma Curva de Carga	31
Quadro 3.2 – Evolução da Metodologia de Planejamento da Demanda	35
Quadro 3.3 – Enfoque Macroeconômico: Planejamento da Demanda Setorial	49
Quadro 3.4 – Enfoque Microeconômico: Planejamento da Demanda Empresarial	50
Quadro 4.1 – Instrumentos Legais	70
Quadro 5.1 – Classificação dos Níveis e Segmentos de Tensão	106
Quadro 5.2 – Qualificação de Consumidores	106
Quadro 5.3 – Troca de Fornecedor	112
Quadro 6.1 – Cenário 2: Teste de Sensibilidade	148
Quadro 6.2 – Cenário 3: Teste de Sensibilidade	148

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 MOTIVAÇÃO

Um problema relevante e complexo relacionado ao planejamento da gestão empresarial de uma empresa distribuidora e comercializadora (D/C) de energia elétrica diz respeito à projeção da demanda, tradicionalmente denominada estudo de mercado. Sabe-se que as projeções, em geral, não constituem um fim, mas um instrumento que fornece informações para uma consequente tomada de decisão, com objetivos específicos. Assim, a projeção de demanda visa atender às necessidades dos consumidores, com um nível de qualidade satisfatório.

A base de todo o processo de planejamento da expansão está ancorada nas suas projeções de demanda, tanto no que se refere aos aspectos técnicos quanto aos aspectos financeiros, como segue:

- planejamento da geração: permite adequar a oferta ao mercado previsto, compatibilizando níveis de confiabilidade e custos de suprimento;
- planejamento da transmissão: permite definir o carregamento de linhas e transformadores, o sentido de fluxos de intercâmbio e custos de transmissão;
- planejamento da distribuição: possibilita visualizar a evolução temporal e a distribuição espacial do consumo em áreas urbanas e rurais;
- planejamento da operação: possibilita o despacho das unidades geradoras e das interligações, de modo a minimizar os custos de produção e transmissão;
- planejamento financeiro: permite quantificar a tarifa e a receita das empresas [1].

A metodologia tradicional de planejamento da expansão dos sistemas elétricos foi concebida nos anos 70 e teve sua implantação consolidada ao longo dos anos 80, num contexto caracterizado pelos seguintes aspectos: estruturas monopolísticas e verticalmente integradas, planejamento centrado na oferta, com ênfase no sistema de geração, foco da análise concentrado nos sistemas interligados em nível de região e de país, ênfase em grandes projetos de geração hidroelétricos e nas interligações regionais. Neste contexto, a seleção e priorização dos investimentos seguiam uma lógica sistêmica que independia, relativamente, dos agentes econômicos envolvidos, individualmente considerados [2].

No processo de planejamento tradicional, a projeção da demanda de curto prazo baseia-se principalmente em técnicas econométricas, através de correlações entre a série histórica do consumo de energia elétrica e indicadores sócio-econômicos. Para o horizonte de longo prazo, a projeção de demanda é realizada com uso da técnica de cenários sob incerteza.

A reestruturação do setor elétrico brasileiro, iniciada no primeiro semestre de 1995, através do Projeto de Reestruturação do Setor Elétrico Brasileiro (RE-SEB), alterou fundamentalmente a estrutura de mercado. No período anterior à reestruturação, a estrutura era monopolística e regulada (via tarifa e área de concessão), a participação das empresas D/C's era pré-definida por área de concessão e os consumidores eram cativos. Nesta estrutura, a projeção de demanda das empresas era realizada por classe de consumo restritas às suas áreas de concessão. Com base nesta projeção era definido um plano de expansão, que servia para estimar as necessidades de investimentos e as receitas de venda de energia.

1.2 APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

Com a reestruturação, empresas privadas de energia elétrica integraram-se ao mercado, e os consumidores foram qualificados em cativos e livres. Os consumidores qualificados como "livres", a partir de níveis de tensão e demanda, especificados pelo órgão regulador, poderão optar por fornecimento a partir de empresas externas à sua área de concessão original. Os demais consumidores, não qualificados como livres, permanecerão "cativos", ou seja, não poderão optar por fornecimento a partir de empresas externas à sua área de concessão inicial. Os critérios para a qualificação de consumidores são mostrados no Quadro 2.3.

Assim sendo, o atual mercado consumidor das empresas D/C's é segmentado em consumidores "cativos", aos quais a empresa local tem obrigação legal de servir, e consumidores "livres", que estão aptos a contratar outros fornecedores que não a empresa local.

Neste novo ambiente, a definição da demanda a ser atendida por cada empresa será mais complexa e envolverá decisões de caráter estratégico, uma vez que estas concorrerão para conquistar consumidores livres. Em conseqüência, os métodos e modelos em uso para projeção da demanda e avaliação da participação de mercado de empresas D/C's tornam-se inadequados e devem ser reformulados para incluir os aspectos competitivos. A avaliação do efeito destes aspectos sobre a evolução da demanda é a principal motivação deste trabalho de pesquisa.

A consideração de aspectos competitivos no problema da projeção da demanda gera relações de causa-efeito entre a evolução da demanda e as ações empresariais, formando laços de realimentação. A técnica de dinâmica de sistemas [52, 53] apresenta-se como um instrumento metodológico adequado ao tratamento e análise deste complexo problema de planejamento, pois, como recomenda, possibilita a consideração de padrões de comportamento e da realimentação de informa-

ções, entre outros fatores relevantes, que dificilmente poderiam ser considerados com as técnicas em uso.

1.3 OBJETIVOS

O presente trabalho de pesquisa tem como objetivos básicos a formulação de uma metodologia e o desenvolvimento de um modelo, ambos adequados à projeção da demanda de uma empresa D/C em presença de competição, com base em dinâmica de sistemas, considerando simultaneamente o comportamento dos consumidores e das empresas.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Para alcançar os objetivos propostos, a monografia está estruturada em sete capítulos, incluindo este introdutório, como indicado a seguir.

O Capítulo 2 objetiva dar uma visão geral do processo de planejamento da expansão do sistema elétrico brasileiro e, nesse processo, situar o planejamento da demanda de energia elétrica. Para isso, a estrutura institucional do setor elétrico pré e pós-reforma é descrita, e seus reflexos sobre ambos os processos de planejamentos são analisados. Com base na estrutura de mercado atual, em presença de competição, o problema da participação de mercado de empresas D/C's é colocado. As possibilidades de solução do problema, associadas às abordagens de teoria dos jogos e dinâmica de sistemas, são também analisadas.

O Capítulo 3 descreve a evolução da metodologia de planejamento da demanda, a partir do final da década de 70 até o final da década de 90, sob quatro enfoques metodológicos predominantes, visando identificar as limitações na metodologia em uso para o novo contexto. Analisa ainda as principais diferenças entre o planejamento da demanda nos períodos anterior e posterior às reformas setoriais. Com base nesta evolução, na revisão da literatura e nos efeitos da estrutura institucional atual é proposta uma nova estrutura do problema de planejamento da demanda, com ênfase nas estimativas da demanda empresarial, e a metodologia correspondente. A proposta contempla dois novos conceitos: Participação de Mercado (PdM) e Base de Consumidores (BdC).

O Capítulo 4 aborda os aspectos relevantes dos principais instrumentos legais, que têm influência na projeção da demanda empresarial. Com base nestes aspectos é proposto um modelo para divisão de mercado, cujas formulações matemática e computacional são detalhadas no Capítulo 5.

O Capítulo 6 apresenta a aplicação do modelo num estudo de caso entre duas empresas D/C's, e, finalizando, o Capítulo 7 resume as contribuições da pesquisa e aponta trabalhos futuros derivados deste.

Complementam o trabalho dois anexos, que tratam da aplicação da teoria dos jogos na definição de preço de fornecimento da energia elétrica e dos conceitos básicos da dinâmica de sistemas.

CAPÍTULO 2

METODOLOGIA DE PLANEJAMENTO DA EXPANSÃO

2.1 INTRODUÇÃO

O presente capítulo tem como objetivo descrever a evolução do processo de planejamento da expansão do setor elétrico brasileiro, tanto no período anterior quanto no período posterior às reformas setoriais. Busca-se assim identificar a influência da estrutura organizacional sobre o processo de planejamento da expansão, de forma geral, e sobre o planejamento da demanda, em particular. Procura-se também situar a questão de participação de mercado no contexto geral do planejamento pós-reforma.

Neste sentido, descreve-se inicialmente o processo de planejamento e a evolução organizacional do setor elétrico, enfatizando a nova estrutura de mercado das empresas distribuidoras/comercializadoras. A seguir, apresenta-se o processo e a metodologia para planejamento pós-reforma, propostos por MOROZOWSKI [28]. Conclui-se o capítulo com a nova estrutura do problema de planejamento, onde o problema da participação de mercado é caracterizado.

2.2 ESTRUTURA INSTITUCIONAL DO SETOR ELÉTRICO: PRÉ-REFORMA

O modelo organizacional vigente no período anterior à reestruturação do setor é mostrado na Figura 2.1. O setor está vinculado ao Ministério das Minas e Energia (MME) e era composto pelo Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE), Centrais Elétricas Brasileiras S.A. (Eletrobrás) e por empresas concessionárias federais, estaduais, municipais e privadas [10, 11, 12]. O MME é o órgão responsável pela elaboração da política global do setor elétrico, enquanto o DNAEE era o órgão regulador.

A Eletrobrás, empresa *holding* federal, era responsável pela coordenação do planejamento da expansão e da operação do sistema, pela gestão financeira e empresarial e pela articulação do setor com a indústria. Vinculadas à Eletrobrás estavam as seguintes empresas:

- supridoras regionais, de propriedade do governo federal, operavam as usinas de grande porte e a malha básica de transmissão do sistema;
- supridoras de área, de propriedade dos governos estaduais, com atuação nos respectivos estados, operavam usinas e sistemas de porte significativo e faziam a distribuição de energia elétrica;

- distribuidoras, com atuação nos respectivos estados e algumas das quais possuíam geração própria, tendo porém a distribuição como atividade básica.

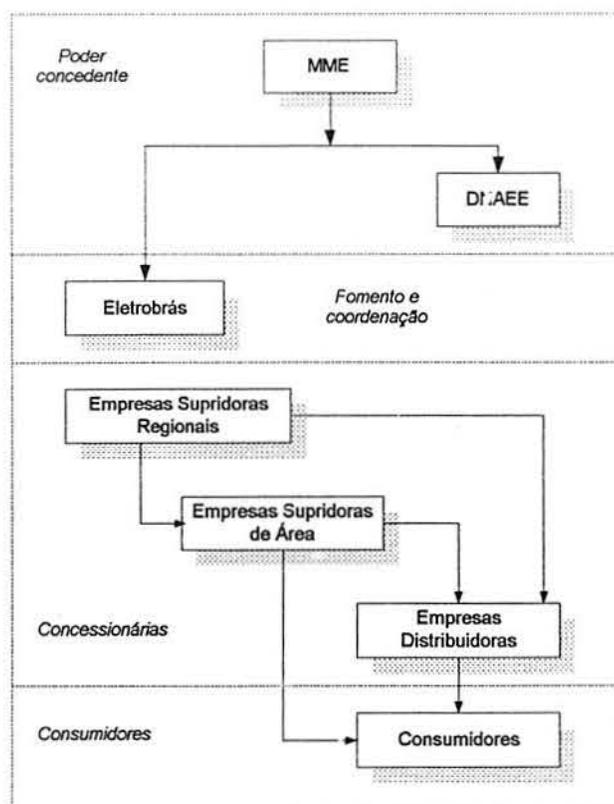


Figura 2.1 - Estrutura Organizacional do Setor Elétrico: Pré-Reforma

Existiam, também, empresas distribuidoras municipais, que operavam usinas e sistemas de pequeno porte e faziam a distribuição. As empresas supridoradoras de área e distribuidoras tinham a obrigação de atender todos os consumidores em suas áreas de concessão, o que definia a participação de mercado destas empresas.

O planejamento da expansão e da operação dos sistemas elétricos brasileiros era realizado por Órgãos Colegiados, constituídos pelas empresas concessionárias de energia elétrica e coordenados pela Eletrobrás. Esses Colegiados atuavam no sentido de compatibilizar os interesses locais e regionais das concessionárias com aqueles do país e do setor elétrico, no seu conjunto, assegurando o atendimento do mercado consumidor com padrões elevados de confiabilidade e baixo custo.

O planejamento da expansão dos sistemas de geração, transmissão e distribuição do país era de responsabilidade do Grupo Coordenador de Planejamento dos Sistemas Elétricos (GCPS), que avaliava o mercado a ser atendido e estabelecia a seqüência de usinas geradoras, linhas de transmissão e metas físicas dos sistemas de distribuição, considerando critérios de atendimento ao mercado e levando em conta, dentre outros fatores, a disponibilidade de recursos financeiros e a viabilidade física dos empreendimentos, incluindo aspectos sócio-ambientais. Dadas as características físicas do sistema gerador, basicamente hidroelétrico, de grande porte e envolvendo intercâmbios expres-

sivos de energia entre as regiões do país, as estratégias de expansão eram planejadas de maneira integrada, a partir de uma visão estratégica de longo prazo.

O planejamento da operação era de responsabilidade do Grupo Coordenador para Operação Interligada (GCOI). As características do sistema, mencionadas anteriormente, exigem que a operação seja realizada de forma coordenada, pois os sistemas das empresas são interconectados; há interdependência operativa entre as usinas e entre os recursos de geração e transmissão no atendimento ao mercado. As atividades do GCOI são intrinsecamente ligadas às do GCPS, levando em consideração a expansão do sistema planejado, identificando as restrições operacionais atuais e em desenvolvimento e conformidade com os critérios de suprimento de longo prazo.

Neste contexto, o mercado global de energia elétrica era projetado em nível nacional e regional segundo critérios de decomposição puramente espacial, ou seja, o mercado de cada empresa era o mercado de sua área de concessão.

2.3 METODOLOGIA DE PLANEJAMENTO DA EXPANSÃO: PRÉ-REFORMA

O planejamento da expansão de sistemas de energia elétrica, no contexto pré-reforma, visava determinar a data de entrada em operação dos equipamentos e instalações necessários para atender ao crescimento do mercado consumidor. A solução deste problema envolve uma solução de compromisso entre o nível de confiabilidade desejado pelos consumidores e os custos decorrentes do atendimento deste nível de confiabilidade, conforme ilustrado na Figura 2.2.

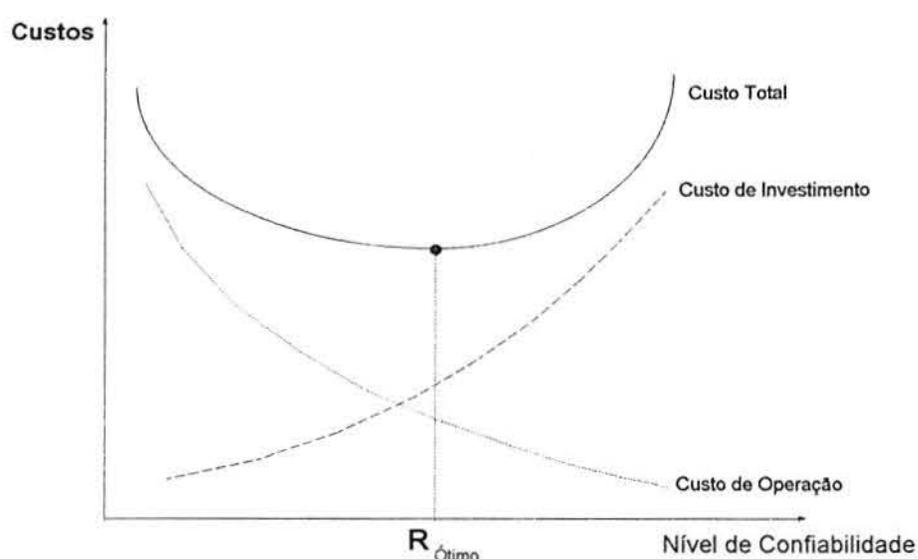


Figura 2.2 - Planejamento Baseado na Confiabilidade

Fonte: MOROZOWSKI [6]

Como consequência da complexidade do problema de planejamento e considerando que as incertezas nas projeções do mercado consumidor, de custos de combustível e das tecnologias se ampliam à medida que se estende o horizonte de planejamento, surgiu a necessidade de decompor o problema de expansão em subproblemas de menor porte e complexidade.

2.3.1 Estrutura do Problema de Planejamento da Expansão

A estrutura tradicional do problema de planejamento da expansão, formulada sob o enfoque de sistema interligado, englobava os planejamentos da demanda, geração e transmissão, e interagia com o planejamento da operação no horizonte de curto prazo. A Figura 2.3 apresenta esta estrutura e os agentes executores, descritos anteriormente.

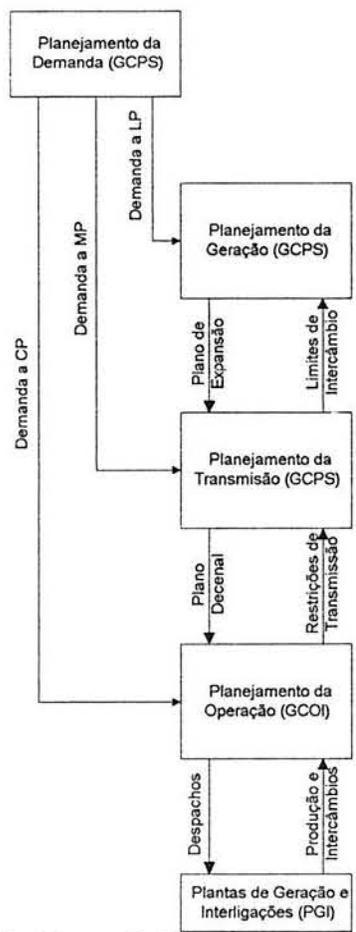


Figura 2.3 - Estrutura do Problema de Planejamento da Expansão: Pré-Reforma

A Figura 2.3 não explicita a divisão temporal do planejamento da operação, que englobava os planejamentos da operação de curto, médio e longo prazos. Em geral, o planejamento da operação de longo prazo interagiu com o horizonte de curto prazo do planejamento da expansão, indicando as possíveis restrições de transmissão associadas aos planos decenais. O planejamento da operação de curto prazo fornecia os despachos das unidades geradoras e dessas recebia os valores de produção e intercâmbios realizados.

O planejamento da demanda, por sua vez, fornecia os cenários de demanda a longo prazo (LP), médio prazo (MP) e curto prazo (CP), que balizavam os demais estudos de planejamento. Para atender à demanda a longo prazo, o planejamento da geração determinava o plano de construção de novas plantas geradoras e associava a cada planta a data prevista de entrada em operação. O planejamento da transmissão estabelecia um plano de obras de interligações e respectivos investimentos,

com vistas ao atendimento da demanda a médio prazo, com base nos planos de expansão da capacidade de geração e nas eventuais restrições detectadas no planeamento da operação.

Por fim, considerando os meios de produção e transmissão efetivamente disponíveis, o planeamento da operação avaliava as condições de atendimento da demanda a curto prazo e definia as unidades geradoras que deveriam ser operadas, bem como seus respectivos níveis de produção.

A solução do problema global era obtida por interações entre as atividades de planeamento, através de um processo de otimização/simulação, que visava à obtenção do plano ótimo. Assim, as decisões de produção e intercâmbio, efetivamente implantadas em nível de plantas e interligações, eram informadas ao planeamento da operação, que reavaliava as restrições de transmissão. Se as restrições de transmissão fossem persistentes, deveriam ser contempladas no planeamento da transmissão, seja para reavaliar o programa de obras, seja para determinar novos limites de intercâmbio. Os novos limites de intercâmbio deveriam ser então reavaliados no planeamento da geração, podendo induzir mudanças no plano de expansão da geração.

2.3.2 Decomposição do Problema de Planeamento da Expansão

Na prática setorial, o problema de planeamento da expansão, complexo e de grande porte, era resolvido segundo uma cadeia hierarquizada de análises e decisões, de acordo com os critérios sumarizados no Quadro 2.1.

Quadro 2.1 - Critérios de Decomposição do Problema de Planeamento

CRITÉRIO	ETAPAS
Temporal	<ul style="list-style-type: none"> • Longo prazo ($N^1 + 15$ a $N + 30$) • Médio prazo ($N + 5$ a $N + 15$) • Curto prazo ($N + 3$ a $N + 5$)
Espacial	<ul style="list-style-type: none"> • Nível nacional • Nível regional • Nível local
Funcional	<ul style="list-style-type: none"> • Geração (produção) • Transmissão (transporte) • Distribuição

Fonte: MOROZOWSKI [6]

A decomposição temporal baseava-se no fato de que a natureza das decisões a serem tomadas varia em função do horizonte, como detalhado a seguir:

- A longo prazo, o objetivo era determinar as opções estratégicas de evolução do sistema elétrico, em termos de opções tecnológicas para geração e transmissão, evolução prevista dos núcleos de cargas e rotas preferenciais para os fluxos energéticos, por exemplo. Através destas análises podiam ser determinadas as metas energéticas e as configurações (topologia básica e composição dos ramos e da rede de referência) para os estudos de médio prazo. Como subproduto desta etapa obtinham-se as metas de desenvolvimento tecnológico e as políticas de industrialização necessárias para a expansão futura.

¹ N: data atual

- A médio prazo, os estudos cobriam um período que variava de 5 a 15 anos e tinham como objetivo a determinação das datas de entrada em operação das plantas de geração e de transmissão, bem como a microlocalização das centrais de geração e das subestações principais do sistema. Como produto desta etapa, resultavam os planos decenais de geração e transmissão e as condições de abastecimento da demanda neste horizonte, em particular ao que diz respeito aos riscos de déficit, os consumos esperados de combustível, a evolução da necessidade de equipamentos, etc.
- A curto prazo, os estudos cobriam um período de três a cinco anos e tinham como objetivo principal adequar o plano de expansão de referência aos condicionantes da conjuntura econômica e política do país, bem como estabelecer a interface entre os estudos de planejamento da expansão e da operação do sistema. Aqui se fazia obrigatória a consideração de eventuais restrições em nível de empresa ou de país. O produto principal desta etapa era o plano de obras e a rentabilidade imediata dos vários projetos.

O critério de decomposição espacial era realizado em três níveis, de acordo com o objetivo visado. Desse modo, o planejamento global do setor elétrico era feito em nível nacional e definia a política energética. Em nível regional situavam-se as empresas responsáveis pelo suprimento da área sob sua abrangência, que por sua vez supriam as concessionárias da sua região. Neste nível era realizado, também, o planejamento das interligações entre as regiões, de modo a reduzir a necessidade de expansão individual das concessionárias.

Em nível local encontravam-se as empresas de distribuição, com ou sem geração própria. Neste caso, o planejamento objetivava também verificar se era mais vantajoso aumentar o parque gerador da distribuidora ou adquirir energia da empresa regional. Os estudos realizados em cada etapa do planejamento são mostrados no Quadro 2.2. O planejamento da distribuição era realizado em etapas independentes, pois não dependia diretamente da composição estrutural dos sistemas de geração/transmissão.

Quadro 2.2 - Estudos Realizados no Planejamento da Expansão

CRITÉRIO	ESTUDOS	SUB-SISTEMAS/COMPONENTES
Longo Prazo	<ul style="list-style-type: none"> • Estudo de Inventário • Avaliações Tecnológicas • Planejamento Conceitual 	<ul style="list-style-type: none"> • Geração • Geração/Transmissão • Geração/ Interligações
Médio Prazo	<ul style="list-style-type: none"> • Expansão • Dimensionamento • Localização 	<ul style="list-style-type: none"> • Geração/Transmissão • Usinas/Circuitos • Usinas Térmicas/SE's
Curto Prazo	<ul style="list-style-type: none"> • Suprimento Energético • Priorização de Obras • Limites de Equipamentos 	<ul style="list-style-type: none"> • Geração/Transmissão • Transmissão/Subtransmissão • Reatores/TF's/Disjuntores

Fonte: MOROZOWSKI [6]

2.3.3 Fluxo de Informações no Planejamento da Expansão

De acordo com MOROZOWSKI [6], a decomposição do problema global, ao mesmo tempo em que viabilizava a solução do problema de planejamento, requeria o adequado encadeamento dos resultados de cada etapa, de forma a garantir a consistência do plano como um todo. Este encadeamento era usualmente realizado através do estabelecimento de um fluxo de informações, conforme ilustrado na Figura 2.4, que especifica os dados de entrada e os principais produtos de cada etapa.

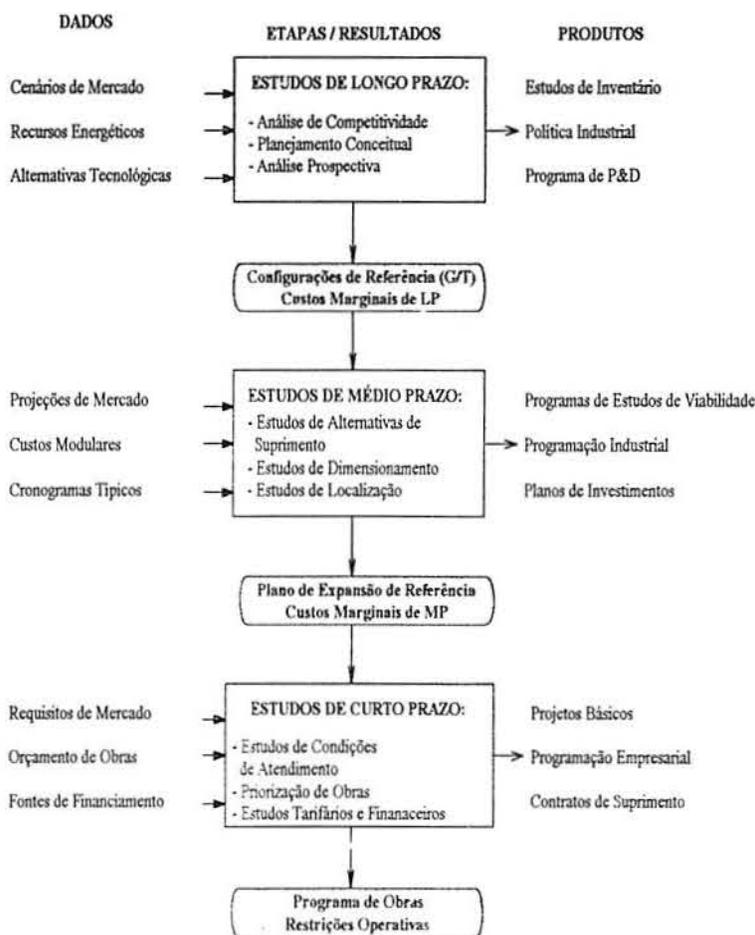


Figura 2.4 - Fluxo de Informações no Planejamento da Expansão

Fonte: MOROZOWSKI [6]

2.3.4 Cadeia Hierárquica de Modelos

A complexidade do problema de planejamento motivou o desenvolvimento de grande quantidade de modelos para planejamento da expansão e operação, empregando uma série de técnicas de solução, como programação matemática, heurísticas e híbridas. Esta tendência, historicamente observada, vem se acentuando com o crescimento da capacidade de cálculo e redução dos custos computacionais [6]. No Brasil, dadas as dificuldades práticas de representar o complexo processo de planejamento de sistemas hidrotérmicos multiárea em um único modelo, o Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL), em conjunto com as Centrais Elétricas Brasileiras S.A. (Eletrobrás), optou por uma cadeia de modelos, representada na Figura 2.5.



Figura 2.5 - Cadeia Hierárquica de Modelos
Fonte: MOROZOWSKI [6]

Nesta cadeia, os níveis hierárquicos correspondem aos diferentes tipos de decisão de planejamento, com diferentes horizontes de influência e graus de impacto em termos de suprimento de energia. No lado direito da cadeia, estão listadas as principais ferramentas de análise do sistema em termos de custo, confiabilidade e qualidade. No lado esquerdo, estão explicitadas as principais decisões de investimento em cada etapa. Assim, para cada modelo de síntese, existem um ou mais modelos de análise, que permitem uma avaliação mais detalhada do comportamento do sistema planejado, tanto sob o enfoque estático quanto dinâmico.

Nesta estrutura, cada modelo representa um aspecto parcial do problema de planejamento e o conjunto de modelos representa o problema de planejamento no seu todo. Para cada tipo de decisão, foram desenvolvidos diversos modelos, com base em técnicas de otimização e/ou em métodos heurísticos. Os modelos baseados em otimização melhor sucedidos foram os propostos para planejamento da geração.

2.4 ESTRUTURA INSTITUCIONAL DO SETOR ELÉTRICO: PÓS-REFORMA

A estrutura organizacional anteriormente descrita e o processo de planejamento a ela associado funcionaram satisfatoriamente, tanto nos aspectos financeiros como técnicos, até o início da década de 80. A expansão do sistema acompanhava o crescimento da demanda. O aporte financeiro para expansão era proveniente de três fontes básicas: da geração interna de recursos, a partir das tarifas; de recursos do Estado; e de empréstimos, obtidos principalmente no sistema financeiro internacional.

No início da década de 80, verificou-se uma degradação financeira das concessionárias, como consequência da combinação de inflação, tarifas congeladas, dificuldades na captação de empréstimos e pagamento dos empréstimos realizados na década de 70. Como resultado, na década de 90, o governo brasileiro iniciou a reestruturação e privatização do setor elétrico, com a publicação de diversas leis e decretos.

O objetivo desta reestruturação, segundo o Projeto de Reestruturação do Setor Elétrico Brasileiro (Projeto RE-SEB) [13], é permitir ao Governo concentrar-se sobre suas funções de regulamentação, fiscalização e formulação de políticas do setor, propiciando a transferência da responsabilidade sobre operação e investimento ao setor privado.

A Figura 2.6 esquematiza a estrutura organizacional do setor elétrico brasileiro no período pós-reforma. No que segue, analisa-se a influência desta estrutura sobre a metodologia de planejamento da expansão e sobre o mercado consumidor das empresas distribuidoras/comercializadoras.

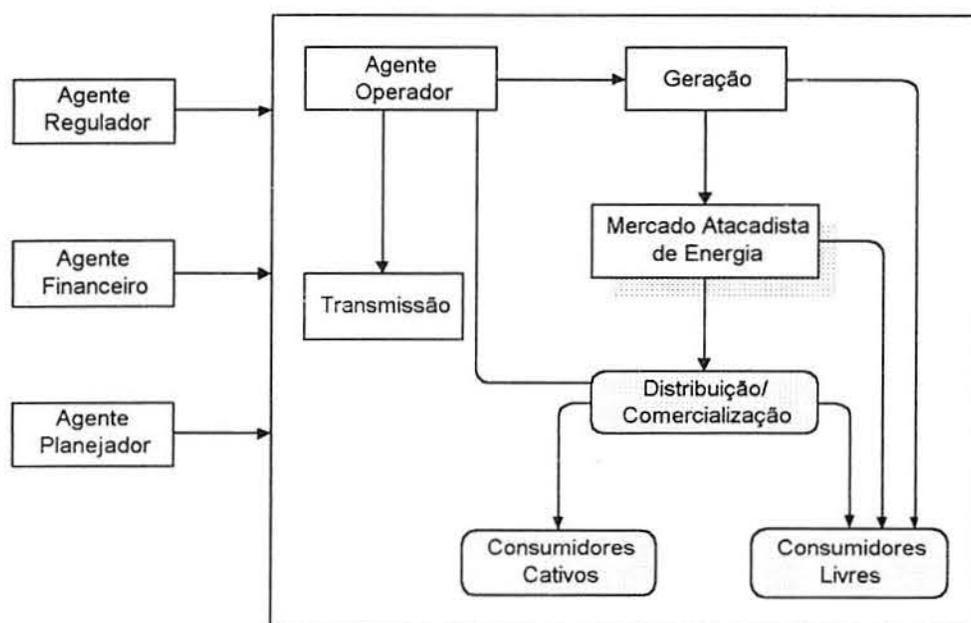


Figura 2.6 - Estrutura Organizacional do Setor Elétrico: Pós-Reforma

A característica principal do novo modelo é a criação do Mercado Atacadista de Energia (MAE), que substituirá o tradicional sistema de preços regulamentados e contratos de suprimento por um sistema de livre mercado, em que o preço será definido pela interação entre a oferta e a demanda.

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) é o órgão responsável pela regulamentação e fiscalização do setor elétrico. A missão da agência é assegurar o suprimento adequado de eletricidade, confiável, e a preço razoável, a consumidores existentes e novos, através da regulamentação de preços, quando houver monopólios, em níveis condizentes com concessionárias eficientes e financeiramente viáveis, e através do incentivo à concorrência, sempre que este for um mecanismo prático e eficiente. As funções da ANEEL são: a regulação econômica, a regulação técnica, as concessões, as questões ligadas ao consumidor e a administração.

Caberá a Eletrobrás, pelo menos a curto prazo, o desempenho do papel de agente financiador, para evitar descontinuidade no financiamento do setor. Contudo, à medida que os empréstimos comerciais ao setor privado forem mais significativos, o papel de agente financiador deverá ser realizado pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES).

O agente planejador fará o planejamento indicativo do sistema e dos novos investimentos, antes realizado pelo GCPS de forma determinativa. O planejamento indicativo será realizado pelo Comitê Coordenador do Planejamento da Expansão (CCPE); e os planos indicativos identificarão programas de investimento do sistema com economicidade (a custo mínimo), inclusive projetos hidrelétricos específicos contemplando diferentes premissas e cenários.

O agente responsável pelo planejamento operacional, programação, despacho e transmissão é representado pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), uma entidade sem fins lucrativos. Esse agente receberá dados sobre afluências, níveis de reservatórios, disponibilidade de usinas e custos de combustíveis. A partir destas informações, planejará a operação do sistema através de procedimentos semelhantes aos atualmente em vigor. Como parte do estágio final do planejamento operacional, o ONS calculará um preço que representará o custo marginal do sistema ou preço *spot*, em que a oferta e demanda estarão equilibradas.

As empresas geradoras e as empresas distribuidoras e comercializadoras (D/C's) continuarão a negociar a maior parte de sua energia através de contratos bilaterais, que especificarão o preço e os volumes contratados (obrigatoriamente 85% do volume total) durante sua vigência. Esses contratos, caracterizados logo a seguir, visam reduzir a exposição das empresas geradoras e das empresas D/C's aos preços do MAE. Somente a energia não contratada será negociada diretamente no MAE e liquidada ao preço deste, mas todos os fluxos de energia serão considerados na determinação da programação ideal, no tratamento de perdas e em outras funções relevantes da liquidação.

Os novos arranjos mercantis têm implicações importantes no que se refere à concorrência e à regulamentação dos preços da energia. O preço *spot* do MAE será estabelecido com o uso de modelos e procedimentos acordados por todos os membros do MAE, homologados pela ANEEL e que deverão refletir a oferta e demanda de energia. Não haverá concorrência pública por preços entre empresas geradoras no mercado *spot*.

Os preços do mercado de contratos deverão refletir as expectativas dos agentes quanto ao preço *spot* no decorrer do período em questão, a não ser no período de vigência dos contratos iniciais, firmados entre empresas geradoras e empresas D/C's, que apresentam as seguintes características:

- a duração dos contratos iniciais será de 8 anos no sistema S/SE/CO e de 15 anos no N/NE;
- no sistema S/SE/CO, os volumes contratados serão constantes até o quinto ano e serão reduzidos gradualmente, a partir de 2003, em 25% e a mesma percentagem até a liberação total;
- os volumes no início dos contratos iniciais refletirão o atual critério de risco de déficit de 5%;
- os preços acordados serão mantidos durante a vigência do contrato, sujeitos à indexação;
- limite de auto-suprimento (*self-dealing*) vigorarão somente após o fim dos contratos iniciais (distribuidoras não poderão atender mais do que 30% de seu mercado com geração própria).

A produção e a comercialização serão atividades competitivas, que tratarão, respectivamente, da venda e da compra de energia elétrica. O transporte e a distribuição de energia elétrica, por constituírem monopólios naturais, serão regulamentados e definidos por nível de tensão. O sistema de transmissão (rede básica) compreende o conjunto de ativos em tensão de 230 kV ou superior, além das conexões internacionais em 138 kV ou acima. O sistema de distribuição compreende o conjunto de ativos da rede em tensão inferior a 230 kV.

Atualmente, as atividades de distribuição e comercialização têm sido realizadas por uma mesma empresa, as assim designadas empresas distribuidoras/comercializadoras (empresas D/C's). Uma das mudanças fundamentais da nova estrutura organizacional está relacionada ao mercado consumidor destas empresas, que passa a ser composto por consumidores "cativos", que não podem escolher o fornecedor, e por consumidores "livres", que poderão comprar energia diretamente de qualquer empresa geradora, do MAE ou de outras empresas D/C's. Os consumidores são qualificados em "cativos" e "livres", conforme os critérios vigentes, segundo suas características de tensão e demanda (Quadro 2.3).

Quadro 2.3 - Critérios para Consumidores Livres e Cativos

CONSUMIDOR	CONDIÇÃO	VIGÊNCIA
Livre (atual)	≥ 10 MW/ ≥ 69 kV	Imediata, respeitados os contratos vigentes
Livre (atual)	≥ 3 MW/ ≥ 69 kV	Julho/2000
Livre (atual e novo)	Independente de características de tensão e demanda, quando a solicitação de fornecimento não puder ser atendida em até 180 dias após a solicitação, por parte da distribuidora local.	Imediata
Livre (novo)	≥ 3 MW/ Qualquer tensão	Imediata
Livre (atual e novo)	≥ 500 KW/ Qualquer tensão (PCH's)	Imediata
Cativo (atual e novo)	Consumidores não enquadrados nos critérios anteriores, de qualquer classe de consumo, independentemente de características de tensão e demanda.	Imediata
Livre (atual e novo)	≥ 50 KW/ $\geq 2,3$ kV ²	Julho/2003
Livre	Todos os consumidores ³	Janeiro/2005

Nessas condições, a participação de cada empresa não mais estará determinada pela área de concessão, mas será o resultado das negociações entre os agentes econômicos, que podem ser vistos como jogadores empresariais [2]. Neste contexto, as metodologias em uso para avaliação da participação das empresas deverão ser reformuladas, considerando que a participação no novo mercado tem um comportamento dinâmico, e não mais estático como tradicionalmente considerado [6].

2.5 EFEITOS DA REFORMA SOBRE A METODOLOGIA DE PLANEJAMENTO [28]

Com a mudança no ambiente de negócios, ora em andamento, é de se esperar que o processo de planejamento, tradicionalmente centralizado pela Eletrobrás, evolua para um processo descentralizado e competitivo, com a participação de concessionárias, produtores independentes e consumidores livres. Em consequência, as metodologias e os modelos de planejamento devem ser repensados, considerando várias questões, em particular a que diz respeito ao comportamento da demanda, como abordado a seguir.

2.5.1 Metodologia de Planejamento da Oferta

A metodologia de planejamento e a estrutura hierárquica de modelos, anteriormente descritas, foram concebidas num setor elétrico caracterizado por capital predominantemente estatal, regime de mercado monopolístico e empresas verticalmente integradas, com reduzida participação de agentes privados. Como resultado, a metodologia tradicional de planejamento da oferta se caracteriza pelos seguintes aspectos:

- planejamento centrado na oferta, com ênfase no sistema de geração;
- peso reduzido do sistema de transmissão nas decisões de investimento;
- foco da análise centrado nos sistemas interligados, em nível de região e de país;
- ênfase em grandes projetos de geração hidroelétricos e nas interligações regionais.

^{2 e 3} Essas condições foram sinalizadas pela ANEEL, não estando, portanto, efetivamente implementadas.

Estes e outros fatores condicionaram fortemente a concepção e o desenvolvimento da metodologia e dos modelos usados no planejamento da oferta, tanto nos aspectos energéticos quanto elétricos.

Uma consequência natural do desenvolvimento de modelos polarizados para o nível de sistema interligado e orientados a grandes projetos foi a representação simplificada (energia externa) de pequenas e médias centrais nos modelos de expansão da geração. Essa representação simplificada dificulta a correta avaliação dos pequenos e médios aproveitamentos e teve como consequência um tratamento marginal destes projetos no âmbito do planejamento setorial. O tratamento endógeno de autoprodutores, produtores independentes e co-geradores é, portanto, um requisito a ser atendido pela nova metodologia de planejamento da oferta.

Também os projetos de gerenciamento da demanda têm sido tratados de forma implícita no processo de planejamento, através de subtração das metas de conservação de energia das projeções de demanda. Nesse caso, a representação simplificada não permite avaliar corretamente os efeitos de medidas de gerenciamento sobre os custos de expansão e de operação do sistema, fundamentais para a alocação otimizada dos recursos vinculados à implantação destas medidas. Em outras palavras, a representação explícita de medidas de gerenciamento da demanda é um aspecto a ser considerado na nova metodologia de planejamento.

As modificações no ambiente de negócios deverão se refletir também nos critérios e modelos de planejamento da transmissão, no sentido de considerar o sistema de transmissão como recurso para otimização do sistema e como um negócio capaz de gerar receitas decorrentes de serviços de transmissão e ancilares.

2.5.2 Metodologia de Planejamento da Demanda

Uma das principais consequências das mudanças institucionais para o planejamento da demanda é que o mercado de energia deixa de ser delimitado pela área de concessão, ou seja, os planejadores desconhecem a parcela de mercado das concessionárias e a parcela de mercado dos novos agentes (produtores independentes e empresas D/C's). Haverá, portanto, uma redistribuição do mercado entre os agentes, conforme as leis de mercado. Isto sugere que a análise das estratégias competitivas será uma etapa de crucial importância no processo decisório.

Outra mudança importante no planejamento da demanda diz respeito à estrutura do mercado. Atualmente, o mercado é projetado em nível nacional e regional, segundo critérios de decomposição puramente espacial. Com a nova regulamentação, o mercado passa a ser composto pelo mercado do conjunto dos agentes. Deste modo, apenas o mercado global será acessível a todos os participantes do setor elétrico.

A lógica seqüencial do planejamento da expansão contém a hipótese implícita de que a demanda é um dado exógeno ao processo e cabe às concessionárias a responsabilidade pela garantia de suprimento/fornecimento. Esse procedimento é adequado em regime de monopólio, mas a incorporação de novos agentes de oferta, conjugada às opções de fornecimento dos consumidores livres, requer que a demanda seja tratada como endógena e sua projeção seja integrada ao processo de planejamento [23].

Outra consequência importante da reforma diz respeito ao tipo de informação que respalda a tomada de decisão [13]. No caso da projeção de demanda, o GCPS possuía informações completas acerca das estimativas realizadas pelas empresas. Neste ambiente colegiado, os planejadores tomavam decisões com base em informações completas. No novo ambiente de negócios, o planejador indicativo, de caráter público, não terá mais as projeções das empresas para ajustar as estimativas da demanda nacional, mas sim o mercado realizado. Possivelmente, se houver a necessidade de informações, a respeito das projeções de demanda, elaboradas pelas das empresas, estas informações serão repassadas de forma incompleta, na medida em que afetam os negócios das empresas.

No caso de empresas concorrentes, se uma quantidade maior de dados estivesse disponível publicamente, estas poderiam reduzir os riscos. Acompanhar o movimento estratégico das concorrentes, para inferir sobre a demanda real, é um meio de obter informações, mas requer tempo e tem um custo associado. Este custo depende do tipo de informação e do nível de risco que a empresa está disposta a enfrentar. O valor desta informação pode ser medido pela diferença entre o valor esperado de uma escolha, quando existe informação completa, e o valor esperado quando a informação é incompleta [24].

A entrada de agentes privados na geração deverá resolver, em futuro próximo, o problema atual da oferta insuficiente para atender ao crescimento da demanda. À medida que a oferta atenda à demanda, essa última tenderá à saturação, originando o problema de criação de demanda das empresas D/C's [14].

2.5.3 Critérios e Modelos para o Planejamento

Segundo HOBBS [32], a reforma da indústria de energia elétrica terá, entre outras, as seguintes implicações sobre os modelos de planejamento:

- a competição resulta em maior incerteza com relação ao mercado e aos preços. Assim, os modelos deverão ser mais ágeis, para que os planejadores possam examinar rapidamente o desempenho dos planos sob uma faixa de hipóteses, ou deverão levar em conta os futuros alternativos em sua formação;
- as empresas deverão entender melhor sua estrutura de custos. Para isso, devem dispor de modelos que gerem informações de custos marginais desagregados em termos temporais, espaciais

ais, por classe de tensão e nível de confiabilidade, de modo a identificar as oportunidades de comercialização de energia;

- as empresas devem considerar a resposta dos consumidores a mudanças de preço, à medida que a competição lhes oferece mais possibilidades de escolha. Isto requer o fechamento do laço: modelo de expansão → modelo financeiro → modelo tarifário → modelo de demanda. As empresas poderão assim avaliar de que forma suas decisões afetarão as participações de mercado, própria e de outros supridores de eletricidade ou gás;
- os novos modelos de planejamento deverão explicitar os custos e estratégias de todas as firmas no mercado, e não apenas os de uma única concessionária. Primeiro, porque as empresas cada vez mais adquirirão recursos de produtores independentes e provedores de serviços, ao invés de construir e operar recursos próprios. Segundo, para prever como seus competidores estabelecerão os preços de seus produtos, o que requer um entendimento dos custos e oportunidades de negócios de seus competidores.

2.6 METODOLOGIA DE PLANEJAMENTO DA EXPANSÃO: PÓS-REFORMA

A estrutura tradicional do problema de planejamento, apresentada na Figura 2.3, deverá evoluir para uma nova estrutura, ilustrada na Figura 2.7.

As principais modificações da nova estrutura de planejamento, em relação à tradicional, são as seguintes:

1. A estrutura atual, baseada num único enfoque, de caráter sistêmico e determinativo, deverá evoluir para três novos enfoques: sistêmico indicativo, sistêmico determinativo e mercado competitivo.
2. Mantém parte da estrutura tradicional, com modificações nos órgãos executores, para elaborar o planejamento da geração, sob enfoque sistêmico indicativo, e da transmissão, sob enfoque sistêmico determinativo.
3. Acrescenta a representação do MAE e de agentes de mercado (bloco tracejado), sob enfoque mercado competitivo.
4. Explicita inter-relações dos agentes de mercado com órgãos e hierarquias de planejamento. Por exemplo, o planejamento indicativo fornece a projeção do custo marginal de longo prazo (CMLP), com base na qual os agentes poderão desenvolver propostas de construção de novas plantas. Relações similares observam-se nos planejamentos da transmissão e da operação.
5. Destaca as *Plantas de Geração e Interligações* como um elo de ligação “natural” entre os enfoques sistêmico (indicativo e determinativo) e o de mercado (MAE e corporativo).

6. Evidencia um novo problema de decisão, qual seja, a divisão de mercado, que constitui o principal objeto de análise do presente trabalho de pesquisa.

Sob o ponto de vista do planejamento da demanda, os aspectos relevantes encontram-se representados, na Figura 2.7, através de três subproblemas: participação de mercado, gestão empresarial e faturamento e liquidação de energia, esse último no âmbito do MAE/ASMAE (Administradora de Serviços do MAE).

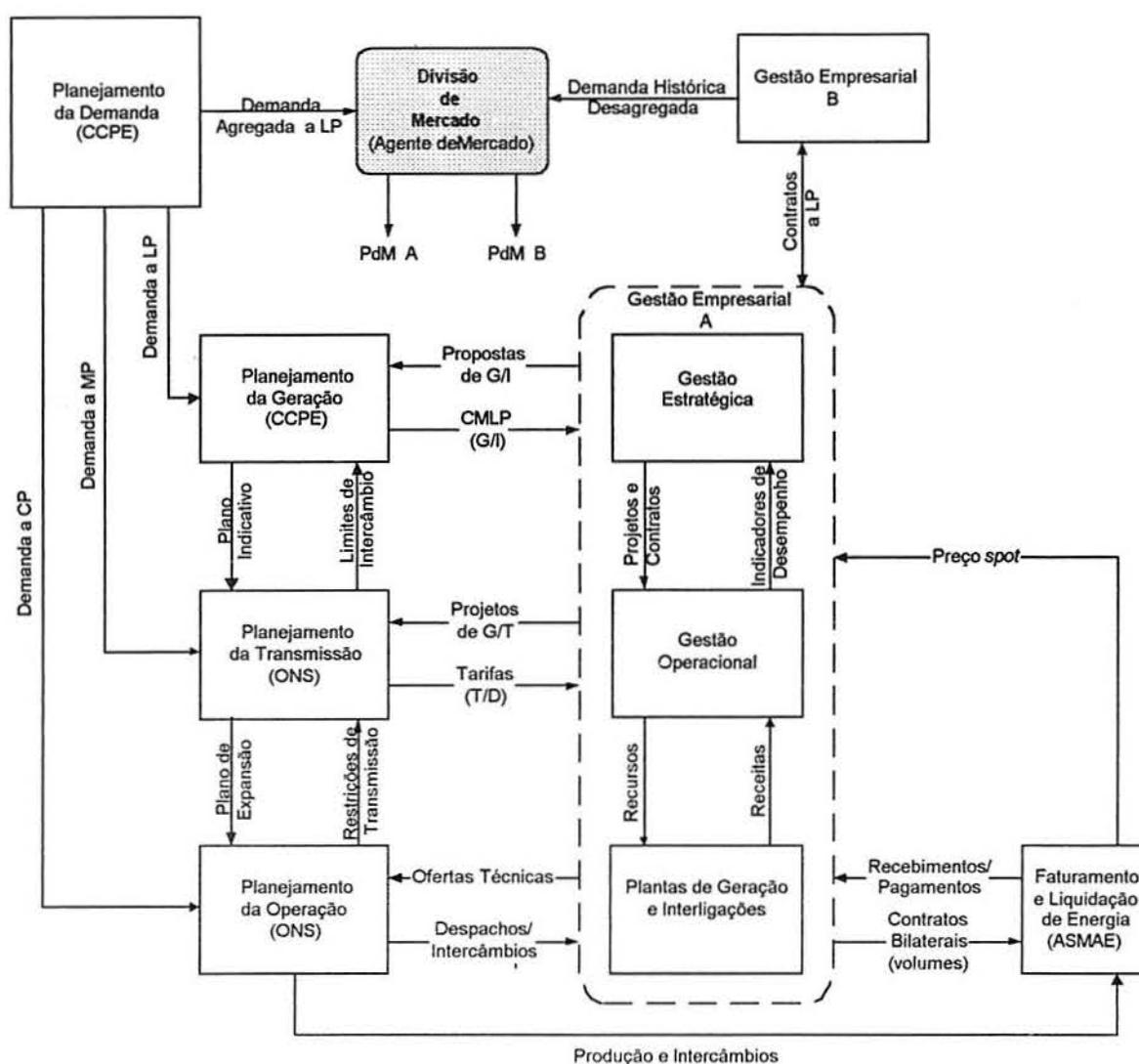


Figura 2.7 – Estrutura do Problema de Planejamento da Expansão: Pós-Reforma

No que segue, caracteriza-se o problema de participação de mercado, em termos qualitativos e quantitativos, e examinam-se as principais metodologias para modelagem conceitual e computacional deste problema.

2.7 PARTICIPAÇÃO DE MERCADO

A participação de mercado é determinada, no caso de empresas geradoras, pelos volumes e preços de energia definidos em contratos firmados entre as empresas e seus clientes. No caso de

distribuidoras/comercializadoras, a participação é avaliada, numa primeira etapa, em relação à projeção de demanda fornecida pelo planejador indicativo; é reavaliada, numa etapa posterior, no âmbito do planejamento empresarial, em função da projeção de demanda cativa e livre e metas de participação, de acordo com os objetivos estratégicos de cada empresa. Estas atividades, exercidas internamente em cada empresa, ou por algum agente interessado, estão representadas, na Figura 2.7, sob a denominação de Gestão Empresarial “A” e “B”.

O estudo realizado visa investigar a estrutura do problema de divisão de mercado entre duas empresas D/C's que competem por consumidores livres, entre outros objetivos. A estrutura do problema para "n" empresas é similar ao modelo para duas empresas e pode ser replicado a partir deste. Essa situação é análoga à tratada em BORGES [29], com emprego da teoria dos jogos e conjuntos difusos, num problema genérico de divisão de mercado, em que várias firmas vendem produtos e serviços a uma população de compradores diversificada em termos de poder de compra e de preferências quanto à qualidade dos produtos/serviços.

2.7.1 Descrição do Problema

No modelo institucional pré-reforma, o problema de participação de mercado era resolvido “automaticamente” pelo critério de área de concessão. Na etapa atual de implantação do novo modelo de mercado, a participação de mercado (PdM) é parcialmente definida pelo critério de área de concessão, no que diz respeito aos consumidores cativos, e necessita de um critério adicional (critério de mercado), referente aos consumidores livres, para determinar completamente a PdM. Na medida em que se flexibilizarem os atuais critérios de consumidores livres, deverá crescer a importância relativa do critério de mercado, em relação ao critério de área de concessão. Numa situação extrema, a PdM seria totalmente definida pelas leis de mercado.

A solução do problema de PdM envolve tanto aspectos técnicos quanto aspectos de comportamento estratégico. Com isso, a resolução do problema torna-se complexa, pois os modelos a serem desenvolvidos deverão explicitar o preço e possíveis estratégias empresariais na manutenção ou ampliação de suas participações de mercado, e não apenas os relacionados à área de concessão, como ocorre atualmente.

Em outros termos, a projeção da demanda das empresas D/C's no novo contexto requer a modelagem do comportamento estratégico dos agentes de mercado, que constitui o principal desafio a ser enfrentado no desenvolvimento e aplicação de modelos para projeção de demanda. Além deste, outros aspectos, também relacionados ao incremento da competição, deverão ser considerados na construção dos modelos, como indicado no Quadro 2.4.

Quadro 2.4 - Requisitos de Modelagem

Conseqüências da Competição	Requisitos de Modelagem
<p>Maior incerteza com relação à demanda a ser atendida e preços.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Rapidez de resposta dos modelos; • Facilidade de gerar cenários de preços; • Flexibilidade para simulação.
<p>Reação de consumidores a variações de preço; Mercados contestados por concorrentes; Qualidade de energia; Capacidade da empresa em atender à expansão.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Representar comportamentos estratégicos; • Representar a realimentação via preço; • Simular políticas de preço de competidores; • Modelos devem projetar a demanda desagregada (tempo, classe de consumo, níveis de tensão e tipo de consumidor).

As características do problema de planejamento da demanda em ambiente competitivo exigem, portanto, técnicas de análise capazes de incorporar, numa mesma estrutura, tanto os aspectos técnicos (sistema elétrico) quanto os comportamentos estratégicos (mercado de energia elétrica). Nessas condições, foram analisadas as oportunidades de aplicação de duas técnicas: teoria dos jogos (*game theory*) e dinâmica de sistemas (*system dynamics*). Os resultados desta análise são descritos a seguir.

Teoria dos Jogos

Teoria dos Jogos (TJ) é um método para analisar situações de conflitos e de cooperação que dependem do comportamento estratégico, onde as ações dos agentes (jogadores) são parcialmente dependentes do que os outros agentes poderão fazer. O objetivo da TJ é determinar a melhor estratégia para um jogador supondo que o oponente é racional e fará um lance inteligente. O termo racional significa a maximização de objetivos estratégicos.

Segundo PINHO [30], a estrutura de mercado conhecida como “competição perfeita é mais teórica, pois na realidade existe algum grau de imperfeição que distorce seu funcionamento”, devido a adaptação do mercado à realidade. Essa estrutura caracteriza-se por um grande número de compradores e vendedores, produtos homogêneos (substitutos perfeitos entre si), completa informação e conhecimento sobre o preço do produto e ausência de barreiras de entrada e saída de empresas no mercado. Na concorrência imperfeita, também participa um grande número de empresas, porém, os produtos são diferenciados, embora sejam substitutos próximos.

Modelos construídos através da TJ são os mais adequados para estruturar os processos de competição imperfeita. Em geral, os mercados contêm um número limitado de agentes bem informados a respeito do efeito de suas ações sobre as decisões dos demais. Por exemplo, somente um número limitado de empresas encontra-se na proximidade de um determinado mercado. Desse modo, somente modelos de tomada de decisão quanto a recursos e preços que considerem possíveis comportamentos estratégicos poderão produzir avaliações realísticas de preços no mercado de energia elétrica.

Em princípio, modelos baseados em TJ poderiam preencher esta lacuna na modelagem atual. Modelos de jogos não-cooperativos tipo Nash poderiam ser usados na análise da definição do preço a ser praticado por empresas D/C's, por exemplo. O preço encontrado é o resultado do jogo e constitui-se num ponto de equilíbrio, onde cada empresa está utilizando a melhor estratégia de preço em função do preço praticado pela concorrente. Nesta categoria de jogos, as empresas não fazem acordo, isto é, atuam no mercado de forma independente, não-cooperativa, e consideram constante o preço da concorrente.

Por outro lado, se as empresas estabelecem acordos e decidem praticar um mesmo preço, que maximize seus lucros de forma conjunta, os modelos de jogos cooperativos podem fornecer estimativas interessantes. Para qualificar estas afirmativas foi construído um exemplo de definição de preço, que se encontra no Anexo 1.

No entanto, HOBBS [32] menciona que modelos baseados em TJ "puros" raramente são utilizados pelas empresas, por serem complexos, pois sua formulação e procedimentos de solução são necessariamente mais complicados que nos modelos que admitem competição perfeita. O autor menciona, também, que, em geral, os planejadores preferem modelos mais simples, por serem mais facilmente programáveis e suscetíveis de análise de sensibilidade.

A repetição do jogo pode ser vista como um processo de aprendizagem acerca das estratégias dos jogadores, conduzindo a resultados diferentes caso fosse realizado mais de uma vez [31]. Ocorre que para cada repetição do jogo, um novo jogo deve ser construído de forma a contemplar o aprendizado. Neste caso, encontrar a solução de equilíbrio conduz geralmente a problemas de elevada complexidade computacional, a não ser em casos idealizados e simplificados, em relação às situações encontradas no setor elétrico.

A busca do ponto de equilíbrio como resultado do jogo é o objetivo quando a modelagem baseia-se na TJ, e os laços de realimentação são interpretados como decisões estratégicas a serem utilizadas pelos jogadores em termos de regras de reciprocidade, como por exemplo, a estratégia *tit-for-tat* [31]. Em muitos jogos, o ponto de equilíbrio poderá ocorrer ao longo do tempo, se não ocorrerem perturbações, ou seja, uma nova informação durante o processo do jogo, que desloquem o ponto de equilíbrio. Um exemplo desta situação seria a publicação de critérios mais flexíveis para a qualificação de consumidores livres.

A Teoria dos Jogos, embora constitua uma ferramenta importante de modelagem para problemas de interação estratégica entre agentes de mercado, apresenta limitações na análise dos efeitos estratégicos ao longo do tempo. Assim, modelos baseados em TJ ficarão limitados a estudos teóricos, se não forem associados a modelos de simulação que permitam representar com maior grau de realismo os efeitos de competição entre os agentes.

Dinâmica de Sistemas

A aplicação da Dinâmica de Sistemas (DS) no planejamento da indústria de energia elétrica e também ao planejamento de outras indústrias em termos mundiais, tanto em nível corporativo quanto governamental, disponível na literatura especializada, sugere que a técnica é uma ferramenta adequada ao tratamento do problema de divisão de mercado, pois permite levar em conta, numa mesma estrutura computacional, tanto os aspectos técnicos quanto a modelagem dos comportamentos estratégicos dos agentes de mercado.

Dinâmica de Sistemas permite modelar problemas de realimentação via preço, ou seja, variações na demanda induzidas por mudanças de preço. Por exemplo, uma empresa D/C que reduza o preço de venda da energia pode atrair consumidores livres de outras empresas, conforme será mostrado no Capítulo 5. O ganho de demanda decorrente da migração pode resultar tanto em aumentos de participação quanto favorecer a negociação no preço de compra da energia.

Em geral, uma quantidade de demanda maior induz a decréscimos no preço de compra. A energia comprada a menor preço contribui para a redução dos custos totais da empresa. Como resultado, o benefício líquido da realimentação via preço pode ser positivo ou negativo, dependendo da grandeza relativa dos diversos termos. O impacto deste benefício líquido pode influir no desempenho da empresa como um todo.

Os problemas de competição imperfeita podem também ser modelados sob o paradigma da DS, com a vantagem adicional de examinar a possibilidade de obtenção das situações de equilíbrio (ideais), previstas pelos modelos da Teoria dos Jogos. Isso é possível porque a DS possibilita a análise da evolução temporal das grandezas envolvidas, através da solução de equações algébricas e diferenciais, não lineares e com coeficientes não constantes, que podem representar tanto as interações entre os agentes de mercado quanto as relações de mercado, empresas D/C's e consumidores livres e reguladores (ANEEL).

Outra característica favorável à aplicação da DS ao problema de divisão de mercado é a possibilidade de agregar as regras da Teoria dos Jogos à dinâmica do mercado, tornando o jogo mais completo, em relação à Teoria dos Jogos. Além disto, a DS agrega valor ao processo de modelagem e à análise do problema em estudo, pois num mesmo ambiente computacional, pode-se tratar problemas tradicionais com as técnicas tradicionais e incluir novos problemas decorrentes da nova estrutura de mercado. Dentro do mesmo modelo é possível projetar a demanda da empresa, por classe de consumo segundo as técnicas econométricas em uso, e avaliar sua evolução com base na competição por consumidores livres, por exemplo.

Dessa forma, a abordagem via DS não invalida a abordagem tradicional para estimativa da demanda, mas investiga outros tipos de problema, como o efeito de políticas empresariais sobre a evolução da demanda, entre outros. É importante observar que as técnicas tradicionais continuam válidas para a projeção da demanda global (planejamento indicativo) e demanda cativa; a DS vem complementar a participação na estimativa da demanda livre.

Embora não seja determinante para a seleção de uma técnica de modelagem, cabe destacar que a terminologia, a simbologia e os conceitos empregados na modelagem via DS são muito similares aos usados na engenharia elétrica e na teoria de controle, o que facilita o desenvolvimento de modelos e aplicação nas empresas de energia elétrica.

O Quadro 2.5 sintetiza as principais características das técnicas de modelagem examinadas, visando facilitar a comparação de seus pontos fortes e pontos fracos e procurando definir com precisão a área de eficácia de cada técnica. A análise deste quadro mostra que DS apresenta características favoráveis para o desenvolvimento de um modelo computacional para divisão de mercado entre empresas D/C's. Os conceitos básicos da DS, usados no desenvolvimento do modelo proposto neste trabalho, são apresentados no Anexo 2.

Quadro 2.5 - Técnicas de Modelagem para Divisão de Mercado

Técnica	Características Principais
Teoria dos Jogos	<p>Conceitualmente, a mais adequada na estruturação de processos de competição imperfeita;</p> <p>Aplicação na análise da definição de preços, por exemplo;</p> <p>Elevada complexidade computacional com múltiplos agentes de mercado (maior que dois);</p> <p>Limitada na análise dos efeitos estratégicos ao longo do tempo.</p>
Dinâmica de Sistemas	<p>Capacidade e qualidade de representação de comportamentos estratégicos;</p> <p>Complexidade computacional moderada e pouco sensível ao número de variáveis;</p> <p>Adequada à representação de laços de realimentação via preço;</p> <p>Permite modelar aspectos técnicos, econômicos e estratégicos numa mesma estrutura;</p> <p>Possibilita a análise de obtenção ou não das situações de equilíbrio ao longo do tempo;</p> <p>Ampla aplicação no planejamento da indústria de eletricidade e outras da área de energia;</p> <p>Terminologia e conceitos similares aos usados em engenharia elétrica e teoria de controle;</p> <p>Tratamento conjunto de problemas tradicionais e novos, num mesmo ambiente computacional.</p>

2.8 CONCLUSÕES

Concluindo, cabe ressaltar alguns aspectos relevantes sobre a metodologia de planejamento proposta. O planejamento das empresas de energia elétrica tem sido uma das áreas mais importantes na aplicação de métodos de pesquisa operacional. Isso se deve, não só à natureza dos problemas nesta área, em geral bem estruturados, mas sempre desafiantes e com minimização de custos associadas a melhorias de procedimentos operacionais, mas também à orientação técnica dos gerentes e à ampla disponibilidade de dados e informações.

À medida que as empresas se movimentam em direção ao ambiente competitivo, a metodologia e os modelos de planejamentos deverão ser adaptados ou mesmo mudados para fazer frente a uma mais ampla faixa de objetivos, não só estratégicos mas também financeiros e comportamentais. Nesse contexto, a incerteza e o risco se tornam dominantes, causados agora mais pelos elementos de competição, além, é claro, das incertezas associadas ao mercado, preços de combustíveis e sistema regulatório. As possibilidades de insucesso empresarial, antes inexistentes, agora tendem a se acentuar com o aumento da competição.

Em conseqüência, os modelos se tornarão bem menos especificados, as análises de cenários se tornarão mais freqüentes e, o que é mais importante, decisores, gerentes e analistas serão mais envolvidos no processo de modelagem. A cultura das concessionárias atuais, baseadas na ótica da engenharia e em relatórios gerenciais, deverá ser substituída por uma cultura empresarial, na qual modelos de suporte à decisão, interativos, auxiliarão a aprendizagem organizacional e facilitarão o entendimento das questões estratégicas.

Os cenários de demanda são de fundamental importância no processo de planejamento da expansão. Com as reformas, novas fontes de incertezas passam a integrar estes cenários, como, por exemplo, incertezas de origem comportamental dos agentes envolvidos, dificultando ainda mais o processo decisório.

CAPÍTULO 3

METODOLOGIA DE PLANEJAMENTO DA DEMANDA

3.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo aborda-se a metodologia de planejamento da demanda nos períodos pré e pós-reforma. Conceituam-se inicialmente os termos "mercado" e "demanda" para caracterizar a terminologia. A seguir descrevem-se o processo, a metodologia, as técnicas e os modelos para planejamento da demanda. Conclui-se o capítulo com uma análise das limitações nos modelos em uso, onde são mencionadas as possibilidades de aplicar técnicas de simulação dinâmica, em substituição ou complementação aos procedimentos tradicionalmente utilizados.

3.2 CONCEITUAÇÃO DE MERCADO E DEMANDA

O planejamento de qualquer atividade econômica requer um estudo de mercado do produto ou serviço que será oferecido. Com base nisso, os conceitos de mercado e demanda de energia elétrica são definidos, partindo-se de uma conceituação mais genérica. Para KOTLER [18], "um mercado consiste de todos os consumidores potenciais que compartilham de uma necessidade ou desejo específico, dispostos e habilitados para fazer uma troca que satisfaça essa necessidade ou desejo". O autor conceitua mercado e o uso deste sob o ponto de vista dos economistas e dos profissionais de marketing.

O termo "mercado", definido como o local onde se encontram compradores (consumidores de energia elétrica) e vendedores (empresas de energia elétrica), corresponde ao conceito usado pelos economistas. Os profissionais de marketing usam o termo "mercado" para designar o conjunto de consumidores e o termo "indústria" para o conjunto de vendedores.

Na indústria de energia elétrica, o termo "mercado" tem sido usado tanto num sentido quanto no outro. Tradicionalmente, as empresas, ao se referirem às suas projeções de demanda, utilizam a expressão "projeções de mercado". Nesse caso, o termo "mercado" é usado no sentido dos profissionais de marketing. Mais recentemente, o termo tem sido usado no sentido dos economistas. A Figura 3.1 ilustra estes conceitos e suas relações.

O mercado de energia elétrica está inserido neste conceito. De um lado, estão os vendedores de energia elétrica, que atualmente são as empresas geradoras, as empresas D/C's e o MAE. Do outro lado, há os consumidores que compram e utilizam a energia para diversos fins.

Outro termo que requer definição é "marketing". O processo intermediário entre produtor e consumidor (comercialização) se realiza com a aplicação das técnicas e processos da mercadologia (marketing). Por sua vez, a mercadologia é o conjunto de técnicas matemáticas, estatísticas, econômicas, sociológicas, psicológicas, entre outras, usadas pelo produtor para estudar o mercado e conquistá-lo mediante o lançamento planejado dos produtos [19].

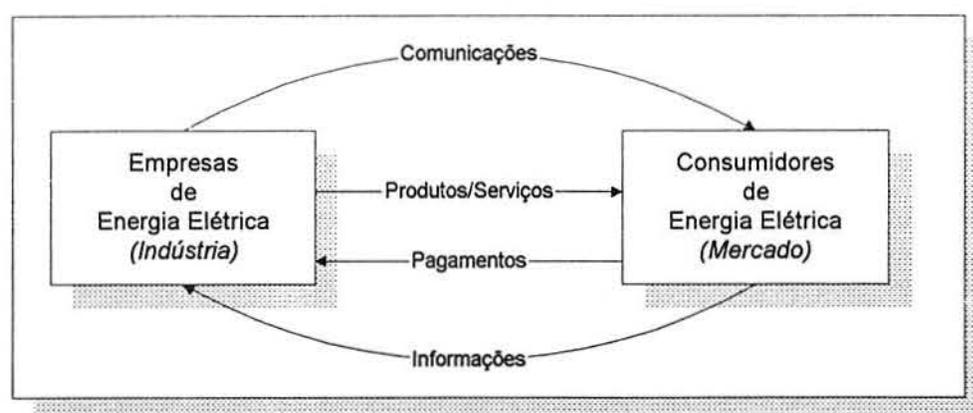


Figura 3.1- Mercado de Energia Elétrica

Fonte: adaptação da Figura 1.3 da referência [18]

As empresas vendem o produto energia elétrica e desenvolvem o serviço de transporte e distribuição de energia elétrica e as comunicações (publicidade, mala-direta, etc.) ao mercado; em troca, recebem dos consumidores o pagamento da venda de energia elétrica e as informações (quantidade vendida, indicadores de satisfação do consumidor, etc.). O fluxo de informações e comunicações é uma prática muito tímida na indústria de eletricidade, porém, com o crescimento da competição, estes fluxos passam a ter maior importância, devido à necessidade de interação das empresas com o mercado.

Cabe definir os tipos de mercado e demanda, conforme as definições que seguem [18]:

- Mercado potencial é o conjunto de consumidores que manifestam nível de interesse suficiente por uma oferta definida.

Os consumidores potenciais devem ter interesse, nível de renda compatível e acesso ao produto/serviço. Se o produto não for disponível em certas áreas, os consumidores potenciais não estão disponíveis para as empresas. Esse é o caso dos consumidores rurais, pois o custo para atendê-los individualmente é, em geral, muito alto, tornando inviável a transação, a menos que existam políticas de incentivo à produção rural.

Outra categoria de consumidores, que fazem parte do mercado potencial das empresas, é formada pelos denominados consumidores de baixa renda. Para a região Sul, a Portaria 437 de 3 de

novembro de 1995 define como consumidores de baixa renda aqueles cujo consumo residencial é inferior a 160 kWh, por três meses consecutivos.

No caso das Centrais Elétricas de Santa Catarina (CELESC), por exemplo, este valor de consumo é escalonado em patamares de [0, 30] kWh, [31, 100] kWh e [101, 160] kWh. Nos dois primeiros patamares existe um considerável número de consumidores cuja renda familiar não permitiria a compra de energia elétrica. No entanto, por questões sociais, a empresa os atende e não aplica penalidades em casos de inadimplência.

- Mercado disponível é o conjunto de consumidores que tem interesse, renda e acesso a determinada oferta.

Como ilustração, considere o seguinte exemplo: a empresa X tem consumidores cativos e livres. Esses últimos constituem o mercado disponível qualificado para a empresa Y, ou seja, um conjunto de consumidores que tem interesse, renda, acesso e qualificação para determinada oferta.

- Mercado alvo ou mercado atendido é a parte do mercado disponível qualificado que a empresa decide atingir.

Considerando o exemplo anterior, a empresa Y elege como mercado alvo o mercado disponível qualificado (mercado livre) da empresa X. Poderá ocorrer que a empresa X e a Y venderão energia no mercado alvo da Y.

- Mercado penetrado de uma empresa é o conjunto de consumidores que já compraram o produto/serviço desta empresa.

As empresas D/C's têm projetado seus mercados com base no conceito de mercado penetrado, composto exclusivamente pelos consumidores pertencentes à sua área de concessão. As reformas sugerem que na projeção do mercado sejam considerados os vários tipos de mercado e não somente o mercado penetrado.

Assim, as definições de mercado se constituem numa ferramenta útil para avaliar a nova demanda. Se a empresa decidir aumentar sua participação de mercado, poderá implementar estratégias tais como: conquistar consumidores livres do seu mercado alvo, expandir seu mercado disponível e expandir seu mercado potencial, por exemplo. Os diferentes tipos de mercado estão ilustrados na Figura 3.2.

Para mensurar a demanda é importante, também, definir seu conceito e seus desdobramentos em demanda de mercado e demanda da empresa. Assim:

- demanda, de acordo com a teoria microeconômica, é a quantidade de um bem ou serviço que um consumidor deseja e está disposto a adquirir por determinado preço e em determinado momento [19].

- demanda de mercado para um produto/serviço é o volume total que seria comprado por um grupo definido de consumidores em determinada área geográfica e em período de tempo definido.
- demanda da empresa é sua participação na demanda do mercado.

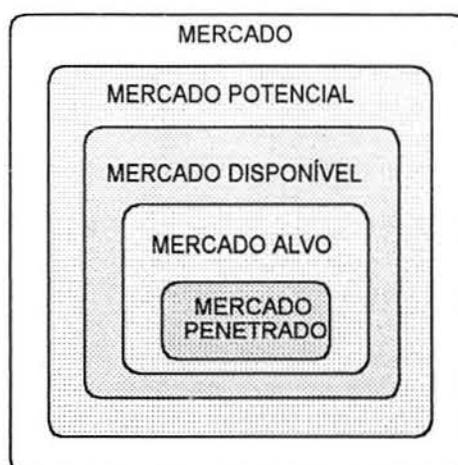


Figura 3.2- Tipos de Mercado

No modelo institucional anterior à reforma, a demanda de mercado e a demanda da empresa praticamente coincidiam. Com a progressiva extinção da reserva de mercado, a demanda da empresa será resultante da demanda cativa e da sua participação no mercado disponível (mercado livre). Na projeção da demanda da empresa deverão ser consideradas, portanto, as estratégias para manutenção ou ampliação de sua demanda disponível (demanda livre).

Neste trabalho, o termo demanda será usado para se referir aos consumidores, e o termo mercado quando englobar consumidores e empresas de energia elétrica.

A energia elétrica é caracterizada pela magnitude, estrutura e abrangência. A magnitude da demanda compreende duas dimensões: a demanda máxima (potência) e a demanda média (energia) [20], conforme se pode observar na Figura 3.3.

A demanda máxima está relacionada com valores máximos que o mercado consumidor irá exigir do sistema supridor, refletindo-se na capacidade instalada do sistema, tanto em termos de produção quanto transporte (transmissão, subtransmissão e distribuição). A demanda média representa a energia consumida em um determinado período de tempo (hora, ano, etc.). No caso do sistema brasileiro, predominantemente hidroelétrico, a demanda média está diretamente ligada ao uso dos estoques de água nos reservatórios.

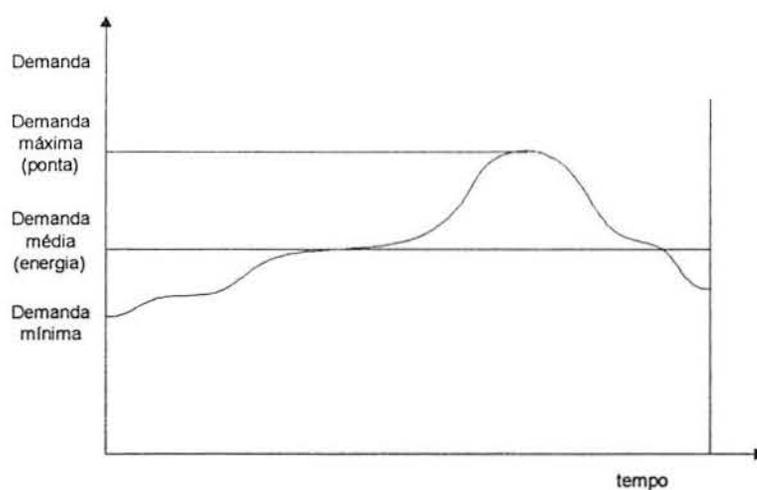


Figura 3.3- Curva de Carga Cronológica

A demanda pode ser representada também por uma curva de duração de carga, conforme mostra a Figura 3.4.

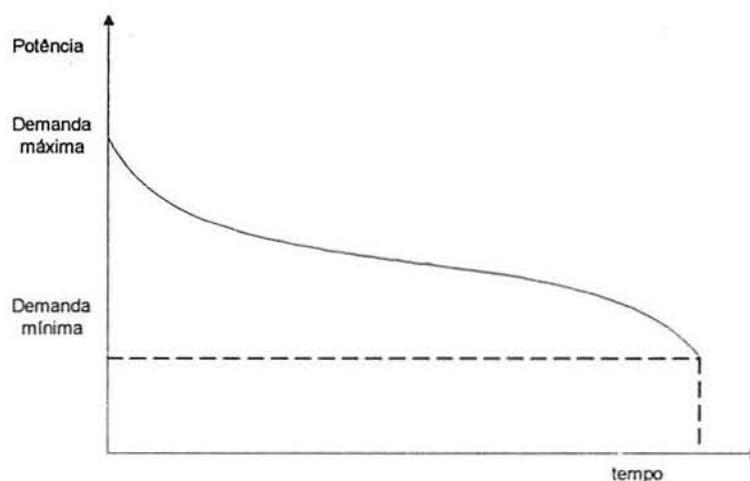


Figura 3.4 - Curva de Duração de Carga

A carga é a potência de qualquer máquina, aparelho, etc., que pode ser ligada ao sistema em qualquer momento e que representará consumo de energia elétrica. A curva de duração da carga é obtida pela ordenação das demandas cronológicas (horárias, por exemplo) em seqüência decrescente. A curva de duração preserva o valor médio, máximo e mínimo de demanda observado na curva cronológica.

Uma outra forma de representar a carga de um sistema é através de curvas de carga cronológicas "típicas", que procuram sintetizar as curvas de demanda horária média de dias úteis, sábados e domingos, como ilustrado na Figura 3.5.

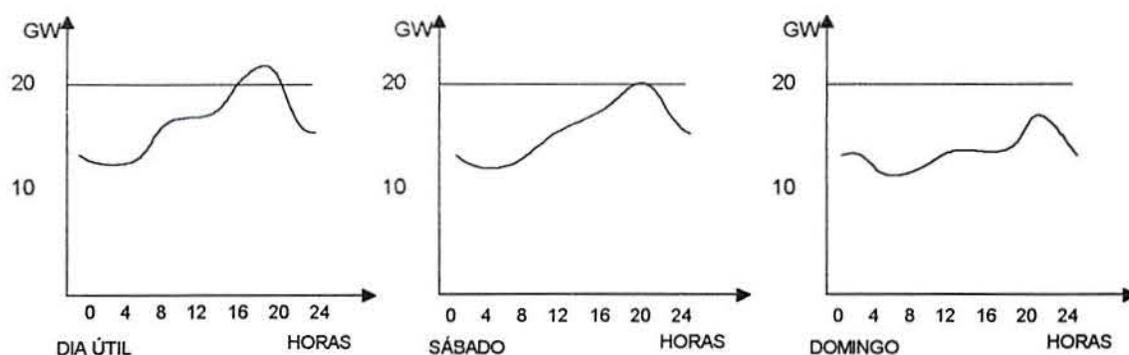


Figura 3.5- Curvas de Carga Horária de Dias Típicos

Além das representações da demanda nas curvas de carga, outras características ou fatores são relevantes para a sua descrição: a sazonalidade, a diversidade e o fator de carga, definidos no Quadro 3.1.

Quadro 3.1 - Fatores de uma Curva de Carga

FATOR	SIGNIFICADO
Sazonalidade	Relação entre cada valor e a média dos valores de uma série (usualmente expressa em percentual ou em “por unidade”).
Diversidade	Relação entre a demanda máxima observada simultaneamente em um conjunto de consumidores e o somatório dos valores máximos observados em cada consumidor, individualmente considerado.
Fator de carga	Relação entre a demanda média em um determinado período e a demanda máxima verificada nesse período.

As curvas de carga podem ser obtidas em nível de classes de consumo e individual, permitindo identificar com clareza quais são os elementos formadores da demanda global. Esta análise possibilita que se avalie a contribuição de cada classe para a demanda máxima do sistema de energia elétrica, por exemplo.

A estrutura é definida pela decomposição da curva de carga do sistema e permite avaliar a participação de cada classe na demanda global. Na prática do GCPS, a demanda global tem sido estruturada em oito classes de consumo, como mostrado na Figura 3.6. Para cada classe de consumo, existem técnicas e modelos de projeção específicos, dependendo do horizonte de estudo.

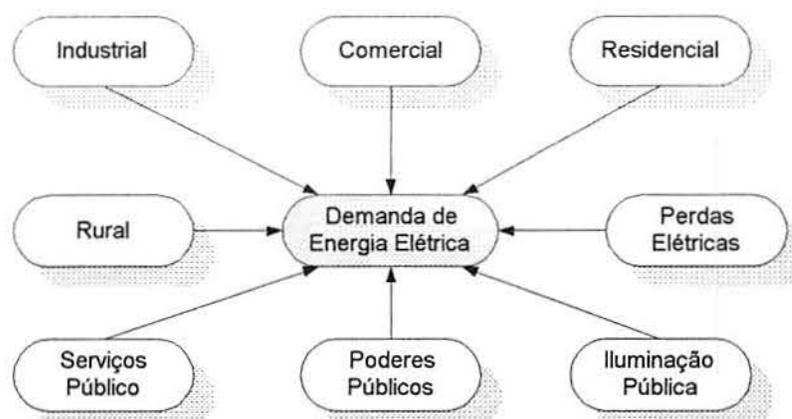


Figura 3.6 - Estrutura da Demanda de Energia Elétrica

3.3 PROCESSO DE PLANEJAMENTO DA DEMANDA [4]

O planejamento da demanda a longo prazo é determinado basicamente pelo nível de atividade econômica, pela política de preços dos energéticos em geral e pelas políticas de racionalização do uso de energia. A médio prazo, o planejamento é realizado de forma similar ao de longo prazo, com atualização dos parâmetros para este horizonte. A curto prazo, o planejamento é realizado a partir do consumo histórico, levando em conta fatores tais como: estrutura produtiva, grau de urbanização e características técnicas de equipamentos e eletrodomésticos. Este conjunto de variáveis pode ser visualizado na Figura 3.7.

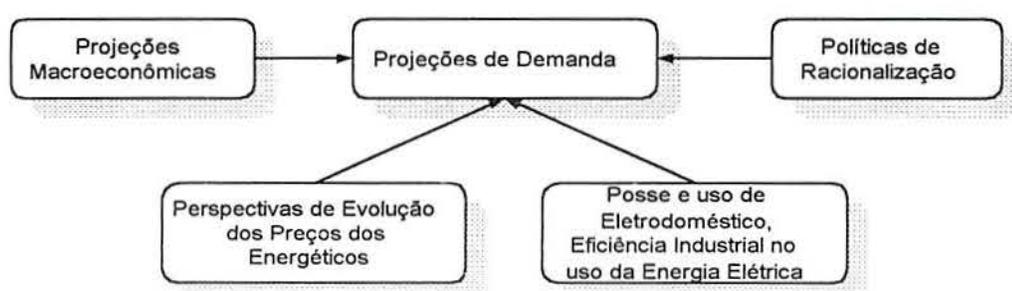


Figura 3.7- Variáveis Básicas da Projeção de Demanda

A projeção das diversas classes de consumo, a longo prazo, deriva de hipóteses sobre a trajetória da economia, a evolução das tarifas por classe, as perspectivas de conservação de energia e, em alguns casos, de hipóteses sobre os preços dos energéticos que possam competir com a eletricidade.

Os cenários de evolução do consumo de energia elétrica são construídos com base nas hipóteses acima relacionadas e em parâmetros que refletem diferentes níveis de incerteza na evolução da economia. A partir destes cenários, podem ser estabelecidas as possíveis trajetórias da demanda de eletricidade e identificadas as tendências da matriz energética, no que diz respeito à participação das diversas fontes primárias e secundárias. A Figura 3.8 esquematiza o processo de planejamento da demanda.

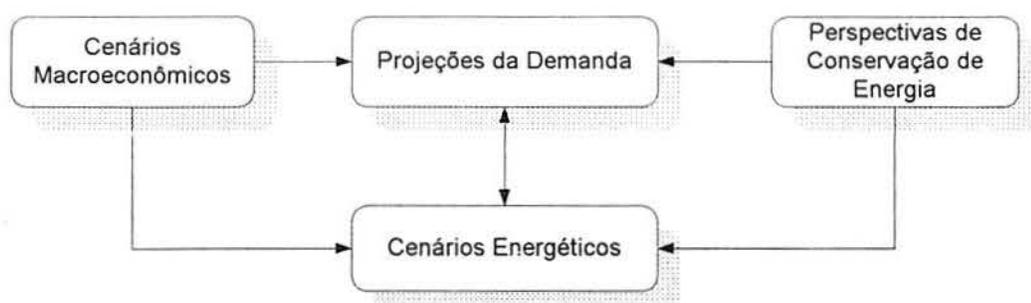


Figura 3.8 - Processo de Planejamento da Demanda

3.3.1 O Problema de Planejamento da Demanda Pré-Reforma

O objetivo básico do planejamento da demanda é quantificar e qualificar as necessidades futuras de energia elétrica dos consumidores finais, para que a empresa distribuidora possa oferecer um produto a baixo custo e qualidade, conforme padrões estabelecidos. A oferta deste serviço requer investimentos com longo prazo de maturação e elevado aporte de capital nos sistemas de geração, transmissão e distribuição.

Os estudos são elaborados levando em conta variáveis macroeconômicas, demográficas e de domicílios, de conservação e de hábitos de consumo. Essas variáveis, à medida que o horizonte de planejamento se estende, apresentam incertezas crescentes, dificultando o processo de quantificação da demanda. Este conjunto de fatores e a existência de regiões com estruturas sócio-econômicas diferenciadas condicionam a resolução do problema através de níveis.

3.3.2 Níveis no Planejamento da Demanda Pré-Reforma

O planejamento tradicional da demanda a longo prazo tem sido realizado pelo GCPS, sob coordenação da Eletrobrás, e executado pelas empresas distribuidoras estaduais. O planejamento é elaborado em três níveis: o primeiro nível, ou nacional, corresponde à projeção do consumo nacional; o segundo nível, ou regional, à projeção por região geográfica e geoeletrica; e o terceiro nível, ou local, à projeção por concessionária de distribuição. Em cada nível, o objetivo é determinar a evolução do consumo e as taxas de crescimento anuais.

3.3.3 Estrutura do Problema de Planejamento da Demanda Pré-Reforma

A Figura 3.9 ilustra o processo tradicional de planejamento da demanda. Inicialmente, são estabelecidas as premissas básicas, por região e por classe de consumo, referentes aos cenários macroeconômicos, demográficos e de domicílio, e as perspectivas de conservação e evolução dos principais setores industriais. A construção destes cenários leva em conta as tendências das séries históricas e as características de cada região e classe de consumo. O PIB é a principal variável de referência para os cenários macroeconômicos. Definidas as premissas, são realizadas as projeções por classe de consumo, que somadas totalizam a demanda nacional ou a demanda global.

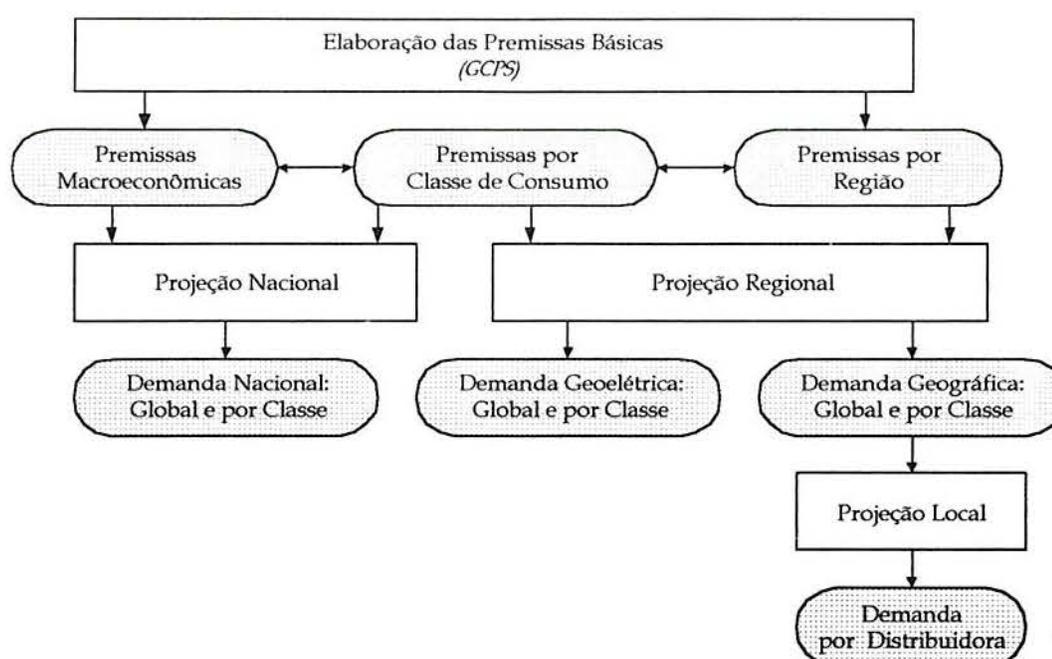


Figura 3.9 - Estrutura do Problema de Planejamento da Demanda: Pré-Reforma

A demanda total é detalhada por regiões geográficas, com base em hipóteses de comportamento da economia regional e outras premissas, tais como elasticidade-renda. As hipóteses regionais são ajustadas em conformidade com as hipóteses nacionais. Deste detalhamento resultam as projeções das regiões geográficas (Norte, Nordeste, Sudeste, Sul e Centro-Oeste) e geoeletricas (Norte geográfico com Maranhão, Nordeste sem Maranhão, Sudeste com Centro-Oeste sem Mato Grosso do Sul e Sul com Mato Grosso do Sul) do país.

Para estudos energéticos, a demanda a ser atendida, através dos sistemas interligados, é projetada para as chamadas regiões geoeletricas, que correspondem à configuração das empresas supridoras regionais.

A projeção da demanda por empresa de distribuição é elaborada considerando o fator de participação da empresa na região geográfica. Nessa estrutura, em que todos os consumidores localizados na área de concessão da empresa são cativos, a participação da empresa é dada pela relação entre a demanda da sua área de concessão e a demanda global da região geográfica onde a empresa se localiza.

3.4 EVOLUÇÃO DA METODOLOGIA DE PLANEJAMENTO DA DEMANDA

A constatação de que as projeções de demanda de energia elétrica geram, de imediato, decisões que envolvem desembolsos financeiros cujos reflexos só se materializam em períodos longos de tempo, como uma década ou mais, vem exigindo grandes mudanças na metodologia de planejamento da expansão [4], de forma geral, e na metodologia de planejamento da demanda, em particular.

O planejamento da demanda tem evoluído, ao longo das últimas três décadas, em resposta às alterações no contexto sócio-político-econômico em que as empresas de energia elétrica se inserem. Para melhor identificação de fatores determinantes de mudanças no estilo de planejamento, divide-se esse período histórico em quatro fases, conforme mostra o Quadro 3.2. Neste quadro, a metodologia das três primeiras fases refere-se à predominante, e da última, à emergente, embora essa evolução se dê em caráter contínuo e as metodologias coexistam nas diferentes fases.

A classificação dos enfoques metodológicos é feita de acordo com a nomenclatura, tradicionalmente, utilizada no setor elétrico, porém o enfoque probabilístico é um subconjunto do enfoque sob incerteza. No primeiro enfoque, o planejador explicita a incerteza na evolução das variáveis, através da atribuição de probabilidade aos eventos futuros, que apresentam regularidade estatística; no segundo, as variáveis incertas não apresentam regularidade estatística, o que impede sua representação probabilística. No entanto, os cenários são projetados com uma certa probabilidade de ocorrência, atribuída de forma subjetiva pelo planejador.

Quadro 3.2 - Evolução da Metodologia de Planejamento da Demanda

Fase	Enfoque Metodológico predominante/emergente
I	Determinístico
II	Probabilístico
III	Sob incerteza
IV	Mercado Competitivo

3.4.1 Fase I

Na Fase I, que se estendeu até o final da década de 70, o planejamento dos sistemas de energia elétrica se desenvolvia num ambiente de relativa estabilidade econômica, em que a expansão da oferta antecipava o crescimento da demanda [15].

Nesta época, a metodologia adotava um enfoque determinístico. Os modelos de projeção de demanda baseavam-se na extrapolação da série temporal de consumo de energia elétrica e na correlação do consumo com uma variável econômica (PIB, por exemplo). Em outros termos, a projeção resultava do uso de métodos econométricos, baseados em dados históricos e apoiados fortemente na teoria econômica, e séries temporais, baseadas em dados históricos sem recorrer a uma teoria subjacente. Essas projeções, segundo CARREIRO et al. [16], apresentavam considerável grau de acerto até o final da década de 70.

Na projeção determinística, a evolução da demanda é feita levando em conta somente um cenário, uma vez que a economia é estável e o comportamento histórico da demanda, em geral, se reproduz no futuro. Desse modo, o método determinístico pode ser associado a uma distribuição normal de consumo anual, com variância pouco significativa, isto é, a média é um descritor sufici-

ente à evolução da demanda. O horizonte e o detalhamento das projeções variam de acordo com o objetivo do estudo (planejamento da geração, ou transmissão, ou distribuição ou plano de operação).

Para o médio e longo prazos, consideram-se, principalmente, as perspectivas de crescimento demográfico e a evolução dos grandes agregados macroeconômicos. Nesse caso, as projeções podem ser realizadas utilizando-se tanto os modelos de extrapolação simples quanto os de correlação, que serão apresentados posteriormente. Para o curto prazo, segundo BRANDÃO [21], a projeção de consumo por classe, incluindo índices de perdas, fator de carga e vendas em grosso, segue a metodologia do DNAEE (Portaria 760 de 1 de julho de 1976), conforme será detalhado a seguir. As classes residencial e industrial são as de maior importância, pois representam aproximadamente 75% do consumo global do país.

Consumo Residencial

A projeção é obtida pelo produto do número de consumidores residenciais e do consumo por consumidor residencial.

A projeção do número de consumidores é elaborada com base na evolução prevista do número de domicílios, resultante de estudo demográfico, e na projeção da taxa de atendimento, definida como a relação entre o número de consumidores residenciais e o número total de domicílios.

Levam-se em conta a tendência da série histórica e o número de domicílios previsto no estudo demográfico, considerando diferentes hipóteses sobre o processo de penetração de energia elétrica em cada área; consideram-se também possíveis rupturas, localizadas no tempo, do padrão de expansão tradicional, tais como: programas de incorporação de consumidores de baixa renda, construção de grandes conjuntos habitacionais, expansão acentuada de áreas urbanas, etc.

Nessas condições, o consumo por consumidor residencial é obtido considerando-se:

- a análise da tendência histórica;
- a correção do efeito da absorção de novos consumidores de baixa renda e, conseqüentemente, baixo consumo (programas especiais);
- saturação do crescimento de consumo por consumidor em função do aumento da renda.

O consumo por consumidor pode ser obtido pela projeção de tendências históricas ou por analogia com áreas semelhantes à área estudada. A informação sobre o estoque de aparelhos eletrodomésticos e características domiciliares é obtida por censos demográficos ou através de pesquisas diretas.

Consumo Industrial

O consumo industrial a curto e médio prazos é projetado em dois segmentos: consumidores tradicionais, projetados a partir da tendência histórica, e grandes consumidores, analisados individualmente.

A projeção do segmento tendencial é realizada de forma agregada e baseia-se na evolução histórica, através de uma curva que se ajusta de forma apropriada. A projeção de consumo dos grandes consumidores é elaborada através de pesquisa direta junto aos setores eletro-intensivos, metalurgia e siderurgia, por exemplo, considerando as políticas governamentais para cada setor.

No horizonte de longo prazo, a projeção do consumo é elaborada regionalmente, com base na correlação entre a demanda e a renda interna do setor secundário. Resulta daí o consumo total, incluindo as parcelas de energia, a ser fornecido pelas concessionárias e pela autoprodução. Após ajustes feitos, em função das características da área em estudo, é retirada a geração líquida dos autoprodutores, que resulta na energia a ser suprida pelas empresas concessionárias de cada região ao setor industrial. Na seqüência, é analisada a participação percentual de cada setor industrial em relação ao consumo industrial de cada estado e é realizada a projeção desta participação para os anos seguintes. Nessa análise são considerados:

- os efeitos multiplicadores das grandes cargas industriais, que tendem a aumentar o consumo de energia também por outros setores (residencial, comercial, etc.);
- as políticas de desenvolvimento regional e estadual;
- as perspectivas de evolução da renda e da população local;
- os recursos naturais, principalmente no que se refere aos minerais.

A projeção do consumo industrial a curto e médio prazos apresenta algumas peculiaridades em relação à de longo prazo. Destas, a mais relevante refere-se à relação entre o nível de renda e o consumo de energia elétrica no longo prazo, definido pela evolução da economia. A curto e médio prazos, o comportamento da demanda está mais ligado a medidas específicas de cada setor e à evolução das séries históricas pertinentes.

Consumo das Classes Comercial e Serviços, Poderes Públicos, Iluminação Pública e Água, Esgoto e Saneamento

A projeção do consumo para essas classes é feita por correlação com a classe residencial, com exceção das grandes cargas da classe comercial, que têm tratamento em separado; a classe de serviços públicos é feita por extrapolação de dados históricos.

Para a classe de iluminação pública, além das duas técnicas citadas, pode-se utilizar a informação disponível sobre a expansão dos serviços de iluminação. A projeção desta classe também tem sido realizada através do produto da projeção do número de consumidores residenciais e dos índices Watts/poste e poste/consumidor residencial.

Para projetar o consumo da classe Água, Esgoto e Saneamento são avaliadas as cargas dos sistemas de abastecimento de água e das instalações de recalque e tratamento de esgotos, considerando-se, em geral, nos primeiros anos, as cargas de projeto. Para os anos seguintes é utilizada a correlação entre o consumo residencial e o número de consumidores residenciais, ou mesmo a extrapolação da tendência histórica deste segmento de consumo.

Classe de Consumo Rural, Tração Elétrica, Próprio e Canteiros de Obras

O consumo rural é projetado a partir da tendência histórica e dos programas de eletrificação rural das concessionárias, das cooperativas e dos órgãos municipais, regionais e federais. De forma semelhante, o consumo em tração elétrica é projetado a partir da evolução verificada e dos programas de instalação e expansão desses serviços.

O consumo próprio refere-se à energia consumida pela concessionária e mantém, em geral, uma participação percentual aproximadamente constante no consumo global. Já o consumo referente aos canteiros de obras é projetado a partir da programação de obras das concessionárias.

Consumo Total

O consumo total resulta da soma das projeções dos consumos por classe e é expresso em GWh/ano, por exemplo.

Projeção dos Requisitos de Energia e Ponta

▪ Requisitos de Energia

Os requisitos anuais de energia (MWano ou GWh) correspondem ao fluxo de energia fornecida pelo sistema supridor. Se a medição se referir à saída das usinas, deve levar em conta as estimativas das perdas existentes no sistema de suprimento. No dimensionamento das perdas, analisam-se a série histórica do índice de perdas, as distâncias médias de transmissão, os programas de reformas das redes e a evolução verificada e prevista dos suprimentos em grosso e do fornecimento a *forfait* (sem medição direta).

▪ Requisitos de Ponta

Os requisitos de ponta correspondem ao estoque de capacidade instalada necessário para atender à demanda máxima e permitem dimensionar a capacidade instalada do sistema supridor.

Sabe-se que a potência demandada não é uniforme ao longo do ano. A relação entre a potência média e um dado fator de carga corresponde à potência máxima requerida. Esse fator de carga é estimado através de uma correlação linear múltipla com as três principais classes de consumo: residencial, industrial e comercial.

No caso de sistemas interligados, a estimativa dos requisitos de ponta depende não só da configuração futura do sistema, mas também dos horários de ocorrência das demandas máximas em cada subsistema, o que torna a estimativa dos requisitos de ponta mais complexa que a de energia.

No caso de sistemas isolados, como os da região Norte, por exemplo, os requisitos de ponta correspondem ao somatório das demandas máximas dos sistemas integrantes. No caso dos grandes sistemas regionais do Nordeste, Sul, Sudeste e Centro-Oeste, utiliza-se um fator de diversidade de forma a se estimar a demanda de ponta de cada um e a contribuição ao sistema como um todo.

A técnica determinística parte do estudo da evolução de variáveis demográficas, econômicas, sociais e programas setoriais específicos, relacionando-as com o comportamento da demanda e com possíveis distorções na sua evolução. Como o grau de incerteza aumenta à medida que o horizonte de estudo é estendido, em função da complexidade do problema, falta de compreensão das relações causa-efeito e de deficiência de informação [39], essa técnica é aplicável no planejamento de curto prazo e também no contexto de cenários, como metodologia básica para gerar os cenários, individualmente considerados.

3.4.2 Fase II

A partir da década de 80 a economia entra em um período recessivo. O mercado de energia elétrica, tanto pelo lado da oferta quanto da demanda, apresenta incertezas crescentes. Neste quadro, os métodos determinísticos, até então usados no planejamento da demanda, em termos mundiais, cedem lugar aos métodos probabilísticos, como forma de tratar as incertezas. No Brasil, estes métodos não foram utilizados no planejamento da demanda a longo prazo do setor elétrico.

Como exemplo de um método probabilístico para a projeção da demanda, cita-se o método proposto por LATHAM et al. [22]. O método consiste em separar o sistema em componentes, de modo a projetar separadamente cada um deles e, após, agrupá-los para obtenção da projeção total. O processo é ilustrado na Figura 3.10 e representa uma projeção com dois ou mais componentes.

Como componentes típicos sujeitos à análise, menciona-se:

- *a população da área de serviço*: pode englobar a população resultante do seu crescimento local mais aquela originária de movimentos migratórios, devido a políticas governamentais, por exemplo;

- *a demanda industrial*: consiste no somatório da demanda de grandes consumidores, individualmente analisados, e dos demais consumidores industriais, segundo a evolução da tendência;
- *a demanda/mês por consumidor*: consiste na demanda média dos consumidores não enquadrados no componente anterior;
- *o índice de nível de negócios*: consiste na avaliação da demanda de acordo com o tipo de serviço desenvolvido pela empresa.

Nesse método, inicialmente, os dados são separados em componentes e convertidos em médias e variâncias e, após, os componentes são projetados, associados a uma probabilidade de ocorrência. Segundo os autores, parte-se dos dados históricos, faz-se a extrapolação, com uso de ajuste de curvas e o método dos mínimos quadrados, e acrescenta-se o julgamento do planejador.

Realizada a projeção global é feita a análise de sensibilidade, através da alteração no comportamento dos componentes (variáveis). Com isso, o planejador terá informações a respeito da importância de cada variável e da sua influência na projeção total.

O método de Latham, em relação ao método utilizado na Fase I (determinístico), é a projeção de vários fatores agregados em quatro componentes básicos, considerando a probabilidade de evolução de cada componente identificado.

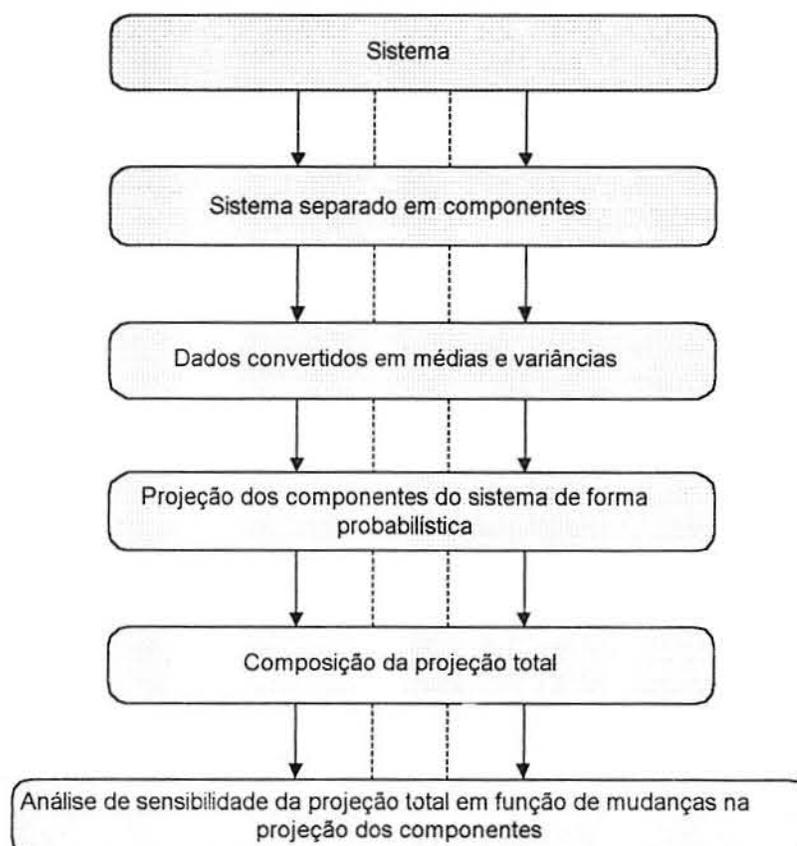


Figura 3.10 - Metodologia de Projeção Probabilística

No final da década de 80 a constatação de grandes desvios entre os valores projetados e os realizados conduziram ao desenvolvimento de novas metodologias de projeção de demanda [17], iniciando, assim, a terceira fase de planejamento.

3.4.3 Fase III

A década de 90 inicia-se com uma política de abertura da economia brasileira, ampliando o grau de incerteza quanto à evolução da demanda a longo prazo. Os fatores de incerteza, como taxa de juros, por exemplo, são de difícil quantificação e atribuição de probabilidades, pois estão relacionados a aspectos comportamentais, ambientais e macroeconômicos. A projeção de demanda passa, então, a ser abordada sob o enfoque de incertezas não probabilizáveis.

O resultado das projeções não é mais “mono-cenário”, mas sim uma “árvore” de cenários, com base na qual pode ser estabelecida uma estratégia de expansão em que periodicamente é definido o próximo passo. Esta estratégia contempla o critério de minimização do máximo arrependimento em substituição ao de custo mínimo, que vigorou na Fase I [17]. A característica desse procedimento de projeção é tratar a demanda de forma qualitativa, ou seja, via técnicas qualitativas.

No processo de elaboração dos cenários, o planejador deve buscar as informações que irão compor uma base de dados que será incorporada ao processo de planejamento. Entende-se aqui por base de dados não somente as séries históricas das variáveis, mas também o seu inter-relacionamento e o seu peso no resultado final. A base de dados deve incluir todas as variáveis consideradas relevantes para o processo de projeção, de forma similar às técnicas tradicionais. A partir daí, é necessário identificar aquelas que necessitam de um tratamento diferenciado.

Uma vez definidas as variáveis sujeitas às incertezas, pode-se destacar aquelas de caráter determinante (variáveis independentes no contexto global) das dependentes (aquelas que também são relevantes, mas podem ter seu comportamento alterado pelas anteriores).

A seguir, define-se de que forma ocorre a influência entre as variáveis. A definição deste inter-relacionamento possibilita que o planejador analise a sensibilidade do comportamento de uma variável frente a alterações em outras variáveis, visando identificar as que têm maior influência no comportamento da demanda.

Após esta etapa, tem-se condições de construir os futuros, considerando o comportamento das variáveis que têm maior peso no processo de projeção. Cada um destes futuros, chamados cenários, terá características próprias que o diferenciará dos demais, pois serão construídos sob hipóteses distintas. O processo de construção de cenários é representado na Figura 3.11.

Inicialmente, monta-se uma base de informações sobre a qual se baseiam os planos a serem adotados pela empresa. Além da análise dos fatores externos à organização, o planejador deve tam-

bém dispensar atenção às informações em nível de empresa, o que envolve recursos tecnológicos, humanos e financeiros, pontos fortes e fracos da empresa, entre outros.

Com isso, busca-se determinar de que forma os fatores em estudo se comportaram no passado, a situação atual e possíveis tendências, visando construir cenários nos quais a empresa estará inserida, considerando continuidades e/ou rupturas no comportamento das variáveis que compõem o processo de projeção.

A garantia de que os cenários construídos representam situações plausíveis deriva da sua coerência interna e da representatividade de cada um deles no que se refere ao resultado final da evolução e composição de um conjunto de variáveis.

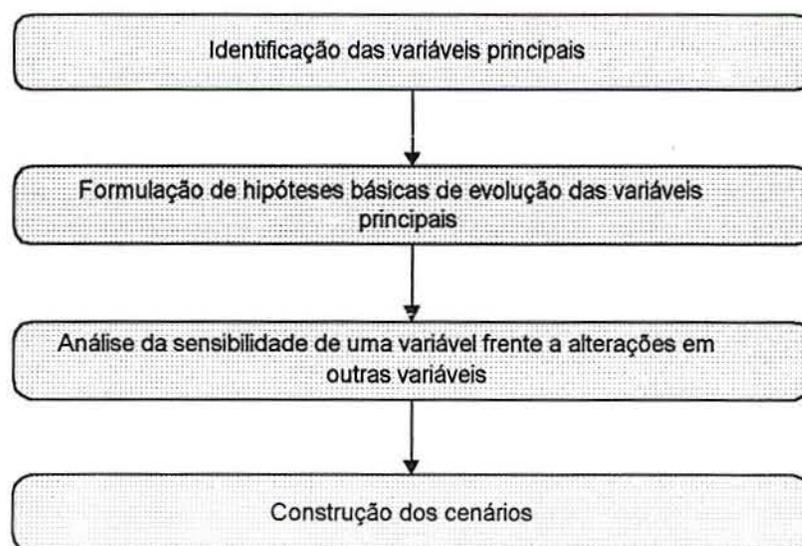


Figura 3.11 - Processo de Construção dos Cenários

Para que possam ser instrumentos úteis de análise, os cenários devem apresentar as seguintes características [20]:

- *relevância*: os eventos que compõem cada cenário devem ser importantes do ponto de vista do impacto que causam na projeção;
- *identidade*: na sua essência, a técnica de cenários deve prover um conjunto de alternativas que favoreçam o processo de tomada de decisão, o que será facilitado se for possível realizar claras distinções entre os cenários apresentados. Evita-se, portanto, que dois ou mais cenários tenham características básicas semelhantes;
- *coerência e plausibilidade*: um cenário é a representação de um futuro possível no qual deverá haver concordância no comportamento das variáveis. Não seria lógico considerar uma economia em recessão e com retração de investimentos juntamente com elevação dos níveis de emprego, por exemplo;

- *transparência*: todo o processo de planejamento tem por objetivo fornecer ao decisor opções, de modo a determinar o melhor caminho para uma empresa, seja com relação a novos investimentos, seja com relação ao mercado consumidor, etc. A opção por um ou outro cenário é facilitada quando cada cenário está claramente definido. Muitas informações e opções apresentadas de forma difusa e desorganizadas tendem a confundir e tornar complexa a decisão.

Na Fase III, a projeção da demanda é realizada através da técnica de cenários, visando projeções mais realísticas. O uso da extrapolação de tendências para a determinação de variáveis e parâmetros parte do pressuposto de que a série histórica contém a dinâmica que se perpetuará no futuro. Contudo, os fatores que afetam o comportamento do consumidor (hábitos de consumo, tarifa, entre outros), a inter-relação entre eles e o tempo para que esses fatores influenciem dinamicamente a demanda não são contemplados com a técnica em uso, podendo levar a resultados inesperados.

A variável preço também é desconsiderada na metodologia atual, pois no regime de monopólio regulado, principalmente na classe industrial, a energia era subsidiada, tornando o efeito do preço pouco significativo na evolução da demanda. Todavia, SERRA [15] relata que a demanda é tratada de forma exógena ao processo de planejamento da expansão do sistema elétrico e, se um tratamento especial fosse dado, no qual as restrições de oferta e as avaliações sobre o uso mais eficiente dos recursos energéticos fossem representados através do preço da energia, esse tratamento deveria melhor explicar a evolução da demanda. Com o fim do monopólio, que dá início à próxima fase de planejamento, a ressalva do autor é importante.

3.4.4 Fase IV

Atualmente, final da década de 90, com a continuação da política de abertura da economia associada à privatização de empresas sob controle do Estado nos setores de infra-estrutura, a metodologia de planejamento da demanda deve ser novamente adequada à nova realidade.

No contexto emergente, tanto a oferta quanto a demanda deverão ser tratadas de forma dinâmica, uma vez que a oferta de energia só ocorrerá se os projetos forem rentáveis e a demanda será mais sensível aos sinais de preço. Este novo comportamento do mercado mostra que a metodologia de planejamento da demanda deverá evoluir da atual abordagem “planejamento sob incerteza” para uma nova abordagem, a de “planejamento em ambiente competitivo” [2].

Até 1995, o setor elétrico brasileiro se caracterizava por uma estrutura monopolística e regulada (via tarifas e área de concessão) nos segmentos de geração, transmissão e distribuição. Neste ambiente, a missão básica de uma empresa de energia elétrica era atuar de forma rentável, satisfazendo com qualidade as necessidades de seus clientes e contribuindo para o desenvolvimento econômico, tecnológico e social na área de atuação.

Para cumprir esta missão, a empresa elaborava a projeção da demanda por classe de consumo. Com base nesta projeção, era definido um plano de expansão, que servia de referência para estimar as necessidades de investimento, e também eram estimadas as receitas de venda de energia.

A demanda das empresas geradoras era composta pelos requisitos de energia em sua área de concessão e por contratos de suprimento, estabelecidos na etapa de planejamento da expansão. No caso das empresas distribuidoras, a demanda era definida diretamente pelos requisitos de energia em sua área de concessão. Nas empresas verticalmente integradas, a definição da demanda a ser atendida visava ajustar a oferta (endógena e importações) à demanda nativa.

Em resumo, no modelo institucional vigente até 1995, a caracterização e a projeção da demanda de energia elétrica podia ser realizada sob um enfoque puramente técnico (sistema de energia elétrica), a partir das características sócio-econômicas de cada área de concessão, sem necessidade de incluir aspectos estratégicos na análise. Estes aspectos têm efeitos sobre o planejamento da demanda, além dos já mencionados na seção 2.5, conforme detalhados a seguir.

3.5 EFEITOS DA REFORMA SOBRE A METODOLOGIA DE PLANEJAMENTO DA DEMANDA

A completa implementação da reforma terá conseqüências tanto pelo lado da oferta, através do desmembramento vertical das atividades de geração, transmissão e distribuição, quanto pelo lado da demanda, através de uma nova segmentação do mercado consumidor.

O desmembramento vertical das empresas de energia elétrica terá os seguintes desdobramentos:

- geração e comercialização: atividades desregulamentadas e competitivas;
- transmissão e distribuição: atividades monopolísticas e regulamentadas.

Este desmembramento fará com que as atividades de caracterização e projeção da demanda, atualmente realizadas de forma integrada, passem a ser desenvolvidas por empresas especializadas em geração, transmissão e distribuição, como segue:

- nas empresas de geração, cujo objetivo é a gestão competitiva de ativos de geração (planejamento, aquisição/construção, operação e manutenção), a demanda a ser atendida dependerá basicamente dos contratos de venda de energia celebrados entre estas empresas e seus clientes;
- nas empresas de transmissão, cujo objetivo é o transporte regulado de energia em alta tensão (acima de 230 kV) em uma área de concessão, a demanda a ser atendida dependerá de contratos firmados entre geradoras, distribuidoras/varejistas e consumidores livres e de contratos entre estes agentes e o MAE;

- nas empresas de distribuição/comercialização, cujo objetivo é o transporte regulado de energia em média tensão (abaixo de 230 kV) e/ou o atendimento regulado de consumidores em sua área de concessão, a definição da demanda a ser atendida será mais complexa e envolverá decisões de caráter estratégico.

Por sua vez, a nova segmentação do mercado consumidor está ligada à criação da figura do consumidor livre, com os seguintes desdobramentos:

- consumidores qualificados como “livres”, a partir de níveis de tensão e de demanda especificados pelo órgão regulador, poderão optar por fornecimento a partir de geradoras ou comercializadoras externas à sua área de concessão original ou diretamente do MAE; em contrapartida, a distribuidora local deverá atendê-los, cobrando, para isso, uma tarifa pelo uso de seu sistema;
- os demais consumidores, não qualificados como livres, permanecerão “cativos”, ou seja, não poderão optar por fornecimento a partir de geradoras ou comercializadoras externas à sua área de concessão inicial; em contrapartida, continuarão protegidos, já que a distribuidora local tem a obrigação de servi-los.

Com esta nova segmentação de mercado, o conjunto de consumidores de uma área de concessão será dividido em três grupos de consumidores, como segue:

- consumidores cativos: distribuidora tem a obrigação legal de atender;
- consumidores livres optantes: distribuidora tem a obrigação contratual de atender;
- consumidores livres não optantes: distribuidora tem a obrigação de atender, mesmo sem cobertura contratual, de acordo com o tratamento isonômico previsto legalmente.

Em consequência, o objetivo dos estudos de demanda, no novo modelo institucional, deverá ser reformulado não só para desvincular a caracterização e projeção da demanda do conceito de “área de concessão”, o que pode ser feito através do conceito de “Base de Consumidores” (BdC), mas também para levar em conta aspectos da estratégia de negócios, através do conceito de “Participação de Mercado” (PdM).

A BdC e a PdM são conceitos úteis para descrever, analisar e projetar a evolução da demanda de empresas especializadas, mas tem diferentes papéis no desenho da estratégia de uma empresa de energia elétrica. Em geral, os objetivos estratégicos de uma empresa são inicialmente enunciados em termos de metas para a PdM (“aumentar a PdM em 5% ao longo do próximo biênio”, por exemplo), que por sua vez orientam as ações empresariais. A BdC, por sua vez, pode ser vista como um recurso estratégico da empresa, na medida em que viabiliza, via receitas de venda de energia, a obtenção das metas de PdM.

No entanto, a evolução da BdC não é totalmente controlável pela empresa, pois depende da evolução da economia, que independe da empresa, e das decisões de consumidores livres, que podem ser influenciadas, em parte e indiretamente, pelas ações empresariais. Estes distintos papéis da BdC e da PdM devem ser adequadamente caracterizados nos métodos e modelos de projeção da demanda, para ajustá-los ao ambiente competitivo. Ambos os conceitos são analisados em detalhes a seguir.

3.5.1 Base de Consumidores e Participação de Mercado

A “Base de Consumidores” (BdC) de uma empresa pode ser conceituada como o conjunto de consumidores que atende aos seguintes requisitos:

- a empresa tem obrigações legais ou contratuais de atender a cada consumidor da sua BdC, nos limites da regulamentação vigente;
- a oferta de energia elétrica (endógena ou contratada a longo prazo) da empresa deve obrigatoriamente equilibrar a demanda agregada de sua BdC, mesmo que a empresa necessite contratar o restante de sua demanda aos preços do MAE;
- a demanda agregada de uma BdC pode variar em função da intensidade e forma de uso da eletricidade por parte de seus consumidores, sem que necessariamente a base de consumidores em si mesma seja alterada;
- a variação do número de consumidores de uma BdC decorre exclusivamente da entrada ou saída de consumidores cativos e de consumidores livres optantes.

Observa-se, pela definição anterior, que uma base de consumidores pode englobar todos ou parte dos consumidores existentes dentro de uma área de concessão, além de consumidores livres externos a esta área. No modelo institucional anterior, a evolução de uma BdC era determinada exclusivamente pela variação do número de consumidores dentro da área de concessão.

No novo modelo institucional, a evolução de uma BdC dependerá não somente da variação “natural” do número de consumidores numa área de concessão, mas também de decisões de consumidores livres, pertencentes ou não a esta área.

“Participação de Mercado” (PdM) é um conceito tradicional em marketing (*market share*) e define a percentagem de mercado global atendida por uma empresa. No caso de empresas de energia elétrica, a PdM representa a participação percentual da empresa na demanda global de um país ou região, caracterizando sua posição competitiva no contexto da indústria como um todo ou de um particular segmento da indústria.

No modelo institucional anterior, a PdM de uma distribuidora/comercializadora era idêntica à relação entre a demanda de sua área de concessão e a demanda global da região ou país (fator de participação), pois não havia consumidores livres.

No novo modelo institucional, a PdM de uma distribuidora/comercializadora só será igual ao fator de participação se todos os consumidores livres localizados na sua área de concessão forem optantes. Como este é um caso particular, uma definição mais geral de PdM, adequada ao novo modelo institucional, é a que relaciona a demanda agregada da BdC com a demanda agregada da indústria ou segmento.

Esta relação estabelece, portanto, uma conexão adequada entre os conceitos de BdC e PdM, pois desvincula a PdM de uma área de concessão, ao mesmo tempo em que permite generalizar a modelagem da demanda, na medida em que uma empresa especializada pode ser detentora ou não de uma área de concessão, mas terá sempre uma BdC associada.

Com a nova segmentação do mercado consumidor das empresas D/C's, o problema de projeção da demanda amplia seu escopo e muda o foco do planejamento da demanda, conforme será analisado nos itens seguintes.

3.5.2 O Problema de Planejamento da Demanda Pós-Reforma

O planejamento da demanda em âmbito nacional e regional será mantido, mas agora em caráter indicativo. A metodologia e os modelos em uso são adequados. A projeção da demanda empresarial (D/C) deverá considerar que a demanda global da empresa é composta de demanda cativa e demanda livre. Nesta última, o comportamento dos consumidores livres, na área e fora da área de atuação da empresa, deve também ser considerado.

Uma parcela da demanda atualmente cativa poderá integrar-se à parcela de demanda livre. Assim, a empresa passa a contar com duas fronteiras de transição de consumidores uma interna e outra externa. A primeira refere-se ao movimento de consumidores dentro da empresa, isto é, de consumidores cativos para consumidores livres (optantes e não optantes), enquanto a segunda diz respeito ao movimento de consumidores para fora da empresa, ou seja, de consumidores livres não optantes para outra fornecedora.

As transições, os tempos associados a cada transição e o movimento das fronteiras têm reflexos na evolução da demanda a ser atendida pela empresa e afetam a base de consumidores, a participação de mercado, os contratos de suprimento, os riscos, etc. Por conta disto, o problema sugere que a demanda agregada seja estimada visando ao atendimento da base de consumidores e não ao atendimento da demanda prevista na área de concessão, como nas Fases I, II e III.

O problema assim colocado contém complexidade dinâmica, isto é, incerteza de origem comportamental dos consumidores e das empresas ao longo do tempo, além das já conhecidas incertezas na evolução da demanda (macroeconômicas, demográficas, domicílios, conservação, hábitos de consumo, etc.). O novo tipo de incerteza, que não é considerado na metodologia e nos modelos tradicionais, passa a existir a partir da nova regulamentação setorial.

Em sistemas de energia elétrica, o termo complexidade é usado como sinônimo de elevado número de variáveis, explosão combinatorial, etc. Sob o paradigma da DS, o termo é usado, conforme SENGE [60], “em situações nas quais causa e efeito são sutis, os efeitos ao longo do tempo não são óbvios, a mesma ação provoca efeitos muito diferentes a curto e longo prazos e uma ação provoca um conjunto de conseqüências localmente e um outro conjunto muito diferente em outra parte do sistema”.

Na Fase IV, o problema de planejamento da demanda deverá ser resolvido por níveis, como anteriormente, porém contemplando os novos condicionantes da evolução da demanda, assim:

- nível setorial (macroeconômico) o objetivo é projetar a demanda global para dar início ao planejamento da expansão, com vistas ao atendimento da demanda do país e também por regiões geográficas e geoeletricas, em busca do atendimento das demandas regionais. Neste nível, a estimativa da demanda segue os princípios do planejamento indicativo da expansão.
- nível empresarial (microeconômico) o objetivo é estimar a demanda da empresa D/C, considerando a sua participação na região onde se localiza, tendo como referência a projeção do nível anterior e, principalmente, o comportamento do mercado.

3.5.3 *Enfoques no Planejamento da Demanda Pós-Reforma*

▪ **Enfoque Macroeconômico: Planejamento da Demanda Setorial**

O objetivo é construir cenários de demanda de energia elétrica do país e por regiões. As incertezas de origem econômica (evolução do PIB, por exemplo); social (crescimento populacional, urbano e rural) e tecnológica (potencial de conservação devido a equipamentos mais eficientes) são também consideradas.

A premissa básica desta atividade seria a existência de mecanismos regulatórios que garantiriam o atendimento regulado na distribuição. Com isso, viabiliza-se o uso da metodologia e dos modelos tradicionais no planejamento da demanda a longo prazo.

O horizonte de análise do planejamento indicativo da demanda cobriria um período de 12 a 15 anos, de modo a balizar as estratégias de expansão do setor elétrico; com revisão anual, para ajustes nas projeções de demanda; e revisão de premissas a cada cinco anos, para levar em conta alterações nas taxas de crescimento da economia, comportamento da inflação, crescimento real dos níveis

tarifários, níveis de exportação dos grandes consumidores industriais e políticas de conservação, por exemplo.

O produto final desta atividade seriam os cenários de demanda regional a longo prazo, que estabeleceriam os parâmetros de interface para o próximo enfoque, onde efetivamente ocorre a segmentação do mercado consumidor.

O planejamento indicativo da demanda será executado pelo Comitê Coordenador do Planejamento da Expansão de Sistemas Elétricos (CCPE), com apoio das empresas D/C's. Com isso, o estilo de planejamento tradicional (integrado e participativo) seria preservado no processo de planejamento da demanda setorial.

As características do planejamento da demanda sob o enfoque macroeconômico são resumidas no Quadro 3.3.

Quadro 3.3 – Enfoque Macroeconômico: Planejamento da Demanda Setorial

Objetivo	Projeção da demanda por região e por área de concessão
Escopo	Indústria (sistema interligado e área geográfica)
Enfoque	Macroeconômico
Horizonte de análise	12 a 15 anos
Natureza do processo	Cíclico, com revisão anual e reformulação quinquenal
Produto principal	Plano indicativo (cenários de demanda a longo prazo)
Entidade executora	CCPE, com apoio das empresas D/C's
Parâmetros de interface	Projeção da demanda a longo prazo por região geográfica
Natureza do problema	Estruturado
Suporte à decisão	Modelos de cenários

Fonte: Adptado de MOROZOWSKI [28]

▪ **Enfoque Microeconômico: Planejamento da Demanda Empresarial**

Neste enfoque, o objetivo do planejamento da demanda passa a ser a projeção da demanda agregada da base de consumidores da empresa, com vistas a manter ou ampliar a sua participação, sujeito às restrições técnicas (critérios estabelecidos à qualificação de consumidores cativos e livres e limites de participação).

Metas estratégicas de participação são aqui estabelecidas, levando em conta as incertezas quanto ao comportamento dos agentes de mercado (concorrentes e consumidores livres). As metas e as incertezas a elas associadas deverão também ser consideradas na formulação do plano de investimentos (projetos de expansão e negócios referentes à compra de energia).

As características do planejamento da demanda sob o enfoque microeconômico, necessário à implementação de uma nova metodologia, são resumidas no Quadro 3.4.

Quadro 3.4 - Enfoque Microeconômico: Planejamento da Demanda Empresarial

Objetivo	Projeção da demanda agregada da base de consumidores, metas de participação
Escopo	Participação de mercado
Enfoque	Microeconômico
Horizonte de análise	5 a 10 anos
Natureza do processo	Cíclico, com revisão em função de oportunidades e ameaças
Produto principal	Segmentação da demanda global da empresa (cativa e livre) e participação de mercado
Entidade executora	Empresa D/C
Parâmetros de interface	Participação de mercado
Natureza do problema	Semi-estruturado (envolve fatores técnicos e comportamentais)
Suporte à decisão	Modelos técnicos (cenários de demanda) e estratégicos (divisão de mercado)

Fonte: Adptado de MOROZOWSKI [28]

3.5.4 Estrutura do Problema de Planejamento da Demanda Pós-Reforma

A estrutura proposta para o problema de planejamento da demanda engloba os níveis setorial e empresarial, como ilustrada na Figura 3.12. Nesta estrutura, a projeção da demanda setorial se diferencia da tradicional (pré-reforma) em dois aspectos: o agente executor, agora o CCPE, e o nível de decomposição da demanda global.

A partir de 1997 os planos decenais, por exemplo, apresentam como resultado final do processo de decomposição a projeção da demanda por região (geométrica e geográfica), e não mais por empresa distribuidora, como usualmente. Isto gera uma nova situação: como decompor a demanda destas empresas, que influem na projeção regional? Neste sentido, propõe-se a participação de mercado, como parâmetro de decomposição.

Desta forma, inicialmente, a demanda projetada por regiões geográficas, com uso do conceito tradicional de área de concessão, é o dado de entrada do nível empresarial, cujo agente executor é a própria empresa D/C; baseada nesta informação, a empresa poderá realizar a segmentação de sua demanda e de concorrentes, com hipóteses sobre estas últimas de demanda cativa e livre, possivelmente de natureza histórica. O montante das parcelas de cada empresa resulta na demanda agregada da base de consumidores e define a participação.

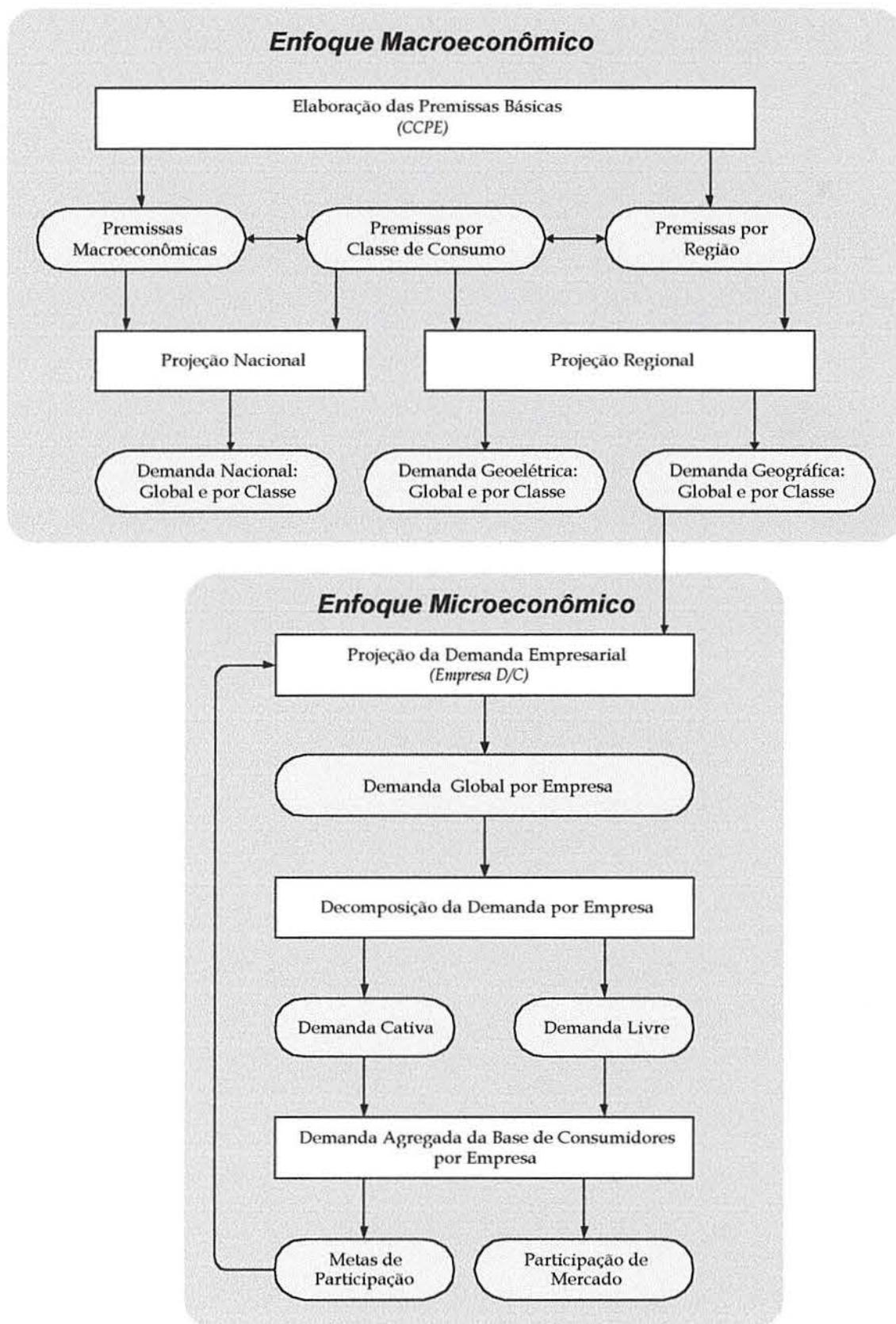


Figura 3.12 – Estrutura Proposta do Problema de Planejamento da Demanda

A extinção da reserva de mercado das empresas D/C's sugere o estabelecimento de metas de participação. A decomposição serve como instrumento de apoio na elaboração das metas. Assim, as metas retornam à projeção da demanda empresarial, através de um mecanismo de realimentação, para que a empresa possa avaliar sua capacidade em atender à demanda prevista, em termos de contratos de suprimento e planos de expansão, por exemplo.

Cabe agora analisar os aspectos metodológicos envolvidos na nova estrutura, sendo que no planejamento da demanda empresarial deverão ser incorporados mais direta e intensamente os aspectos relacionados ao ambiente competitivo.

3.6 METODOLOGIA PARA PLANEJAMENTO DA DEMANDA EM AMBIENTE COMPETITIVO

Nesta seção procura-se sistematizar a metodologia de planejamento da demanda setorial e empresarial, de acordo com os enfoques descritos anteriormente.

3.6.1 Enfoque Macroeconômico

A metodologia a ser adotada no planejamento indicativo da demanda deverá seguir, de forma geral, a metodologia tradicionalmente aplicada no planejamento da demanda a longo prazo, no âmbito do GCPS, como ilustrada na Figura 3.13.

As projeções são elaboradas tomando como referência os resultados dos seguintes estudos [4]:

- cenários macroeconômicos;
- população e domicílio;
- expectativas de evolução das tarifas no horizonte de estudo;
- expansão dos grandes consumidores industriais e da autoprodução;
- programas e metas de conservação de energia;
- expectativas de atuação sobre a demanda, como a utilização da tarifa para induzir determinado comportamento para a curva de carga, por exemplo.

A cada cenário macroeconômico corresponde um cenário de demanda, este último obtido de uma referência básica, como a última projeção de médio prazo, por exemplo. As projeções são ajustadas às características de cada cenário, onde os parâmetros são redefinidos para preservar a coerência dos resultados a curto, médio e longo prazos. Adicionalmente, procura-se compatibilizar os resultados globais com as expectativas das cinco regiões geográficas, previamente definidas nos cenários macroeconômicos regionais.

Neste nível, as projeções, em geral, são elaboradas através de métodos econométricos e séries temporais, e os resultados apresentados de forma determinística; porém, os valores dos parâmetros utilizados são ponderados subjetivamente e, conforme sua escolha, caracterizam os resultados como uma projeção provável, alta ou baixa.

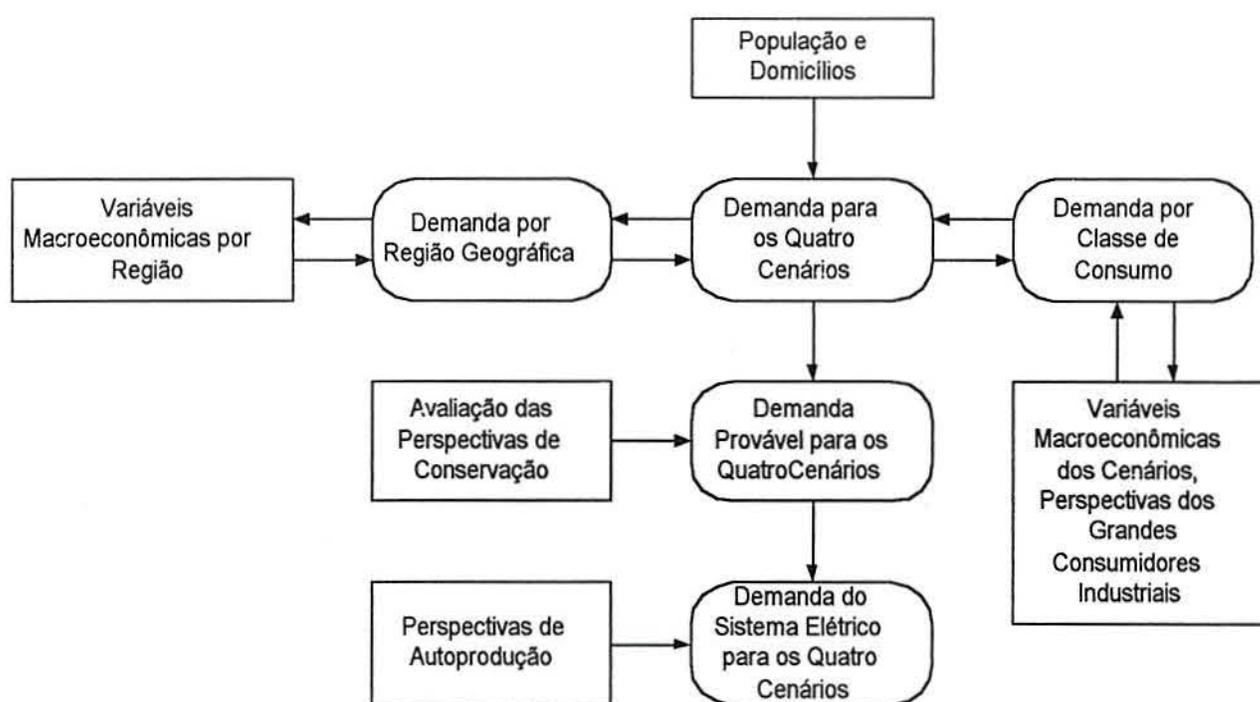


Figura 3.13 - Metodologia de Planejamento da Demanda Setorial

Fonte: Plano 2015 [4]

Usualmente, primeiro é obtido uma projeção denominada provável, que reflete as expectativas vigentes quanto ao comportamento da economia. A partir desta projeção, são derivadas as demais, buscando traduzir hipóteses mais extremas, quanto ao comportamento das principais hipóteses (evolução da economia, políticas de preços públicos e outras) que orientam as perspectivas de evolução da demanda.

3.6.2 Enfoque Microeconômico

A metodologia proposta para a avaliação da participação de mercado está esquematizada na Figura 3.14. A demanda projetada no enfoque anterior é o ponto de partida deste enfoque. Inicialmente, a empresa identifica a sua demanda na projeção regional, de acordo com o critério de área de concessão, e, após, a decompõe em três etapas. A decomposição é realizada segundo os critérios do regulador setorial, nas duas primeiras etapas, e do consumidor, na terceira etapa.

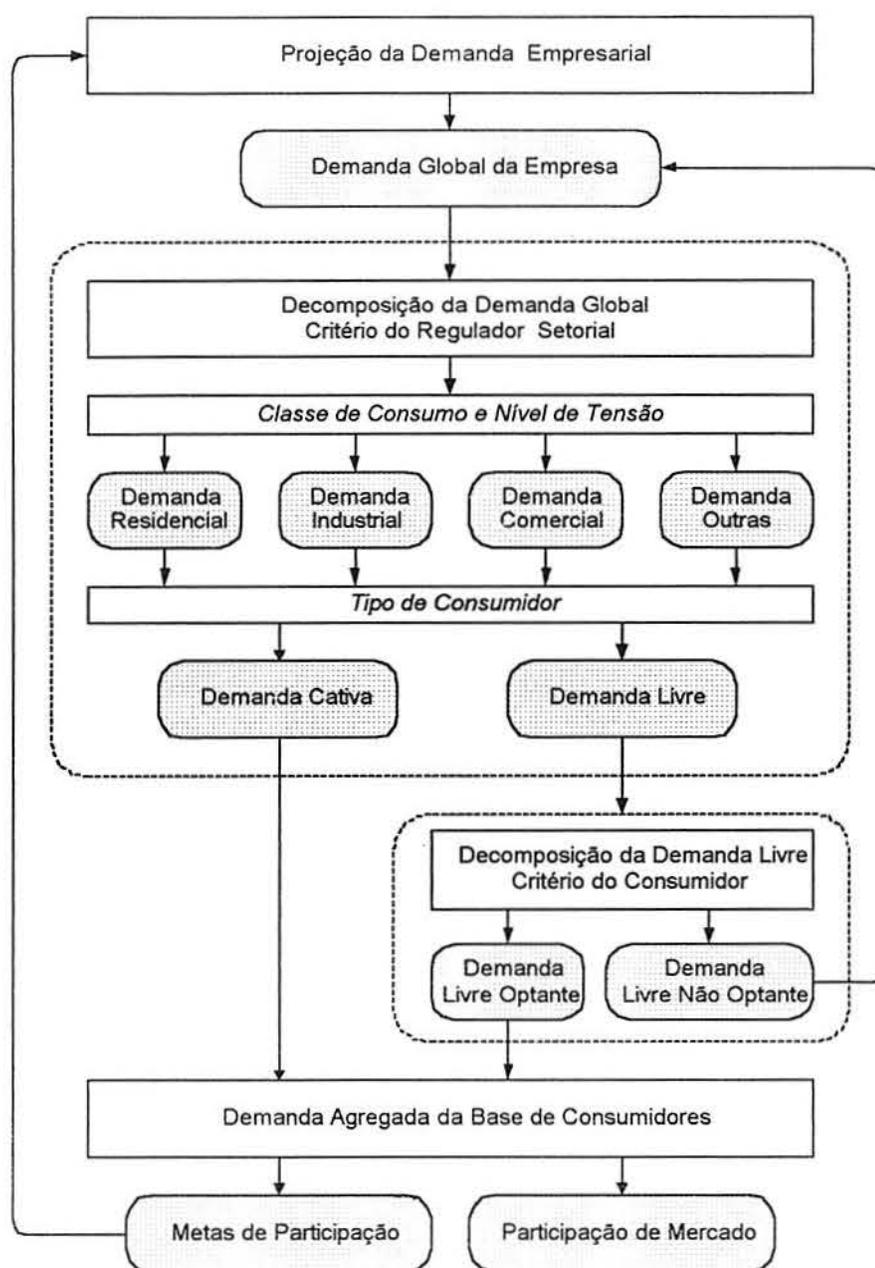


Figura 3.14 - Metodologia para Avaliação da Participação de Mercado

Na primeira etapa utiliza-se o critério binômio (classe de consumo e nível de tensão). As variáveis de decisão desta etapa estão relacionadas às demandas agregadas de cada classe, associadas aos níveis de tensão que as compõem. A estruturação da demanda total por este critério é necessária à seqüência do processo de decomposição. Na segunda etapa utiliza-se o critério trinômio (classe de consumo, nível de tensão e tipo de consumidor). As variáveis de decisão estão relacionadas às parcelas de demanda cativa e livre potencial. Na terceira etapa, com base na demanda livre potencial identificada na etapa anterior, utiliza-se o critério do consumidor (optante ou não optante). As variáveis de decisão estão relacionadas às parcelas de demanda livre optante e não optante. Esta última reduz a demanda global.

A definição das parcelas de demanda, através dos critérios apresentados, requer a segmentação da base de consumidores, como mostrado na Figura 3.15.

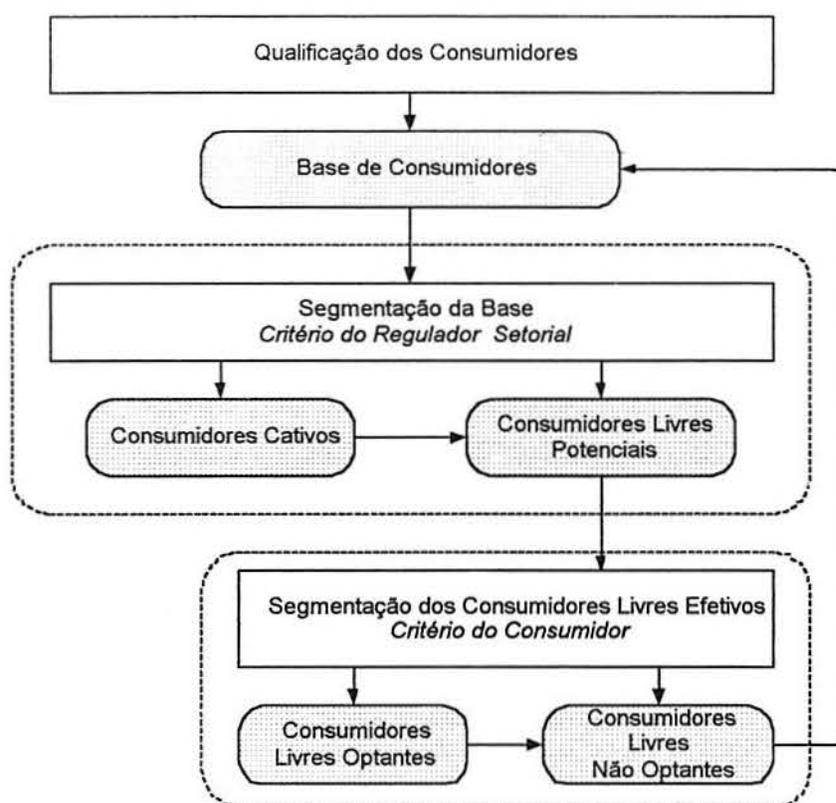


Figura 3.15 - Metodologia para Qualificação da Base de Consumidores

O processo de segmentação consiste em identificar e agrupar os consumidores, como segue:

- cativos permanentes são aqueles consumidores que independentemente do tempo serão cativos, a não ser que ocorra a flexibilização nos critérios atuais, permitindo a qualquer consumidor a alternativa de escolha da fornecedora;
- livres potenciais são os consumidores atuais que possuem as características de tensão e demanda, exigidas aos consumidores livres, mas dependem do tempo para adquirir a condição;
- livres efetivos são os consumidores do grupo anterior que adquirem a condição de livres e declaram sua opção, de permanência ou não, à fornecedora atual. No entanto, ao longo do tempo, de acordo com as políticas empresariais, os consumidores livres optantes poderão integrar-se aos não optantes. A decisão destes últimos, por um lado, reduz a base de consumidores da fornecedora atual, e por outro, aumenta a base de concorrente.

Deste modo, tem-se uma estrutura mais ampla de qualificação da base e da sua demanda agregada. A base de consumidores é um recurso estratégico, que agrega valor à empresa. A análise do

movimento interno e externo de consumidores, possibilitada com esta abordagem, é atrativa como ferramenta na avaliação de riscos.

Exemplos recentes (novembro/1999) de agregação de valor foram as conquistas de dois consumidores pela Companhia Paranaense de Energia Elétrica S.A. (COPEL/PR) sobre a empresa Bandeirante de Energia (EBE/SP), com a qual os consumidores mantinham seus contratos. Estes consumidores são: Carbocloro S.A., empresa do setor químico, localizada em Cubatão (SP), com demanda de 60 MW na ponta e 100 MW fora de ponta [40], e Volkswagen, empresa do setor automobilístico, localizada em Taubaté (SP), com demanda de 18 MW e tensão de 138 kV [63].

3.7 MODELOS PARA PLANEJAMENTO DA DEMANDA

Modelo, na definição clássica, é uma representação da realidade. Assim definido, um modelo se tornaria complexo e incompleto. Complexo porque os fatores que compõem a realidade são estruturalmente complexos e dinâmicos. Incompleto porque um modelo é uma abstração da realidade.

Entende-se por abstração o isolamento de componentes da realidade na mente do pesquisador, podendo assim serem decompostos, analisados, estudados, sintetizados e, após este trabalho, como resultado, serem materializados em equações, textos, gráficos e análises. Portanto, parte-se da realidade objetiva, alguns componentes dessa são abstraídos, e depois retorna-se com o estudo finalizado.

A definição clássica de modelo é simplista, pois não considera os objetivos de uso do modelo. Já PIDD [25] define modelo de forma mais abrangente, em relação à definição anterior, e usa o termo realidade no sentido de representar parte da realidade que está sendo modelada. Para o autor "um modelo é uma representação externa e explícita de parte da realidade vista pela pessoa que deseja usar aquele modelo para entender, gerenciar e controlar parte daquela realidade".

Um modelo no sentido de Pidd jamais representará a realidade, mas sim uma simplificação e uma representação aproximada de parte da realidade. A simplificação é o que torna os modelos aplicáveis, desde que sejam considerados os fatores mais importantes de acordo com os objetivos de seu uso. O modelo é um instrumento de apoio a ser utilizado na tomada de decisões, independentemente do objetivo para o qual foi construído. Portanto, a simplificação nele contida não deve comprometer, mas auxiliar as decisões.

Os modelos de projeção de demanda são instrumentos de apoio às decisões da expansão da geração, transmissão e distribuição, entre outras já citadas no Capítulo 1. Estas decisões são tomadas através de processos de simulação ou otimização. Estes modelos contemplam parâmetros sujeitos a variações e incertezas, que, muitas vezes, são de difícil quantificação, por exemplo, parâmetros de natureza econômica e comportamental. Os modelos evoluíram na tentativa de capturar os condicionantes destas variações e incertezas, visando à redução dos erros de projeção de demanda.

No que segue, descrevem-se os modelos usados e aplicáveis na projeção de demanda a longo prazo, seus usos e suas limitações, do mais simplificado até o mais complexo, segundo a hierarquização proposta por ARAÚJO [26]. Alguns destes modelos são utilizados para o planejamento energético, pelo lado da oferta onde a demanda de energia elétrica é o resultado de uma otimização energética global, ou seja, a projeção da demanda de eletricidade é um sub-produto destes modelos.

Esta seção objetiva associar a cada fase de planejamento da demanda os modelos e suas limitações.

3.7.1 Modelos para Extrapolação Simples

A partir de um conjunto de dados históricos da demanda, verificados em passado recente, é feita a extrapolação para obter-se as estimativas, através da repetição da informação mais recente, aplicação de uma taxa de crescimento ou média de alguns valores. Os modelos para extrapolação simples são modelos causais, representados, de forma geral, por:

$$y = f(t)$$

Onde:

- y variável dependente (demanda)
- t variável independente (tempo)

O uso destes modelos é adequado quando a demanda futura tem comportamento similar à histórica, os fatores externos (condições sócio-econômicas) que influem na evolução da demanda são estáveis e o horizonte de projeção visa ao planejamento de curto prazo. No horizonte de longo prazo ou quando há variações nos fatores externos e incertezas de várias ordens (econômicas e comportamentais), estes modelos são inadequados para explicar a evolução da demanda. O uso dos modelos de extrapolação ocorre nas quatro fases de planejamento da demanda, sendo que na última, Fase IV, para iniciar o processo de projeção.

3.7.2 Modelos Econométricos

Os modelos econométricos baseiam-se em grandezas econômicas, como, por exemplo, o PIB, para explicar a evolução da demanda. Nestes modelos todas as variáveis independentes são determinadas exogenamente, isto é, fora do modelo, sem qualquer influência intermediária [27].

A trajetória do consumo de energia elétrica é expressa como função das variáveis renda, políticas de preço do energético considerado e o consumo realizado no ano anterior. Esta última considera parcialmente a autocorrelação serial do consumo e introduz a dinâmica no modelo. A formulação genérica entre as variáveis é explicitada através de [17]:

$$E = \alpha \cdot Y^{\beta} \cdot T^{\gamma} \cdot E^{\delta}_{-1}$$

Onde:

E	consumo de energia elétrica no ano considerado
Y	renda
T	tarifa
E_1	consumo de energia elétrica do ano anterior
α	fator de escala

Os expoentes da equação representam os coeficientes de elasticidade renda e preço do consumo de energia elétrica, isto é, indicam como a demanda reage às mudanças no nível de atividade econômica e nas tarifas. Os coeficientes são dados por:

$$\frac{\Delta E / E}{\Delta Y / Y} = \beta \quad \rightarrow \text{elasticidade renda de curto prazo}$$

$$\frac{\Delta E / E}{\Delta T / T} = \gamma \quad \rightarrow \text{elasticidade preço de curto prazo}$$

$$\frac{\Delta E / E}{\Delta Y / Y} = \frac{\beta}{1 - \delta} \quad \rightarrow \text{elasticidade renda de longo prazo}$$

$$\frac{\Delta E / E}{\Delta T / T} = \frac{\gamma}{1 - \delta} \quad \rightarrow \text{elasticidade preço de longo prazo}$$

Estes modelos, utilizados em todas as fases do planejamento, podem fornecer bons resultados quando a evolução da demanda segue a evolução da economia e nessa não ocorrem choques exógenos.

Conforme ARAÚJO [26], a consideração de parâmetros fixos conduz a um equilíbrio ao longo do tempo, que não se verifica na prática, e os resultados obtidos desta classe de modelos são aproximações locais do fenômeno estudado e, adicionalmente, os modelos não permitem avaliar a causa de variação dos parâmetros. Segundo o autor, estas limitações podem ser parcialmente solucionadas através de uma representação desagregada de forma a explicitar as variações nos parâmetros agregados.

3.7.3 Modelos Insumo-Produto (I/O – Input/Output)

Nestes modelos os setores econômicos são desagregados e as inter-relações entre eles são consideradas. A modelagem básica relaciona os valores de produção dos setores de energia como os produtos consumidos em outros setores. Esses valores são dados em quantidades físicas, e os demais, em quantidades monetárias. Os coeficientes da matriz insumo-produto permitem a análise de tendências tecnológicas.

Seguindo a formulação de RIBAS [27], os parâmetros básicos dos modelos I/O são os coeficientes de insumo produto e da demanda final, usualmente estimados por relações simples obtidas a partir de um ano de referência. O valor monetário dos fluxos entre indústrias está sujeito a consideráveis alterações de um ano para outro. A formulação é dada por:

$$a_{ij} = x_{ij} + X_j$$

Onde:

- a_{ij} insumo da indústria "i" para "j", necessário para resultar num produto monetário em "j"
- x_{ij} venda dos produtos da indústria "i" para "j"
- X_j produção total da indústria "j"

$$X_i = \sum x_{ij} + F_i$$

$$F_i = \sum f_{ik}$$

Onde:

- F_i demanda final da indústria "i"
- f_{ik} vendas da indústria "i" para "k" categorias de demanda

$$h_{ik} = f_{ik} + E_k$$

Onde:

- h_{ik} participação da indústria "i" no componente "k" de consumo agregado
- E_k valor total da categoria "k" da demanda final
- f_{ik} vendas da indústria "i" para "k" categorias de demanda

A representação matricial do equacionamento é dada por:

$$\mathbf{X} = \mathbf{A} \cdot \mathbf{X} + \mathbf{F}; \quad \mathbf{X} = X_j; \quad \mathbf{A} = a_{ij}; \quad \mathbf{F} = F_j$$

$$\mathbf{F} = \mathbf{H} \cdot \mathbf{E}; \quad \mathbf{H} = h_{ik}; \quad \mathbf{E} = E_k$$

Os requisitos totais de produção são obtidos através de:

$$\mathbf{X} = (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} \cdot \mathbf{F}$$

Onde:

- \mathbf{I} matriz identidade
- $(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}$ matriz de requisitos totais

As projeções dos produtos por indústria são obtidas de:

$$\mathbf{X}_{T+\tau} = (\mathbf{I} - \mathbf{A}_0)^{-1} \cdot \mathbf{F}_{T+\tau}$$

Onde:

$T + \tau$	o período atual "T" mais " τ " anos à frente
A_0	matriz de coeficientes insumo-produto para a data base
$X_{T+\tau}$	projeção do vetor de produtos totais por indústria
$F_{T+\tau}$	estimativa da demanda final da indústria

$$F_{T+\tau} = H_0 \cdot E_{T+\tau}$$

Onde:

H_0	matriz de participações da indústria nos componentes de consumo agregado para a data base
$E_{T+\tau}$	valor total da categoria da demanda final para o período de projeção

Os modelos I/O podem ser utilizados no planejamento energético de duas maneiras básicas: a primeira, mais usual e geral, é como um modelo macroeconômico para projeções setoriais; a segunda, mais específica à energia, é derivar medidas de intensidade direta e indireta de energia de setores ou de produtos específicos [26]. Estes modelos foram utilizados nas Fases II e III, segundo informações de especialistas em planejamento de sistemas de energia elétrica, por Furnas Centrais Elétricas S.A. (Furnas) no período 1980-1990, em estudos de planejamento energético, e pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) no período 1994-1997, em estudos da demanda de energia elétrica setorial para projetar os setores que seriam impulsionados por um choque exógeno (desvalorização cambial, por exemplo).

Estes modelos apresentam bons resultados em uma situação de economia estável e quando existem dados disponíveis à construção das matrizes insumo-produto. No Brasil, estas duas condições dificilmente são atendidas; a primeira porque a economia está continuamente em processo de mudanças e os choques exógenos não podem ser previstos; a segunda porque os dados são pouco confiáveis.

Por se tratar de uma modelagem estática, os resultados representam instantâneos da economia, ou seja, o modelo não contempla a dinâmica envolvida no ambiente econômico e as hipóteses sobre as variáveis macroeconômicas não se realizam na prática. Estas limitações impediram o uso regular dos modelos I/O no âmbito das empresas de energia elétrica brasileiras e no BNDES.

3.7.4 Modelos para Decomposição do Consumo

O objetivo básico destes modelos é decompor o consumo de energia elétrica em parcelas de acordo com diversos fatores, como: intensidade energética, estrutura econômica, nível de atividade e outros que podem ser adicionados.

Os cenários de demanda de energia elétrica são construídos com base nas hipóteses sobre a evolução da economia, as mudanças estruturais na composição do produto e a evolução do nível de intensidade energética dos vários setores.

Um modelo de decomposição é o proposto pelo Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético (NIPE) da Universidade de Campinas (UNICAMP), cuja formulação resumida é apresentada a seguir [17]. Nessa referência, os detalhes desta modelagem podem ser encontrados.

A energia útil total por unidade de valor adicionado, demandada por cada segmento industrial (i), pode ser decomposta conforme a seguinte equação:

$$EU_{ijt} = \frac{EU_{ijt}}{VA_{it}} \cdot \frac{VA_{it}}{VAI_t} \cdot \frac{VAI_t}{PIB_t} \cdot PIB_t$$

Onde:

EU_{ijt} energia útil total no segmento industrial "i", uso final "j", no ano t

VA_{it} valor adicionado pelo segmento industrial "i", no ano t

VAI_t produto industrial no ano t

PIB_t produto interno bruto no ano t

A demanda de energia final do energético "k" é dada por:

$$EF_{ijkt} = \frac{EU_{ijt} \cdot PM_{ijkt}}{\eta_{ijkt}}$$

Onde:

EF_{ijkt} demanda de energia final do segmento "i", uso final "j", energético "k", no ano t

PM_{ijkt} parcela de mercado do energético "k", uso final "j", no ano t

η_{ijkt} rendimento do processo de conversão do energético "k", segmento "i", uso final "j", ano t

Para ARAÚJO [26] estes modelos, mesmo para níveis moderados de desagregação, fornecem uma primeira indicação dos pontos de mudança da variável sob análise e preservam as tendências médias. A desagregação é limitada pelas informações disponíveis sobre os equivalentes energéticos e índices de atividades. Se as informações forem suficientes, os índices devem refletir as necessidades energéticas dos diversos usos e processos de produção; se forem insuficientes, a projeção é realizada na forma de energia final. Neste caso, os equivalentes são aproximações da energia útil e recai-se no problema da agregação energética.

3.7.5 Modelos de Usos Finais

Esta categoria de modelos é também denominada modelos contábeis, porque sua base matemática é bastante simples na determinação da demanda de energia dos setores da economia. Nestes modelos a demanda é desagregada em duas etapas:

- a primeira, em módulos homogêneos, até o nível de usos finais, como: cocção, aquecimento de água, refrigeração de alimentos, iluminação, condicionamento ambiental, usos específicos da eletricidade para o setor residencial, calor de alta temperatura, calor de processo e força motriz para a indústria, por exemplo;
- a segunda, em grupos homogêneos quanto ao comportamento. A classe industrial poderia ser decomposta em consumo de energia elétrica das grandes indústrias e demais indústrias, e para cada grupo distinguir dois ou mais níveis de tensão.

O nível de desagregação é limitado pelos dados disponíveis e pela complexidade das interações que devem ser consideradas. Desse modo, as implementações práticas são aproximações mais ou menos grosseiras da estrutura ideal.

Cada etapa se caracteriza pela natureza do aspecto abordado, assim; a primeira, técnica, envolve a determinação de consumos por uso e por fontes de energia, bem como seus rendimentos; a segunda, econômica, envolve a dinâmica dos grupos homogêneos e a divisão requerida entre as fontes.

Os modelos são usados como instrumentos de auxílio à decisão, na análise da evolução da demanda a longo prazo, e não como ferramentas de projeção. Eles fornecem respostas simples aos fatores que influem na evolução da demanda, como: substituição entre energéticos, conservação de energia, penetração de novas tecnologias, etc. [17].

De acordo com ARAÚJO [26], a vantagem desta abordagem é a possibilidade de explorar uma ampla gama de ações sobre a estrutura da demanda, seguindo um procedimento transparente. Por outro lado, tentativas de tornar endógeno ao modelo o comportamento sócio-econômico aumentam a complexidade e tornam as projeções menos confiáveis. À medida que o nível de detalhe é aprofundado, ocorre uma explosão combinatorial de informações necessárias e do número de hipóteses a compatibilizar.

A técnica de cenários permite controlar as incertezas e limitar a explosão de complexidade. Com base nisto os modelos de usos finais, como o MEDEE (*Méthode pour Évaluer la Demande d'Énergie*), por exemplo, foram utilizados num enfoque de cenários. Na Fase II, aproximadamente no período 1984-1990, houve uma tentativa de uso desse modelo pela Companhia Energética de São Paulo (CESP) e Centrais Elétricas do Sul do Brasil S.A. (Eletrosul), mas a quantidade de da-

dos necessária à elaboração do nível de desagregação dificultou sua implementação prática nas concessionárias.

3.7.6 *Modelos Globais*

Os modelos globais são utilizados para o planejamento energético, pelo lado da oferta. O trabalho de ARAÚJO [26] contém uma ampla discussão sobre os referidos modelos. Um breve resumo desta discussão é feito a seguir.

Durante a Fase I houve um bom número de estudos globais, onde a energia era colocada em um plano mais ou menos destacado. A crítica a estes estudos aponta a omissão de aspectos relevantes, a ênfase em detalhes e complexidade de aspectos irrelevantes e a integração não consistente de aspectos sócio-econômicos.

Análises sobre os estudos chegaram à conclusão de que as hipóteses adotadas, basicamente, sobre crescimento econômico e demográfico, utilização de energia e possibilidades de conservação e substituição, determinam o comportamento do modelo e explicam as grandes diferenças encontradas nos resultados. Os modelos foram usados principalmente para contribuir ao debate em torno de alternativas de políticas energéticas e não como ferramentas de projeção.

Desta discussão, pode-se concluir que as hipóteses sobre os parâmetros e as interações entre as variáveis e parâmetros devem ser coerentes, e a atualização dos parâmetros dinâmica. Assim, os modelos contemplariam robustez e flexibilidade e indicariam as tendências reais de evolução da demanda.

3.7.7 *Modelos Integrados*

Os modelos integrados de economia-energia representam a interação entre energia e atividade econômica, visando dar suporte à definição de políticas energéticas. Destes modelos podem resultar estratégias de mudanças na estrutura produtiva, reorientações de hábitos de consumo, redefinições na área de desenvolvimento tecnológico e novas prioridades de investimento no setor energético, objetivando a conservação em nível de usos finais [17].

Nesta linha, na Fase III, FARIA [17] propõe um modelo para projeção da demanda de energia elétrica a longo prazo, que se baseia nas formulações clássicas econométricas, avaliando os efeitos de renda e preço. As classes de consumo são agregadas em quatro blocos: industrial, residencial, agropecuárias e serviços. Para alguns segmentos da classe industrial, onde a demanda de energia elétrica depende do nível de atividade da economia, técnicas de decomposição da demanda são utilizadas.

O modelo é composto de quatro módulos: macroeconômico, projeção da demanda, expansão e econômico-financeiro. A finalidade do modelo é apoiar um processo integrado de decisão. Os re-

sultados das projeções de demanda, compatíveis com hipóteses macroeconômicas e de políticas tarifárias bem definidas, são avaliados na expansão do sistema e na situação econômico-financeira do setor.

O trabalho de Faria representa um avanço na linha de modelos de apoio à decisão. A estruturação do modelo segue um procedimento seqüencial, ou seja, os resultados de um módulo são os dados do módulo seguinte. Dessa forma, a realimentação entre as relações de causalidade, que confere dinâmica ao modelo, não é considerada. Esta limitação pode conduzir a erros de projeção em ambiente de mudanças, como ocorre atualmente, e pode ser superada através da construção de modelos sob uma abordagem dinâmica.

3.7.8 Modelos Dinâmicos

A natureza do problema de projeção da demanda, englobando o horizonte, a abrangência e o objetivo específico do estudo, resultou em modelos mais ou menos detalhados. A complexidade característica do problema levou ao desenvolvimento dos modelos apresentados anteriormente sob o paradigma de equilíbrio do sistema, como meio de tratar a complexidade. No entanto, KAVRAKOGLU [43] argumenta que "...o sistema sempre tende ao equilíbrio e raramente permanece nesse estado. O estado transitório é mais representativo. As forças que originam o sistema resultam de condições de desequilíbrio e o sistema está sempre instável, evoluindo de um estado de desequilíbrio para outro".

O problema visto como um sistema dinâmico, que envolve atrasos, comuns em sistemas reais, tanto em termos físicos quanto de informação, e a realimentação entre as variáveis ao longo do tempo, pode melhor explicar a evolução da demanda a longo prazo. Com esta abordagem, os erros de projeção, em geral atribuídos aos parâmetros e hipóteses que compõem a modelagem, podem também ser melhor analisados.

A modelagem através da dinâmica de sistemas de problemas com estas características pode fornecer resultados mais eficazes que os modelos já descritos. Esta técnica será abordada em detalhes no próximo capítulo, porém as suas aplicações estão relacionadas no que segue.

A dinâmica de sistemas tem sido aplicada em diversos problemas da área de energia, mas há somente algumas aplicações no problema de projeção da demanda de energia elétrica. Citam-se algumas referências, que embora não estejam relacionadas diretamente ao problema em estudo, fornecem uma boa idéia da utilização e abrangência desta técnica.

FORD, em 1990, analisa o impacto de padrões de eficiência em conservação, que reduziria o consumo de eletricidade [44]. O estudo estima a magnitude destas reduções, considerando as incertezas na demanda e no preço. Neste estudo, foi utilizado o modelo *Conservation Policy Analysis Model* (CPAM), desenvolvido para a *Bonneville Power Administration* para estudos de estratégias

de conservação. O modelo compreende cinco módulos, entre estes o módulo de demanda de eletricidade. A projeção é feita por classe de consumo e interage automaticamente com os demais módulos durante a simulação.

DYNER et al. [45], em 1994, apresentaram um modelo para análise de políticas energéticas do setor colombiano, com base no uso racional da energia. Os fatores que contribuem à escolha dos consumidores por equipamentos mais eficientes são considerados na evolução da demanda global. Neste trabalho, é mencionado que o departamento de energia dos Estados Unidos (*Office of Energy Markets and End Use*) utiliza modelos de dinâmica de sistemas no planejamento do setor elétrico.

Em 1995, os autores publicaram outro trabalho sobre o uso eficiente da energia, específico para a classe residencial. Os fatores que contribuem à evolução da demanda desta classe são mostrados através de um diagrama de laço causal [46]. O estudo focaliza o uso de políticas de substituição de eletricidade por gás e seus efeitos sobre a demanda. Esta foi uma das primeiras aplicações da dinâmica de sistemas nos estudos da demanda, mas não explorou completamente o modelo para gerar cenários da demanda residencial.

Uma referência importante, embora não seja uma aplicação da dinâmica de sistemas, é o trabalho de FARUQUI [47], publicado em 1995. O autor cita várias informações, como, as projeções de divisão de mercado, entre outras, que podem ser requeridas pelos planejadores para a expansão e operação do sistema no novo ambiente de negócios da indústria de eletricidade.

Propõe ainda um novo paradigma de projeção de demanda, envolvendo novas questões (múltiplos fornecedores, novos produtos e serviços, resposta do competidor e variáveis financeiras – receita e lucro); novos processos (devem responder três questões-chave: quem são seus clientes? quais são as suas necessidades? quais são as estratégias que adicionam valor ao produto/serviço oferecido aos clientes?) e novas ferramentas (devem ser flexíveis e fornecerem respostas rápidas).

Em termos nacionais, ALVES [20], em 1997, propõe um modelo específico para a construção de cenários de demanda residencial, similar ao de Dyner et al., mas explicita os principais fatores e suas relações dinâmicas na forma de diagramas e equacionamento matemático.

DYNER e BUNN, em 1997, apresentaram uma plataforma de simulação para apoio de políticas de energia na Colômbia, que engloba a dinâmica entre o gerenciamento pelo lado da demanda e da oferta. O estudo avalia o efeito do preço sobre estes gerenciamentos. Os autores relatam que a análise das políticas, em função da nova estrutura de mercado e da competição por grandes consumidores, requer a consideração de vários problemas inter-relacionados, como: seleção de programas, cronograma e priorização de projetos, incentivos ao investidor privado e regulação do mercado. Isto torna o problema ainda mais complexo [48].

Além dos trabalhos relacionados anteriormente, a literatura especializada apresenta outros estudos, os mais recentes foram publicados em 1998 [49, 50] e em 1999 [51], porém nenhum deles contempla a competição por consumidores livres, o que é possível com o modelo proposto nesta pesquisa.

3.8 ASPECTOS DE IMPLEMENTAÇÃO

Quanto às técnicas de modelagem empregadas, os modelos podem ser classificados em determinísticos ou estocásticos e estáticos ou dinâmicos, com base nos seguintes critérios: consideração de incertezas nos valores das variáveis, resulta a classificação determinísticos ou estocásticos; estruturação das informações e observação do comportamento do sistema ao longo do tempo, resulta a classificação estáticos ou dinâmicos.

Os modelos estáticos representam o estado do sistema por um vetor de números reais, enquanto os modelos dinâmicos representam-no por um modelo de funções reais. No caso de simulação de sistemas, os modelos dinâmicos produzem uma função real para cada variável de estado do sistema, indicando o comportamento ao longo do tempo, tendo como referência o cenário em vigor. Cada cenário está associado a uma estratégia, política de operação da empresa ou configuração do sistema e corresponde a uma possível solução para o problema [35].

Cabe observar que, embora os termos modelos de simulação (econométricos, sob incerteza, entre outros) usados na projeção de demanda como sinônimo de simulação de sistemas não envolvam a realimentação das relações de causalidade e a observação do comportamento do sistema ao longo do tempo, neste trabalho, os termos estático, dinâmico e simulação referem-se ao comportamento do modelo em relação ao tempo e à forma como os componentes do sistema estão conectados.

O planejamento da demanda é um sistema formado por um conjunto interconectado de componentes relacionados de forma funcional. A compreensão da interdependência entre os componentes é tão importante quanto o entendimento de sua dinâmica interna.

Os modelos em uso pelas empresas brasileiras de energia elétrica para o planejamento da demanda, em geral, são estáticos e determinísticos. Estáticos porque não consideram as interações entre as variáveis que compõem o problema. Determinísticos porque não levam em conta o risco associado a estas variáveis.

Num modelo estático-determinístico, a relação entre a demanda da empresa e a demanda regional é usualmente considerada constante, sendo utilizada na determinação da participação de mercado, dados os valores de demanda, por exemplo. Num modelo dinâmico esta relação pode ser o resultado da interação entre a taxa de entrada de demanda para a empresa, a taxa de saída de demanda da empresa, demanda regional e sensibilidade do consumidor ao fator preço. Neste tipo de mo-

delo, a participação é o resultado de um conjunto de taxas dinâmicas, variáveis de estado (acumulações) e constantes.

A avaliação da demanda de uma empresa D/C, sob a ótica de criação de valor para o consumidor e para a empresa, requer uma análise integrada e flexível dos componentes que interagem na evolução da demanda. Modelos de simulação dinâmica podem contribuir na solução deste problema de planejamento, como indicado na literatura.

Nesta linha, o modelo proposto neste trabalho, abordado no próximo capítulo, insere-se na classe de modelos dinâmico-determinísticos. Dinâmico porque leva em consideração o comportamento ao longo do tempo das variáveis que o compõem e a interação entre essas variáveis. Determinístico porque não faz uso de técnicas probabilísticas na determinação do valor relativo aos fatores de incerteza.

3.9 CONCLUSÕES

Neste capítulo foram apresentadas as diferenças fundamentais na projeção de demanda entre o período que antecede e que precede às reformas setoriais. A partir destas diferenças, procurou-se sistematizar o processo, a estrutura do problema e a metodologia de planejamento da demanda, tendo como referência a nova estrutura do mercado consumidor de empresas D/C's. A análise realizada permite as conclusões que se seguem.

Atualmente, as empresas D/C's não estão operando em ambiente de competição plena, mas em uma fase de transição entre um regime de monopólio estatal para um regime de livre mercado. Nesta fase, o número de consumidores livres ainda é reduzido quando comparado à base de consumidores da empresa. Por outro lado, a demanda agregada livre é significativa em relação à demanda global da empresa.

O pressuposto pelas empresas, de forma geral, neste período transitório, é de que os atuais consumidores livres continuem vinculados à empresa original. O importante é observar que à medida que o mercado oferecer condições mais efetivas de troca de fornecedor, a saída de um consumidor pode influenciar a saída de um segundo e assim sucessivamente. Esta influência pode ser avaliada observando-se o comportamento do conjunto de consumidores ao longo do tempo.

A projeção da demanda é um problema que envolve complexidade dinâmica, isto é, a perda de consumidores tem diferentes reflexos à empresa. Assim, a perda de consumidores representa um aumento de custos e uma redução da base de consumidores e da sua demanda agregada. Por sua vez, a empresa, para manter seus custos, deverá repassá-los aos demais consumidores. No caso dos consumidores cativos, este repasse poderá ser feito à tarifa, de acordo com os limites permitidos pelo regulador setorial. Para os consumidores livres, o repasse aos preços poderá induzir outros consumidores à migração externa.

As etapas do processo de planejamento da demanda nacional e regional deverão permanecer, pois são necessárias à elaboração do plano de referência. Contudo, para o novo contexto, seria necessária a inclusão de uma etapa adicional no processo, visando dimensionar o mercado consumidor de cada empresa D/C. Em consequência, o critério tradicional de divisão de mercado deverá migrar gradualmente do enfoque de área de concessão para o enfoque de participação de mercado, contemplando a competição prevista na nova legislação setorial.

A metodologia tradicional de projeção da demanda empresarial (D/C) necessita de uma abordagem complementar, que inclua os aspectos técnicos (classes de consumo e níveis de tensão) e os aspectos estratégicos (participação de mercado e base de consumidores). Isso mostra que nenhum dos modelos atualmente disponíveis atende integralmente aos dois aspectos, o que é possível com o modelo proposto no próximo capítulo.

CAPÍTULO 4

MODELO PARA PLANEJAMENTO DA DEMANDA EM AMBIENTE COMPETITIVO: CONCEITUAÇÃO

4.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo, o modelo conceitual é apresentado, visando avaliar os efeitos de diversos parâmetros sobre a evolução da demanda. Inicialmente, caracterizam-se as atividades de distribuição e comercialização e resumem-se os principais instrumentos legais que têm influência na modelagem. Após, discutem-se as alternativas de suprimento e fornecimento, com objetivo de fornecer uma visão geral destas alternativas. Neste trabalho, o suprimento da empresa ocorre através de contratos bilaterais, e o fornecimento aos consumidores livres é feito através da compra de energia de uma das empresas D/C's consideradas.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DAS ATIVIDADES DE DISTRIBUIÇÃO E COMERCIALIZAÇÃO

O novo modelo institucional do setor elétrico define papéis distintos para as atividades de distribuição e comercialização de uma empresa de eletricidade. A distribuição é o transporte regulado de energia em tensões inferiores a 230 kV e o atendimento de consumidores em sua área de concessão, ou seja, a prestação de serviço com tarifas reguladas; a comercialização é a compra e venda de energia aos consumidores finais, porém caracterizada por tipo de consumidor. Aos consumidores cativos a venda será efetuada através de tarifas reguladas, e aos consumidores livres a venda será regida a preços de mercado.

Na prática, as atividades de distribuição e comercialização estão sendo realizadas por duas unidades de negócios dentro da mesma empresa, razão pela qual, neste trabalho, chama-se a empresa de distribuidora e/ou comercializadora, empresa D/C.

A reformulação da legislação do setor elétrico brasileiro tem introduzido diversas alterações na organização e na definição dos diferentes agentes que nele atuam. Os principais instrumentos legais, que a partir de 1995 regulamentam, em termos técnicos e econômicos, as figuras de consumidores livres e cativos, são resumidos no Quadro 4.1. Neste quadro, indicam-se os aspectos relevantes de cada instrumento e a influência (ou não) e a representação (ou não) destes aspectos na modelagem desenvolvida. As soluções propostas pela PriceWaterHouseCoopers - PWC, responsável pelo Projeto de Reestruturação do Setor Elétrico - Projeto RE-SEB, são também incluídas.

Quadro 4.1 - Instrumentos Legais

Documento	Aspectos Relevantes	Influência	Representação
Lei 8.987, 13/2/1995: dispõe sobre o regime de concessão e permissão da prestação de serviços públicos e dá outras providências.	Introdução da concorrência na IEE brasileira, através da extinção da reserva de mercado das concessionárias, e flexibilização do monopólio no fornecimento de energia elétrica a consumidores finais.	Sim	Sim
Lei 9.074, 7/7/1995: estabelece normas para outorga e prorrogações das concessões e permissões de serviços públicos e dá outras providências.	A prorrogação das atuais concessões é condicionada à assinatura de contratos, desde que sejam respeitadas as diretrizes do novo modelo institucional.	Não	Não
	As concessões de distribuição poderão ser prorrogadas, desde que reagrupadas segundo critérios de racionalidade operacional e econômica.	Não	Não
	O poder concedente definirá a formação da rede básica dos sistemas interligados.	Não	Não
	Autoriza fusões e cisões de empresas de energia elétrica para facilitar o processo de licitação.	Não	Não
	Consumidores ditos livres (CL) podem optar por contratar seu fornecimento, desde que se enquadrem nos limites abaixo: <ul style="list-style-type: none"> • atuais, $\geq 10\text{MW}/\geq 69\text{KV}$; • atuais, $\geq 3\text{MW}/\geq 69\text{KV}$, em 2000; • novos, $\geq 3\text{MW}/\text{Qualquer tensão}$. 	Sim	Sim
	Possibilidade de redução dos limites anteriores a partir de 2003.	Sim	Sim
	Produtor independente poderá vender energia para: <ul style="list-style-type: none"> • concessionário de energia elétrica; • conjunto de consumidores, independentemente de tensão e demanda, nas condições negociadas com o concessionário de distribuição local; • qualquer consumidor cujo concessionário local não lhe assegurou o fornecimento em 180 dias a partir da solicitação; • consumidores integrantes de complexo industrial ou comercial aos quais o produtor independente também forneça vapor oriundo de processo de co-geração; • CL. 	Não Sim	Não Não
	Fornecedores e respectivos CL terão amplo acesso aos sistemas de transmissão e distribuição.	Não	Não

Quadro 4.1 - Continuação

Documento	Aspectos Relevantes	Influência	Representação
Recomendações da PWC, out./1996: abrange os novos arranjos mercantis, as medidas jurídicas e regulamentares, as mudanças institucionais e o financiamento do setor.	Criação do Mercado Atacadista de Energia - MAE, que definirá o preço <i>spot</i> .	Não	Não
	Criação do Operador Independente do Sistema - OIS, responsável pelo planejamento operacional, programação e despacho.	Não	Não
	Empresas geradoras e de distribuição/comercialização (D/C) continuarão a negociar a maior parte de sua energia através de contratos bilaterais, com duração de 15 anos.	Sim	Sim
	Separação das atividades de G/T/D/C.	Não	Não
	Separação contábil das atividades de D/C.	Não	Não
	Redefinição dos papéis e responsabilidades institucionais do governo e reorganização do DNAEE para se transformar no novo órgão regulador, a ANEEL.	Não	Não
	Empresa de D/C deve acordar com a ANEEL uma meta específica de conservação de energia a ser monitorada pelo Programa de Combate ao Desperdício de Energia Elétrica - PROCEL.	Sim	Sim
	CL poderão participar do MAE.	Sim	Não
	CL poderão comprar eletricidade de qualquer varejista autorizado.	Sim	Sim
	Concorrência no varejo por CL, de acordo com os limites abaixo: <ul style="list-style-type: none"> • atual - 3 MW; • 2003 - com redução para 0,3 MW. 	Sim	Sim
	Manutenção da qualidade do serviço e garantia de tratamento adequado aos cliente, especialmente consumidores cativos.	Sim	Sim
	Limitação de participação das empresas de distribuição.	Sim	Sim
	Taxas de retorno para a distribuição: 11 - 13%.	Sim	Sim
	Planejamento do sistema sob o enfoque de mercado, p. ex., planejamento da demanda.	Sim	Sim
	Auto-suprimento das empresas de D/V até os limites de 50% e 30%, respectivamente, durante e após os contratos iniciais.	Sim	Não

Quadro 4.1 - Continuação

Documento	Aspectos Relevantes	Influência	Representação
Portaria 466, 12/11/1997: estabelece as condições gerais de fornecimento a serem observadas na prestação e utilização do serviço público de energia elétrica, tanto pelos concessionários como pelos consumidores.	Condições gerais de fornecimento.	Não	Não
	Condições específicas de fornecimento, entre essas:		
	• a unidade consumidora, de acordo com a atividade nela exercida, é enquadrada na classe de consumo correspondente (res., com., ind., etc.);	Sim	Sim
	• o CL pode optar por contratar seu fornecimento, no todo ou em parte, com qualquer agente autorizado;	Sim	Sim
	• o contrato de fornecimento, quando celebrado com consumidor do Grupo A, deverá especificar data de início e prazo de vigência, tensão, demanda, etc.	Sim	Não
Lei 9.427, 26/12/1997: institui a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, disciplina o regime de concessões de serviços públicos de energia elétrica e dá outras providências.	ANEEL, novo órgão regulador do setor elétrico, tem por finalidade regular e fiscalizar a geração (G), transmissão (T), distribuição (D) e comercialização (C).	Não	Não
	A agência, dentre outras incumbências, deverá:	Não	Não
	• promover as licitações destinadas à contratação de concessionárias para G, T e D, e para a outorga de concessão para aproveitamento de potenciais hidráulicos ;		
	• fixar critérios para cálculo do preço de transporte ;		
	• propiciar a concorrência efetiva entre os agentes ;		
	• zelar pelo cumprimento da legislação de defesa da concorrência, monitorando e acompanhando as práticas de mercado dos agentes.	Sim	Sim
	Autorizações da ANEEL para:	Não	Não
	a) aproveitamento de potencial hidráulico de potência superior a 1MW e igual ou inferior a 30 MW, destinado à produção independente ou autoprodução, mantidas as características de pequena central hidrelétrica;		
	b) compra e venda de energia elétrica, por agente comercializador;		
	c) importação e exportação de energia elétrica;		
	d) comercialização eventual e temporária, pelos autoprodutores, de seus excedentes de energia.		

Quadro 4.1 - Continuação

Documento	Aspectos Relevantes	Influência	Representação
Lei 9.427, 6/12/1997, (cont.)	A comercialização dos aproveitamentos referidos no item "a" poderá ser realizada com consumidores cuja carga seja maior ou igual a 500 kW, independentemente dos prazos de carência para CL.	Sim	Não
	A comercialização resultante da atividade referida nos itens "b", "c" e "d" será realizada entre produtor independente e consumidores citados na Lei 9.074.	Sim	Não
Resolução 094, 30/3/1998: estabelece as condições relativas à participação dos agentes nos serviços e atividades de energia elétrica.	Restrições de participação dos agentes nas atividades de:		
	• G: ≤ 20% (nacional), ≤ 35% (N/NE) e ≤ 25% (S/SE/CO);	Não	Não
	• D: ≤ 20% (nacional), ≤ 35% (N/NE) e ≤ 25% (S/SE/CO);	Sim	Sim
	• G + D: ≤ 30% (nacional).	Não	Não
	Restrição de auto-suprimento de empresa de D até o limite de 30% para atendimento exclusivo aos consumidores cativos, após findos os contratos iniciais.	Sim	Não
Decreto 2.655, 2/7/1998: regulamenta o MAE, define as regras de organização do Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS, e dá outras providências.	Atividades competitivas:		
	• geração (G);	Não	Não
	• comercialização (C).	Sim	Sim
	Atividades regulamentadas:		
	• transmissão (T);	Não	Não
	• distribuição (D).	Sim	Sim
	Agentes econômicos terão livre acesso aos sistemas de T e D.	Não	Não
	Separação contábil das receitas, despesas e custos referentes à D e à C para consumidores cativos e à C para CL.	Sim	Não
	Atividade de geração será comercializada livremente para:		
• concessionário de D, permissionários e autorizados;	Não	Não	
• consumidores relacionados na Lei 9.074.	Sim	Não	
CL que optem por fornecimento fora de sua área de localização, resultará em novas condições de fornecimento a serem ajustadas com o fornecedor anterior.	Sim	Não	
As atividades de coordenação e controle da operação da G e T serão executadas pelo ONS.	Não	Não	
MAE determinará o preço da energia de curto prazo.	Sim	Não	

A Figura 4.1, extraída do Quadro 4.1, simboliza a forma de representação dos aspectos relevantes no modelo proposto através de um diagrama de olho de touro (*bulls eye diagram*), denominado por FORD [41]. Assim, os aspectos *endógenos* são gerados pelo modelo, os aspectos *exógenos* são fornecidos pelo usuário ou projetista e os aspectos *omitidos* correspondem aos aspectos que não foram considerados na construção do modelo.

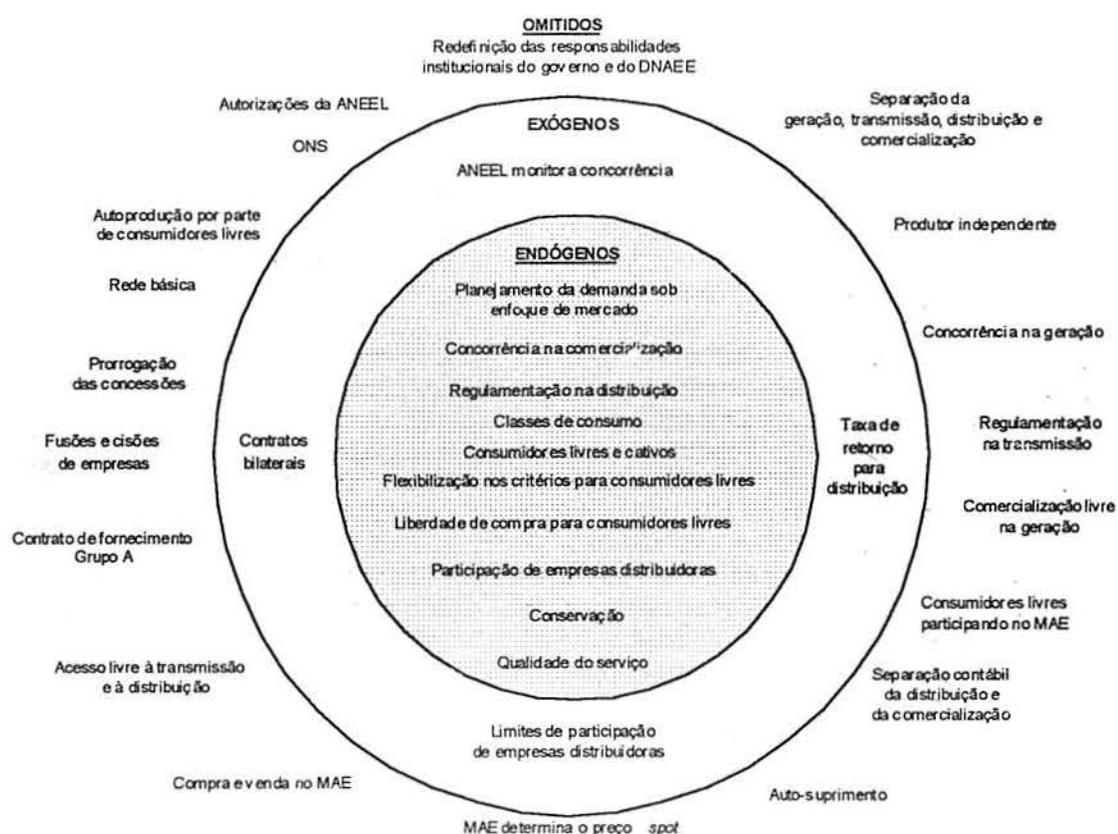


Figura 4.1 – Diagrama Olho de Touro

Em decorrência da nova legislação, a empresa D/C passa a atuar em dois mercados: compra e venda de energia, conforme mostra a Figura 4.2. Este trabalho procura investigar a relação entre a empresa e seus consumidores. De modo a dar uma visão do mercado como um todo, discutem-se, também, as alternativas de suprimento e de fornecimento.

O principal objetivo desta análise é avaliar os efeitos das decisões de suprimento e de fornecimento sobre a projeção da demanda de empresas D/C's. Essas empresas, após o período de duração dos contratos iniciais, terão as seguintes alternativas de suprimento: celebrar contratos bilaterais de longo prazo (10 anos, por exemplo), com empresas geradoras pertencentes ao mercado livre, comprar energia diretamente do MAE e gerar energia, até o limite de 30% para o atendimento da demanda cativa.

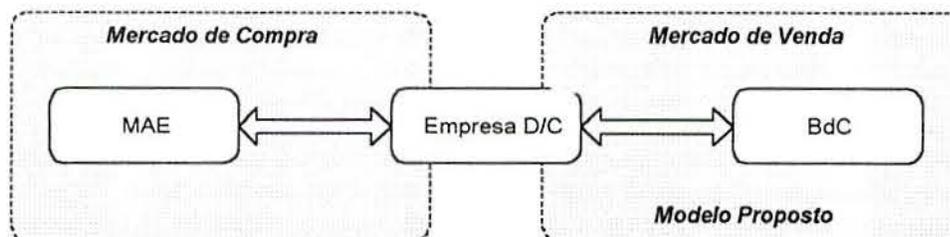


Figura 4.2 – Mercados de Atuação da Empresa D/C

Para o início da negociação de energia, através do MAE, foi implementado um conjunto de contratos iniciais, cuja duração será de oito anos para o sistema S/SE/CO e de 15 anos para o sistema N/NE. No caso do S/SE/CO, os volumes contratados serão constantes nos primeiros cinco anos e serão reduzidos gradualmente a partir de então. Estes contratos visam proteger os consumidores de aumentos súbitos de preços e permitir um ajuste gradual de preços de geração ao custo marginal de longo prazo, de forma a estimular os investimentos e aprimorar a eficiência alocativa.

Os consumidores livres poderão adquirir energia através da empresa D/C local, de empresa externa à sua área original, do MAE e da autoprodução. A decisão destes consumidores compreende um conjunto de fatores: preço da energia, tarifa de transporte, disponibilidade de energia, política de reajuste tarifário, quantidade e qualidade de produtos/serviços oferecidos, nível de satisfação com o fornecedor atual, flexibilidade nos prazos de contratos, custo inicial para troca de fornecedor, prazos nos contratos de fornecimento, condições de pagamento, entre outros. Todos estes fatores refletem-se no preço de venda praticado.

As alternativas para as empresas e para os consumidores, considerando-se duas empresas D/C's (simbolizadas por "A" e "B"), que competem por consumidores livres, são mostradas no diagrama da Figura 4.3 e comentadas a seguir. Neste diagrama, não estão representados os tempos envolvidos no processo de transição de consumidores cativos para livres. Uma análise detalhada destes tempos é realizada no Capítulo 5.

4.2.1 Alternativas de Suprimento

- **Empresa geradora ou MAE**

O montante de suprimento a ser contratado a longo prazo depende das estimativas de demanda cativa e livre. Nesta última, à medida que os consumidores adquirem a condição de livres, poderão declarar sua opção de permanência ou não à empresa original. Isto introduz incerteza no volume a ser contratado, que poderá ser superior ou inferior ao inicialmente previsto e tem reflexos nos custos totais.

Se a demanda a ser atendida for superior à contratada a longo prazo, a empresa poderá firmar outro contrato, porém de curto-prazo (seis meses, por exemplo), ou comprar no MAE. Na primeira situação, em geral, o preço poderá ser maior que o acordado a longo prazo. Na segunda situação, a empresa poderá firmar contratos de curtíssimo prazo (um mês, por exemplo), mas há o risco representado pela volatilidade do preço *spot* do MAE. Nas duas situações, a empresa garante o fornecimento, porém com um aumento nos custos totais, decorrentes principalmente dos custos de transação.

Se a demanda a ser atendida for inferior à contratada a longo prazo, a empresa deverá pagar pelo volume contratado e terá seu nível de receita inferior ao planejado, ou seja, os custos totais são mantidos, porém o faturamento é reduzido. Pelas regras atuais, a empresa poderá ofertar o excedente no mercado e recuperar parte de seus custos.

Tanto no primeiro caso (superior) quanto no segundo (inferior), a empresa, para manter seus custos, poderá repassá-los aos consumidores finais. Contudo, o repasse dos mesmos aos consumidores cativos é regulado pela ANEEL e aos consumidores livres poderá resultar num deslocamento desses consumidores para empresas concorrentes.

- ***Geração própria***

A alternativa de suprimento através de geração própria reduz em até 30% o montante a ser contratado (referente à demanda cativa), gera recursos decorrentes da venda do excedente de 70% ao MAE e evita a exposição parcial da empresa ao preço *spot*. No entanto, esta alternativa requer uma análise

- ***Oferta para redução da demanda (Demand side bidding)***

Segundo as regras do MAE [65], a oferta para redução da demanda é o processo pelo qual um comercializador, em nome do consumidor, ou um consumidor, com demanda acima de 10 MW, poderá oferecer uma redução de sua demanda acima de um determinado preço do MAE. Este processo é importante como negócio, para a empresa e para o consumidor, à medida que permite gerenciar a exposição da empresa aos preços do MAE.

4.2.2 Alternativas de Fornecimento

- ***Empresa D/C***

Nesta alternativa, considera-se que os consumidores livres não optantes (CLNO's) façam suas escolhas com base no menor preço oferecido pelas empresas e os consumidores livres optantes (CLO's) escolham permanecer na empresa original devido a outros fatores, relacionados anteriormente. O preço, portanto, condicionará a decisão por uma ou por outra empresa, resultando em ganhos ou perdas de demanda à empresa que oferecer, respectivamente, menor ou maior preço.

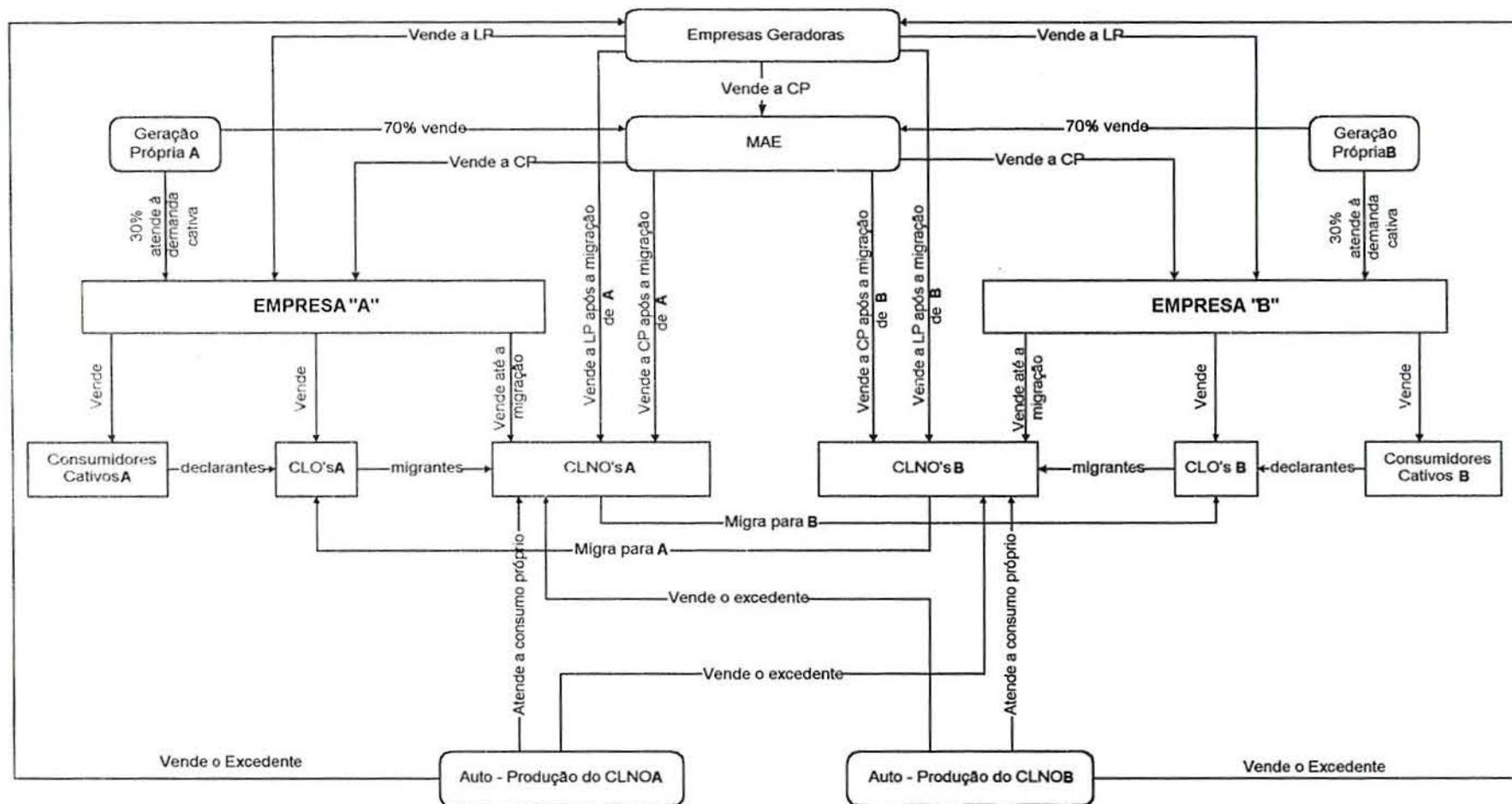


Figura 4.3 – Alternativas de Suprimento e Fornecimento

▪ **Empresa geradora ou MAE**

A escolha de compra de energia através de empresas geradoras ou do MAE reduz a demanda a ser atendida e a participação de mercado das empresas D/C's, que podem ser mais ou menos significativas dependendo do volume perdido. Estas decisões ampliam a competição, pois além das D/C's concorrerem entre si por CLNO's, passam a competir com as empresas geradoras e com o MAE por esses mesmos consumidores. Desse modo, os agentes supridores concorrem com seus pares por empresas D/C's e com essas por CLNO's.

▪ ***Autoprodução e Geração Térmica***

O consumidor poderá atender a sua unidade consumidora através da autoprodução, envolvendo aqui a co-geração. As razões desta decisão podem ser as seguintes:

- **O preço:** em determinadas fábricas, o insumo energia elétrica tem valor significativo na composição do custo total de produção, como, por exemplo, em fábricas de papel, cujo insumo representa aproximadamente 36% [36];
- **a garantia e a qualidade de fornecimento:** em fábricas que trabalham 24 horas por dia durante todo o ano. Os problemas de interrupções e de qualidade resultam em parada do processo produtivo, perdas de produto fabricado e, conseqüentemente, prejuízos financeiros. Os sistemas eletromecânicos são insensíveis a interrupções, já os sistemas eletroeletrônicos, cada vez mais presentes no setor secundário da economia, são sensíveis a interrupções de milissegundos e mesmo a subtensões [36]. Metalurgia, siderurgia, papel, entre outras, são exemplos de fábricas afetadas diretamente por estes problemas.
- **o processo de produção fortemente sazonal:** neste processo a autoprodução pode ser realizada de forma adequada para os períodos sazonal e não-sazonal, com redução dos custos correspondentes.

A autoprodução é uma alternativa atrativa, na medida em que permite atender em parte ou na sua totalidade à demanda de energia de uma unidade industrial, de forma econômica. Econômica, porque a co-geração ocorre pela queima de gás ou de resíduos industriais, que podem atender aos requisitos energéticos, e contribui na racionalização do uso da energia, pois tem associada uma alta taxa de rentabilidade.

O autoprodutor poderá gerar somente para o consumo próprio ou gerar com excedente, e vender o excedente ao mercado, como por exemplo, outros CLNO's. Neste caso, o consumidor abandona a figura de cliente das empresas D/C's, torna-se um agente de oferta e, portanto, concorre com estas empresas por consumidores livres. Esta alternativa influencia também a projeção da demanda nacional, uma vez que a autoprodução deverá ser reduzida desta projeção.

Devido a problemas de impressã, deixei-te de colocar a pagina 78.

Neste ambiente de incertezas, a empresa D/C poderá estabelecer um relacionamento de co-operação com o consumidor, ou seja, competir e cooperar ao mesmo tempo. Este conceito é mais dinâmico do que os conceitos de competição e cooperação sugerem individualmente. Segundo NALEBUFF e BRANDENBURGER [37], "Negócio é cooperação quando o objetivo é criar um bolo e concorrência quando chega a hora de dividi-lo. Em outras palavras, é simultaneamente guerra e paz".

Um exemplo deste relacionamento seria via um contrato do tipo relacional [38], isto é, de longa duração, ajustado em função das necessidades da empresa e do consumidor. A característica deste contrato é que os ajustes ocorrem em função de necessidades específicas ao longo do tempo e não com base no contrato inicial. No contrato relacional, o ponto de referência não é mais o acordo original e sim a inteira relação entre as partes, segundo suas necessidades através do tempo. Assim, a empresa mantém o consumidor e esse não necessita estabelecer outros contratos, que podem inicialmente aumentar seus custos.

Pelo exposto pode-se concluir, por um lado, que o preço de compra tem efeito direto sobre o preço de venda e, por conseguinte, nos objetivos estratégicos da empresa; por outro, a escolha dos consumidores influencia as estimativas da demanda empresarial e setorial. A análise realizada evidenciou também um fator importante, a decisão do consumidor como agente de oferta, tornando-se um competidor em vez de um consumidor de empresas D/C's.

Nesta nova estrutura de mercado a definição da demanda será mais complexa, e os tradicionais métodos e modelos para projeção da demanda e avaliação da participação de mercado de empresas D/C devem ser reformulados para incluir os aspectos empresariais. Desse modo, séries temporais e modelos econométricos deverão ser complementados por modelos que considerem a realimentação de preços sobre a demanda, como é o caso de modelos baseados em Dinâmica de Sistemas.

A Dinâmica de Sistemas (DS) enfatiza a modelagem das conexões entre os elementos de um sistema e o seu comportamento dinâmico. Este comportamento é consequência da estrutura, isto é, da forma pela qual os elementos estão conectados e se influenciam mutuamente ao longo do tempo. Conceitos e detalhes sobre DS podem ser encontrados nas referências [52, 53 e 54] e no Anexo 2.

Com vistas à DS, propõe-se um modelo de simulação para a avaliação da demanda de uma empresa D/C, integrando os aspectos técnicos e os aspectos comportamentais envolvidos na avaliação.

4.3 ETAPAS DE CONSTRUÇÃO DO MODELO

De acordo com FORD [41], "Construir um modelo de simulação é um processo iterativo de erros e acertos. O modelo é usualmente construído em etapas com grau crescente de complexidade,

até que ele permita reproduzir o comportamento esperado do sistema que representa. Numa etapa mais avançada, o modelo pode ser utilizado para aprender sobre o comportamento simulado e ainda melhorá-lo pela aplicação de políticas apropriadas”. Para a construção e teste de um modelo, Ford propõe oito etapas:

1. Aquisição de conhecimento sobre o sistema. Nesta etapa, deve-se obter o maior conhecimento possível sobre o objetivo do modelo, familiarizar-se com todas as relações que regem o sistema e identificar-se claramente as variáveis mais importantes. Em geral, não é possível representar todas as variáveis do sistema.
2. Especificação do comportamento dinâmico. A partir do detalhamento do sistema realizado na etapa anterior, deve-se fazer a seguinte pergunta: o sistema tem realmente um comportamento dinâmico? Se a resposta for afirmativa, elaborar um gráfico em relação ao tempo da variável mais importante do modelo, conhecido como “modo de referência”. Esta é provavelmente a etapa mais importante do processo.
3. Construção do diagrama de estoque e fluxo. Aqui algumas regras simples, mas muito efetivas, devem ser observadas. Inicialmente, definir as variáveis de estoque, após, adicionar seus fluxos e, finalmente, as demais variáveis e constantes do modelo. Cuidado especial deve ser dado às unidades das variáveis. Não esquecer que a variável do “modo de referência” deve estar presente no diagrama.
4. Construção do diagrama de laço causal. A finalidade deste diagrama é a visualização dos principais laços do modelo. Em alguns sistemas, a estrutura de laços é muito complicada. Nesta situação, a elaboração de vários laços parciais é indicada.

Ford sugere a construção do diagrama de estoque e fluxo, em primeiro lugar, e do diagrama de laço causal, em segundo lugar. No entanto, esta seqüência não é uma regra definitiva; para alguns projetistas pode ser interessante inverter a seqüência, e isto também é válido.

5. Estimação de valores dos parâmetros. A estimativa de cada parâmetro do modelo deve ser feita de modo individualizado, fazendo uso das fontes disponíveis. Quanto à faixa de incertezas dos parâmetros, alguns deles podem ser conhecidos, com uma precisão próxima a 100%; outros, com uma precisão de apenas 10%, e outros ainda podem ser totalmente desconhecidos. No último caso, a tendência é não representar a variável no modelo, mas isso deve ser eliminado porque sua precisão poderá ser melhorada no futuro.
6. Simulação do modelo. O objetivo é verificar se os resultados do modelo estão de acordo com o comportamento do modo de referência (etapa 2). Se isto se confirmar, alcança-se uma das metas do processo de elaboração, a consistência do modelo.

7. Análise de sensibilidade. Esta etapa procura verificar se os resultados são sensíveis a alterações nos parâmetros incertos (controlados pelo sistema). Se após cada teste o modo de referência mantém um comportamento adequado, alcança-se outra meta do processo de elaboração, a robustez do modelo.
8. Aplicação de testes de políticas. A última etapa do processo tem a finalidade de avaliar o comportamento do sistema, variando as estimativas dos parâmetros associados às variáveis políticas (controladas pelo projetista).

Neste trabalho, o termo políticas significa um conjunto de medidas que a empresa poderá implementar, objetivando avaliar o comportamento da demanda, com vistas ao planejamento empresarial. Segundo BUNN e LARSEN [55], os modelos baseados em DS enfatizam o uso de políticas, e essas são as normas que orientam as decisões.

As seções anteriores, juntamente com as informações da seção 3.5 – Capítulo 3, constituem a primeira etapa de construção do modelo. Nas seções seguintes é apresentada a etapa 4, no Capítulo 5 a etapa 3 e no Capítulo 6 as demais etapas.

4.3.1 *Comportamento da Demanda*

A demanda a ser atendida por uma empresa D/C depende, em parte, da evolução da economia, que independe da empresa; e das decisões dos consumidores livres, quanto à escolha do fornecedor, que podem ser influenciadas, em parte e indiretamente, pelas ações empresariais (o preço, por exemplo). O problema da demanda visto desta forma cria um laço de realimentação entre a evolução da demanda e as decisões gerenciais, representado na Figura 4.4.

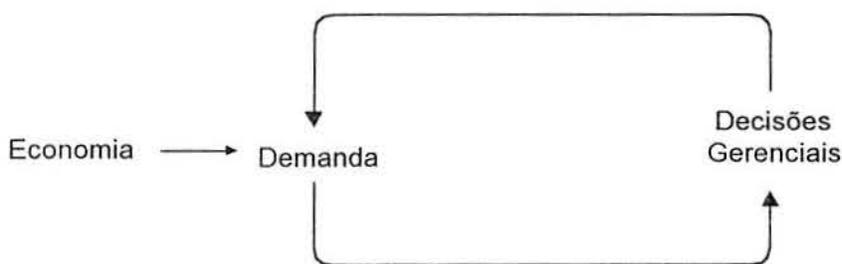


Figura 4.4 - Comportamento da Demanda

Através do modelo proposto, o comportamento da demanda é testado construindo-se hipóteses sobre as políticas de preço e investimento da empresa. Estas políticas são implementadas no modelo e seus resultados avaliados através da evolução da demanda.

A participação de mercado da empresa é uma decorrência natural de sua demanda. No novo contexto, a definição da participação se constitui numa variável dinâmica, pois depende do comportamento dos consumidores e de concorrentes. Assim, o modo de referência do modelo é vinculado com esta variável e ilustrado na Figura 4.5.

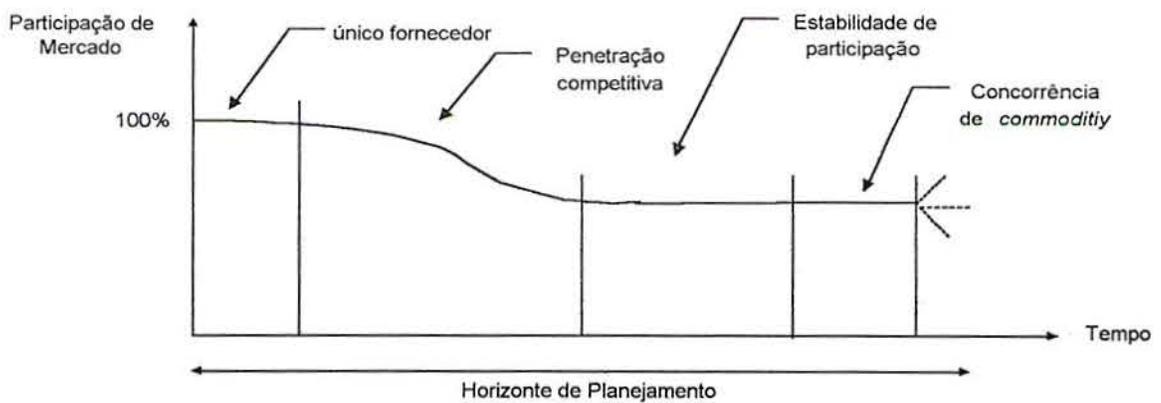


Figura 4.5 - Modo de Referência para o Modelo de Divisão de Mercado

Fonte: Adaptada da Figura 12.7 de KOTLER [18]

Na Figura 4.5, a evolução da participação é caracterizada por quatro estágios, a partir de uma situação de monopólio geográfico, como descrito logo a seguir. Essa descrição segue KOTLER [18], em termos gerais, mas referenciada à indústria de energia elétrica.

1. *monopólio geográfico*: a empresa detentora de uma área de concessão (incumbente) tem uma PdM de 100%, em relação à demanda agregada desta área;
2. *penetração competitiva*: com o aparecimento de consumidores livres não optantes, outras empresas (desafiantes) entram no mercado, com preço inferior ao da incumbente, reduzindo sua PdM e obrigando-a a reduzir preços para não deteriorar sua BdC; neste estágio, a incumbente e as desafiantes promovem a diferenciação através de esforço de *marketing*, visando atender à demanda da área e desencorajar a entrada de novas desafiantes;
3. *estabilidade de participação*: PdM's e BdC's das empresas estabelecidas na área não se alteram substancialmente;
4. *concorrência de commodity*: produto com pequenas variações de preço e qualidade faz com que consumidores escolham fornecedor de melhor reputação; os demais fornecedores obtêm somente uma taxa média de retorno, incentivando sua saída do mercado e provocando o retorno à situação de uma única fornecedora, que aumenta sua PdM.

Em cada estágio do ciclo competitivo, as empresas devem estabelecer políticas de preço e reavaliar suas estratégias, com vistas a manter ou ampliar sua BdC e tentar aumentar sua PdM.

4.3.2 Diagrama de Laço Causal do Problema de Projeção da Demanda

O DLC mostra as relações causa-efeito entre as variáveis do modelo, descritas logo a seguir. O diagrama fornece a estrutura básica do sistema e uma visão qualitativa do problema de projeção da demanda, com vistas à divisão de mercado. As relações causais foram construídas, levando em

conta o estudo feito nos capítulos anteriores e as indicações propostas na literatura (FARUQUI [47], por exemplo).

A Figura 4.6 mostra as principais relações causais, tanto do ambiente interno quanto do ambiente externo à empresa, e os principais laços de realimentação, envolvidos na determinação da demanda a ser atendida por uma empresa D/C e da sua, conseqüente, participação de mercado.

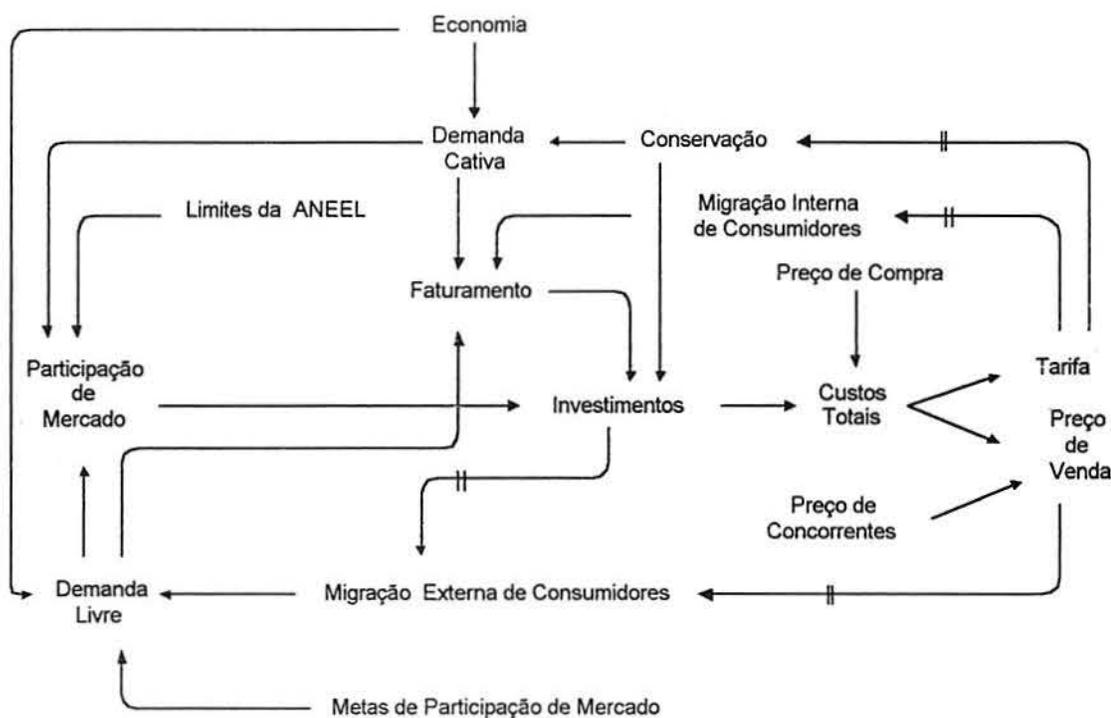


Figura 4.6 - DLC do Problema de Projeção da Demanda

Os laços de realimentação, de acordo com SENGE [60], “mostram como as ações podem se reforçar ou equilibrar umas às outras, permitem aprender a reconhecer os tipos de estruturas continuamente recorrentes”. Ainda, FORRESTER [53], mostra que, os laços promovem a dinâmica do sistema. Para melhor entendimento dessa dinâmica, analisa-se cada laço, procurando identificar a sua contribuição no problema sob análise. Isso é feito através do desmembramento da Figura 4.6 nas Figuras 4.6 (a) até (e). Cabe lembrar que, nestas figuras, a polaridade indicada mostra o sentido do efeito de uma variável sobre a outra.

Iniciando-se com o Laço 1 [Figura 4.6 (a)], a *Demanda Cativa* aumenta com a evolução da *Economia* e resulta, em parte, na *Participação de Mercado*, que é limitada pela *ANEEL*. O aumento na participação induz a maior necessidade de *Investimentos*, em termos de novos serviços, manutenção de serviços existentes, emprego de novas tecnologias, etc.; com isso aumenta o nível de satisfação dos consumidores cativos e livres. O aumento de investimentos, decorrente de novas tecnologias, pode elevar os custos variáveis no curto prazo, mas leva à redução no longo prazo.

Em consequência, os *Custos Totais*, que englobam a compra de energia, representada pelo *Preço de Compra*, aumentam e tornam necessário um repasse desses custos à *Tarifa*, autorizado pelo órgão regulador, de modo a manter o nível de faturamento. Por outro lado, o efeito no aumento da tarifa, passado um determinado tempo, aumenta a tendência de *Conservação* de energia e, fechando o laço, reduz a *Demanda Cativa*.

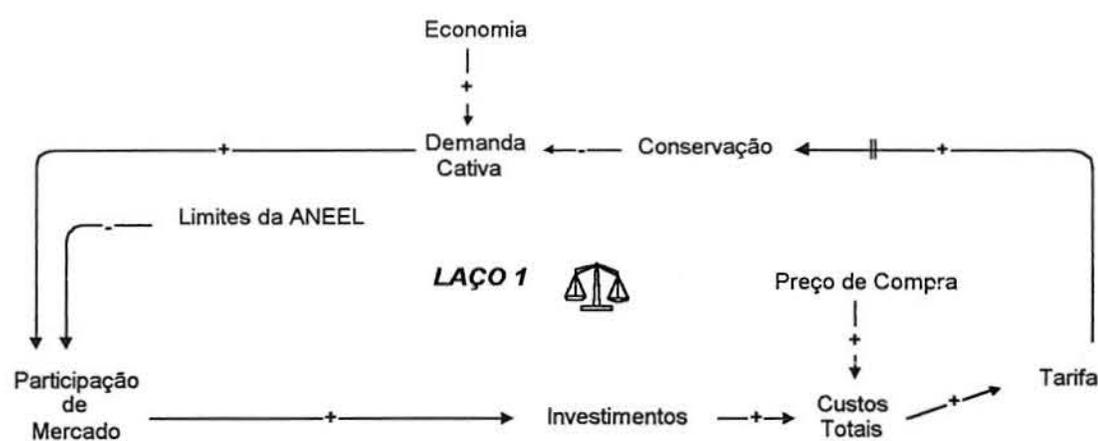


Figura 4.6 (a) – Laço de Realimentação 1

Se a *Conservação*, por um lado, reduz a demanda cativa e, em consequência, o faturamento da empresa, por outro [Figura 4.6 (b)], libera a capacidade de *Investimentos* no longo prazo, mas não reduz os custos fixos, que compõem os *Custos Totais*. Estes custos influem também na composição da *Tarifa*, que tem reflexos nas medidas de *Conservação*.

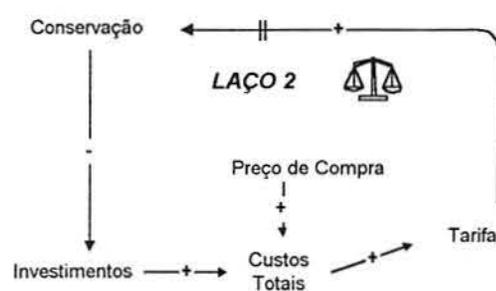


Figura 4.6 (b) – Laço de Realimentação 2

A tarifa, após um determinado tempo, influi também na *Migração Interna de Consumidores*, isto é, na troca de classe tarifária [Figura 4.6 (c)]. Pelo lado do consumidor, a troca, inicialmente, pode aumentar seus custos de investimento (transformação, por exemplo), mas seus custos de produção tendem a se reduzir ao longo do tempo, em função da redução tarifária decorrente. O consumidor, ao migrar de um nível de tensão inferior para um nível de tensão superior, procura, entre outros objetivos, beneficiar-se de uma tarifa menor (no caso dos consumidores cativos) e de

um preço menor (no caso dos consumidores livres potenciais). Neste último caso, a empresa pode evitar a migração externa.

Pelo lado da empresa, a migração interna diminui seu nível de *Faturamento*, que, por sua vez, aumenta de acordo com o crescimento da *Demanda Cativa* e da *Demanda Livre* e seus *Investimentos* no curto prazo, mas mantém seus custos fixos, que se refletem na *Tarifa* e na decisão dos consumidores quanto à *Migração Interna*.

A perda de faturamento pode ser vista como uma estratégia para manter ou aumentar o nível de satisfação do consumidor, principalmente se ele for um consumidor livre potencial. A empresa, ao conceder a alteração de grupo tarifário, no menor tempo possível, estará utilizando a estratégia de "criação de intimidade com o cliente".

Este conceito, concebido por WIERSEMA [56], é relativamente novo. Segundo o autor, a satisfação é um estado mental do cliente em relação ao produto ou serviço. Já a intimidade está um passo à frente, onde a empresa busca atender às necessidades particulares de seus clientes. Através desse relacionamento, a empresa visa manter a lealdade ou fidelidade de seus clientes ao longo do tempo. Além disto, KOTLER [18] ressalta a questão do custo para reconquistar um cliente perdido, que pode ser maior do que atender às necessidades do cliente.

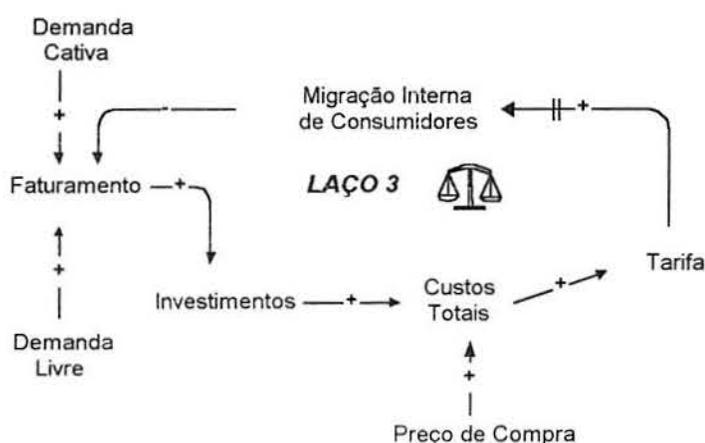


Figura 4.6 (c) – Laço de Realimentação 3

Na Figura 4.6 (d), observa-se que o aumento da *Demanda Livre*, induzido pela evolução da *Economia* e por ações empresariais (*Metas de Participação*), contribui para o aumento da *Participação de Mercado*, até o limite permitido pelo órgão regulador. As metas buscam manter ou ampliar a *Demanda Livre*, através da conquista de novos consumidores. Para atender a esta demanda, em geral, há aumentos de *Investimentos*, que se refletem nos *Custos Totais*, podendo induzir ao repasse desses custos ao *Preço de Venda*, como meio de manter o nível de faturamento da empresa. O *Preço de Concorrentes*, porém, pode implicar na redução do *Preço de Venda*.

Para os consumidores eletro-intensivos, o repasse dos custos da empresa D/C ao preço aumenta seus custos de produção e diminui a competitividade dos seus produtos. Assim, passado um determinado tempo, a tendência é pela troca da fornecedora atual por outra com preço inferior, ou seja, *Migração Externa de Consumidores*, resultando em diminuição e aumentos de *Demanda Livre*, respectivamente, à fornecedora atual e à concorrente.

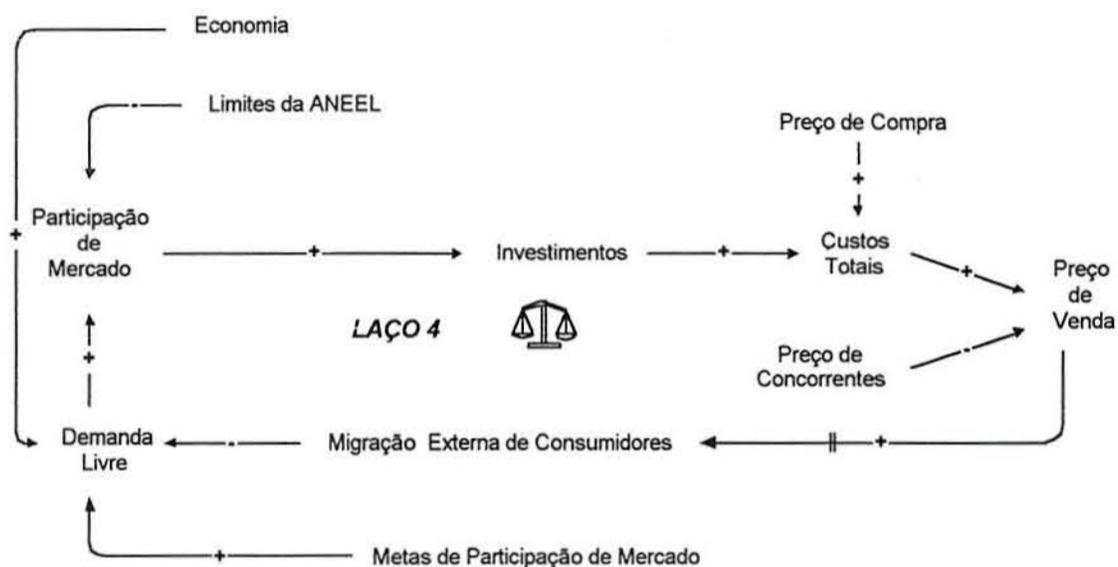


Figura 4.6 (d) – Laço de Realimentação 4

A Figura 4.6 (e) mostra a influência dos investimentos, tanto de serviços existentes quanto de novos serviços, sobre a migração externa de consumidores.

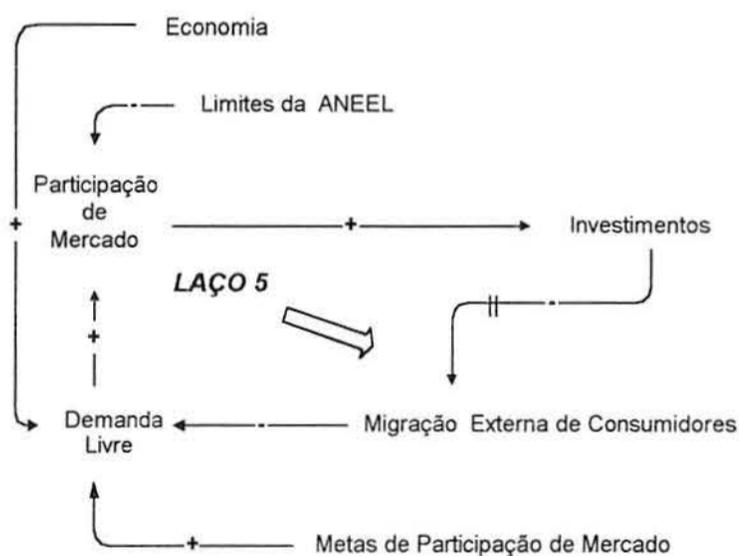


Figura 4.6 (e) – Laço de Realimentação 5

Em determinados processos industriais, o insumo energia elétrica contribui de forma reduzida na composição do custo de produção. Nestes casos, um aumento no preço de venda resultante de um aumento de *Investimentos*, percebido pelo consumidor após um determinado tempo, reduz a tendência de *Migração Externa*. A última variável e sua propagação sobre a *Demanda Livre*, *Participação de Mercado* e *Investimentos* foram analisadas anteriormente.

Finalizando, observa-se que os Laços 1 a 4 são de realimentação negativa (balanceamento) e o Laço 5 é de realimentação positiva (reforço). Os primeiros laços buscam uma meta, enquanto o último é propulsor de crescimento da participação de mercado, porém esse crescimento é limitado externamente pelas ações do órgão regulador.

4.4 CONCLUSÕES

No presente capítulo, inicialmente, caracterizaram-se as atividades de distribuição e comercialização, considerando os novos instrumentos legais. A seguir, mostrou-se a abrangência do problema de projeção da demanda num ambiente de concorrência, através da análise das alternativas de suprimento e fornecimento, com ênfase na projeção de demanda de empresas D/C's.

Finalizando, foram descritas as etapas de construção de um modelo na abordagem de Dinâmica de Sistemas, e o modelo proposto foi conceituado. As modelagens matemática e computacional do modelo aqui construído são apresentadas no próximo capítulo.

CAPÍTULO 5

MODELO PARA PLANEJAMENTO DA DEMANDA EM AMBIENTE COMPETITIVO: FORMULAÇÃO E DIAGRAMAÇÃO

5.1 INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta as modelagens matemática e computacional do modelo proposto no capítulo anterior. Inicialmente, apresenta-se a estrutura global do modelo, composto pelos submodelos macroeconômico e microeconômico. A seguir, detalham-se os módulos de cada submodelo. Finalizando, descreve-se o painel de controle do simulador.

5.2 ESTRUTURA DO MODELO

O submodelo macroeconômico realiza as projeções da demanda nacional (global e por classe) e regional (global). Os resultados deste submodelo são os dados de entrada do próximo submodelo.

O submodelo microeconômico realiza a projeção da demanda empresarial, que engloba as empresas “A” e “B”. A razão de se considerar somente duas empresas é que a estrutura de modelagem para duas é idêntica a de “n” empresas, conforme já dito no Capítulo 2. Além disso, o processo de tomada de decisão do consumidor livre, sobre qual empresa firmar seu contrato, inicialmente, poderá incluir várias empresas, porém a decisão final normalmente será entre duas.

Em outros termos, se o sistema possui várias empresas, a disputa ocorre tradicionalmente entre duas. Assim, se o sistema é formado por quatro empresas (“A”, “B”, “C” e “D”), por exemplo, pode-se considerar que a empresa “C” seja a empresa “A” e a empresa “D” a “B”.

Adicionalmente, a literatura especializada em dinâmica de sistemas traz alguns exemplos de jogos entre empresas genéricas. Estes exemplos contemplam apenas dois jogadores, como o modelo de MORECROFT [57], competição entre dois postos de gasolina por fatias de mercado, baseada no preço; e o jogo entre policiais e motoristas, considerando a aplicação de multas por excesso de velocidade, proposto por KIM e KIM [58].

Neste capítulo, algumas vezes, informações já mencionadas são repetidas, principalmente na modelagem computacional, devido ao estilo gráfico desta.

A Figura 5.1 ilustra a estrutura global do modelo completo e a interface entre os submodelos e entre os módulos.

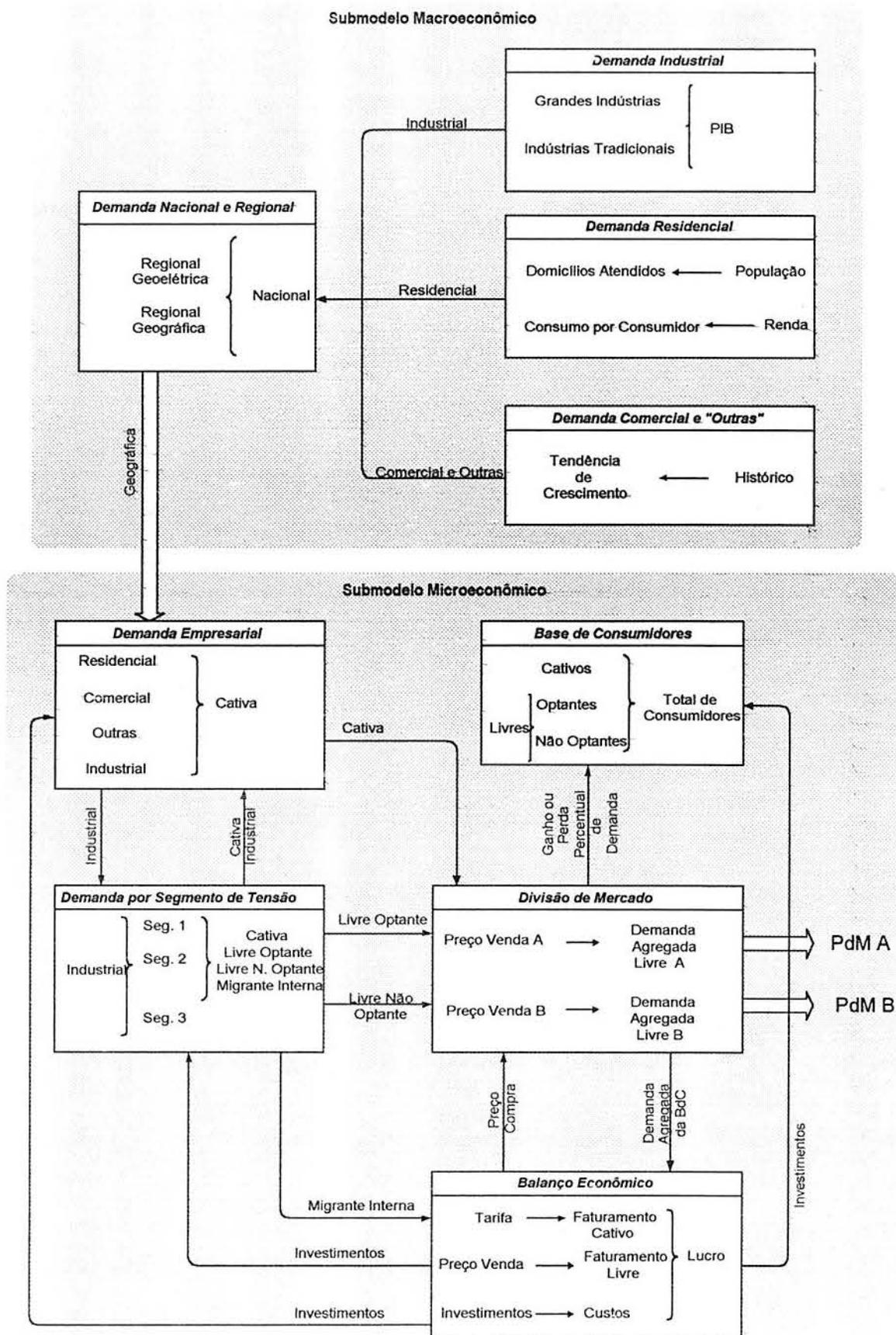


Figura 5.1 - Estrutura Global do Modelo para Divisão de Mercado

5.3 SUBMODELO MACROECONÔMICO

A demanda nacional é composta pelas classes de consumo: industrial, residencial, comercial, e outras, descritas a seguir. Neste trabalho, a classe "outras" agrega as demais classes (rural, poderes públicos, iluminação pública, serviços públicos e consumo próprio). Esta classe continuará vinculada à empresa local e, portanto, cativa se a legislação atual for mantida.

5.3.1 Módulo da Classe Industrial

A demanda da classe industrial engloba a demanda de todos os tipos de indústrias pertencentes ao setor industrial. Para fins de projeção, as indústrias podem ser divididas em dois grandes segmentos: as grandes indústrias (grandes consumidores) e as indústrias tradicionais, conforme mostra a Figura 5.2 [17].

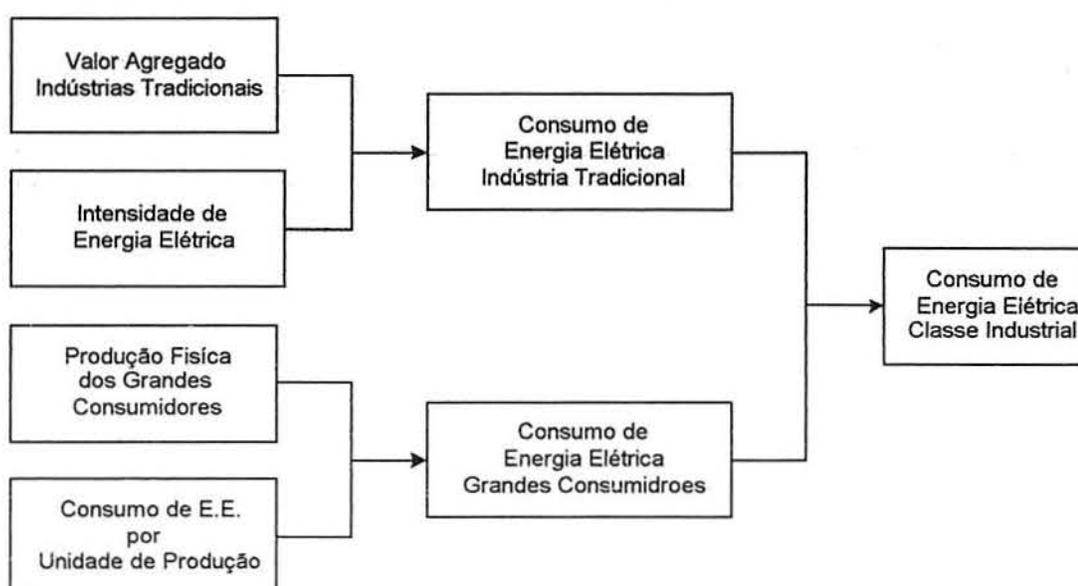


Figura 5.2 – Classe Industrial

Fonte: Referência [59]

As *grandes indústrias* (cimento, ferro-gusa e aço, materiais ferrosos e outros da metalurgia, ferro-ligas e papel e celulose), usualmente, são consumidoras eletrointensivas de energia e têm um consumo considerável em relação às demais indústrias do setor, mas o valor agregado pelo segmento ao produto interno bruto (PIB) não é proporcional ao incremento de demanda de energia elétrica induzido por ele. Assim, projetou-se o consumo por indústria, detalhado a seguir.

O valor do consumo é determinado a partir da produção física (toneladas) e do consumo de energia elétrica por tonelada, produzido por cada indústria. A produção física tem seguido uma tendência linear crescente, na maioria das indústrias relacionadas, com exceção da indústria de cimento.

A produção física da indústria de cimento tem grandes variações em relação à tendência histórica, porém acompanha o comportamento do PIB. Isto pode ser explicado pelo fato de que o crescimento da economia, medido através do PIB, resulta em maior disponibilidade de renda interna, estimulando a construção civil. Em períodos de recessão da economia, a construção civil reduz sua atividade e, por conseqüência, a produção de cimento decai. As demais indústrias, porém, quando há recessão no mercado interno, voltam suas produções para o mercado externo.

A evolução do consumo de energia elétrica por unidade de produção apresenta variações não muito regulares ao longo do período. De modo a explicar essas variações, o consumo foi relacionado com a tarifa de energia elétrica e com o preço do óleo combustível, mas nenhuma correlação apresentou valores razoáveis. Para os propósitos da pesquisa, utilizou-se a taxa média de estatísticas de crescimento do consumo de energia elétrica.

As *indústrias tradicionais* (extrativa mineral, não metálicas, química, alimentos e bebidas, textil e outras) representam as demais indústrias do setor. A projeção desse segmento é realizada de forma agregada. O consumo de energia elétrica é definido a partir do valor agregado das indústrias ao PIB, devido à produção, e da intensidade de energia elétrica, quantidade de energia necessária no processo de produção.

O valor agregado tem forte correlação com o PIB, e a relação PIB ao quadrado-valor agregado é uma linha reta, com coeficiente de correlação igual a 0,99. Esta relação mostra que, quando o PIB aumenta, a parcela do valor agregado pelo segmento aumenta com o quadrado do PIB. Para determinar a participação do valor agregado das indústrias tradicionais ao PIB, fez-se a relação entre o valor agregado da indústria como um todo e o valor agregado das indústrias tradicionais. Com base nessa relação, a participação é da ordem de 90% para as indústrias tradicionais e de 10% para as grandes indústrias.

A intensidade de energia elétrica tem, também, correlação com o PIB, sendo que aumentos no PIB resultam em reduções na mesma proporção de intensidade. Esse comportamento pode ser explicado pelo fato de que, se o valor agregado aumenta, o PIB também aumenta, mas a intensidade de energia diminui, pois o valor da intensidade é a relação entre a energia utilizada e o valor agregado produzido. Portanto, de posse do PIB pode-se determinar o valor da intensidade de energia total. Entretanto, necessita-se determinar o valor da intensidade de energia elétrica.

Para tanto, foram efetuadas as relações: a intensidade e a tarifa média de energia elétrica e intensidade e o preço do óleo combustível. Nenhuma destas relações apresentou coeficientes de correlação aceitáveis. Utilizou-se, então, a tendência histórica da participação da energia elétrica no consumo global de energia das indústrias tradicionais.

A formulação matemática da classe industrial é dada pelas seguintes expressões:

$$CIndBR = CGI + CIT \quad (5.1)$$

$$CGI = \sum_{i=1}^5 C_i \cdot P_i \cdot TP_i \cdot FC \quad (5.2)$$

$$CIT = VIT \cdot IITR \cdot PIT \cdot FC \quad (5.3)$$

Onde:

$CIndBR$	consumo industrial nacional (MWh)
CGI	consumo das grandes indústrias (MWh)
CIT	consumo das indústrias tradicionais (MWh)
i	índice de indústria no segmento das grandes indústrias, $i = 1, \dots, 5$
C_i	consumo da indústria "i" (tep/tonelada)
P_i	produção da indústria "i" (tonelada)
TP_i	taxa de produção da indústria "i" (%/ano)
FC	fator de conversão de tep médio em MWh ($FC = 0,29$)
VIT	valor agregado das indústrias tradicionais (R\$ milhões)
$IITR$	intensidade de energia das indústrias tradicionais (tep/R\$ milhões)
PIT	participação da energia elétrica no consumo total das indústrias tradicionais (% a.a.)

O diagrama de estoque e fluxo (DEF) da classe industrial é mostrado na Figura 5.3. Neste diagrama e nos seguintes, as variáveis ou constantes, que aparecem dentro de um módulo, algumas vezes, estão repetidas para evitar o cruzamento de linhas que possam dificultar a compreensão do leitor.

O consumo de energia elétrica industrial nacional ($CIndBR$) resulta da soma dos consumos das grandes indústrias ($CGrandesIndústrias$) e das indústrias tradicionais ($CIndústriasTradicionais$), ambos em tep (CGI_{tep} e CIT_{tep}), pelo produto do fator de conversão de tep médio em MWh (FC).

Para definir o consumo de energia elétrica do segmento das grandes indústrias, utiliza-se a mesma estrutura de modelagem para as indústrias de: papel e celulose (CPC), ferro-ligas (CFL), ferro-gusa e aço ($CFGa$), não ferrosos e outros da metalurgia ($CNFM$) e cimento (CC). Para determinar a produção ($Prod$) foi utilizada uma variável de nível, não para acumular os valores de produção, mas sim como um recurso computacional para gerar a produção das indústrias endogenamente no modelo, cuja taxa é o percentual de crescimento anual da produção ($TProd$). No caso da indústria de cimento, a produção é determinada por correlação com o PIB ($ProdCPIB$).

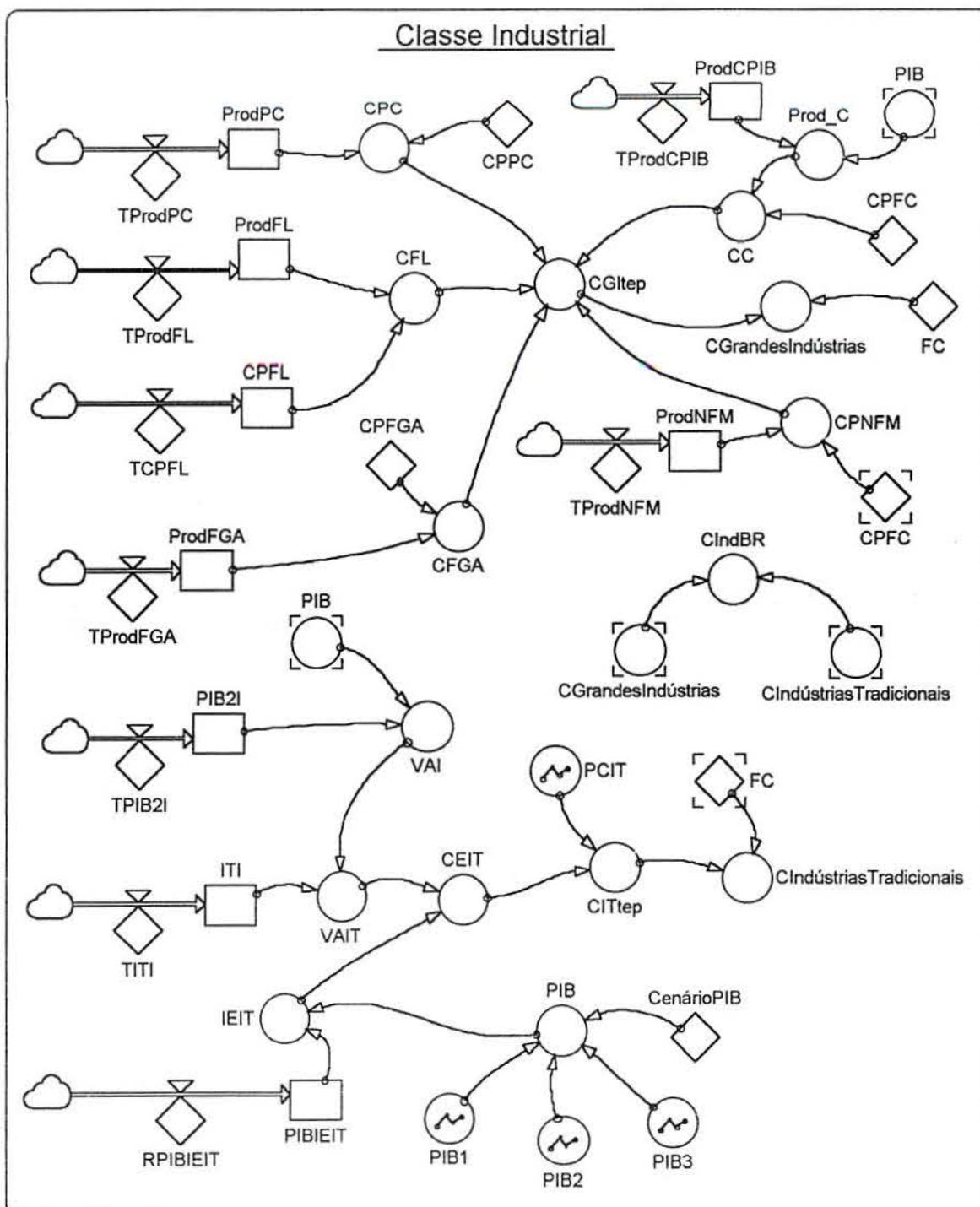


Figura 5.3 – DEF para Projeção da Demanda da Classe Industrial

O consumo de energia elétrica por unidade de produção (CP) representa o consumo específico de energia elétrica gasto na produção em relação ao montante de consumo, que contempla outros energéticos, como a lenha e carvão vegetal, por exemplo. O consumo de cada indústria (C) é calculado através da multiplicação entre a produção e o consumo específico de energia elétrica na indústria considerada.

O consumo das indústrias tradicionais (*CIndústriasTradicionais*) é determinado através do consumo total deste segmento (*CIT_{tep}*), dado em tep, convertido em MWh. O último consumo, por sua vez, é determinado a partir do consumo total de energia das indústrias tradicionais (*CEIT*) e da participação do consumo de energia elétrica no consumo total das indústrias (*PCIT*). Na implementação do *PCIT* foi utilizada uma ferramenta gráfica disponível no *shell Powersim*, descrito na seção 5.5.

Para determinar o *CIT_{tep}* é necessário o consumo de energia das indústrias tradicionais (*CEIT*), que depende do valor agregado das indústrias tradicionais (*VAIT*) e da intensidade de energia das indústrias tradicionais (*IEIT*). O *VAIT* depende do valor agregado da indústria como um todo – grandes e tradicionais – (*VAI*), calculado pela correlação entre o *PIB* ao quadrado e o valor agregado da indústria (*PIB2I*), e da participação do valor agregado das indústrias tradicionais no valor agregado da indústria total (*ITI*). A *IEIT* é definida a partir da correlação entre o *PIB* e a intensidade de energia das indústrias tradicionais (*PIBIEIT*). Para estas relações, utilizaram-se variáveis de nível, não como estoques do sistema, mas sim como um recurso de programação.

O *PIB* é um dado de entrada do modelo, mas pode-se simular diferentes cenários (*CenárioPIB*), escolhendo entre as três opções (*PIB1*, *PIB2* e *PIB3*) disponíveis no painel de controle do simulador, descrito também na seção 5.5.

5.3.2 Módulo da Classe Residencial

A estrutura de modelagem e a formulação matemática da classe residencial foram retiradas da referência [20] e integradas ao modelo, com uma modificação no que se refere ao *PIB*. Na referência, o *PIB* é calculado endogenamente no modelo de simulação, e neste trabalho é um dado de entrada. Os procedimentos adotados na projeção estão ilustrados na Figura 5.4.

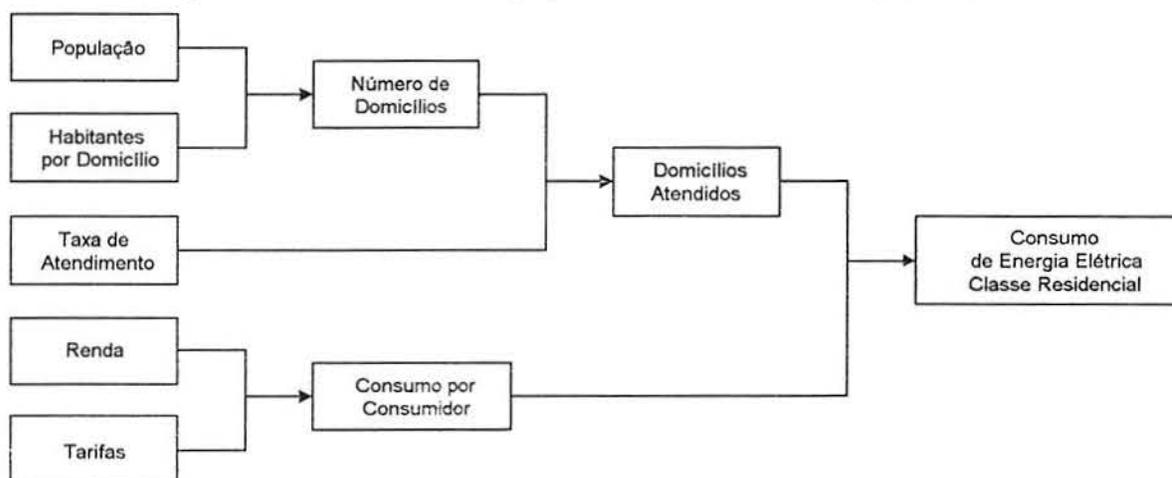


Figura 5.4 – Classe Residencial

Fonte: Referência [20]

O crescimento populacional resulta do número de nascimentos e do número de mortes e é dado por:

$$Pop(t) = Pop(t-1) + \int_0^t [NN(t) - NM(t)] dt \quad (5.4)$$

Onde:

- Pop(t) número de habitantes no período t (hab. milhões)
 Pop(t-1) número de habitantes no período $t - 1$ (hab. milhões)
 NN(t) número de nascimentos no período t (hab./ano)
 NM(t) número de mortes no período t (hab./ano)
 t período (ano)

O número de nascimentos depende da taxa de natalidade anual. O modelo inclui um coeficiente de ajuste da população, que representa políticas governamentais, como campanhas de saúde e controle da natalidade, por exemplo, que influenciam a evolução da população. O número de nascimentos é representado por:

$$NN = Pop \cdot TN \cdot KI \quad (5.5)$$

Onde:

- NN número de nascimentos (hab./ano)
 Pop número de habitantes (hab. milhões)
 TN taxa de natalidade (% a.a.)
 KI coeficiente de ajuste da população (adimensional)

O número de mortes varia de acordo com a taxa de mortalidade anual, e é dado por:

$$NM = Pop \cdot TM \quad (5.6)$$

Onde:

- NM número de mortes (hab./ano)
 Pop número de habitantes (hab. milhões)
 TM taxa de mortalidade (% a.a.)

A renda *per capita* é a relação entre o PIB e a população, cuja equação é apresentada a seguir:

$$RPC = \frac{PIB}{Pop} \quad (5.7)$$

Onde:

RPC renda per capita (R\$/hab.)

O consumo por domicílio atendido é influenciado pela renda *per capita* e pela tarifa. Aumentos na tarifa tendem a reduzir o consumo e vice-versa. Aumentos na renda *per capita* tendem ao aumento do consumo, porém esta influência ocorre após certo tempo, isto é, com atraso. Considerações relativas aos atrasos não têm sido tratadas na metodologia tradicional e, também, não há dados históricos sobre este parâmetro. Por estes motivos, supõe-se que este atraso seja de um ano no horizonte de estudo. As relações entre as variáveis que resultam no consumo por domicílio atendido são mostradas nesta equação:

$$CDA = f\left(\frac{RPC_{(t-\tau_1)}}{Tarifa}\right) \cdot Habd \quad (5.8)$$

Onde:

CDA consumo por domicílio atendido (MWh/domicílio)

Tarifa tarifa (R\$/MWh)

Habd habitante por domicílio (hab./domicílio)

τ_1 atraso em unidades de tempo, $\tau_1 = 1$ (ano)

A taxa de atendimento da empresa depende do número de solicitações dos consumidores, que por sua vez, depende da renda familiar, aqui representada pela renda *per capita*. A expressão da taxa de atendimento, baseada em dados históricos, foi construída por ajuste de curvas e o método dos mínimos quadrados (m.m.q.), e é dada como:

$$TA = \frac{RPC}{29,8} + 2 \frac{e^{\frac{t}{10}}}{4,1e^{85}} \quad (5.9)$$

Onde:

TA taxa de atendimento (% a.a.)

RPC renda *per capita* (R\$/hab.)

O cálculo do número de habitantes por domicílio obedece a um equacionamento dependente do tempo e da renda *per capita*, resultando, após um ajuste de curvas e o m.m.q., na seguinte equação:

$$Habd = \frac{197000}{(0,005 \cdot t)^{3,95 - e^{\left(\frac{100}{RPC}\right)0,5 - 17,9}} \quad (5.10)$$

O número total de domicílios é a relação entre a população e o número de habitantes por domicílio, e é dado por:

$$NTD = \frac{Pop}{Habd} \quad (5.11)$$

Onde:

NTD número total de domicílios (domicílios)

Habd habitante por domicílio (hab./domicílio)

O número de domicílios atendidos depende do número total de domicílios e da taxa de atendimento, ou seja:

$$NDA = NTD \cdot TA \quad (5.12)$$

Onde:

NDA número de domicílios atendidos (domicílios atendidos)

NTD número total de domicílios (domicílios)

TA taxa de atendimento (% a.a.)

Os investimentos realizados para atender à demanda projetada estão representados através do custo de acréscimo anual de energia, que é uma fração do PIB, como mostra a equação:

$$CAE = PIB \cdot 1,4\% \cdot 48\% \quad (5.13)$$

Onde:

CAE custo do acréscimo anual de energia (R\$ milhões)

PIB produto interno bruto (R\$ milhões)

A tarifa é definida como a razão entre os investimentos e o acréscimo na oferta de energia. O equacionamento é dado por:

$$Tarifa = \frac{CAE}{AOE} \quad (5.14)$$

Onde:

Tarifa tarifa (R\$/MWh)

CAE custo do acréscimo anual de energia (R\$ milhões)

AOE acréscimo na oferta de energia (MWh)

O acréscimo na oferta de energia (média por ano) é equivalente ao consumo global projetado, ou seja:

$$AOE = CResBr \quad (5.15)$$

Onde:

AOE acrécimo na oferta de energia (MWh)

CResBr consumo residencial nacional (MWh)

O efeito de aumentos tarifários sobre a adoção de procedimentos de conservação, por parte do consumidor, ocorre após passado um determinado tempo. Esse atraso é contemplado na formulação, construída com base em hipóteses sobre taxas de conservação, conforme segue:

$$Conservação = \left[CResBr \left(\frac{1}{3} \cdot Tarifa_{(t-\tau_2)} \cdot \frac{CResBr}{1000} \right) \right] / CAE \quad (5.16)$$

Onde:

Conservação eficiência em conservação de energia elétrica (MWh)

Tarifa tarifa (R\$/MWh)

CAE custo do acréscimo anual de energia (R\$ milhões)

τ_2 atraso em unidades de tempo, $\tau_2 = 1$ (ano)

A taxa de crescimento do consumo é calculada em função do número de domicílios atendidos, do consumo por domicílio atendido e da conservação de energia. A expressão desta taxa foi construída por ajuste de curvas e o método de m.m.q., e é dada como se segue:

$$TCR = \frac{1}{13} NDA(CDAe^{-6}) - \frac{Conservação}{1000} \quad (5.17)$$

Onde:

TCR taxa de crescimento do consumo residencial (MWh)

NDA número de domicílios atendidos (domicílios atendidos)

CDA consumo por domicílio atendido (MWh/domicílio)

Conservação eficiência em conservação de energia elétrica (MWh)

A evolução do consumo residencial depende da sua taxa de crescimento, e é dada por:

$$CResBr(t) = CResBr(t-1) + \int_0^t TCR(t) dt \quad (5.18)$$

Onde:

CResBr(t) consumo residencial nacional no período t (MWh)

CResBr(t-1) consumo residencial nacional no período $t - 1$ (MWh)

TCR (t) taxa de crescimento do consumo residencial no período t (MWh/ano)

A Figura 5.5 mostra o DEF da classe residencial. O consumo residencial nacional (*CResBR*) é definido como uma variável de nível porque ele é um ponto de acumulação do sistema. A evolução do consumo depende do fluxo de crescimento anual (*TCR*). A variação deste fluxo é influenciada pelo número de domicílios atendidos (*NDA*), pelo consumo por domicílio atendido (*CDA*) e pela eficiência em conservação de energia (*Conservação*).

As variáveis habitantes por domicílio (*Habd*) e auxiliar (*AUX*) são representadas graficamente em forma de relógio por estarem definidas em função do tempo. A última variável foi necessária como auxílio na reprodução dos dados históricos da taxa de atendimento (*TA*), que por sua vez influencia diretamente o *NDA*.

A população (*Pop*) é outra variável de estoque do sistema, que aumenta segundo o fluxo de pessoas que nascem (*NN*) e diminui segundo o fluxo de pessoas que morrem (*NM*). Estes fluxos dependem, respectivamente, das taxas anuais de natalidade (*TN*) e mortalidade (*TM*), consideradas constantes ao longo do período de estudo, mas que podem ser alteradas durante a simulação. O modelo permite simular diferentes cenários demográficos, através da alteração do parâmetro *K1*, também, no painel de controle do simulador.

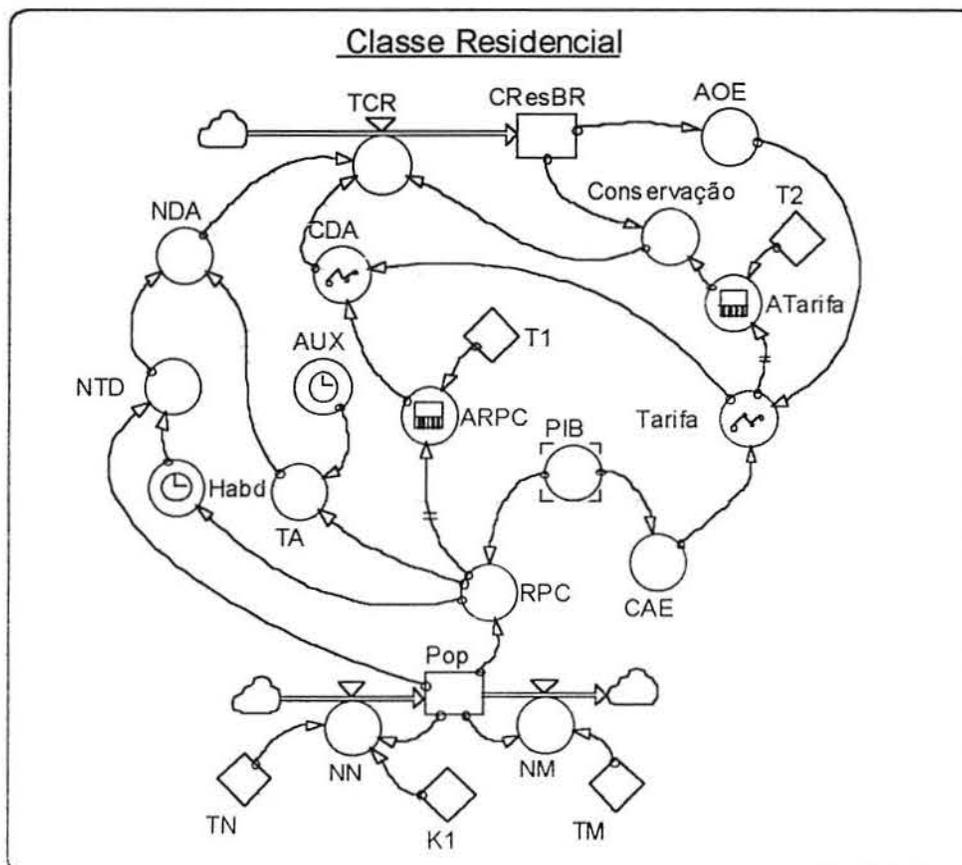


Figura 5.5 - DEF para Projeção da Demanda da Classe Residencial

A informação do estado da população aliada ao PIB determina a renda *per capita* (*RPC*). A população e o número de habitantes por domicílio influenciam o número total de domicílios (*NTD*). As variações na renda *per capita* afetam a taxa de atendimento (*TA*), ou seja, o aumento no nível de renda das famílias contribui para o aumento do número de ligações residenciais (*NDA*). O aumento de renda induz a uma maior necessidade de consumo de energia elétrica, de maneira a proporcionar conforto e segurança nas residências, por exemplo.

O reflexo no crescimento do consumo em função da renda não ocorre de forma imediata, mas sim com um atraso no tempo, considerado como sendo de um ano, através da constante *T1*. Este reflexo é representado na variável renda *per capita* com atraso (*ARPC*), que afeta o consumo por domicílio atendido (*CDA*) e, conseqüentemente, o fluxo de crescimento do consumo (*TCR*). O *CDA* é calculado segundo a relação entre a renda *per capita* (*ARPC*) com atraso e a *Tarifa*, e esta, entre o acréscimo na oferta de energia (*AOE*) e o custo deste acréscimo (*CAE*).

Neste módulo, o comportamento dos consumidores quanto ao uso da energia elétrica é baseado na renda e na tarifa, que está refletido, mais especificamente, no consumo por domicílio atendido (*CDA*) e na eficiência em conservação (*Conservação*). Esta última é determinada a partir de uma taxa sobre o consumo global (*CResBr*) e do efeito da tarifa com atraso (*ATarifa*). A ação dos consumidores na redução de consumo por aumentos tarifários ou vice-versa é considerada como sendo de um ano, através da constante *T2*.

5.3.3 Módulo da Classe Comercial e Outras Classes

As classes comercial e “outras” são modeladas segundo suas tendências de crescimento, cujas equações são apresentadas a seguir:

$$CComBr(t) = CComBr(t-1) + \int_0^t TCC(t)dt \quad (5.19)$$

$$COutrasBr(t) = COutrasBr(t-1) + \int_0^t TCO(t)dt \quad (5.20)$$

Onde:

$CComBr(t)$	consumo comercial nacional no período t (MWh)
$CComBr(t-1)$	consumo comercial nacional no período $t-1$ (MWh)
$COutrasBr(t)$	consumo “outras” nacional no período t (MWh)
$COutrasBr(t-1)$	consumo “outras” nacional no período $t-1$ (MWh)
$TCC(t)$	taxa de crescimento do consumo comercial no período t (MWh/ano)
$TCO(t)$	taxa de crescimento do consumo “outras” no período t (MWh/ano)

Para implementar a evolução do consumo destas classes, aproveita-se a propriedade da variável de nível, que no instante “t” do cálculo assume o valor do consumo no instante “t-1” acrescido de sua taxa de crescimento no instante “t”. Assim, o consumo da classe comercial (*CComBr*) depende de seu fluxo de crescimento por ano (*TCC*) e, de forma similar, as outras classes (*COtrasBr*) do fluxo *TCO*, conforme mostra a Figura 5.6.

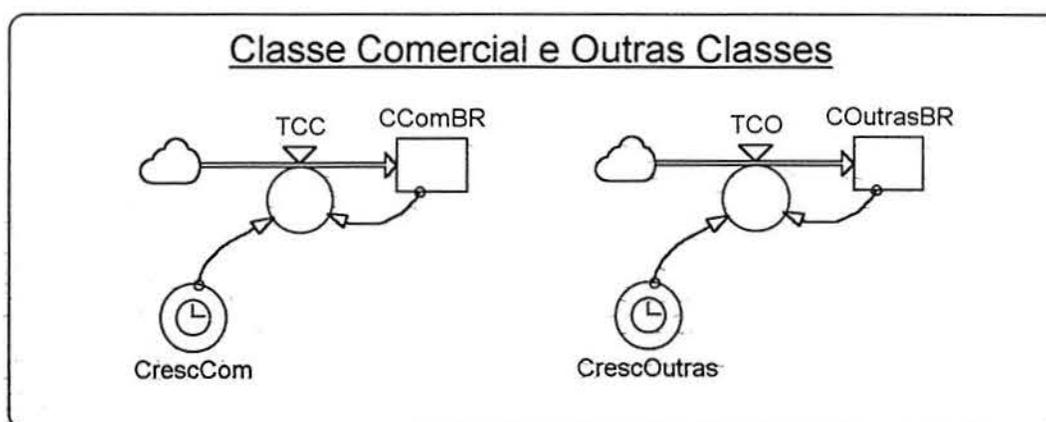


Figura 5.6 - DEF para Projeção da Demanda da Classe Comercial e Outras Classes

5.3.4 Módulo de Demanda Nacional e Regional

O consumo nacional é o somatório do consumo das classes, como indicado:

$$CBR = \sum_{ii=1}^4 CClasse_{ii} \quad (5.21)$$

Onde:

CBR consumo nacional (MWh)

CClasse consumo da classe (MWh)

ii índice de classe de consumo, $ii = 1, \dots, 4$

A estimativa da demanda regional é feita a partir das participações anuais das regiões geográficas e geoeletricas na demanda nacional, com base nas participações históricas e na tendência de crescimento destas participações. As expressões são dadas por:

$$CG_{j1} = CBR \cdot PR_{j1} \quad (5.22)$$

$$CG_{j2} = CBR \cdot PR_{j2} \quad (5.23)$$

Onde:

CG_{j1} consumo regional geográfico “j1” (MWh)

CG_{j2} consumo regional geoeletrico “j2”(MWh)

CBR	consumo nacional (MWh)
PR_{j_1}	participação da região "j1" (% a.a.)
PR_{j_2}	participação da região "j2" (% a.a.)
j_1	índice de região geográfica, $j_1 = 1, \dots, 5$
j_2	índice de região geoeletrica, $j_2 = 1, \dots, 4$

Neste trabalho, a demanda regional é estimada somente para a região Sul, como ilustra a Figura 5.7. O consumo nacional (CBR) é a soma do consumo das classes industrial ($CIndBr$), residencial ($CResBr$), comercial ($CComBr$) e outras ($COuBr$). O consumo regional geográfico ($CGeográficoSul$) e geoeletrico ($CGeoeletricoSul$) é calculado através do produto do consumo nacional (CBR) e da participação das regiões geográfica ($PGeográficoSul$) e geoeletrica ($PGeoeletricaSul$).

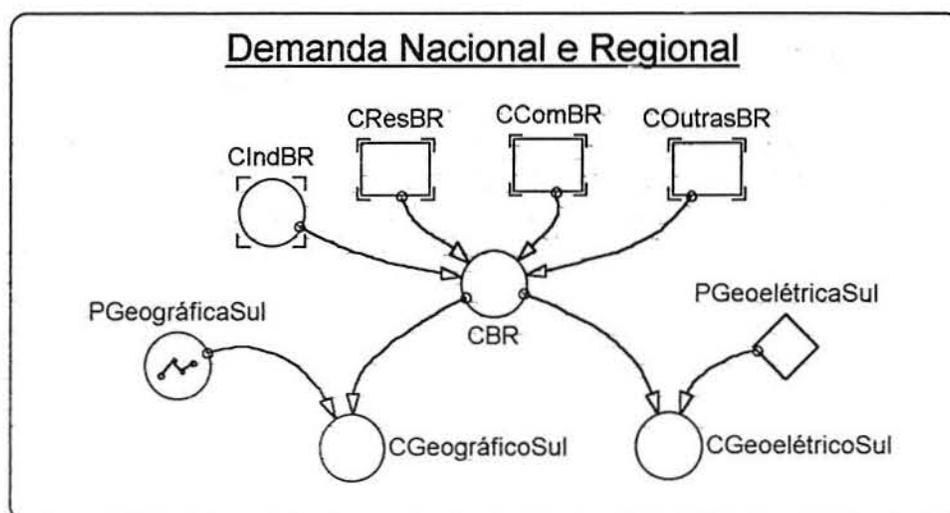


Figura 5.7 - DEF para Projeção da Demanda Nacional e Regional Sul

5.4 SUBMODELO MICROECONÔMICO

A estrutura de modelagem da empresa "A" é idêntica a da empresa "B". Assim, descrevem-se os diagramas da "A", e menciona-se a "B" quando for necessário.

5.4.1 Módulo de Demanda Empresarial

Determinada a demanda regional geográfica, a demanda empresarial global é projetada, por etapas. Na primeira etapa, a participação da empresa na região considerada é realizada por área de concessão e, na segunda, por participação de mercado, ou seja:

$$CE_{i,o} = CG_{j_1} \cdot PE_{i,j_1,o} \quad (5.24)$$

Onde:

- $CE_{l,o}$ consumo global da empresa “l” na etapa “o” (MWh)
 CG_{j_1} consumo regional “j₁” (MWh)
 $PE_{l,j_1,o}$ participação da empresa “l” na região “j₁” na etapa “o” (% a.a.)
 j_1 índice de região geográfica, $j_1 = 1, \dots, 5$
 l índice de empresa, $l = 1, 2$
 o índice de etapa, $o = 1, 2$

A demanda empresarial é decomposta em classes de consumo, de acordo com as seguintes expressões:

$$CI_l = CE_l \cdot PI_l \quad (5.25)$$

$$CR_l = CE_l \cdot PR_l \quad (5.26)$$

$$CC_l = CE_l \cdot PC_l \quad (5.27)$$

$$CO_l = CE_l \cdot PO_l \quad (5.28)$$

Onde:

- CE_l consumo global de “l”(MWh)
 CI_l consumo industrial de “l”(MWh)
 CR_l consumo residencial de “l” (MWh)
 CC_l consumo comercial de “l” (MWh)
 CO_l consumo “outras” de “l” (MWh)
 PI_l participação do consumo industrial no consumo global de “l” (% a.a.)
 PR_l participação do consumo residencial no consumo global de “l” (% a.a.)
 PC_l participação do consumo comercial no consumo global de “l” (% a.a.)
 PO_l participação do consumo “outras” no consumo global de “l” (% a.a.)
 l índice de empresa, $l = 1, 2$

A quantificação das parcelas de demanda agregada cativa e livre é realizada, simultaneamente, com o próximo módulo. A demanda cativa é dada por:

$$DaC_l = (CR_l + CC_l + CO_l + CCI_l) \cdot (1 - \text{Conservação}_{l,1-t_2}) \quad (5.29)$$

Onde:

DaC_l	demanda agregada cativa de "I" (MWh)
CR_l	consumo residencial de "I" (MWh)
CC_l	consumo comercial de "I" (MWh)
CO_l	consumo "outras" de "I" (MWh)
CCI_l	consumo cativo industrial de "I" (MWh)
$Conservação_{l,t-\tau_2}$	eficiência em conservação de "I" (% a.a.)
τ_2	atraso em unidades de tempo, $\tau_2 = 1$ (ano)
l	índice de empresa, $l = 1, 2$

A Figura 5.8 mostra o DEF deste módulo. O consumo global da empresa "A" ($CGlobalA$) é determinado através do produto entre o consumo geográfico ($CGeográficoSul$) e a participação da empresa na região geográfica (PEA).

A evolução do consumo das classes é projetada segundo a participação da classe no consumo global. Dessa forma, o consumo industrial ($CIndA$) resulta do produto entre o $CGlobalA$ e a participação industrial (PIA) e, de forma similar, o consumo das demais classes.

A demanda agregada cativa da empresa ($DaCA$) é a soma do consumo das classes residencial ($CResA$), comercial ($CComA$) e outras ($COOutrasA$) e do consumo cativo industrial ($CCIA$), descontada a conservação com atraso no tempo ($AConservaçãoA$).

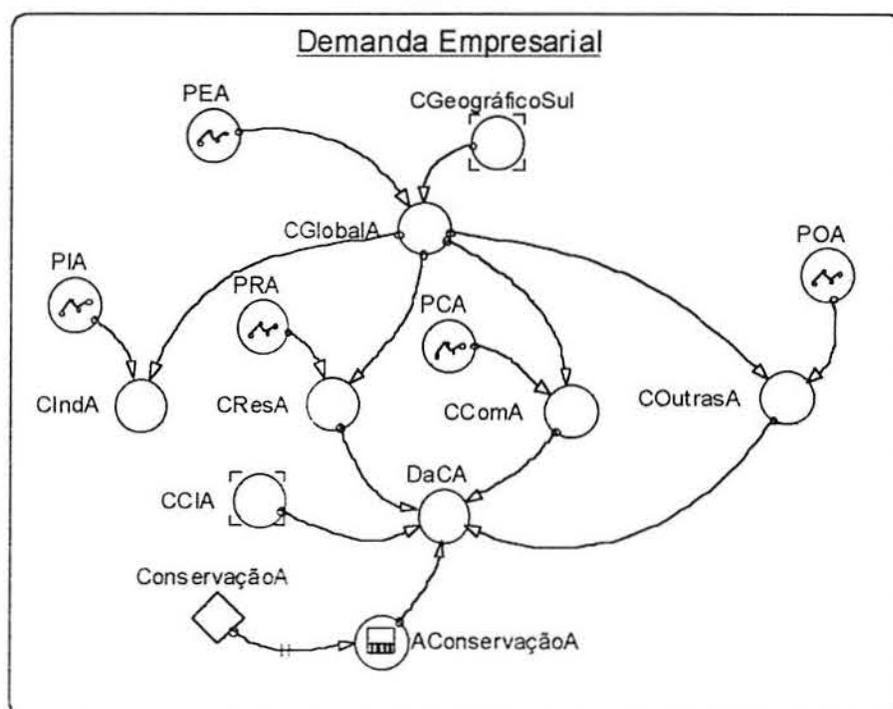


Figura 5.8 - DEF para Projeção da Demanda Empresarial

5.4.2 Módulo de Demanda por Segmento de Tensão

A demanda livre é definida com base na qualificação de consumidores. Os consumidores livres encontram-se, basicamente, na classe industrial. Para esta qualificação, os níveis tradicionais de tensão foram agregados em três segmentos, representados no Quadro 5.1.

Quadro 5.1 – Classificação dos Níveis e Segmentos de Tensão

<i>Nível de Tensão</i>	<i>Segmento de Tensão</i>
A ₁ : 230 kV ou mais	S1
A ₂ : 88 a 138 kV	
A ₃ : 69 kV	
A _{3a} : 30 a 44 kV	
A ₄ : 2,3 a 13,8 kV	S2
A ₅ : 2,3 a 13,8 kV (subterrâneo)	
B ₁ : residencial (110 a 440 V)	S3
B ₂ : rural (110 a 440 V)	
B ₃ : nem residencial nem rural (110 a 440 V)	
B ₄ : iluminação Pública (110 a 440 V)	

A partir das características de tensão e demanda dos consumidores, eles são qualificados em cativos e livres, como mostra o Quadro 5.2.

Quadro 5.2 – Qualificação de Consumidores

<i>Consumidor</i>	<i>Tensão</i>	<i>Demanda</i>	<i>Vigência</i>
Livre	≥ 69 kV	≥ 10 MW	Imediata
Livre	≥ 69 kV	≥ 3 MW	2000
Livre	≥ 30 kV	≥ 2 MW	2003
Cativo	não enquadrado nos critérios anteriores		

A demanda por segmento de tensão é dada por:

$$CS_{k,l} = CI_l \cdot PS_{k,l} \quad (5.30)$$

Onde:

$CS_{k,l}$ consumo do segmento “k” de “l”(MWh)

CI_l consumo industrial de “l”(MWh)

$PS_{k,l}$ participação média do segmento “k” no consumo industrial de “l” (% a.a.)

k índice de segmento de tensão, $k = 1, \dots, 3$

A demanda por segmento de tensão é decomposta nas parcelas de demanda cativa e livre potencial, em função da participação média da parcela no segmento considerado e do tempo para o consumidor adquirir a condição de livre. As parcelas são dadas por:

$$CCS_{k,l} = CS_{k,l} \cdot PCS_{k,l} \quad (5.31)$$

$$CLPS_{k,l} = CS_{k,l,t-\tau_3} \cdot (1 - PCS_{k,l}) \quad (5.32)$$

Onde:

$CCS_{k,l}$	consumo cativo do segmento “k” de “l”(MWh)
$CLPS_{k,l}$	consumo livre potencial do segmento “k” de “l”(MWh)
$CS_{k,l}$	consumo do segmento “k” de “l”(MWh)
$CS_{k,l,t-\tau_3}$	consumo do segmento “k” de “l”, com atraso (MWh)
$PCS_{k,l}$	participação do consumo cativo no segmento “k” de “l” (% a.a.)
τ_3	tempo para adquirir a condição de livre (anos)
k	índice de segmento de tensão, k = 1, ...,3

A parcela de demanda livre potencial de cada segmento, por sua vez, é decomposta em duas subparcelas: demanda livre optante e demanda livre não optante. A primeira subparcela representa o comportamento dos consumidores que permanecem na fornecedora atual; a segunda, o comportamento dos consumidores que declaram suas opções de troca.

Como passo inicial na modelagem da demanda livre optante, o comportamento dos consumidores livres optantes é formulado em função dos investimentos realizados pela empresa e do efeito desses investimentos ao longo do tempo, porém, há outros fatores, já relacionados, que influem neste comportamento. Os investimentos, mencionados neste e nos próximos capítulos, correspondem aos novos serviços de fidelização de consumidores. Para isso, uma regra de decisão e os seus valores foram construídos, com base em hipóteses, como se segue:

- se a taxa de investimentos for menor do que 1% a.a., a demanda livre optante é proporcional à taxa acrescida de 5%;
- se a taxa de investimentos for maior ou igual a 1% a.a., a demanda livre optante é proporcional ao produto da taxa por 5 e, esse produto, acrescido de 5%.

Para os consumidores que desejam trocar de fornecedora, a legislação vigente estipula que o consumidor deve comunicar a sua decisão à fornecedora atual, três anos antes da migração efetiva.

As duas subparcelas são formuladas a seguir:

$$CLOS_{k,l} = CLPS_{k,l,t-\tau_4} \cdot PInv_l \quad (5.33)$$

$$CLNOS_{k,l} = CLPS_{k,l,t-\tau_5} - CLOS_{k,l} \quad (5.34)$$

Onde:

- $CLOS_{k,l}$ consumo livre optante do segmento “k” de “l”(MWh)
 $CLNOS_{k,l}$ consumo livre não optante do segmento “k” de “l”(MWh)
 $CLPS_{k,l}$ consumo do segmento “k” de “l”, com atraso (MWh)
 $PInv_l$ taxa de investimentos de “l” (% a.a.)
 τ_4 tempo médio para o efeito dos investimentos, após declarada a opção, $\tau_4 = 1$ (ano)
 τ_5 tempo para declarar a opção de migração externa, $\tau_5 = 3$ (anos)
 k índice de segmento de tensão, $k = 1, \dots, 3$
 l índice de empresa, $l = 1, 2$

Na classe industrial há movimento de consumidores entre grupos tarifários, ou seja, a migração interna. O período compreendido entre a solicitação do consumidor e a sua alteração efetiva de grupo tem sido de, aproximadamente, dois anos. Se a empresa tem disponibilidade no seu sistema, a alteração pode ocorrer em período menor. A demanda migrante interna, definida em função da taxa média de migração entre grupos e entre segmentos de tensão, pode ser formulada deste modo:

$$DaMI_l = \sum_{k=2}^1 \sum_{m=5}^{m-1} CCS_{k,l,t-\tau_6} \cdot TMI_{m,m-1} \quad (5.35)$$

Onde:

- $DaMI_l$ demanda agregada migrante interna de “l”(MWh)
 $CCS_{k,l}$ consumo cativo do segmento “k” de “l”, com atraso (MWh)
 TMI taxa média de migração interna (% a.a.)
 $CLPS_{k,l}$ consumo do segmento “k” de “l”, com atraso (MWh)
 τ_6 tempo médio para migração interna, $\tau_6 = 2$ (anos)
 k índice de segmento de tensão, $k = 1, \dots, 3$
 l índice de empresa, $l = 1, 2$
 m índice de grupo tarifário, $m = 1, \dots, 5$

A demanda agregada de cada parcela resulta em:

$$DaCI_l = \sum_{k=1}^3 CCS_{k,l} \quad (5.36)$$

$$DaLO_l = \sum_{k=1}^3 CLOS_{k,l} \cdot (1 - Conservação_{l,t-\tau_2}) \quad (5.37)$$

$$DaLNO_l = \sum_{k=1}^3 CLNOS_{k,l} \quad (5.38)$$

Onde:

$DaCI_l$	demanda agregada cativa industrial de “l”(MWh)
$DaLO_l$	demanda agregada livre optante de “l”(MWh)
$DaLNO_l$	demanda agregada livre não optante de “l”(MWh)
$CCS_{k,l}$	consumo cativo do segmento “k” de “l” (MWh)
$CLOS_{k,l}$	consumo livre optante do segmento “k” de “l”(MWh)
$CLNOS_{k,l}$	consumo livre não optante do segmento “k” de “l”(MWh)
$Conservação_l$	eficiência em conservação de “l” (% a.a.)
τ_2	atraso em unidades de tempo, $\tau_2 = 1$ (ano)
k	índice de segmento de tensão, $k = 1, \dots, 3$
l	índice de empresa, $l = 1, 2$

A Figura 5.9 ilustra o DEF deste módulo. O consumo industrial da empresa “A” é projetado em três segmentos de tensão (*CS1A*, *CS2A* e *CS3A*). Em cada segmento são calculados os consumos cativo, livre potencial, livre optante, livre não optante e migrante interno, embora saiba-se que nos dois últimos segmentos só haverá consumo livre se ocorrer a flexibilização nos critérios atuais de qualificação de consumidores. O modelo permite simular esta alteração de critérios, através do parâmetro *K4* no painel de controle do simulador.

As estruturas de modelagem dos segmentos são similares, com exceção do terceiro segmento, que não possui migração entre grupos tarifários, pois o segmento agrega tensões que variam de 110 a 440 V. O consumo por segmento é obtido pela multiplicação do consumo industrial da empresa (*CIndA*) pela participação do segmento (*PS1A*, *PS2A*, *PS3A*).

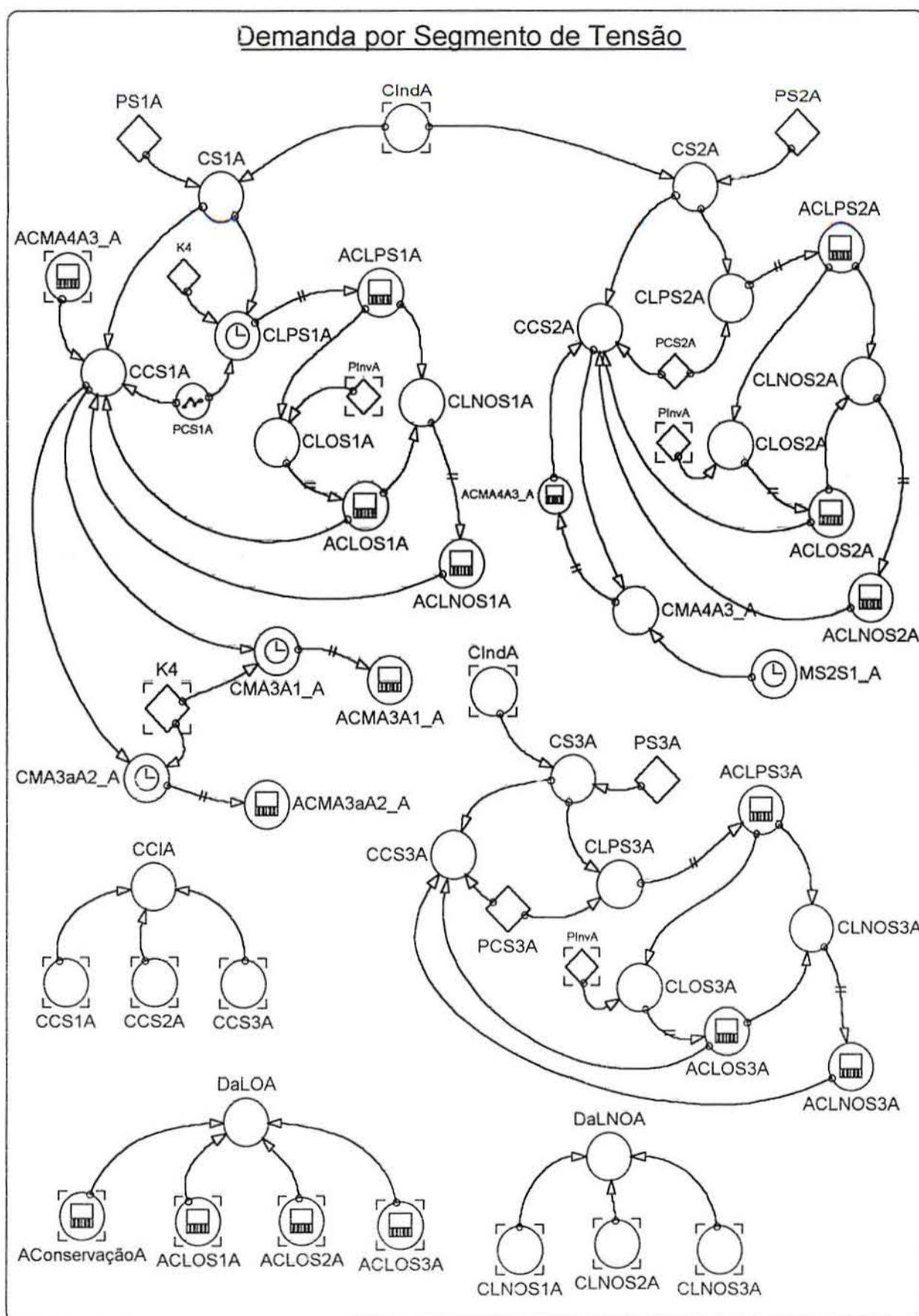


Figura 5.9 - DEF para Projeção da Demanda por Segmento de Tensão

O consumo cativo de cada segmento ($CCS1A$, $CCS2A$ e $CCS3A$) resulta do produto do consumo do segmento e da participação do consumo cativo no segmento ($PCS1A$, $PCS2A$, $PCS3A$). O consumo cativo industrial ($CCIA$) é a soma da parcela cativa do segmento. Durante o período em que os consumidores cativos de cada segmento aguardam a condição de livres (τ_3), inicialmente, a parcela de consumo referente a estes consumidores, isto é, a parcela livre potencial ($CLPS1A$, $CLPS2A$ e $CLPS3A$) é considerada cativa e, após este período, de acordo com a escolha do consumidor, a parcela é segmentada nas subparcelas de consumo livre optante ($CLOS1A$, $CLOS2A$ e $CLOS3A$) e consumo livre não optante ($CLNOS1A$, $CLNOS2A$ e $CLNOS3A$).

A primeira subparcela, incluindo o tempo para o efeito do investimento (τ_4) ser percebido pelo consumidor ($ACLOS1A$, $ACLOS2A$ e $ACLOS3A$), é subtraída do consumo cativo do segmento; a segunda, incluindo o período de aviso prévio do consumidor (τ_5) à fornecedora “A” ($ACLNOS1A$, $ACLNOS2A$ e $ACLNOS3A$), também é subtraída do consumo cativo.

A demanda agregada livre optante ($DaLOA$) resulta da soma das parcelas de consumo livre optante de cada segmento, com atraso, reduzida a conservação ($AConservaçãoA$); o outro tipo de demanda ($DaLNOA$) é o somatório das parcelas de consumo livre não optante dos segmentos.

Os consumos migrantes entre os grupos tarifários ($CMA3A1$, $CMA3aA2$ e $CMA4A3$) e entre os dois primeiros segmentos são obtidos pela multiplicação do consumo cativo do segmento de origem e da taxa média anual de migração do segmento. Ao consumo cativo do segmento de destino ($CCS1A$) é somado o consumo migrante entre os segmentos ($CMA4A3$), após o período τ_6 , ou seja, com atraso ($ACMA4A3$). Este último consumo e os demais, também com atraso ($ACMA3A1$ e $ACMA3aA2$) são utilizados no módulo de balanço econômico.

5.4.3 Módulo de Divisão de Mercado

Este módulo realiza a divisão de mercado entre as empresas “A” e “B”, a partir da demanda agregada livre não optante definida no módulo anterior. A variável de decisão do consumidor está vinculada ao preço de venda de energia.

A demanda agregada não optante corresponde à parcela de consumidores que não renovaram seus contratos, mas, dependendo das ações da empresa, eles podem renovar ou não. A demanda agregada livre efetiva, ou seja, a demanda livre a ser atendida pela empresa, é calculada em função da manutenção e da perda de sua demanda não optante e do ganho de demanda, obtido sobre a concorrente. A demanda efetiva pode ser formulada deste modo:

$$DaL_1(t) = DaL_1(t-1) + \int_0^t [DaLNO_1(t) + GD_1(t) - PD_1(t)] dt \quad (5.39)$$

$$PD_1(t) = GD_{1+1}(t) \quad (5.40)$$

Onde:

- $DaL_i(t)$ demanda agregada livre de "I" no período t (MWh)
 $DaL_i(t-1)$ demanda agregada livre de "I" no período $t-1$ (MWh)
 $DaLNO_i(t)$ demanda agregada livre não optante de "I" no período t (MWh/ano)
 $GD_i(t)$ ganho de demanda livre de "I" no período t (MWh/ano)
 $GD_{i+1}(t)$ ganho de demanda livre da concorrente no período t (MWh/ano)
 $PD_i(t)$ perda de demanda livre de "I" no período t (MWh/ano)
 l índice de empresa, $l = 1, 2$

O ganho ou a perda de demanda percentual foram construídos de acordo com as seguintes regras:

- se o preço da empresa for menor do que o da concorrente, o ganho será proporcional à equação (5.41) e a perda será zero;
- se o preço da empresa for maior do que o da concorrente, o ganho será zero e a perda será proporcional ao ganho da concorrente;
- se o preço da empresa for igual ao da concorrente, tanto o ganho quanto a perda serão zeros.

O cálculo do ganho de demanda obedece a um equacionamento dependente dos preços de venda de energia da empresa e da concorrente, resultando na equação (5.41). Esta equação foi obtida por ajuste de curvas, com base nos valores de uma pesquisa realizada em 1995, junto aos consumidores industriais, com demanda entre 2.500 e 1.000 kW, das 80 maiores empresas de energia elétrica dos EUA [62].

O objetivo da pesquisa era avaliar o grau de satisfação do consumidor com a fornecedora atual e a tendência de troca, considerando o preço. Os valores do Quadro 5.3 [62] representa a propensão de troca de fornecedora dos consumidores para diferentes níveis de redução no preço de energia.

Quadro 5.3 – Troca de Fornecedora

Redução no Preço	Consumidores
2%	48%
5%	65%
10%	83%
15%	86%

A equação do ganho é dada por:

$$GD_i = DaLNO_{i+1} \{29,8 \ln [(Preço_{i+1}/Preço_i - 1)100] + 10,03\}/100 \quad (5.41)$$

Onde:

GD_l	ganho de demanda livre de "l" (MWh)
$DaLNO_{l+1}$	demanda agregada livre não optante da concorrente (MWh)
$Preço_{l-1}$	preço de venda da concorrente (R\$/MWh)
$Preço_l$	preço de venda de "l" (R\$/MWh)
l	índice de empresa, $l = 1, 2$
$l + 1$	índice de empresa concorrente

O preço de venda depende do preço de compra e do reajuste aplicado pela empresa, assim:

$$Preço_l = PreçoC_l \cdot (1 + R_l) \quad (5.42)$$

Onde:

$Preço_l$	preço de venda de energia de "l" (R\$/MWh)
$PreçoC_l$	preço de compra de energia de "l" (R\$/MWh)
R_l	reajuste de preço de "l" (%)
l	índice de empresa, $l = 1, 2$

A demanda agregada da base de consumidores da empresa, relacionada à demanda agregada regional, determina a participação de mercado, ou seja:

$$PdM_l = (DaBdC_l / CG_{j_l}) 100 \quad (5.43)$$

$$DaBdC_l = DaC_l + DaLO_l + DaL_l \quad (5.44)$$

Onde:

PdM_l	participação de mercado de "l" (%)
$DaBdC_l$	demanda agregada da base de consumidores de "l" (MWh)
CG_{j_l}	consumo regional "j _l " (MWh)
DaC_l	demanda agregada cativa de "l" (MWh)
$DaLO_l$	demanda agregada livre optante de "l" (MWh)
DaL_l	demanda agregada livre de "l" (MWh)
l	índice de empresa, $l = 1, 2$
j_l	índice de região geográfica, $j_l = 1, \dots, 5$

A participação de mercado será fiscalizada pelo órgão regulador, que poderá aplicar uma sanção regulatória, ainda não definida, se o limite de participação, por ele estabelecido, for ultrapassado. Para efeito de modelagem, esta ação do regulador é contemplada através da seguinte

expressão, obtida com base em premissas e ajuste de curvas. Uma função logística foi utilizada como referência na construção desta expressão.

$$Multa_l = \frac{5E6}{1E3 + 5E3e^{-2(PdM_l - ANEEL)} - 1E3e^{-2(PdM_l - ANEEL)}} \quad (5.45)$$

Onde:

Multa multa de "l" (R\$)

PdM participação de mercado de "l" (%)

ANEEL limite de participação (%)

l índice de empresa, l = 1, 2

A estrutura do módulo de divisão de mercado é mostrada na Figura 5.10. A demanda agregada livre de "A" (*DaLA*) é um ponto de acumulação do sistema e a sua evolução depende dos fluxos de entrada (*EntDemA*) e de saída (*SaidaDemA*) de demanda, que refletem as ações da empresa e dos consumidores.

O fluxo de entrada, em qualquer período, é dado pela demanda não optante (*DaLNOA*), que a empresa mantém, mais o ganho de demanda (*GanhoDemA*), obtido na disputa com a concorrente, empresa "B". O fluxo de saída de "A" é resultante do ganho de "B" (*GanhoDemB*). Antes da determinação do ganho de "A" é necessário obter o ganho percentual de "A" (*GanhoPercentualA*), que é igual à perda percentual de "B".

Para a definição deste percentual é necessário, também, determinar os preços de venda de "A" (*PreçoA*) e de "B" (*PreçoB*). O *PreçoA* depende do preço de compra (*PCompraA*) e do reajuste (*ReajusteA*). De forma análoga é determinado o *PreçoB*. O produto entre a variação nos preços de venda e a (*DaLNOA*) ou (*DaLNOB*), segundo a equação (5.41), pode resultar em ganho ou perda de demanda de uma empresa sobre a outra.

A soma da demanda agregada cativa (*DaCA*), livre optante (*DaLOA*) e livre efetiva (*DaLA*) corresponde à demanda agregada da base de consumidores da empresa (*DaBdCA*). A razão entre a última demanda e o consumo total da região Sul (*CGeográficoSul*) define a participação da empresa "A" (*PdMA*), que é comparada com o limite de participação estabelecido pelo regulador (*ANEEL*). Se o limite for ultrapassado, a multa (*MultaA*) é calculada conforme a equação (5.45). A diferença (*GapA*) entre a meta estabelecida (*MetaA*) e a participação obtida no período (*PdMA*) pode ser utilizada pela empresa na construção de suas estratégias.

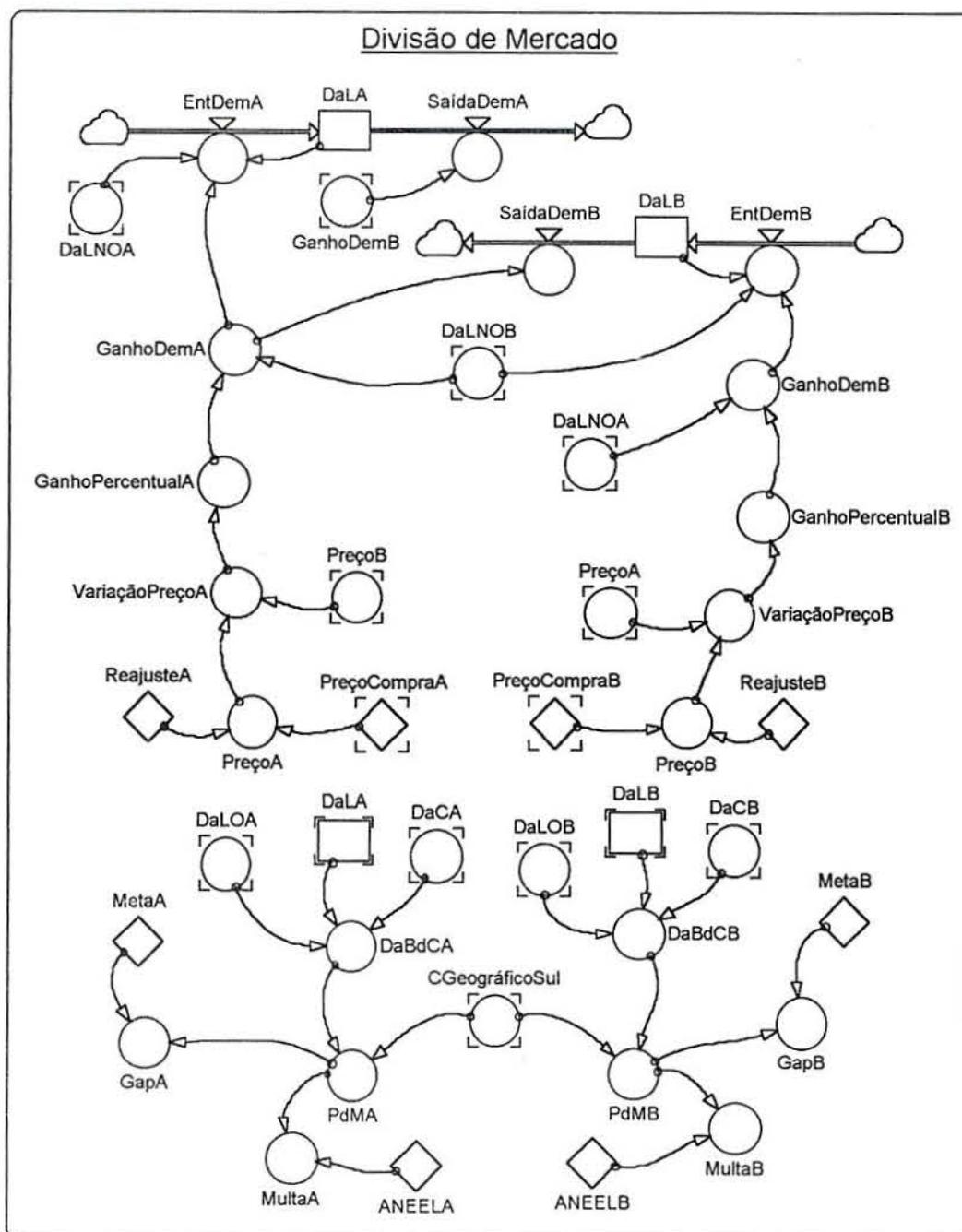


Figura 5.10 - DEF para Divisão de Mercado

5.4.4 Módulo da Base de Consumidores

Este módulo determina o número de consumidores da empresa. Para isso, discute-se, inicialmente, o movimento de consumidores intra e extrabase. Neste trabalho, as qualificações de consumidores são denominadas “estados” e o movimento da base de “processo de transição”. O processo descrito para a empresa “A” é válido também para a empresa “B”, conforme ilustra a Figura 5.11. Nesta figura, a simbologia adotada é identificada logo a seguir.

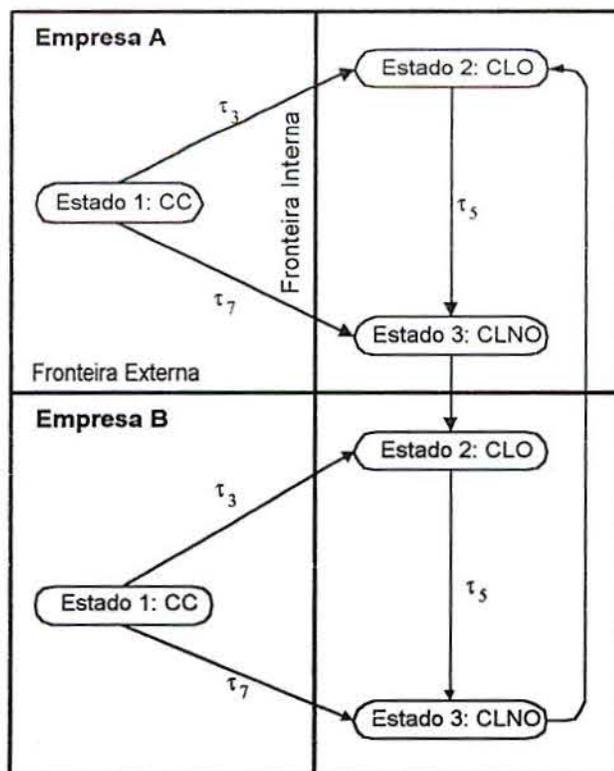


Figura 5.11 – Segmentação da Base de Consumidores

- Estado 1 consumidor cativo (CC);
- Estado 2 consumidor livre optante (CLO);
- Estado 3 consumidor livre não optante (CLNO);
- τ_3 tempo para adquirir a condição de livre;
- τ_5 tempo para declarar a opção de migração externa;
- τ_7 tempo para a migração externa.

Os consumidores para tornarem-se livres dependem, inicialmente, de suas características de tensão e demanda e do tempo, ambos descritos anteriormente, e, após, de suas escolhas. O tempo de transição de cada consumidor de um estado a outro, portanto, pode ser maior ou menor. O τ_3 é necessário para adquirir a condição de livre, o τ_5 deve ser no mínimo de três anos, mantida a legislação atual, e o τ_7 incorpora os tempos τ_3 e τ_5 .

A empresa contém duas fronteiras de transição: interna e externa. A primeira refere-se ao movimento de consumidores dentro da empresa, e, a segunda, ao movimento para fora da empresa. A fronteira interna move-se à medida que o consumidor cativo adquire a condição de consumidor livre, isto é, quando ele transita do Estado 1 ao Estado 2 ou ao Estado 3. A fronteira externa move-se quando o consumidor transita do Estado 3 da Empresa “A” para o Estado 2 da Empresa “B”.

Dentro da Empresa “A”, a transição do Estado 1 ao Estado 2, por um lado, diminui o número de consumidores cativos e aumenta o número de consumidores livres, mas a BdC e a demanda à ela agregada permanecem inalteradas; por outro, esta transição pode aumentar o risco de perda de consumidores, uma vez que o consumidor no Estado 2 é um migrante potencial e poderá movimentar-se no sentido do Estado 3, tornando-se um migrante efetivo. Com a tendência de flexibilização nos critérios vigentes de qualificação, nenhum estado é absorvente e, adicionalmente, nenhum consumidor pode estar em dois estados ao mesmo tempo.

Se ao longo do tempo, o consumidor no Estado 2 optar pela troca da Empresa “A” pela “B”, deverá comunicar a sua decisão à Empresa “A” três (τ_5) anos antes da troca efetiva, conforme já mencionado. O consumidor, a partir da comunicação, move-se do Estado 2 ao Estado 3 e permanece neste último pelo tempo τ_5 . Neste caso, a BdC e a demanda agregada não se alteram durante τ_5 , porém, o número de consumidores do Estado 2 diminui e, conseqüentemente, o número de consumidores do Estado 3 aumenta.

A transição do Estado 1 ao Estado 3 pode ocorrer diretamente sem que o consumidor passe pelo Estado 2. Neste caso, inicialmente, há o movimento da fronteira interna, também sem alteração da BdC e da demanda agregada, e, posteriormente, há o movimento da fronteira externa, com diminuição da BdC e da sua demanda agregada. O CLNO da Empresa “A”, após os tempos τ_5 ou τ_7 passa a pertencer à Empresa “B” e, nessa última, ele é enquadrado no Estado 2.

O comportamento dos consumidores, descrito com auxílio da Figura 5.11, vale para qualquer número de empresas, pois se o consumidor da empresa “A”, ou da “B”, migra para uma terceira empresa (“C”), ou para uma quarta (“D”), a estrutura de segmentação da base de consumidores da empresa “C” é a mesma da empresa “A” e, de forma análoga, a da empresa “D” corresponde a “B”, ou seja, o comportamento se repete.

A segmentação e a evolução da base de consumidores podem ser formuladas como indicado:

$$BdC_i(t) = BdC_i(t-1) + \int_0^t [BdC_i(t) \cdot TC_i(t) + NCLGanhos_i(t) - NCLPerdidos_i(t)] dt \quad (5.46)$$

$$NCLPerdidos_i(t) = NCLGanhos_{i+1}(t) \quad (5.47)$$

$$NCLGanhos_i(t) = NCLNO_{i+1}(t) \{29,8 \ln [(Preço_{i+1}(t)/Preço_i(t) - 1)100] + 10,03\}/100 \quad (5.48)$$

A equação (5.48) foi construída de forma similar à equação (5.41).

$$NCLP_i(t) = (BdC_i(t) \cdot TCI(t))_{i,t-\tau_3} \cdot TCLP_i(t) \quad (5.49)$$

$$NCLO_i(t) = NCLP_i(t) \cdot (PInv_{i,t-\tau_4}(t) + PPreço_i(t)) + NCLGanhos_i(t) \quad (5.50)$$

$$NCLNO_i(t) = NCLP_{i,t-\tau_7}(t) - NCLO_i(t) \quad (5.51)$$

$$NCC_i(t) = BdC_i(t) - NCLO_i(t) - NCLNO_i(t) \quad (5.52)$$

Onde:

$BdC_i(t)$	base de consumidores de “I” no período t (consumidores)
$BdC_i(t-1)$	base de consumidores de “I” no período $t-1$ (consumidores)
$NCLGanhos_i(t)$	consumidores livres ganhos de “I” no período t (consumidores/ano)
$NCLGanhos_{i+1}(t)$	consumidores livres ganhos da concorrente no período t (consumidores/ano)
$NCLPerdidos_i(t)$	consumidores livres perdidos de “I” no período t (consumidores/ano)
$NCLP_i(t)$	consumidores livres potenciais de “I” no período t (consumidores)
$NCLO_i(t)$	consumidores livres optantes de “I” no período t (consumidores)
$NCLNO_i(t)$	consumidores livres não optantes de “I” no período t (consumidores/ano)
$NCLNO_{i+1}(t)$	consumidores livres não optantes da concorrente no período t (consumidores/ano)
$NCC_i(t)$	consumidores cativos de “I” no período t (consumidores)
$TC_i(t)$	taxa média de crescimento de consumidores de “I” no período t (%)
$TCI_i(t)$	taxa média de participação de consumidores industriais de “I” no período t (% a.a.)
$TCLP_i(t)$	taxa média de participação de consumidores livres potenciais no período t (% a.a.)
$PInv_i(t)$	taxa de investimentos de “I” no período t (% a.a.)
$PPreço_i(t)$	taxa de ganho devido ao preço de “I” no período t (% a.a.)
$Preço_i(t)$	preço de venda de “I” no período t (R\$/MWh)
$Preço_{i+1}(t)$	preço de venda da concorrente no período t (R\$/MWh)
τ_3	tempo para adquirir a condição de livre (anos)
τ_7	tempo para a migração externa (anos)

A base de consumidores da empresa “A” é outro ponto de acumulação no sistema e evolui segundo os fluxos de entrada (*EntConsumidoresA*) e de saída (*SaídaConsumidoresA*) de consumidores, como ilustra a Figura 5.12. O fluxo de entrada é dado pela taxa de crescimento de consumidores (*TCA*) mais o número de consumidores ganhos (*NCLGanhosA*). Este último é calculado através da equação (5.48). O fluxo de saída corresponde ao número de consumidores

livres perdidos, que é igual aos consumidores ganhos pela “B” ($NCLGanhosB$). Para determinar esses fluxos é necessário segmentar a base ($BdCA$).

O número de consumidores livres potenciais ($NCLPotenciaisA$) é definido em função do número de consumidores do primeiro segmento de tensão ($NCS1A$), que, por sua vez, depende do número de consumidores industriais ($NCIndA$). Este último é obtido através da participação média de consumidores industriais em relação à base e da informação do estado da base no período, e o ($NCS1A$) é dado pela participação média do número de consumidores do segmento no ($NCIndA$).

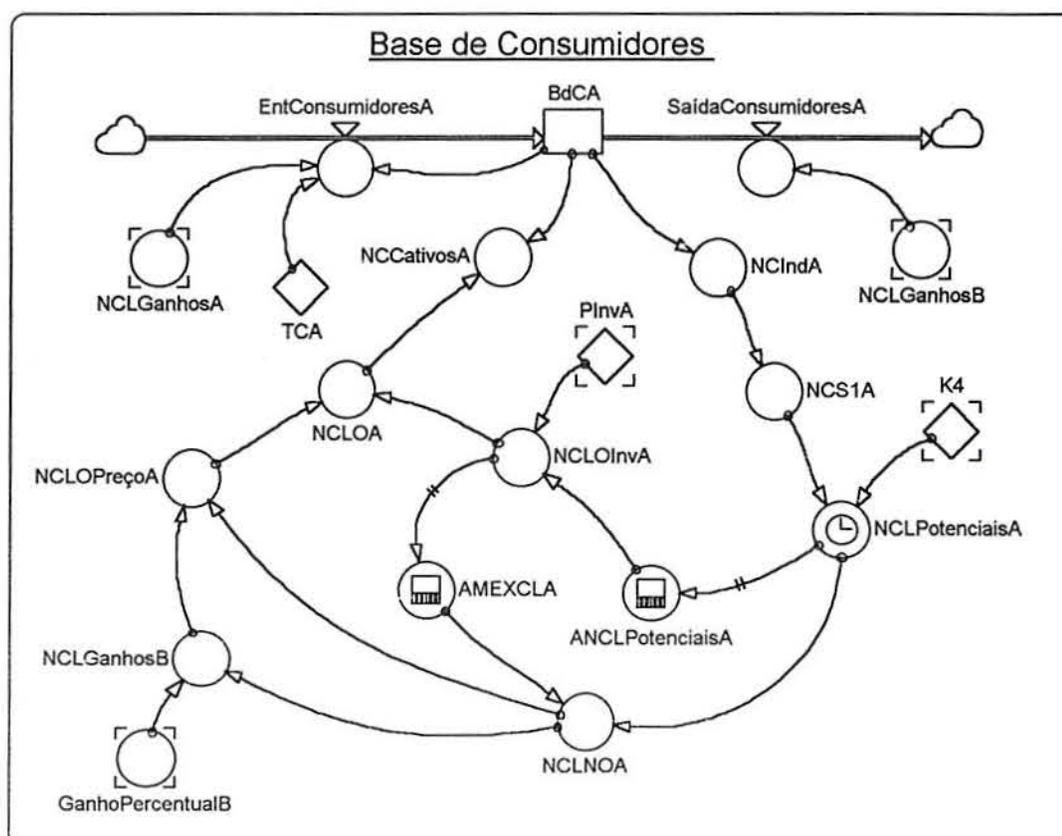


Figura 5.12 - DEF para Segmentação da Base de Consumidores

Os consumidores livres potenciais, conforme já dito, dependem do tempo e de suas características para adquirir essa condição; portanto, há um atraso (τ_3) definido pela variável ($ANCLPotenciaisA$).

Uma parcela destes últimos consumidores opta por permanecer na empresa “A” devido aos investimentos ($NCLNOInvA$), e outra devido ao preço ($NCLPreçoA$). A soma dessas parcelas define os consumidores optantes ($NCLNOA$).

Os consumidores não optantes ($NCLNOA$) resultam da diferença entre os consumidores potenciais e consumidores optantes, mas a migração externa efetiva ocorre após o período τ_7 ($AMEXCLA$). O número de consumidores cativos ($NCCativosA$) é a diferença entre a informação do estado da base no período e o número de optantes, já descontados os não optantes.

5.4.5 Módulo do Balanço Econômico

A sobrevivência de uma empresa no novo contexto depende de um conjunto de fatores, dentre os quais se pode destacar: o faturamento, os custos e o lucro. Esses fatores requerem da alta administração uma visão ampla, que compreende desde o conhecimento de seu produto, a energia elétrica, até as condições financeiras da empresa. Neste sentido, o módulo de balanço econômico, como próprio nome sugere, realiza o balanço entre os recursos e os custos da empresa.

Consideram-se, neste trabalho, somente os recursos decorrentes de venda de energia (consumo) aos consumidores. Outras fontes de recursos, como, por exemplo, faturamento por demanda e empréstimos, não fazem parte desta investigação. O tema sobre os empréstimos é objeto de outra pesquisa, atualmente em andamento, na Universidade Federal de Santa Catarina.

O custo total engloba os custos fixos e variáveis. Os custos fixos, incluindo o custo de compra de energia, são alocados em três áreas principais: técnica, financeira e de apoio. Os custos variáveis referem-se aos investimentos.

O lucro bruto, recursos descontados os custos, é dado por:

$$L_i = R_i - C_i \quad (5.53)$$

Onde:

L_i lucro bruto de "I" (R\$)

R_i recursos de "I" (R\$)

C_i custo total de "I" (R\$)

A equação para o cálculo dos recursos é dada por:

$$R_i = (DaC_i + DaMI_i - DaMI_i \cdot TR_i) Tarifa_i + (DaLO_i + DaL_i) Preço_i \quad (5.54)$$

Onde:

R_i recursos de "I" (R\$)

DaC_i demanda agregada cativa de "I" (MWh)

$DaMI_i$ demanda agregada migrante interna de "I" (MWh)

$DaLO_i$ demanda agregada livre optante de "I" (MWh)

DaL_i demanda agregada livre de "I" (MWh)

$Tarifa_i$ tarifa de "I" (R\$/MWh)

$Preço_i$ preço de venda de "I" (R\$/MWh)

TR_i taxa média de redução na tarifa de "I", devido à migração interna (%)

As equações do custo total e de seus componentes estão relacionadas a seguir:

$$C_1 = CF_1 + CE_1 + CV_1 \quad (5.55)$$

$$CF_1 = CT_1 + CFI_1 + CA_1 \quad (5.56)$$

$$CE_1 = DaBdC_1 \cdot PreçoC_1 \quad (5.57)$$

$$CV_1 = R_1 \cdot PInv_1 \quad (5.58)$$

Onde:

C_1 custo total de "I" (R\$)

CF_1 custos fixos de "I" (R\$)

CE_1 custos de compra de energia de "I" (R\$)

CV_1 custos variáveis de "I" (R\$)

CT_1 custos da área técnica de "I" (R\$)

CFI_1 custos da área financeira de "I" (R\$)

CA_1 custos da área de apoio de "I" (R\$)

R_1 recursos de "I" (R\$)

$DaBdC_1$ demanda agregada da base de consumidores de "I" (MWh)

$PreçoC_1$ preço de compra de energia de "I" (R\$/MWh)

$PInv_1$ taxa de investimentos de "I" (% a.a.)

O DEF para a determinação do balanço econômico é mostrado na Figura 5.13. O lucro da empresa (*LucroA*) é a diferença entre os recursos (*RecursosA*) e os custos totais (*CustosA*). Os recursos são determinados através da soma dos faturamentos relativos à venda de energia para os consumidores cativos (*FatCativoA*), livres efetivos (*FatLivreA*) e optantes (*FatOptanteA*). Desta soma é reduzida a perda de faturamento devido à migração interna (*PerdaMigIntA*).

O faturamento cativo é o produto entre a demanda agregada cativa (*DaCA*) e a *TarifaA*. O modelo permite a simulação de diferentes cenários tarifários, através do parâmetro *K3* disponível no painel de controle do simulador. O faturamento livre efetivo e o livre optante é o produto entre o preço (*PreçoA*) e as respectivas parcelas de *DaLA* e *DaOA*.

A perda de faturamento decorrente da migração entre os grupos tarifários (*PA4A3*, *PA3aA2* e *PA3A1*) é calculada aplicando na tarifa o percentual de redução correspondente à migração do grupo de menor tensão para o de maior tensão (*TReduçãoA4A3*, *TReduçãoA3aA2* e *TReduçãoA3A1*). O custo total é a soma dos custos *FixosA* e *VariáveisA*, do custo de *Compra* de

EnergiaA e da *MultaA*. Os custos fixos englobam o *Custo* da área *TécnicaA*, *FinanceiraA* e *ApoioA*. Os custos variáveis são determinados pelo produto entre os recursos e a taxa de investimentos (*PlnvA*). O custo de compra de energia é a multiplicação da *DaBdCA* pelo preço de suprimento (*PreçoCompraA*).

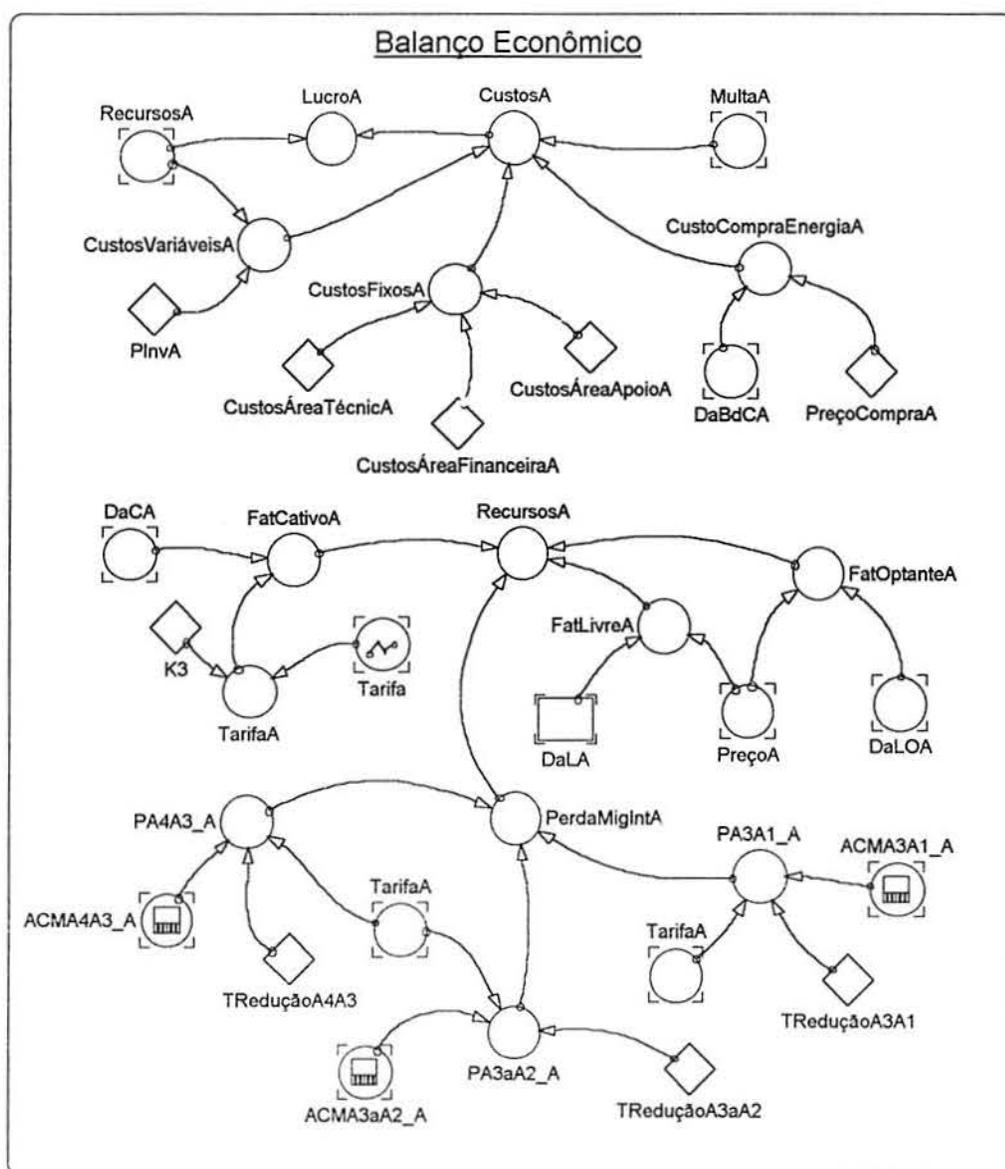


Figura 5.13 - DEF para Projeção do Balanço Econômico

Nos diagramas apresentados um aspecto a ser observado refere-se à interpretação dos resultados e a sua relação com as características da modelagem empregada. Os montantes, que são os valores das variáveis ano a ano, influem na DaBdC de cada empresa, não no sentido de aumentar ou reduzir a sua quantidade propriamente, mas na alteração de sua taxa de crescimento. As variáveis de estado estão sendo acumuladas, através de fluxos físicos. Destas variáveis, e também de outras, retiram-se informações que influirão novamente num determinado fluxo físico. Este fluxo pode ser o mesmo, fechando um laço, ou algum outro do modelo.

5.5 IMPLEMENTAÇÃO COMPUTACIONAL

A implementação computacional foi desenvolvida com apoio do *shell Powersim (Powerjui simulation)* [61], um ambiente adequado ao desenvolvimento e implementação de modelos baseados nas convenções da Dinâmica de Sistemas, descritas no Anexo 2. Neste trabalho foi utilizado o *Powersim* por duas razões básicas: a primeira, porque ele possuía todos os recursos necessários para a implementação do modelo proposto; a segunda, por questões de custo. Este *shell*, em relação a outros programas disponíveis no mercado, tem um custo bastante inferior.

O *Powersim*, fornecido pela *Powersim Corporation*, proporciona um ambiente editor de diagramas, no qual as variáveis são representadas, com auxílio de diferentes objetos gráficos e as ligações correspondem as relações entre essas variáveis.

Com esta ferramenta não se descrevem as linhas de programa de forma seqüencial, mas sim conectam-se, inicialmente, as variáveis (nível, taxa e auxiliar) e constantes que compõem a modelagem, através dos elementos gráficos que as representam. A seguir, descrevem-se as relações matemáticas entre as variáveis, e o sistema converte essas relações em linhas de programa. A conexão entre as variáveis e constantes forma os diagramas de estoque e fluxo, descritos nas seções anteriores.

No mesmo ambiente editor de diagramas, o *Powersim* fornece objetos próprios que permitem a construção do painel de controle do simulador, denominado na área de Dinâmica de Sistemas como “simulador de vôo”, mas, neste trabalho, adota-se a denominação “simulador de estratégias”. O painel, desenvolvido após a construção dos diagramas de estoque e fluxo, pode ser separado destes diagramas, através dos *menus* que permitem estruturar o modelo.

Com o objetivo de facilitar a realização dos testes, apresentados no próximo capítulo, e evitar a necessidade de alterar os valores dos parâmetros no início ou durante a simulação, dentro do modelo propriamente dito, foram elaborados três painéis de controle demanda nacional (Figura 5.14), divisão de mercado (Figura 5.15) e financeiro (Figura 5.16), que compõem o simulador de estratégias.

O painel de controle da demanda nacional inclui os seguintes objetos ou dispositivos:

- o dispositivo PIB se utiliza para escolher o cenário do PIB;
- o botão População é utilizado para alterar o valor da taxa de natalidade;
- os expositores numéricos, associados às variáveis Demanda Industrial, Residencial, Comercial e Outras, mostram a cada período os valores dessas variáveis.

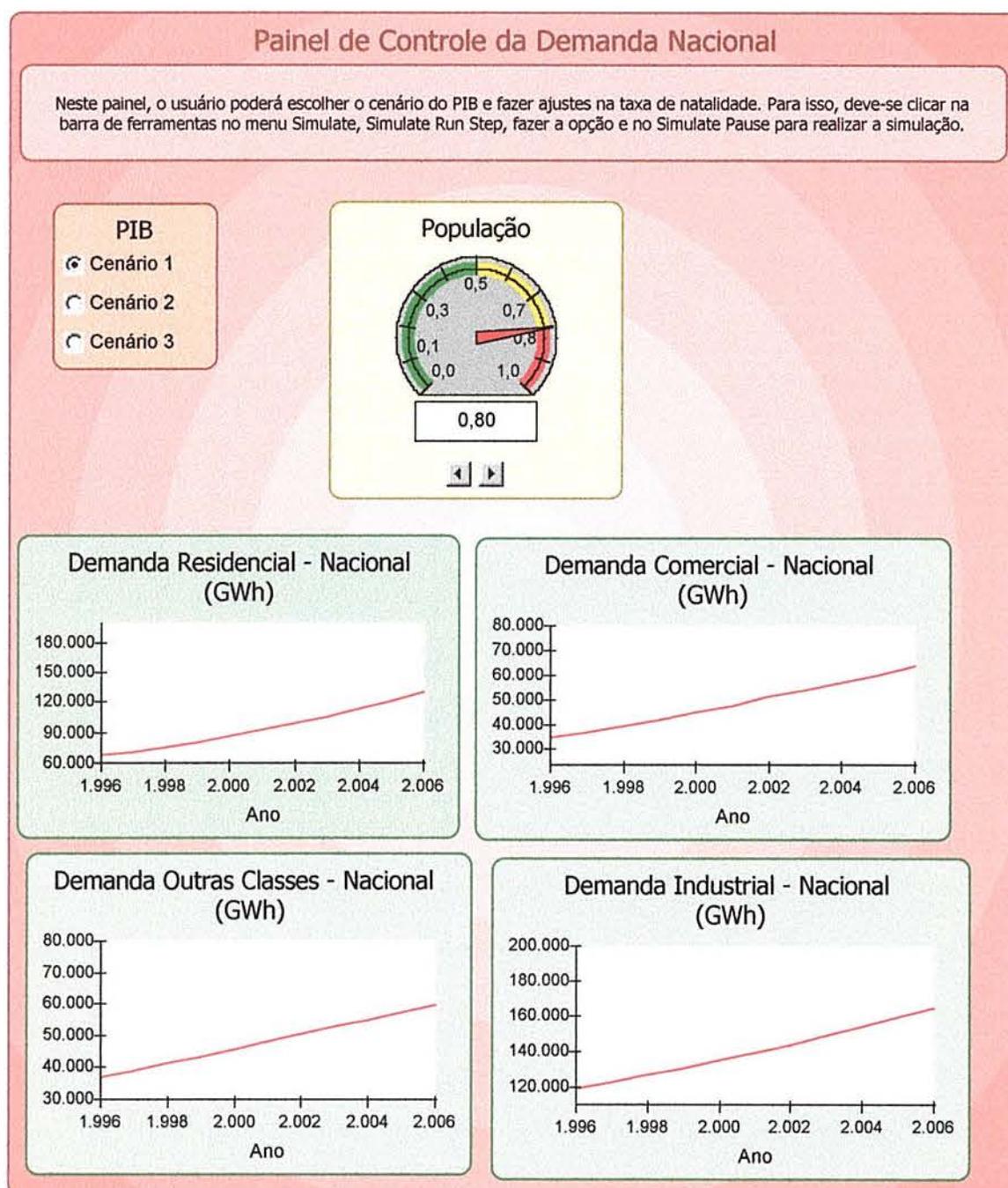


Figura 5.14 – Painel de Controle da Demanda Nacional

O painel de controle da divisão de mercado, apresentado na Figura 5.15, engloba os seguintes objetos:

- os botões Reajuste Preço Venda são utilizados para reajustar os preços de fornecimento de energia, das respectivas empresas, para consumidores livres;
- os botões Investimentos são utilizados para alterar os valores do percentuais anuais de investimentos das empresas;
- o dispositivo Critérios para Consumidores Livres, associado ao parâmetro K4, permite flexibilizar os critérios atuais de qualificação de consumidores livres. Esta flexibilização é realizada para os consumidores pertencentes ao primeiro segmento de tensão (S1). O valor de K4 igual a zero mantém os critérios atuais, e K4 igual a um significa que todos os consumidores do segmento S1 serão livres em 2003;
- os botões Meta de PdM, associados às metas de participação das respectivas empresas, são utilizados para alterar os valores das metas;
- os expositores numéricos, associados às variáveis Demanda Agregada Cativa e Livre, Preço de Venda e Participação de Mercado, mostram os valores dessas variáveis durante a realização dos testes.

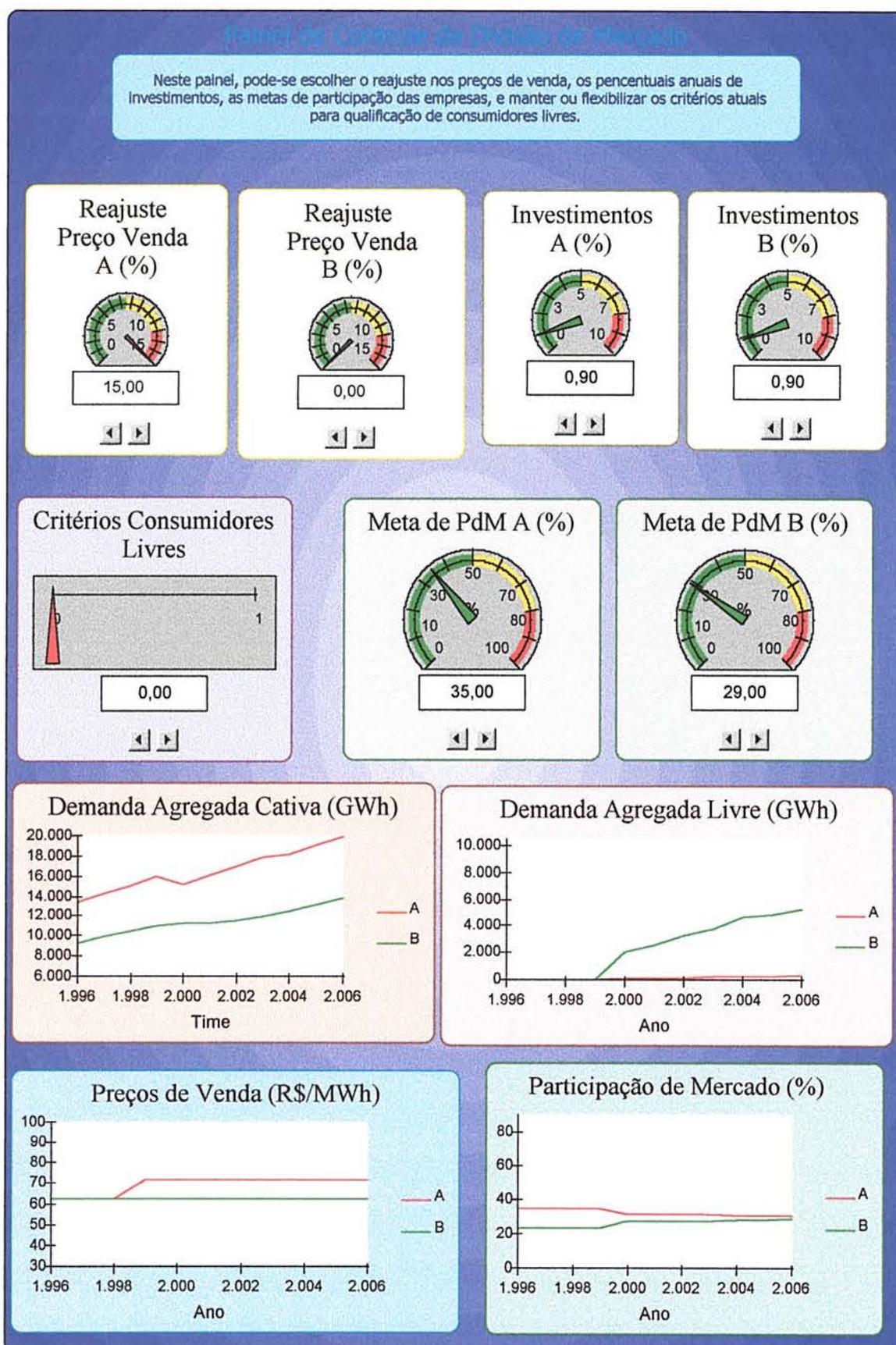


Figura 5.15 – Painel de Controle da Divisão de Mercado

O painel de controle financeiro, mostrado na Figura 5.16, inclui os seguintes objetos:

- o botão Tarifa, associado ao parâmetro K3, permite simular diferentes cenários tarifários para consumidores cativos, através da alteração do valor da tarifa;
- os botões Preço de Compra são utilizados para escolher os preços de suprimento de energia, que as respectivas empresas poderão firmar seus contratos bilaterais;
- os botões Custos das Áreas Técnica, Financeira e Apoio permitem alterar os valores desses custos para ambas as empresas;
- os expositores numéricos estão associados às variáveis Recursos, Custos e Lucros da empresas;
- o ícone, localizado em cima e à direita do painel, é um dispositivo de alarme, que alerta o usuário quando os custos estão muito elevados em relação ao faturamento.

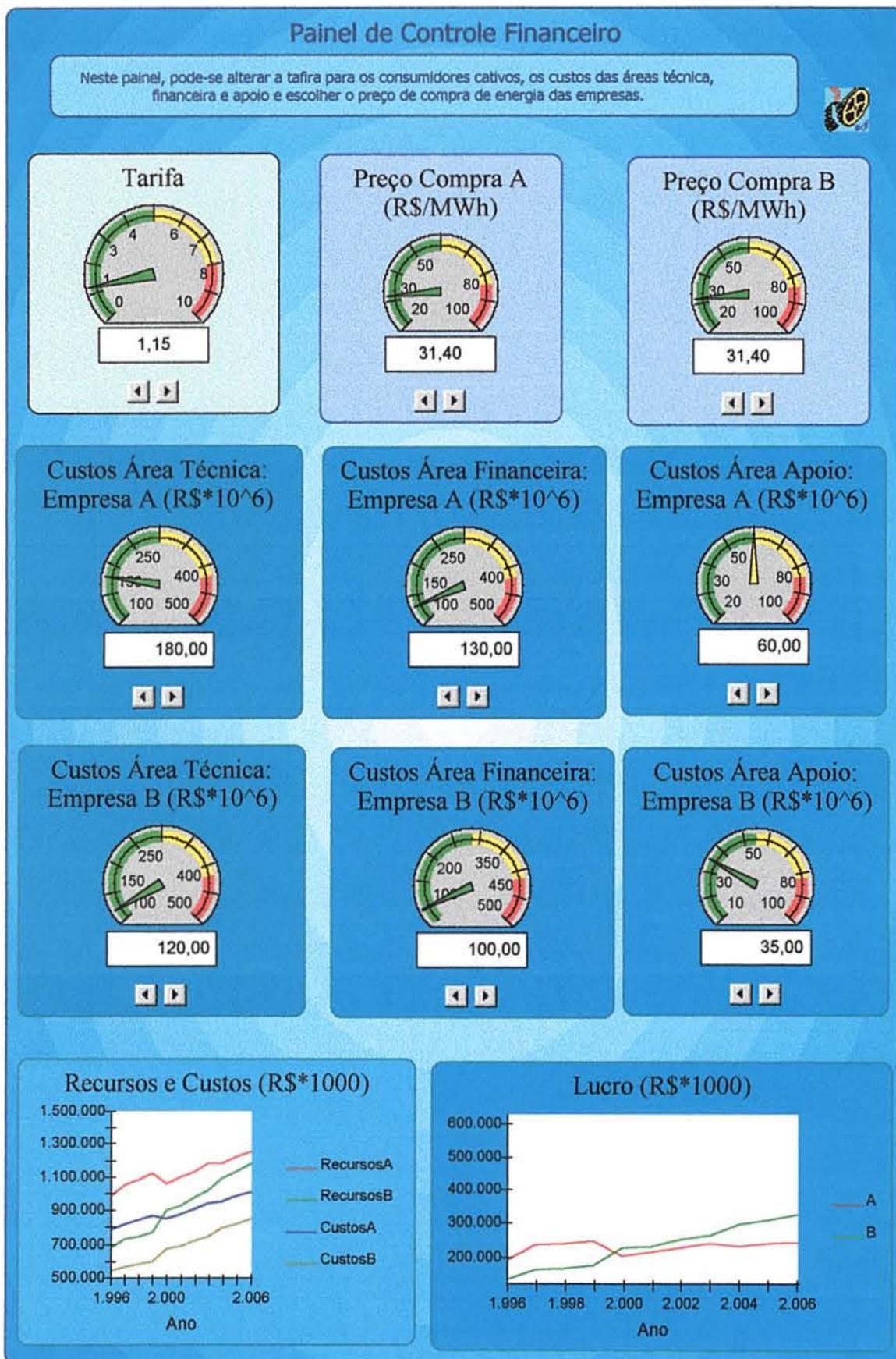


Figura 5.16 – Painel de Controle Financeiro

5.6 CONCLUSÕES

A construção da etapa 3 do modelo foi o objetivo deste capítulo. Inicialmente, o modelo foi estruturado em dois blocos principais macroeconômico e microeconômico. A seguir, os blocos foram divididos em módulos, e, esses, modelados matematicamente e computacionalmente. Finalizando, o painel de controle, desenvolvido para o modelo computacional, foi apresentado.

Esta capítulo demonstrou que, através da Dinâmica de Sistemas, é possível tratar simultaneamente os aspectos técnicos e comportamentais, envolvidos na projeção da demanda, num mesmo ambiente computacional. Ainda, mostrou que os modelos tradicionais para planejamento da demanda, como, por exemplo, os modelos econométricos e decomposição do consumo, podem ser incluídos na modelagem. Dessa forma, o modelo proposto complementa os modelos tradicionais.

CAPÍTULO 6

MODELO PARA PLANEJAMENTO DA DEMANDA EM AMBIENTE COMPETITIVO: APLICAÇÃO

6.1 INTRODUÇÃO

O presente capítulo tem como objetivo descrever uma aplicação computacional do modelo proposto no Capítulo 3, conceituado no Capítulo 4 e formulado no Capítulo 5.

O estudo de caso visa avaliar os principais resultados da simulação de projeção da demanda em ambiente competitivo. Para esse ambiente não há disponibilidade de dados históricos de demanda atendida, devido à recente implementação do novo modelo institucional. Nesse caso, a validação do modelo é realizada pela comparação entre os seus resultados e o comportamento esperado do sistema.

O caso teste escolhido abrange o horizonte 1997/2006 e a projeção da demanda: nacional, regional Sul e empresarial. A projeção da demanda empresarial contempla duas empresas D/C's pertencentes à região Sul, aqui denominadas genericamente empresa "A" e empresa "B".

A aplicação do modelo é feita por etapas, como segue:

- na primeira, estabelecem-se as premissas dos cenários;
- na segunda, faz-se a projeção da demanda por classes de consumo, cuja totalização fornece a projeção nacional;
- na terceira, faz-se a projeção da demanda da região geográfica Sul e geolétrica Sul (Sul com Mato Grosso do Sul), com base na participação histórica destas regiões na projeção nacional. Essa última, determinada na etapa anterior;
- na quarta, faz-se a projeção da demanda das empresas, levando-se em conta a participação dessas empresas na projeção da etapa anterior e segundo critérios de competição.

6.2 PARÂMETROS PARA SIMULAÇÃO

Na elaboração das projeções, foram adotadas premissas compatíveis com cenários prováveis de evolução das atividades econômicas e sociais do país ao longo do período de projeção. A seguir apresenta-se uma síntese das premissas básicas, conforme Plano Decenal (PD) 1997/2006 [42], e hipóteses sobre valores de parâmetros, estabelecidas neste trabalho. As premissas são traduzidas através de cenários macroeconômicos, de população e domicílios e dos setores industriais eletrointensivos. Os parâmetros referem-se a fatores, como: prazo médio para os consumidores tornarem-se

livres, taxa média de redução na tarifa por alteração de grupo tarifário, taxa média de crescimento do número de consumidores e percentuais de redução no preço de fornecimento de energia, entre outros.

Cenários Macroeconômicos

A Tabela 6.1 apresenta as taxas médias de crescimento do PIB, em relação ao ano de 1996, cujo valor do produto foi de US\$ 739 bilhões. A hipótese adotada nos três cenários é a de que a economia brasileira, após um período de estabilização, poderá manter sua trajetória de crescimento sustentado, de acordo com as metas de controle sobre o déficit público e sobre a inflação.

O Cenário I (básico) considera uma trajetória de continuidade no ritmo de crescimento da economia. O Cenário II (mais otimista) prevê um crescimento mais acelerado, condicionado à reforma do Estado de forma mais rápida. O Cenário III (mais pessimista) admite uma trajetória de crescimento com restrições, em função da dificuldade de manter uma taxa de inflação decrescente.

Tabela 6.1 – Taxas Anuais Médias de Crescimento do PIB (% a.a.)

Ano	Cenários		
	I	II	III
1997/2001	4,5%	5,0%	3,0%
2002/2006	5,0%	5,5%	4,0%

Cenários Demográficos e de Domicílios

As dificuldades de projeção demográfica, determinadas principalmente pelos fluxos migratórios internos, levam à adoção de um único cenário populacional. Os especialistas em planejamento de sistemas elétricos consideram que os cenários demográficos não estão vinculados aos econômicos [42], justificando também a hipótese de cenário único. A Tabela 6.2 mostra o cenário populacional e a Tabela 6.3 a taxa média de crescimento anual. As taxas de natalidade e mortalidade seguem as estimativas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Tabela 6.2 – Cenário Populacional (10⁶ hab.)

Ano	1996	2001	2006
Brasil	159,6	173,0	186,4

Tabela 6.3 – Taxas de Crescimento Populacional (% a. a.)

Taxa	Natalidade	Mortalidade	Média
Brasil	3,3	1,07	1,6

O cenário de domicílios é apresentado na Tabela 6.4.

Tabela 6.4 – Número de Domicílios (10⁶ domicílios)

Ano	1996	2001	2006	Taxa Média (% a.a.)
Brasil	41,0	46,9	53,3	2,7

Crescimento por Classe de Consumo

No período 1996/2006, o crescimento médio do consumo por classe é estimado, conforme apresenta a Tabela 6.5.

Tabela 6.5 – Taxas Geométricas Médias (% a.a.)

Período	Residencial	Industrial	Comercial	Outras	Total
1996/2001	6,4	4,1	6,6	5,3	5,2
2001/2006	5,5	4,6	5,8	4,4	5,0
1996/2006	6,0	4,3	6,2	4,9	5,1

Participação da Região Sul

A região geográfica Sul, no período 1970/1996, apresentou uma participação média da ordem de 13%, em relação ao consumo nacional, com valor de 10% em 1970 e atingindo 15,3% em 1996. O consumo *per capita* médio da região, em 1996, foi de 1.665 kWh/habitante. Nestes valores não estão incluídos os fornecimentos de energias interruptíveis (tarifas especiais) e o consumo de auto-produtores.

Para a região geoeletrica Sul, supõe-se um crescimento médio anual de 5,6% para o período 1996/2006, considerando a entrada de cargas industriais e ampliações de plantas no Rio Grande do Sul, Paraná e Mato Grosso do Sul. Neste último estado, programas de eletrificação e irrigação são também levados em conta. Com base nestes valores, a participação regional, em relação ao consumo global brasileiro, está sintetizada na Tabela 6.6.

Tabela 6.6 – Participação da Região Sul (%)

Ano	Região Sul	
	Geográfica	Geoeletrica
1996	15,3	16,2
2001	15,6	16,6
2006	15,8	16,9

Participação das Empresas D/C's

No período 1995/1996, as participações médias das empresas "A" e "B" foram, respectivamente, 34% e 23%, em relação ao consumo global da região geográfica Sul. Supõem-se as seguintes taxas anuais médias de crescimento do consumo: região geográfica Sul, 5,5%; empresa "A", 5,8% e empresa "B", 5,6%. Com base nestes valores, as hipóteses de participação, para o horizonte de estudo, são as seguintes: empresa "A", 35%, e empresa "B", 24%, não considerando a competição por consumidores livres.

Estrutura da Demanda por Empresa

No período 1994/1996, as participações das classes no consumo global da empresa "A", em termos médios, foram: industrial, 40,7%; residencial, 27,0%; comercial, 14,2%; outras classes, 18,1%. Neste período, a taxa anual de evolução por classe ocorreu na seguinte proporção: industrial, -0,7%; residencial, +0,7%; comercial, +0,2%; outras classes, -0,2%.

A partir dos anos 90, a classe industrial da empresa "B" vem reduzindo a participação anual em torno de 0,6%. As demais classes apresentam aumentos, assim distribuídos: residencial, 0,3%; comercial, 0,2%; outras classes, 0,1%. No período 1995/1996, as participações médias foram: industrial, 46,1%; residencial, 27,5%; comercial, 14,0%; outras classes, 18,0%.

Considerando a participação histórica e as perspectivas de crescimento do consumo por classe e por empresa, a Tabela 6.7 mostra as taxas de crescimento de participação estimadas.

Tabela 6.7 - Taxas de Crescimento de Participação por Classe (% a.a.)

Classe	Taxa Média 1997/2006	
	Empresa "A"	Empresa "B"
Industrial	+0,5	-0,4
Residencial	-0,3	+0,2
Comercial	+0,1	+0,1
Outras	-0,3	+0,1

A participação média dos segmentos de tensão no consumo industrial por empresa é mostrada na Tabela 6.8.

Tabela 6.8 - Participação dos Segmentos de Tensão (%)

Segmento	Período 1997/2006	
	Empresa "A"	Empresa "B"
1	59	65
2	34	30
3	7	5

Outros Parâmetros

Os demais parâmetros considerados na aplicação do modelo de planejamento da demanda são listados a seguir:

- prazo médio para os consumidores tornarem-se livres = 3 anos;
- tempo para os consumidores comunicarem a opção de migração externa = 3 anos;
- tempo médio para o investimento empresarial influenciar a decisão do consumidor livre em permanecer na fornecedora atual = 1 ano;
- tempo médio para migração de grupo tarifário = 2 anos;
- tempo médio para o nível de renda familiar influenciar o consumo residencial = 1 ano;

- tempo médio para a tarifa influenciar o consumo residencial = 1 ano;
- taxa média de redução na tarifa do grupo tarifário A₄ para o A₃ = 52,2%;
- taxa média de redução na tarifa do grupo tarifário A_{3a} para o A₂ = 54,0%;
- taxa média de redução na tarifa do grupo tarifário A₃ para o A₁ = 12,93%;
- taxa média de crescimento do número total de consumidores da empresa "A" = 3,7% a.a.;
- taxa média de crescimento do número total de consumidores da empresa "B" = 3,8% a.a.

Os parâmetros seguintes são fornecidos pelo usuário no início da simulação, porém eles podem ser alterados durante a simulação:

- preço de compra de energia = R\$ 31,4/MWh;
- reajuste no preço de venda de energia = [0, ...,15]%;
- taxa anual de investimentos = [0, ...,100]%;
- taxa de flexibilização no consumo cativo industrial = 0 ou 100%.

6.3 PROJEÇÃO MACROECONOMICA DA DEMANDA

Nesta seção, apresentam-se os principais resultados das projeções do consumo nacional e regional Sul. As projeções tiveram como referência o Cenário I, cujas hipóteses foram descritas anteriormente.

6.3.1 Projeção Nacional

A projeção de demanda nacional por classe de consumo é mostrada na Tabela 6.9.

Tabela 6.9 – Projeção da Demanda Nacional (MWh)

Ano	Residencial	Industrial	Comercial	Outras	Brasil
1996	69.100.000	119.056.321	34.800.000	37.200.000	260.156.321
1997	71.457.318	122.917.837	37.096.800	39.171.600	270.643.555
1998	76.461.057	126.858.562	39.545.189	41.247.695	284.112.502
1999	81.751.659	130.902.777	42.155.171	43.433.823	298.243.430
2000	87.343.214	135.026.811	44.937.413	45.735.815	313.043.252
2001	93.254.072	139.254.060	47.903.282	48.159.813	328.571.226
2002	99.639.159	143.999.196	51.064.898	50.712.284	345.415.537
2003	106.510.179	148.872.545	53.975.598	52.892.912	362.251.233
2004	113.943.845	153.876.379	57.052.207	55.167.307	380.039.738
2005	121.993.568	159.012.613	60.304.182	57.539.501	398.849.865
2006	130.718.554	164.291.512	63.741.521	60.013.700	418.765.286

6.3.2 Projeção Regional Sul

Os valores de demanda obtidos para as regiões geográfica Sul e geoeletrica Sul são mostrados na Tabela 6.10. A Figura 6.1 sintetiza a decomposição da projeção macroeconômica da demanda.

Tabela 6.10 – Projeção da Demanda Regional Sul (MWh)

Ano	Geográfica	Geoeétrica
1996	39.283.604	42.925.793
1997	41.679.107	44.656.187
1998	43.895.382	46.878.563
1999	46.496.151	49.210.166
2000	49.273.008	51.652.137
2001	51.848.540	54.214.252
2002	54.782.904	56.993.564
2003	57.960.197	59.771.453
2004	60.806.358	62.706.557
2005	63.815.978	65.810.228
2006	67.002.446	69.096.272

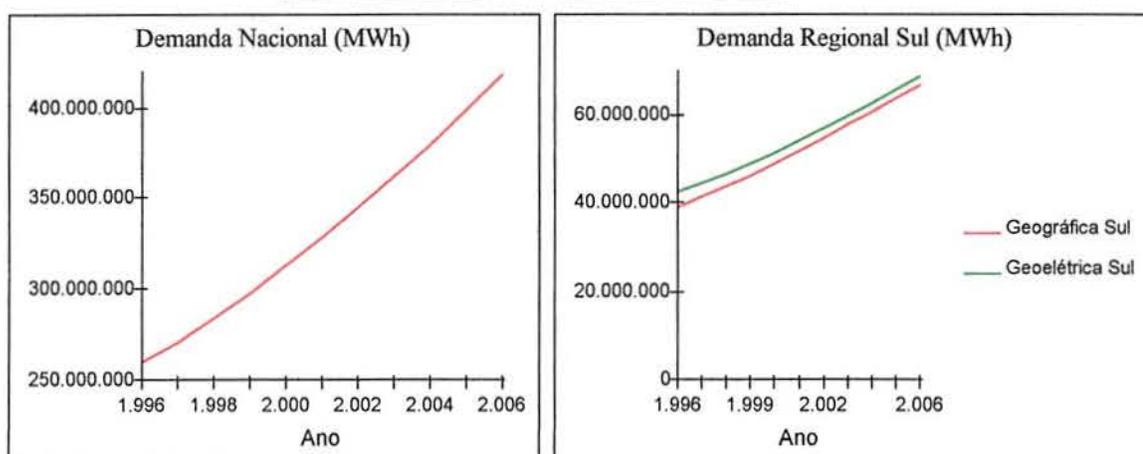


Figura 6.1 – Projeção Macroeconômica da Demanda

6.4 PROJEÇÃO MICROECONÔMICA DA DEMANDA: ETAPA I

Nesta seção, a projeção da demanda por empresa D/C é realizada segundo os critérios de participação regional, classe de consumo e tipo de consumidor.

6.4.1 Projeção da Demanda Global por Empresa

A projeção global da demanda das empresas “A” e “B” em relação à projeção geográfica Sul é apresentada na Tabela 6.11.

Tabela 6.11 – Projeção Global da Demanda por Empresa (MWh)

Ano	Empresa “A”	Empresa “B”
1996	13.466.420	9.361.283
1997	14.325.109	9.940.467
1998	15.130.738	10.477.828
1999	16.073.719	11.107.930
2000	17.082.952	11.786.103
2001	18.027.737	12.412.540
2002	19.102.779	13.131.462
2003	20.268.681	13.904.651
2004	21.318.709	14.599.607

Ano	Empresa "A"	Empresa "B"
2005	22.444.080	15.334.980
2006	23.625.062	16.120.788

6.4.2 *Projeção por Classe de Consumo*

A projeção global da demanda de cada empresa é decomposta em classes de consumo. As Tabelas 6.12 e 6.13 apresentam, respectivamente, as projeções das empresas "A" e "B".

Tabela 6.12 – Projeção da Demanda da Empresa "A" por Classe (MWh)

Ano	Residencial	Industrial	Comercial	Outras	Total
1996	3.770.597	5.386.568	1.885.299	2.423.956	13.466.420
1997	4.011.031	5.586.793	2.148.766	2.578.520	14.325.109
1998	4.085.299	6.354.910	2.118.303	2.572.225	15.130.738
1999	4.339.904	6.750.962	2.250.321	2.732.532	16.073.719
2000	4.612.397	7.345.669	2.391.613	2.733.272	17.082.952
2001	4.867.489	7.751.927	2.523.883	2.884.438	18.027.737
2002	4.966.728	8.405.231	2.674.392	3.056.448	19.102.799
2003	5.269.857	9.120.906	2.837.615	3.040.302	20.268.681
2004	5.542.864	9.593.419	2.984.619	3.197.806	21.318.709
2005	5.835.461	10.099.836	3.142.171	3.366.612	22.444.080
2006	6.142.516	10.631.278	3.307.509	3.543.759	23.625.062

Tabela 6.13 – Projeção da Demanda da Empresa "B" por Classe (MWh)

Ano	Residencial	Industrial	Comercial	Outras	Total
1996	2.340.321	4.306.190	1.123.354	1.591.418	9.361.283
1997	2.485.117	4.572.615	1.192.856	1.689.879	9.940.467
1998	2.724.235	4.610.244	1.257.339	1.886.009	10.477.828
1999	2.888.062	4.887.489	1.332.952	1.999.427	11.107.930
2000	3.064.260	5.337.392	1.613.630	2.234.257	12.412.540
2001	3.227.260	5.337.392	1.613.630	2.234.257	12.412.540
2002	3.545.495	5.512.214	1.707.090	2.363.663	13.131.462
2003	3.754.256	5.839.954	1.807.605	2.502.837	13.904.651
2004	3.941.894	6.131.835	1.897.949	2.627.929	14.599.607
2005	4.140.444	6.440.691	1.993.547	2.760.296	15.334.980
2006	4.352.613	6.770.731	2.095.702	2.901.742	16.120.788

6.4.3 *Projeção da Demanda Cativa e Livre Potencial*

A projeção por classe de consumo é decomposta em demanda cativa e demanda livre potencial. As Tabelas 6.14 e 6.15 mostram, respectivamente, a projeção da empresa "A" e da empresa "B". A decomposição da projeção microeconômica da etapa I pode ser visualizada na Figura 6.2.

Tabela 6.14 – Projeção da Demanda Cativa e Livre Potencial da Empresa “A” (MWh)

Ano	Consumo Cativo	Consumo Livre Potencial	Total
1996	11.633.758	1.832.661	13.466.420
1997	12.424.326	1.900.783	14.325.109
1998	12.968.620	2.162.118	15.130.738
1999	13.776.853	2.296.866	16.073.719
2000	13.920.168	3.162.784	17.082.952
2001	14.690.033	3.337.704	18.027.737
2002	15.483.805	3.618.993	19.102.799
2003	15.613.899	4.654.782	20.268.681
2004	16.422.784	4.895.925	21.318.709
2005	17.289.709	5.154.370	22.444.080
2006	18.199.475	5.425.588	23.625.062

Tabela 6.15 – Projeção da Demanda Cativa e Livre Potencial da Empresa “B” (MWh)

Ano	Consumo Cativo	Consumo Livre Potencial	Total
1996	8.893.971	467.312	9.361.283
1997	8.926.559	1.013.908	9.940.467
1998	8.955.268	1.522.560	10.477.828
1999	9.166.971	1.940.960	11.107.930
2000	9.734.800	2.051.303	11.786.103
2001	10.270.995	2.141.545	12.412.540
2002	10.866.805	2.264.657	13.131.462
2003	11.506.650	2.398.002	13.904.651
2004	12.081.753	2.517.854	14.599.607
2005	12.690.303	2.644.677	15.334.980
2006	13.340.591	2.780.198	16.120.788

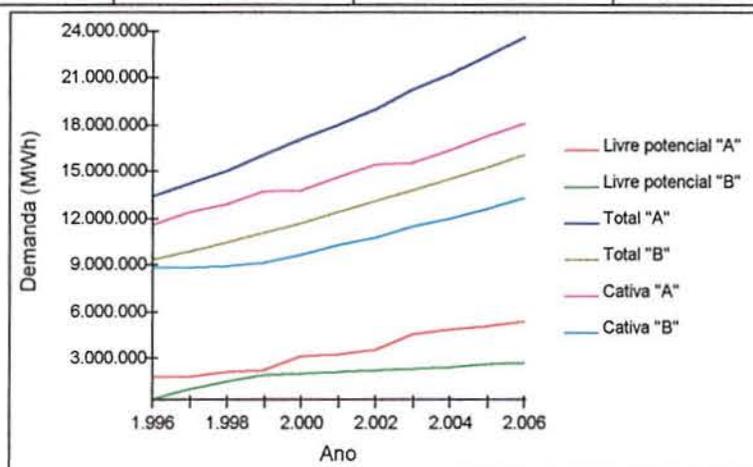


Figura 6.2 – Projeção Microeconômica da Demanda: Etapa I

6.5 PROJEÇÃO MICROECONÔMICA DA DEMANDA: ETAPA II

Para avaliar o desempenho do modelo e comparar a evolução da demanda de uma empresa D/C em um ambiente sem competição e com competição por consumidores livres, no período 1997/2006, foram simulados quatro estudos de caso. O primeiro caso, Caso Base, é o ambiente de monopólio regulado, e serve como referência para os outros; o segundo, Caso 1, visa avaliar o desempenho do modelo em relação ao modo de referência e a variação de parâmetros do sistema; os dois últimos, Caso 2 e Caso 3, objetivam testar o modelo com aplicação de políticas empresariais.

Antes de descrever os estudos de caso, apresenta-se a estrutura geral do sistema para o ambiente sem competição e em presença de competição. Na região geográfica Sul estão localizados cinco agentes distribuidores/comercializadores: Companhia Paranaense de Energia Elétrica S.A. (COPEL), Centrais Elétricas de Santa Catarina (CELESC), Companhia Estadual de Energia Elétrica (CEEE), Rio Grande Energia S/A (RGE) e AES Distribuidora Gaúcha de Energia S/A (AES-Sul). Entre esses agentes, encontram-se a empresa "A" e a empresa "B".

Cada agente atende a sua demanda através de contrato bilateral e, em alguns casos, de geração própria. Para os agentes em estudo, considera-se somente que o atendimento seja via contrato bilateral, conforme ilustra, genericamente, a Figura 6.3. Nesta figura, os demais agentes são representados apenas para complementar a configuração do sistema, pois o foco da análise são os agentes já mencionados.

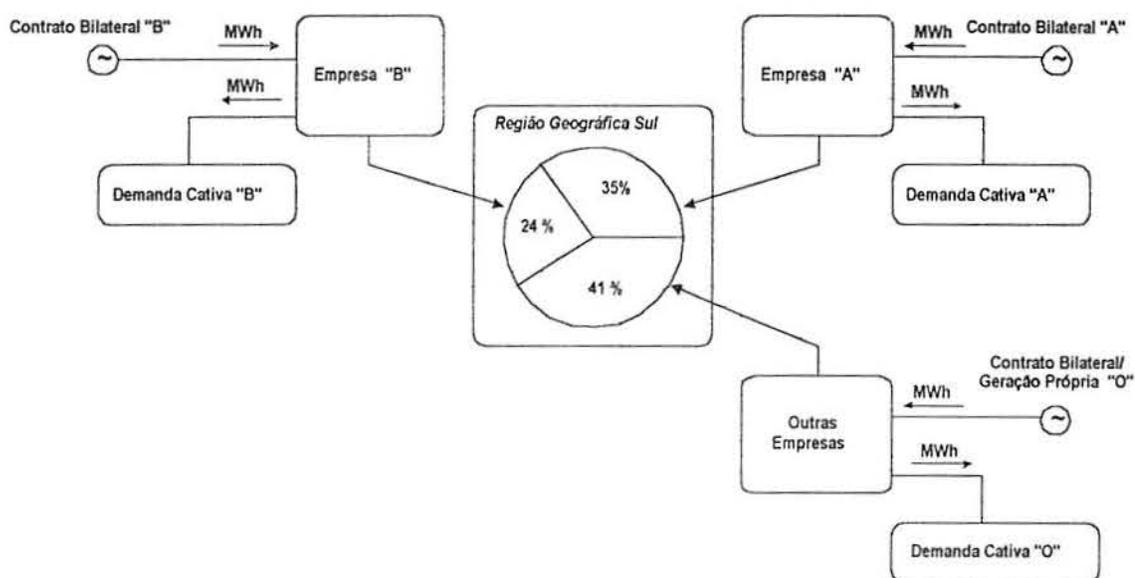


Figura 6.3 – Estrutura do Sistema sem Competição

Com a reestruturação da indústria de eletricidade e a segmentação do mercado consumidor das empresas D/C's em consumidores cativos e consumidores livres, a empresa "A" e a empresa "B" passam a disputar, entre si, fatias de mercado. Cada empresa atende a demanda agregada da sua base de consumidores, como ilustra a Figura 6.4.

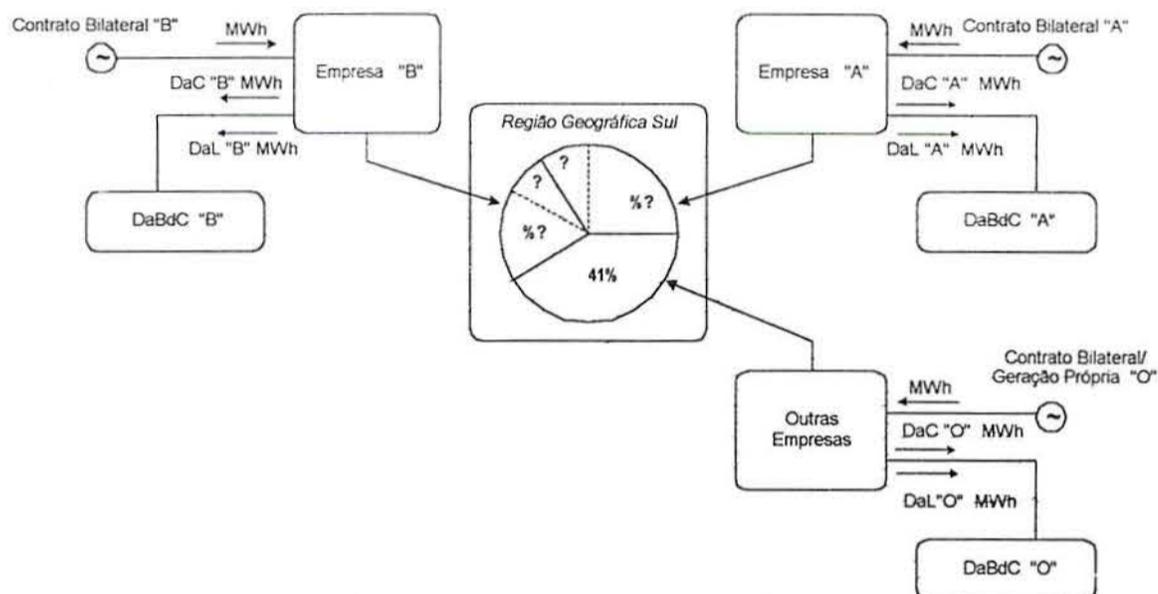


Figura 6.4 – Estrutura do Sistema com Competição

6.5.1 Descrição dos Estudos de Caso

Caso Base

A empresa “A” e a empresa “B” são detentoras e atuam em suas área de concessão. Ambas têm a obrigação de atender aos consumidores pertencentes às suas respectivas áreas, pois eles são cativos. A demanda de cada empresa é a demanda de sua área de concessão, a participação de mercado é de 100% na sua própria área. As condições iniciais da simulação, deste caso, são mostradas na Tabela 6.16.

Tabela 6.16 – Parâmetros Principais do Caso Base

Parâmetro	Empresa “A”	Empresa “B”
Tarifa de suprimento	R\$ 31,4/MWh	R\$ 31,4/MWh
Tarifa de fornecimento	R\$ 73,0/MWh	R\$ 73,0/MWh
Custos fixos	R\$ 370*10 ⁶ a.a.	R\$ 255*10 ⁶ a.a.
Percentual de investimentos	0,9% a.a.	0,9% a.a.
Consumidores	2.404.665 cons.	1.454.744 cons.

As tarifas da Tabela 6.16 são definidas pelo órgão regulador da seguinte forma: as empresas devem contratar suas projeções de demanda para todo o período de estudo (10 anos) de uma única empresa geradora, de acordo com a tarifa de suprimento estipulada na Tabela 6.16; e a tarifa de fornecimento, também estipulada na tabela, deve ser gradualmente reduzida ao longo do período até o valor de R\$ 61,0/MWh. Os custos fixos anuais das empresas são considerados constantes ao longo do período. Os investimentos são aplicados em melhorias na oferta do serviço.

Demais Casos

As premissas adotadas para os Casos 1 a 3 são relacionadas a seguir:

- os critérios atuais para qualificação de consumidores livres são mantidos;
- os custos fixos, cujos valores foram mencionados no caso Base, são constantes ao longo do período;
- para evitar a concorrência predatória, o órgão regulador estabelece o limite de participação de mercado em 40% e 29%, respectivamente, para a empresa “A” e empresa “B”, em função da demanda cativa;
- com a tendência de redução do preço de suprimento, o órgão regulador estabelece que a tarifa de fornecimento para consumidores cativos deve ser gradualmente reduzida de R\$ 73,0/MWh, em 1996, até R\$ 61,0/MWh, em 2006;
- as empresas, para garantir o atendimento de seus mercados consumidores e evitar a volatilidade do preço de suprimento no curto prazo, contratam suas demandas projetadas para o período em estudo a preço fixo de R\$ 31,4/MWh. Adicionalmente, a empresa “B” renova os contratos de fornecimento com todos os seus consumidores livres;
- preço de fornecimento aos consumidores livres é definido pelas empresas, cuja taxa de reajuste depende dos objetivos estratégicos de cada empresa, descritos logo a seguir. As empresas reajustam o preço a partir de 1999, em função do prazo para a migração externa dos consumidores;
- a empresa “A”, ou incumbente, tem como objetivo estratégico manter sua BdC e preservar sua PdM de 35%, em termos médios, a partir de 2000. Para alcançar sua meta, implementa políticas de preço e investimento, como mostra a Figura 6.5;
- a empresa “B”, ou desafiante, tem como objetivo estratégico aumentar sua BdC, conquistando consumidores livres não optantes fora de sua área de atuação. Com o aparecimento desses consumidores, em 1998, na área da empresa “A”, a empresa “B” identifica uma oportunidade de negócios e estabelece como meta aumentar sua participação em 5%, a partir de 2000. Para cumprir sua meta, tenta conquistar os consumidores da empresa “A” e utiliza as políticas de preço e investimento, conforme mostra a Figura 6.5. Nessa figura, pode-se observar que a empresa “B” não reajusta seu preço, mesmo com redução de receitas;
- os investimentos de ambas são aplicados em serviços para fidelização de consumidores. Como exemplos destes serviços, citam-se a criação de uma área de atendimento especial para os consumidores livres, lojas para venda de eletrodomésticos e serviço de assessoria a consumidores industriais (alteração de grupo tarifário, remanejamento da demanda em horário de ponta, etc.).

A Figura 6.5 mostra as estratégias das empresas, através de matrizes. Nessas matrizes, o reajuste de preço é simbolizado por RP (%) e o percentual anual de investimentos por PInv (%). As estratégias foram construídas considerando-se que o objetivo do exercício não é quantificar os valores, mas sim avaliar o efeito de decisões gerenciais sobre a evolução da demanda. No entanto, outros conjuntos de estratégias foram simulados, porém não foram aqui apresentados, o que tornaria análise de seus resultados bastante enfadonha.

	RP(%)	PInv (%)	Ano
Caso 1	5,0%	0,9%	Matriz "A" =
Caso 2	5,0%	5,0%	
Caso 3	15,0%	0,9%	
	RP(%)	PInv (%)	

	RP(%)	PInv (%)	Ano
Caso 1	0,0%	0,9%	Matriz "B" =
Caso 2	0,0%	0,9%	
Caso 3	0,0%	0,9%	
	RP(%)	PInv (%)	

Figura 6.5 – Matriz de Estratégias das Empresas "A" e "B"

6.5.2 Verificação do Modo de Referência

Para avaliar o desempenho do modelo em relação ao modo de referência, projetado no Capítulo 4 – Figura 4.5, analisam-se os resultados do Caso Base e do Caso 1. Esta verificação é realizada, também, no teste de sensibilidade e nos Casos 2 e 3.

Análise de Resultados do Caso Base

Os resultados deste caso de monopólio regulado são mostrados na Tabela 6.17 e Tabela 6.18 e ilustrados na Figura 6.6. A simbologia adotada na apresentação dos resultados significa:

- DaBdC: Demanda agregada da base de consumidores;
- BdC: base de consumidores;
- Fat: Faturamento da empresa;
- Lucro: lucro bruto da empresa;
- PdM: Participação de mercado da empresa.

Tabela 6.17 – Resultados do Caso Base

EMPRESA "A"					
Ano	DaBdC (MWh)	BdC (Consumidores)	Faturamento (R\$*1000)	Lucro (R\$*1000)	PdM (%)
1996	13.466.420	2.504.665	984.403	191.549	34,28
1997	14.325.109	2.598.589	1.055.386	235.568	34,37
1998	15.130.738	2.696.036	1.089.285	244.170	34,47
1999	16.073.719	2.797.137	1.127.709	252.984	34,57
2000	17.082.952	2.902.029	1.172.372	265.957	34,67
2001	18.027.737	3.010.855	1.210.735	274.653	34,77
2002	19.102.799	3.123.762	1.261.395	291.556	34,87
2003	20.268.681	3.240.903	1.314.471	308.023	34,97
2004	21.318.709	3.362.436	1.356.788	317.369	35,06
2005	22.444.080	3.488.527	1.401.448	326.691	35,17
2006	23.625.062	3.619.346	1.445.559	333.719	35,26

Tabela 6.17 - Continuação					
EMPRESA "B"					
Ano	DaBdC (MWh)	BdC (Consumidores)	Faturamento (R\$*1000)	Lucro (R\$*1000)	PdM (%)
1996	9.361.283	1.454.744	684.315	135.365	23,83
1997	9.940.467	1.515.843	732.052	164.915	23,85
1998	10.477.828	1.577.992	753.171	169.160	23,87
1999	11.107.930	1.641.111	778.825	175.029	23,89
2000	11.786.103	1.705.114	808.631	183.540	23,92
2001	12.412.540	1.771.613	833.894	189.133	23,94
2002	13.131.462	1.837.162	866.993	199.657	23,97
2003	13.904.651	1.905.136	901.902	210.288	23,99
2004	14.599.607	1.973.720	929.422	215.986	24,01
2005	15.334.980	2.044.773	957.398	220.871	24,03
2006	16.120.788	2.116.340	986.248	225.046	24,06

A Figura 6.6 mostra que na ausência de competição a evolução da demanda agregada de cada empresa reflete apenas as diferentes taxas de crescimento da demanda. O preço não interfere na evolução da BdC, pois os consumidores têm seus contratos com a empresa à qual estão vinculados. Neste caso, a redução da BdC poderia ocorrer caso o consumidor decidisse auto-produzir ou mudar geograficamente sua planta. Nesta figura, o faturamento e o lucro das empresas são mostrados para comparação com os demais casos e, principalmente, para se avaliar alguns parâmetros econômicos que se refletem na projeção de demanda e vice-versa.

Para analisar a evolução do faturamento de uma empresa distribuidora é interessante verificar a demanda que muda de grupo tarifário – demanda migrante interna (DaMI). A migração interna, por um lado, atende às necessidades dos consumidores e reduz seus custos; do lado da empresa, há uma perda de faturamento, decorrente da redução tarifária. Tradicionalmente, o tempo médio entre a solicitação e a mudança efetiva tem sido de aproximadamente dois anos, porém a tendência é a redução desse tempo, segundo especialistas. Por esse motivo, considera-se o “atraso” de um ano, conforme mostra a Tabela 6.18.

O faturamento global apresentado na Tabela 6.17 considera a perda devido à migração interna a cada período. Para o último, 2006, a empresa “A” obteve um faturamento de R\$1.445.559.813, dos quais R\$1.437.169.208 diz respeito aos 23.383.814 MWh (DaBdC – DaMI), faturados a R\$ 61,46/MWh, e R\$ 8.390.605 referentes à parcela que migra entre os grupos tarifários ($A_3 - A_1$, $A_3a - A_2$ e $A_4 - A_3$), cuja tarifa média resulta em R\$ 34,78/MWh. A perda de faturamento da parcela migrante é de 43% (R\$ 6.436.497) em relação a tarifa média (R\$ 61,46/MWh), praticada no mesmo período. O faturamento da empresa “B” foi de a R\$ 986.248.300, sendo que R\$ 979.493.982 correspondem aos 15.937.697 MWh (DaBdC – DaMI), faturados a R\$ 61,46/MWh e R\$ 6.754.318 corresponde a parcela migrante, faturados a R\$ 36,77/MWh. A perda de faturamento dessa última parcela é de 40%.

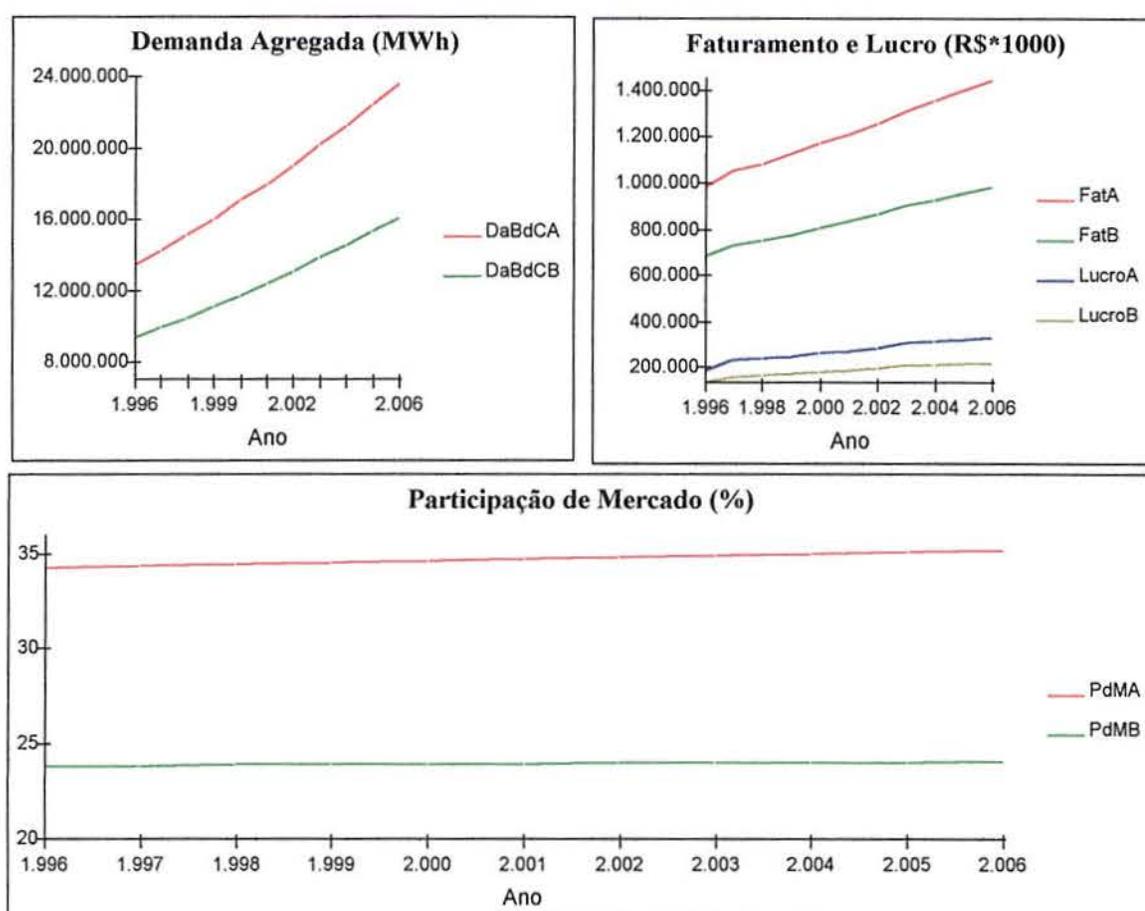


Figura 6.6 – Resultados do Caso Base

Vale ressaltar que, para os objetivos deste trabalho, considera-se a perda associada à tarifa média praticada, embora saiba-se que essas perdas são menores se a estrutura tarifária das empresas (convencional e horo-sazonal) for levada em conta. O que se pretende é analisar os efeitos da alteração de grupos tarifários sob o ponto de vista estratégico, e não quantificar os valores destas perdas com precisão. O lucro bruto da empresa “A” e empresa “B”, em relação aos seus faturamentos, descontados os custos já mencionados, é de, respectivamente, 23,09% e 22,82%.

Tabela 6.18– Caso Base: Demanda Migrante Interna (MWh)

Ano	EMPRESA “A”		EMPRESA “B”	
	DaBdC	DaMI	DaBdC	DaMI
1996	13.466.420	-	9.361.283	-
1997	14.325.109	164.275	9.940.467	131.326
1998	15.130.738	103.062	10.477.828	135.356
1999	16.073.719	209.913	11.107.930	170.317
2000	17.082.952	216.106	11.786.103	158.565
2001	18.027.737	237.881	12.412.540	146.533
2002	19.102.799	214.551	13.131.462	153.964
2003	20.268.681	237.151	13.904.651	158.015
2004	21.318.709	257.487	14.599.607	167.462
2005	22.444.080	228.937	15.334.980	174.838
2006	23.625.062	241.248	16.120.788	183.691

Análise de Resultados do Caso 1

Os resultados do Caso 1 são mostrados na Tabela 6.19 e Tabela 6.20 e ilustrados na Figura 6.7.

Tabela 6.19– Resultados do Caso 1

EMPRESA “A”					
Ano	DaBdC (MWh)	BdC (Consumidores)	Faturamento (RS*1000)	Lucro (RS*1000)	PdM (%)
1996	13.466.420	2.504.665	983.403	191.549	34,28
1997	14.325.109	2.598.589	1.055.386	235.568	34,37
1998	15.130.738	2.696.036	1.087.752	242.637	34,47
1999	16.073.719	2.797.137	1.125.737	251.012	34,57
2000	16.073.756	2.902.024	1.098.626	223.900	32,62
2001	16.981.029	3.010.844	1.138.445	235.231	32,75
2002	17.912.180	3.123.745	1.181.147	248.694	32,70
2003	19.003.860	3.240.880	1.232.098	265.366	32,79
2004	19.577.052	3.362.402	1.247.384	262.653	32,20
2005	20.606.099	3.488.481	1.290.090	273.047	32,29
2006	21.632.183	3.619.286	1.329.621	280.358	32,29
EMPRESA “B”					
Ano	DaBdC (MWh)	BdC (No. Consumidores)	Faturamento (RS*1000)	Lucro (RS*1000)	PdM (%)
1996	9.361.283	1.454.744	684.315	135.365	23,83
1997	9.940.467	1.515.843	732.052	164.915	23,85
1998	10.477.828	1.577.992	752.780	168.770	23,87
1999	11.107.930	1.641.111	777.816	174.020	23,89
2000	12.795.299	1.705.119	867.763	210.983	25,97
2001	13.459.249	1.771.623	893.632	216.004	25,96
2002	14.322.081	1.837.178	935.572	230.850	26,14
2003	15.169.472	1.905.158	976.349	245.019	26,17
2004	16.341.264	1.973.754	1.036.265	268.140	26,87
2005	17.172.960	2.044.820	1.072.827	278.586	26,91
2006	18.113.668	2.116.400	1.114.262	290.483	27,03

Comparando os resultados do Caso Base com os do Caso 1, pode-se observar que, no período 1996-1999, a demanda, o número de consumidores e a participação das respectivas empresas são iguais, independente da política de preço e de investimentos de cada empresa. A razão desta igualdade de valores é que, neste período, uma parcela de consumidores, do total de consumidores livres que a empresa terá em 2006, está no processo de transição de consumidores livres potenciais para consumidores livres efetivos (optantes ou não optantes). Essa discussão é válida também para os casos que serão apresentados posteriormente.

Os resultados do Caso 1 mostram que as estratégias da empresa “A” reduziram sua DaBdC, BdC e PdM ao longo do período 2000-2006, em relação ao caso anterior. No último ano do período, 2006, as perdas acumuladas representam, respectivamente, 1.992.880 MWh, 60 consumidores e 3% na participação. Em consequência, as perdas da empresa “A” resultaram em ganhos para a empresa “B”, na mesma proporção.

O número de consumidores livres potenciais da empresa “A” é de 248 no período 1996-2006. Deste total somente 102 consumidores tornam-se efetivamente livres até 2006, em função do tempo para a transição, conforme já mencionado. No período 2000-2006, a empresa perde 60 consumidores, ou seja, 59% de seus consumidores livres efetivos, e reteve 42, como consumidores livres optantes. Destes 41% retidos, 5% é devido à taxa de investimentos (melhoria de serviços) e 36% devido a outros fatores (custo da troca, imagem da fornecedora original, etc.). Caso não houvesse a escolha do consumidor com base nos investimentos, a perda pode chegar a 64%.

Um aspecto relevante a ser observado é a evolução na perda de consumidores da empresa “A” ou no ganho da empresa “B”. No ano 2000, a perda é de cinco consumidores, em 2001 são onze, e assim, em 2006 são sessenta consumidores perdidos. Isso mostra que a mesma estratégia (ação), a curto e longo prazo, tem efeitos diferentes, isto é, no início do período o número parece ser pouco significativo em relação à BdC, mas à medida que o tempo passa ele torna-se significativo, haja vista a quantidade de demanda associada a esses consumidores.

Na Figura 6.7 visualiza-se a evolução na participação de cada empresa. Os intervalos entre a meta e a participação mostram que a empresa “B” evoluiu no sentido de sua meta, chegando em 2006 com uma participação de 27,03%, ou seja, um acréscimo de 2,97% em relação ao Caso Base, no mesmo período, ficando 1,97% abaixo de sua meta. Já a empresa “A” teve sua participação gradualmente reduzida, ficando 2,71% abaixo da meta. Esses intervalos representam a incerteza da empresa com relação à possibilidade de alcançar à meta estabelecida em função das ações da concorrente.

A Figura 6.7 ilustra também a evolução do faturamento e lucro, cujos fatores as empresas buscam num ambiente de negócios competitivos. Nesta aplicação, o faturamento é importante, pois a partir dele são calculados os investimentos, que, por sua vez, influem na retenção de demanda livre. O lucro é mostrado para complementar a análise.

A empresa “A”, em 2006, reduziu 8% seu faturamento, devido à perda de seus 1.992.880 MWh de demanda livre e também de uma parcela adicional de 67.553 MWh (Caso 1: 308.801 MWh – Caso Base: 241.248 MWh) ter mudado de grupo tarifário. O mecanismo de migração interna pode ser utilizado pelos consumidores de modo a garantir um preço menor a longo prazo, às custas de um aumento de custos imediatos.

A empresa “B” obteve um aumento de 13% no faturamento, devido principalmente ao ganho dos 1.992.880 MWh e também a uma parcela adicional de migração interna, 12.699 MWh (Caso 1: 196.390 MWh – Caso Base: 183.691 MWh), proporcionalmente menor que a correspondente a “A”.

Em função da diferença nos valores de migração interna de ambas as empresas, a perda de “B” é menor que a de “A”, o que contribui para a taxa de faturamento de “B” ser maior que a de “A”. Quanto à taxa de lucro, a empresa “A” obteve 21,09% (2% menor que no Caso Base) e a empresa “B” 26,07% (3,25% maior que no Caso Base). Observando a Tabela 6.20 e Tabela 6.18, pode-se identificar as parcelas de demanda acima explicitadas.

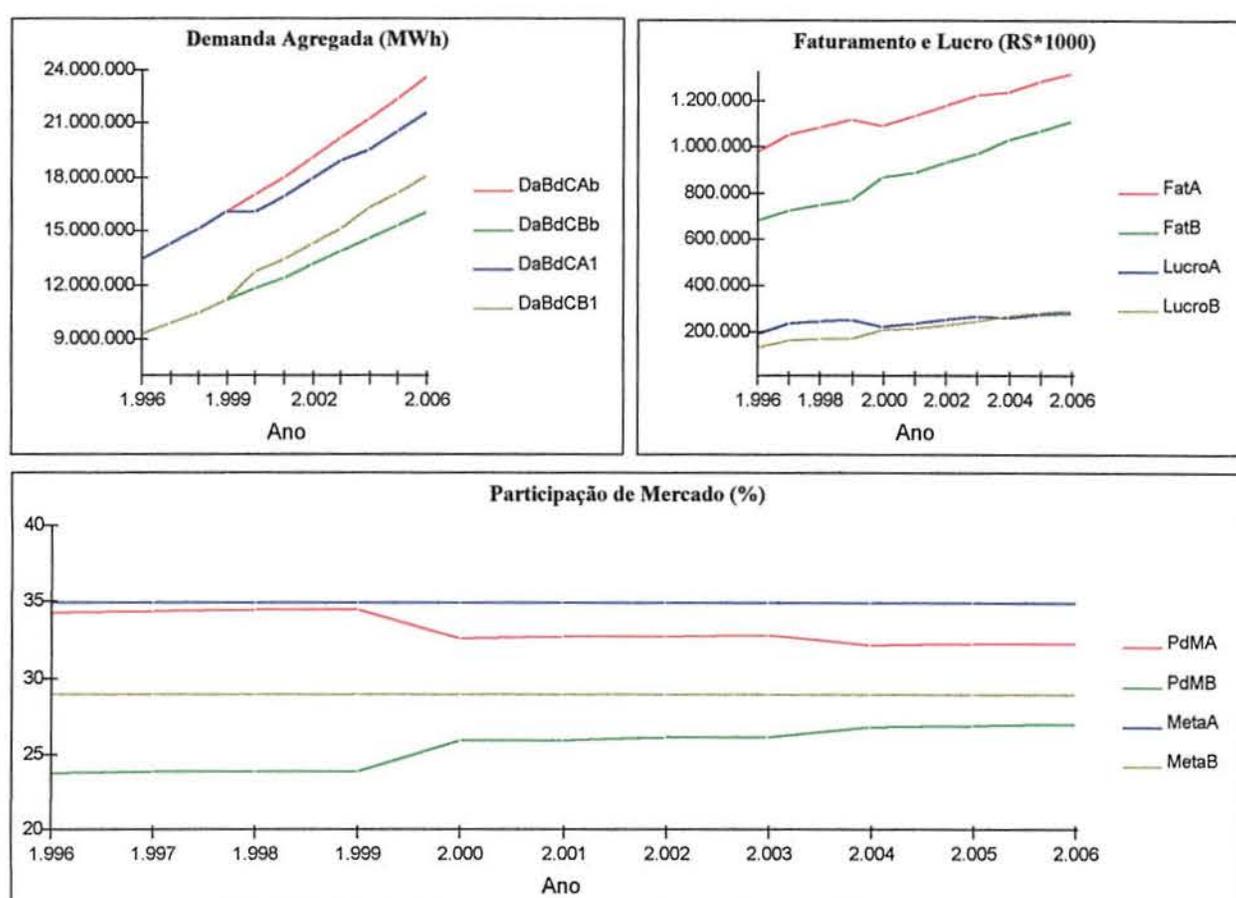


Figura 6.7 – Resultados do Caso 1

A Tabela 6.20 retrata o processo de decomposição da demanda global (DaBdC), informando, para cada ano, as demandas: cativa (DaC), optante com base no preço (DaOP), optante com base nos investimentos (DaOI), livre (DaL) e migrante interna (DaMI). A demanda livre atendida pela empresa é a soma da demanda optante por preço e por investimentos. Para se obter a demanda global (DaBdC), devem ser somadas as parcelas de demanda cativa e livre. Nessa tabela, a demanda migrante interna consta para caracterizar seu valor; de fato, essa informação é necessária no modelo do faturamento para o cálculo da perda, conforme discutido no Caso Base.

Ainda sobre a Tabela 6.20, pode-se notar o processo de transição entre a demanda potencialmente livre e efetivamente livre. Por exemplo, em 1996 a demanda potencial de “A” é (Tabela 6.14) 1.832.661 MWh e torna-se livre em 1999. Neste ano, em função dos investimentos realizados no ano anterior, uma parcela de 91.633 MWh (DaOI) permanece na empresa, e no ano seguinte, em

função do preço, permanecem 731.832 MWh (DaOP) e migram externamente 1.009.196 MWh (demanda perdida).

Através da análise desse caso, pode-se notar que a projeção da demanda gerada pela metodologia tradicional (Fig. 6.7: DaBdCA_b e DaBdCB_b) é quantitativamente diferente da projeção da demanda gerada pela metodologia proposta (Fig. 6.7: DaBdCA₁ DaBdCB₁), e também no que se refere à projeção da participação de mercado e base de consumidores, comprovando, assim, a hipótese inicial do trabalho.

Tabela 6.20 - Caso 1: Decomposição da DaBdC (MWh)

EMPRESA "A"					
Ano	DaC	DaL		DaMI	DaBdC
		DaOP	DaOI		
1996	13.466.420	-	-	-	13.466.420
1997	14.325.109	-	-	164.275	14.325.109
1998	15.130.738	-	-	193.577	15.130.738
1999	15.982.086	-	91.633	303.792	16.073.719
2000	15.246.885	731.832	95.039	318.129	16.073.756
2001	16.113.887	759.036	108.106	255.867	16.981.029
2002	16.933.943	863.394	114.843	271.261	17.912.180
2003	17.928.519	917.202	158.139	289.242	19.003.860
2004	18.147.179	1.262.987	166.885	314.565	19.577.052
2005	19.092.311	1.332.838	180.950	293.951	20.606.099
2006	19.954.280	1.445.165	232.739	308.801	21.632.183
EMPRESA "B"					
Ano	DaC	DaL		DaMI	DaBdC
		DaOP	DaOI		
1996	9.361.283	-	-	-	9.361.283
1997	9.940.467	-	-	131.326	9.940.467
1998	10.477.828	-	-	158.437	10.477.828
1999	11.084.565	-	23.366	220.394	11.107.930
2000	11.291.462	1.453.142	50.695	232.550	12.795.299
2001	11.373.200	2.009.921	76.128	216.681	13.459.249
2002	11.587.982	2.637.050	97.048	201.243	14.322.081
2003	11.958.174	3.108.732	102.565	183.542	15.169.472
2004	12.543.791	3.690.395	107.077	178.117	16.341.264
2005	13.187.279	3.872.449	113.233	186.395	17.172.960
2006	13.849.464	4.144.304	119.900	196.390	18.113.668

Finalizando estes dois casos, pode-se observar, também, que os resultados obtidos e os resultados esperados apresentam comportamentos similares. Portanto, o modelo reproduz o modo de referência. Com isso, a meta estabelecida na etapa 6 do processo de construção do modelo foi alcançada, ou seja, a consistência do modelo.

6.5.3 Teste de Sensibilidade

Este teste é realizado, analisando-se a evolução da demanda das empresas no Caso 1 em relação a evolução da economia, essa, representada pelo PIB. Assim, os Cenários 2 e 3 do PIB são considerados na execução do teste.

O Quadro 6.1 apresenta os resultados do teste de sensibilidade com o Cenário 2. Neste quadro, observa-se um aumento na demanda agregada das empresas, em relação à demanda do Caso 1, resultante de um cenário mais otimista. Já a participação é igual a do Caso 1, pois o incremento de demanda, influenciado pela evolução do PIB, se reflete proporcionalmente em cada empresa.

Quadro 6.1 – Cenário 2: Teste de Sensibilidade

Ano	EMPRESA "A"		EMPRESA "B"	
	DaBdC _A (MWh)	PdM _A (%)	DaBdC _B (MWh)	PdM _B (%)
1996	13.485.119	34,28	9.374.282	23,83
1997	14.344.247	34,37	9.953.747	23,85
1998	15.150.607	34,47	10.491.587	23,87
1999	16.094.469	34,57	11.122.269	23,89
2000	16.094.029	32,62	12.811.654	25,97
2001	17.002.112	32,75	13.476.126	25,96
2002	17.934.107	32,70	14.339.791	26,14
2003	19.026.859	32,79	15.188.002	26,17
2004	19.600.432	32,20	16.360.998	26,87
2005	20.630.401	32,29	17.193.423	26,91
2006	21.657.351	32,29	18.134.964	27,03

O Quadro 6.2 mostra os resultados do teste com o Cenário 3. Neste quadro, nota-se uma redução na demanda agregada, em relação ao Caso 1, decorrente de um cenário mais pessimista, e a manutenção dos valores de participação, devido a redução proporcional de demanda de cada empresa.

Quadro 6.2 – Cenário 3: Teste de Sensibilidade

Ano	EMPRESA "A"		EMPRESA "B"	
	DaBdC _A (MWh)	PdM _A (%)	DaBdC _B (MWh)	PdM _B (%)
1996	13.410.321	34,28	9.322.285	23,83
1997	14.267.733	34,37	9.900.653	23,85
1998	15.071.171	34,47	10.436.578	23,87
1999	16.011.516	34,57	11.064.944	23,89
2000	16.012.986	32,62	12.746.267	25,97
2001	16.917.829	32,75	13.408.656	25,96
2002	17.870.875	32,70	14.285.778	26,14
2003	18.958.618	32,79	15.130.183	26,17
2004	19.531.560	32,20	16.298.949	26,87
2005	20.558.774	32,29	17.129.060	26,91
2006	21.580.663	32,29	18.070.440	27,03

Através dos resultados mostrados nos Quadros 6.1 e 6.2, e de outros não apresentados aqui, como a relação entre o crescimento populacional e a evolução da demanda, pode-se concluir que o modelo atende às características de robustez. Com isso, a meta estabelecida na etapa 7 do processo de construção do modelo foi alcançada, ou seja, a robustez do modelo.

6.5.4 Teste de Políticas Empresariais

Para avaliar o desempenho do modelo frente à aplicação de políticas empresariais, analisam-se os resultados do Caso 2 e do Caso 3.

Análise de Resultados do Caso 2

Os resultados do Caso 2 (Tabela 6.21 e Tabela 6.22), comparados aos do Caso Base, mostram que as estratégias utilizadas pelas empresas resultaram à empresa "A" perdas acumuladas da ordem de 1.468.438 MWh, 46 consumidores e 2,19% na participação, que foram recolhidas pela empresa "B".

Tabela 6.21 – Resultados do Caso 2

EMPRESA "A"					
Ano	DaBdC (MWh)	BdC (Consumidores)	Faturamento (R\$*1000)	Lucro (R\$*1000)	PdM (%)
1996	13.466.420	2.504.665	983.403	191.508	34,28
1997	14.325.109	2.598.589	1.055.386	235.525	34,37
1998	15.130.738	2.696.036	1.087.752	242.593	34,47
1999	16.073.719	2.797.137	1.123.642	248.871	34,57
2000	16.339.334	2.902.025	1.116.472	233.361	33,16
2001	17.256.478	3.010.846	1.156.521	244.609	33,28
2002	18.225.501	3.123.741	1.201.847	259.506	33,27
2003	19.336.708	3.240.884	1.254.242	277.006	33,36
2004	20.035.383	3.362.409	1.277.862	278.687	32,95
2005	21.089.778	3.488.491	1.322.244	289.959	33,05
2006	22.156.625	3.619.300	1.365.415	299.629	33,07
EMPRESA "B"					
Ano	DaBdC (MWh)	BdC (Consumidores)	Faturamento (R\$*1000)	Lucro (R\$*1000)	PdM (%)
1996	9.361.283	1.454.744	684.315	135.365	23,83
1997	9.940.467	1.515.843	732.052	164.915	23,85
1998	10.477.828	1.577.992	752.780	168.770	23,87
1999	11.107.930	1.641.111	777.816	174.020	23,89
2000	12.529.721	1.705.118	851.085	202.644	25,43
2001	13.183.799	1.771.621	876.334	207.355	25,43
2002	14.008.760	1.837.174	915.895	221.012	25,57
2003	14.836.624	1.905.153	955.446	234.568	25,60
2004	15.882.933	1.973.746	1.007.482	253.749	26,12
2005	16.689.281	2.044.808	1.042.452	263.399	26,15
2006	17.589.226	2.116.385	1.081.327	274.016	26,25

Dos 102 consumidores livres, descritos no caso anterior, a empresa "A" perdeu 45,1% (46 consumidores) e reteve 45,9% (56 consumidores). Neste caso, houve uma retenção de 14 consumidores a mais do que no Caso 2, em função da taxa de investimentos.

Em termos de participação de mercado, a "A" obteve 33,07% em 2006. Uma variação de 2,19% em relação ao Caso Base, portanto menor do que no Caso 1. As estratégias de "A" aumen-

tam a incerteza na meta pretendida de “B”, conforme ilustra a Figura 6.8. No Caso 1, a “B” atinge 27,03% de participação, enquanto no Caso 2 o valor é de 26,25%.

Com auxílio da Tabela 6.22, analisa-se o faturamento das empresas. Neste caso, no final do período, a empresa “A” reduz em 5,54% sua taxa de faturamento, com respeito ao Caso Base, e aumenta 2,69% em relação ao Caso 1. Por outro lado, a empresa “B” aumenta em 9,64% em relação ao Caso Base e reduz 2,96% em relação ao Caso 1.

Tabela 6.22 – Caso 2: Decomposição da DaBdC (MWh)

EMPRESA “A”					
Ano	DaC	DaL		DaMI	DaBdC
		DaOP	DaOI		
1996	13.466.420	-	-	-	13.466.420
1997	14.325.109	-	-	164.275	14.325.109
1998	15.130.738	-	-	193.577	15.130.738
1999	15.523.921	-	549.798	303.792	16.073.719
2000	15.229.854	539.245	570.235	294.309	16.339.334
2001	16.048.553	559.289	648.635	254.981	17.256.478
2002	16.900.256	636.185	689.060	267.864	18.225.501
2003	17.712.039	675.833	948.835	287.491	19.336.708
2004	18.103.449	930.622	1.001.311	303.311	20.035.383
2005	19.021.989	982.091	1.085.698	291.678	21.089.778
2006	19.625.332	1.064.858	1.396.434	305.145	22.156.625
EMPRESA “B”					
Ano	DaC	DaL		DaMI	DaBdC
		DaOP	DaOI		
1996	9.361.283	-	-	-	9.361.283
1997	9.940.467	-	-	131.326	9.940.467
1998	10.477.828	-	-	158.437	10.477.828
1999	11.084.565	-	23.366	220.394	11.107.930
2000	11.291.462	1.187.564	50.695	232.550	12.529.721
2001	11.373.200	1.734.471	76.128	216.681	13.183.799
2002	11.587.982	2.323.730	97.048	201.243	14.008.760
2003	11.958.174	2.775.885	102.565	183.542	14.836.624
2004	12.543.791	3.232.064	107.077	178.117	15.882.933
2005	13.187.279	3.388.770	113.233	186.395	16.689.281
2006	13.849.464	3.619.862	119.900	196.390	17.589.226

Essas variações são explicadas, considerando-se que a empresa “A” aplicou uma taxa de investimentos (5% a.a) maior que nos casos anteriores e manteve sua estratégia de preço, enquanto a empresa “B” manteve suas estratégias de preço e investimentos. Em consequência, “A” reteve uma parcela de demanda optante por investimentos (1.396.434 MWh) e, naturalmente, a “B” obteve um ganho de demanda externa menor, tanto em relação ao Caso Base, 1.468.438 MWh, quanto ao Caso 1, 524.442 MWh.

Comparando a demanda migrante externa deste caso com os anteriores, pode-se observar que, em relação ao Caso Base, o fluxo migratório de “A” é maior, 63.897 MWh (Caso 2: 305.145 MWh – Caso Base: 241.248 MWh), o que contribui também na redução de sua taxa de faturamento, enquanto no Caso 1 houve uma redução de 3.656 MWh (Caso 2: 305.145 MWh – Caso 1: 308.801 MWh), resultando num faturamento maior. Quanto à empresa “B”, o deslocamento de demanda interna é maior em relação ao Caso 1, 12.699 MWh (Caso 2: 196.390 MWh – Caso Base: 183.691 MWh), e os valores não se alteram em relação ao Caso 1.

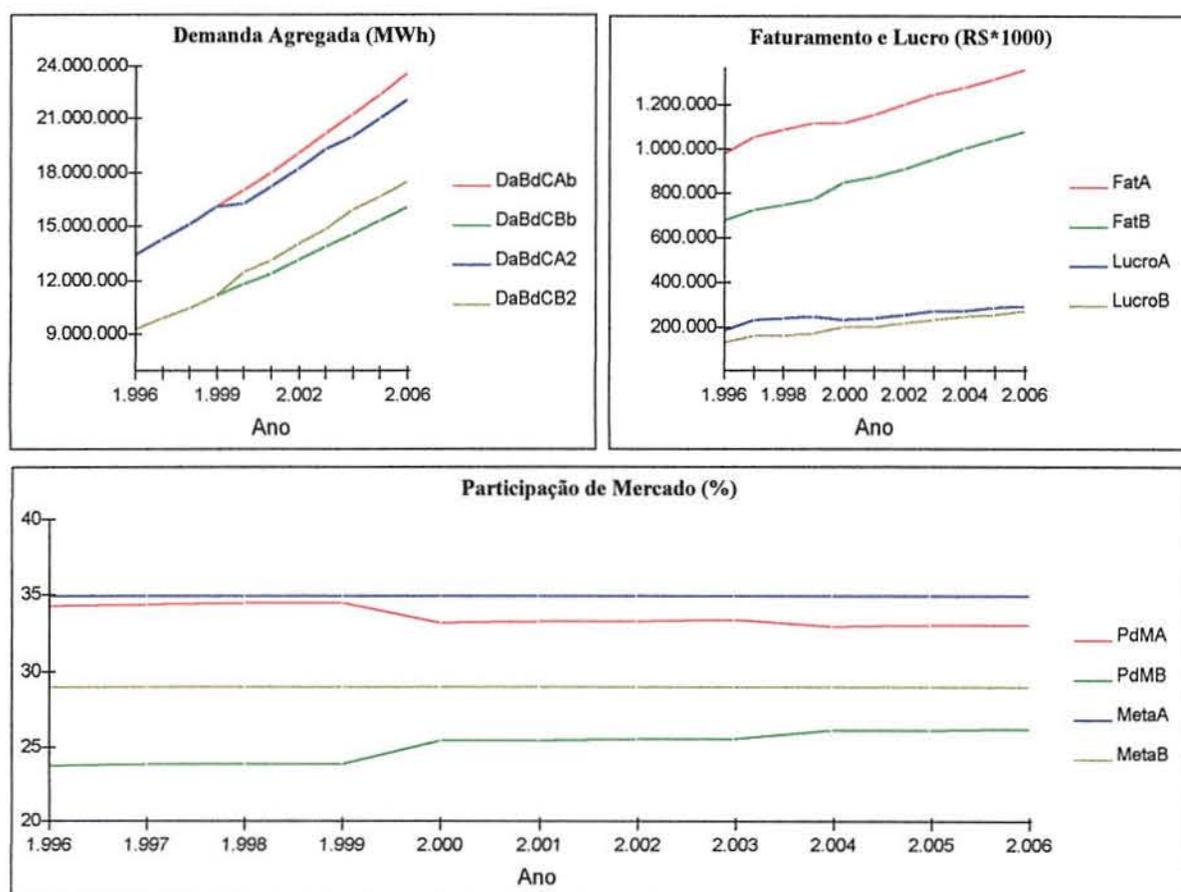


Figura 6.8 – Resultados do Caso 2

Neste caso, a taxa de lucro da empresa “A” é de 21,94%, e da empresa “B” é de 25,34%. Esses valores, comparados aos do Caso Base, resultam à “A” um decréscimo de 1,15% e à “B” um acréscimo de 2,52%. Se a comparação é realizada com o Caso 1, a taxa de “A” aumenta 0,85% e a de “B” reduz 0,73%, devido à relação entre a taxa de investimentos e a retenção de demanda optante, conforme já discutido. Esses valores mostram que, se por um lado, os investimentos aumentam os custos variáveis e reduzem o lucro, por outro, aumentam a retenção de demanda optante e o faturamento.

Esta aplicação serve para avaliar o efeito dos investimentos sobre a projeção de demanda, que, por sua vez, se reflete nos demais fatores analisados.

Análise de Resultados do Caso 3

Os resultados do Caso 3 são mostrados na Tabela 6.23 e Tabela 6.24.

Tabela 6.23 - Resultados do Caso 3

EMPRESA "A"					
Ano	DaBdC (MWh)	BdC (Consumidores)	Faturamento (R\$*1000)	Lucro (R\$*1000)	PdM (%)
1996	13.466.420	2.504.665	983.403	191.549	34,28
1997	14.325.109	2.598.589	1.055.386	235.568	34,37
1998	15.130.738	2.696.036	1.087.752	242.637	34,47
1999	16.073.719	2.797.137	1.126.312	251.588	34,57
2000	15.504.073	2.902.021	1.062.676	205.839	31,47
2001	16.390.170	3.010.838	1.101.219	216.558	31,61
2002	17.240.085	3.123.736	1.138.752	227.403	31,47
2003	18.289.879	3.240.867	1.187.288	242.975	31,56
2004	18.593.900	3.362.382	1.185.360	231.501	30,58
2005	19.568.573	3.488.453	1.224.667	240.202	30,66
2006	20.507.219	3.619.250	1.258.913	244.975	30,61
EMPRESA "B"					
Ano	DaBdC (MWh)	BdC (Consumidores)	Faturamento (R\$*1000)	Lucro (R\$*1000)	PdM (%)
1996	9.361.283	1.454.744	684.315	135.365	23,83
1997	9.940.467	1.515.843	732.052	164.915	23,85
1998	10.477.828	1.577.992	752.780	168.770	23,87
1999	11.107.930	1.641.111	777.816	174.020	23,89
2000	13.364.982	1.705.122	903.539	228.871	27,12
2001	14.050.108	1.771.629	930.738	234.556	27,10
2002	14.994.175	1.837.187	977.779	251.953	27,37
2003	15.883.453	1.905.171	1.021.187	267.438	27,40
2004	17.324.416	1.973.774	1.098.007	299.011	28,49
2005	18.210.486	2.044.847	1.137.983	311.164	28,54
2006	19.238.632	2.116.435	1.184.910	325.806	28,71

Dos casos analisados, o Caso 3 é o que apresenta as maiores perdas, devido ao preço de "A" ser 15% maior que o de "B". Com respeito ao Caso Base, a "A" perde 3.117.443 MWh, 96 consumidores e 4,65% de participação. Por outro lado, a "B" cumpre seus objetivos estratégicos, como mostra a Figura 6.9.

Através da Tabela 6.24, pode-se observar que não houve alteração nas parcelas de demanda migrante interna e de demanda optante por investimentos em relação ao Caso 1. Nestes dois casos, as empresas utilizam a mesma taxa de investimentos, porém a parcela de demanda livre optante por preço da empresa "A" é reduzida de 78% a cada ano. A perda média no período é de 11% em relação à demanda global do Caso Base. As perdas de "A" são recolhidas por "B", conforme já dito.

Neste caso, de acordo com as parcelas que compõem a demanda de cada empresa, a taxa de faturamento de “A” decresce 12,91% em relação ao Caso Base e 5,32% em relação ao Caso 1; a taxa de “B”, comparada também com esses casos, aumenta 20,14% e 6,34%.

Apesar da migração externa de 96 consumidores livres, a empresa “A” obteve uma taxa de lucro de 19,46%, em parte, por conta da venda de energia à parcela restante de consumidores livres, ao preço de R\$ 72,22/MWh. A empresa “B” alcançou uma taxa de 27,5%, portanto, 4,68% a mais do que no Caso Base, através do aumento de sua base de consumidores e, conseqüentemente, de sua demanda.

Tabela 6.24 – Caso 3: Decomposição da DaBdC (MWh)

EMPRESA “A”					
Ano	DaC	DaL		DaMI	DaBdC
		DaOP	DaOI		
1996	13.466.420	-	-	-	13.466.420
1997	14.325.109	-	-	164.275	14.325.109
1998	15.130.738	-	-	193.577	15.130.738
1999	15.982.086	-	91.633	303.792	16.073.719
2000	15.246.885	162.149	95.039	318.129	15.504.073
2001	16.113.887	168.177	108.106	255.867	16.390.170
2002	16.933.943	191.299	114.843	271.261	17.240.085
2003	17.928.519	203.221	158.139	289.242	18.289.879
2004	18.147.179	279.836	166.885	314.565	18.593.900
2005	19.092.311	295.312	180.950	293.951	19.568.573
2006	19.954.280	320.200	232.739	308.801	20.507.219
EMPRESA “B”					
Ano	DaC	DaL		DaMI	DaBdC
		DaOP	DaOI		
1996	9.361.283	-	-	-	9.361.283
1997	9.940.467	-	-	131.326	9.940.467
1998	10.477.828	-	-	158.437	10.477.828
1999	11.084.565	-	23.366	220.394	11.107.930
2000	11.291.462	2.022.825	50.695	232.550	13.364.982
2001	11.373.200	2.600.780	76.128	216.681	14.050.108
2002	11.587.982	3.309.145	97.048	201.243	14.994.175
2003	11.958.174	3.822.714	102.565	183.542	15.883.453
2004	12.543.791	4.673.547	107.077	178.117	17.324.416
2005	13.187.279	4.909.975	113.233	186.395	18.210.486
2006	13.849.464	5.269.268	119.900	196.390	19.238.632

Os resultados apresentados mostram que as estratégias utilizadas pela empresa “A”, em função das ações da concorrente, estão desacopladas de sua meta. Essa afirmativa pode-se verificar na Figura 6.9, através da faixa de incerteza na evolução da demanda e na obtenção da participação de mercado.

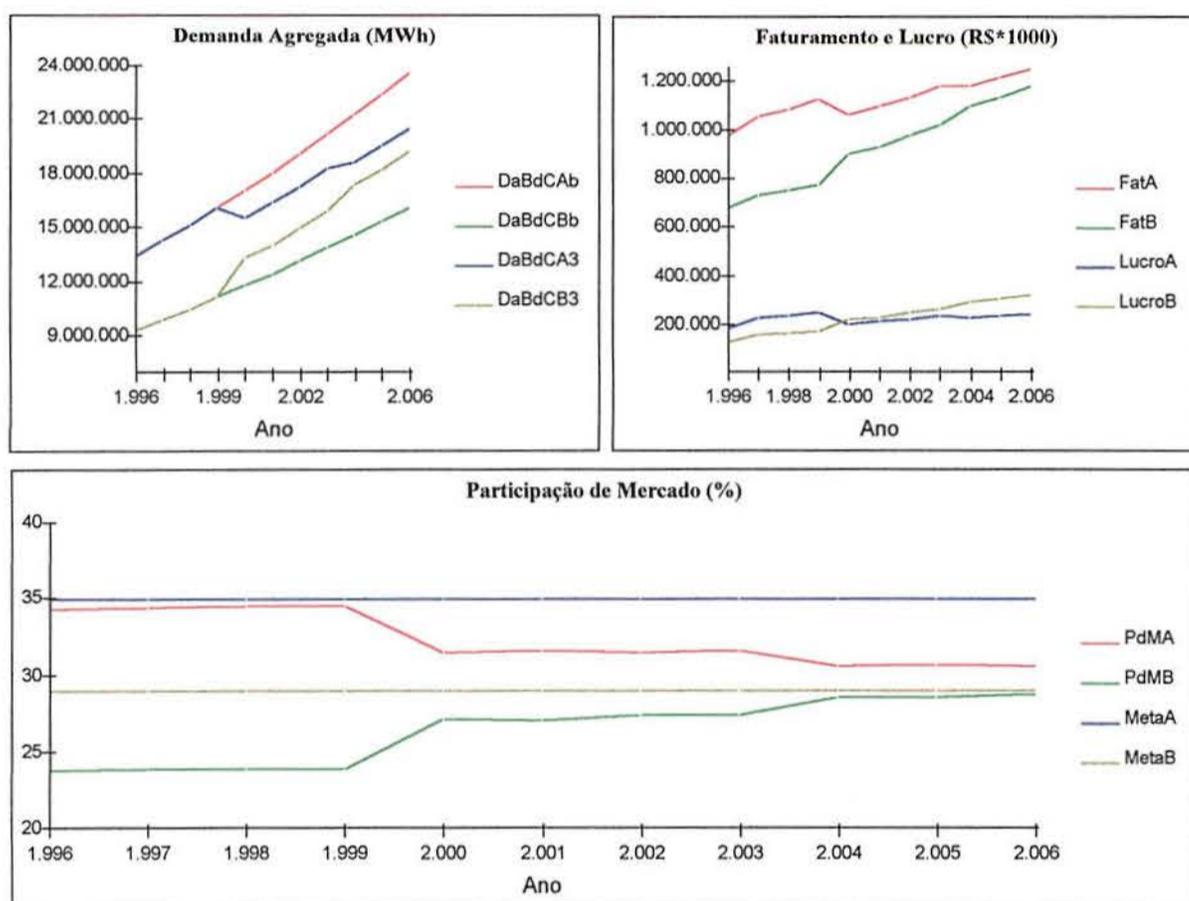


Figura 6.9 – Resultados do Caso 3

Em resumo, esta aplicação confirma mais claramente o efeito das estratégias empresariais sobre o comportamento dos consumidores livres (escolha da fornecedora) e consumidores cativos (alteração de grupos tarifários), que se reflete na projeção da demanda sob o enfoque microeconômico e nos demais fatores quando a empresa é vista como um sistema.

Síntese de Resultados

A Tabela 6.25 sintetiza os resultados de participação, obtidos para o último período de planejamento, 2006. Analisando-se os resultados da Tabela 6.25, nota-se que o melhor conjunto de estratégias (preço e investimentos), levando em conta as reações de uma empresa sobre a outra, para ambas é o Caso 2. Nesse caso, a empresa “A” obtém seu melhor ganho de participação, ou seja, perde menos; e a empresa “B” aproxima-se de sua meta.

Tabela 6.25 – Síntese de Resultados

EMPRESA “A”					EMPRESA “B”			
Caso	Meta PdM (%)	Estratégias		Resultado PdM (%)	Meta PdM (%)	Estratégias		Resultado PdM (%)
		RP (%)	PInv (% a.a.)			RP (%)	PInv (% a.a.)	
Base	35,0	16,0	0,9	35,26	24,0	16,0	0,9	24,06
1	35,0	5,0	0,9	32,29	29,0	0,0	0,9	27,03
2	35,0	5,0	5,0	33,07	29,0	0,0	0,9	26,25
3	35,0	15,0	0,9	30,61	29,0	0,0	0,9	28,71

Estes resultados, representados na Figura 6.10, incorporam a quantificação da faixa de incerteza na participação (Figura 6.4).

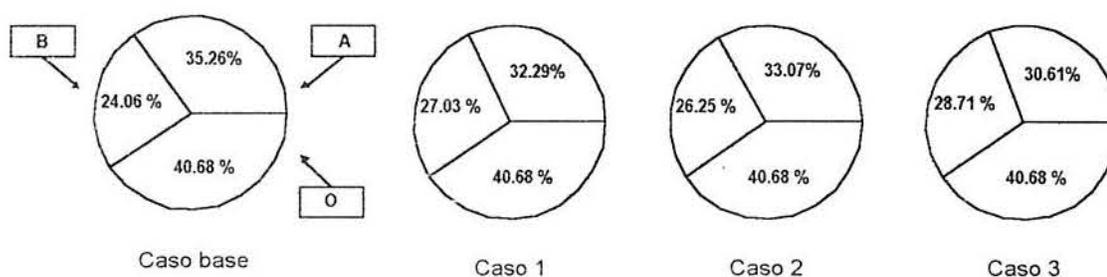


Figura 6.10 – Participação das Empresas na Região Geográfica Sul

Através desta síntese, pode-se observar também, que a decisão da empresa “B”, ao propor aos seus consumidores livres a renovação dos contratos de fornecimento, evitou a penetração competitiva da empresa “A” no seu mercado consumidor e resultou em ganhos de participação. Esta decisão é uma medida estratégica eficaz para as empresas D/C’s.

6.6 CONCLUSÕES

A análise das aplicações do modelo de planejamento da demanda evidenciou alguns aspectos importantes, no que concerne à projeção da demanda de uma empresa D/C num ambiente de negócios competitivo, os quais são enunciados a seguir.

- A integração de empresas privadas ao setor elétrico e o aparecimento de consumidores livres no mercado consumidor das distribuidoras/comercializadoras tornam a projeção da demanda, sob o enfoque microeconômico, mais complexa, pois envolverá decisões de caráter estratégico.
- Dinâmica de Sistemas mostra-se uma ferramenta adequada à modelagem e análise dos aspectos técnicos, gerenciais, econômicos e comportamentais envolvidos na projeção do novo mercado consumidor, pois permite integrar esses aspectos e considerar, também, as regras da Teoria dos Jogos num único modelo.
- A possibilidade de representar de forma simultânea os aspectos anteriormente mencionados confere flexibilidade ao modelo, permitindo sua aplicação em várias etapas do planejamento estratégico empresarial, como, por exemplo, na avaliação de alguns fatores econômicos.
- Os resultados obtidos mostram que as políticas adotadas pela empresa determinarão, em grande parte, a evolução da sua base de consumidores e sua participação de mercado; e, além das incertezas tradicionais nos estudos de projeção da demanda, o comportamento competitivo dos agentes é uma nova fonte de incerteza e deve ser considerada nesses estudos.
- A nova abordagem do problema de planejamento da demanda, através dos conceitos de base de consumidores, demanda agregada da base de consumidores e participação de mercado, não visa substituir, mas sim complementar a abordagem tradicional.
- Nesse contexto, é importante enfatizar que os métodos tradicionais eram adequados à estrutura institucional vigente à época de seu uso, e continuam adequados à projeção da demanda sob o enfoque macroeconômico. No entanto, a nova estrutura requer modelos que considerem a dinâmica do comportamento das empresas e dos consumidores à projeção da demanda sob o enfoque microeconômico.
- A aplicação realizada confirma a necessidade de se realizar a projeção da demanda por níveis de tensão e por tipo de consumidor, descrita no Capítulo 3, além da segmentação tradicional por classe de consumo, de modo que a empresa possa identificar as parcelas de demanda que deverá e poderá atender, com base na projeção global realizada pelo planejador indicativo.
- As análises de sensibilidade e de políticas empresariais permitem concluir que o modelo elaborado é consistente e robusto.

CAPÍTULO 7

CONTRIBUIÇÕES E TÓPICOS PARA PESQUISA

7.1 INTRODUÇÃO

O presente capítulo tem como objetivo sintetizar as principais conclusões sobre os resultados das investigações conduzidas neste trabalho e emitir recomendações para pesquisas posteriores.

7.2 CONTRIBUIÇÕES

Inicialmente foi apresentada a evolução das metodologias de planejamento da expansão de sistemas elétricos, em geral, e de planejamento da demanda, em particular, considerando os efeitos da estrutura institucional, nos períodos anterior e posterior às reformas setoriais. À luz da nova regulamentação setorial foi identificado um novo problema de planejamento, qual seja: a divisão de mercado entre as empresas D/C's.

Foram descritas, também, as técnicas tradicionais e as novas técnicas aplicáveis à solução deste problema, com ênfase no método de dinâmica de sistemas, com uso de regras de teoria dos jogos, não só por sua eficiência, mas principalmente por se adaptar perfeitamente à nova estrutura do problema, assegurando a flexibilidade e a modularidade do modelo computacional desenvolvido.

Finalizando, foram apresentadas e discutidas quatro aplicações do modelo de divisão de mercado, que evidenciaram a viabilidade computacional do método e comprovaram a maior eficácia da abordagem dinâmica, em contraste com a abordagem estática tradicional.

Ao longo do trabalho, foram realizadas diversas contribuições, visando melhorar o entendimento e avançar à solução do problema de planejamento da demanda de energia elétrica, e também dar os passos iniciais no sentido de adequar a metodologia tradicional de projeção da demanda ao novo ambiente de negócios das empresas D/C's. As principais contribuições da pesquisa são apontadas a seguir:

- *Estruturação do Problema de Planejamento da Expansão*

Foi realizada a avaliação da metodologia de planejamento da expansão pré-reforma, visando enquadrar os diferentes cenários de demanda (LP, MP e CP) à estrutura do problema de planejamento da expansão, baseada no enfoque sistêmico determinativo, e mostrar, também, a relevância do problema de planejamento da demanda. Com as reformas setoriais e, conseqüentemente, a entrada de novos agentes de mercado, observou-se a necessidade de repensar esta estrutura, baseada, agora, nos enfoques sistêmico indicativo, sistêmico determinativo e mercado competitivo. Neste

sentido, juntamente com os demais membros do Grupo de Planejamento em Ambiente Competitivo, afetos ao Laboratório de Planejamento de Sistemas de Energia da Universidade Federal de Santa Catarina, foi estruturado o problema global de planejamento da expansão e as relações principais do planejamento da demanda nos contextos setorial e empresarial.

▪ *Estruturação do Problema de Planejamento da Demanda*

Com base nestas relações e, principalmente, na composição da demanda de empresas D/C's, em demanda cativa e livre, foi evidenciado o problema de evolução da demanda dessas empresas, que passa a contar com um novo fator de incerteza, isto é, o comportamento dos agentes de mercado.

A projeção da demanda empresarial tem influência na projeção da demanda setorial, no que se refere à participação das empresas nas regiões geográficas. Este diagnóstico mostrou que, para definir a participação, o critério tradicional (por área de concessão), válido para quantificar a demanda cativa, necessita de um critério adicional (de mercado) para quantificar a demanda livre.

A interligação entre os níveis setorial e empresarial é importante, pois confere ao planejamento empresarial um conhecimento melhor de seu mercado consumidor. Para tanto, o problema de planejamento da demanda foi caracterizado e estruturado sob dois enfoques, o macroeconômico (setorial) e o microeconômico (empresarial). O elo entre eles ocorre através do critério tradicional.

▪ *Formalização da Nomenclatura e Conceitos*

Para descrever, analisar e projetar a evolução da demanda sob o enfoque microeconômico e, também, compatibilizar os critérios anteriores, utilizou-se uma nova nomenclatura, através dos conceitos de base de consumidores (BdC) e participação de mercado (PdM), que se mostraram adequados à avaliação do novo comportamento da demanda. Tais conceitos foram incorporados no modelo computacional desenvolvido.

▪ *Avaliação da PdM e BdC*

A análise da literatura revelou a inexistência de uma estrutura de modelagem capaz de tratar simultaneamente os critérios do regulador setorial (classe de consumo, níveis de tensão, tipo de consumidor) e do consumidor (optante e não optante), denominado neste trabalho, na avaliação da PdM e BdC.

O método proposto para essas avaliações consiste em um processo de decomposição, com uso destes critérios. Assim, para avaliar a PdM, a demanda global da empresa é decomposta, inicialmente, em demanda cativa e livre, segundo o critério do regulador, e, a seguir, a demanda livre é decomposta em demanda livre optante e demanda livre não optante, de acordo com o critério do consumidor. A agregação das parcelas de demanda cativa e demanda livre optante, demanda agre-

gada da base de consumidores, resulta na PdM. A avaliação da BdC segue o mesmo processo de decomposição da PdM, porém os resultados são os vários grupos de consumidores (cativos, livres potenciais, livres optantes e livres não optantes).

▪ *Esquematização da Metodologia de Planejamento da Demanda*

O levantamento da literatura sobre a metodologia de planejamento da demanda foi realizado de forma extensa, visando não só determinar o estado da arte, mas principalmente identificar os enfoques metodológicos predominantes durante a evolução da metodologia.

Deste levantamento resultou a classificação da metodologia em quatro fases (determinística, probabilística, sob incerteza e mercado competitivo), e em cada fase foram mostrados os avanços, as adequações e as limitações dos métodos e modelos. A última fase sugere um desafio que consiste em adaptar as técnicas tradicionais às condições de livre mercado, em que os preços reflitam custos competitivos, riscos e remunerações compatíveis. Mostrou ainda a adequação da técnica de dinâmica de sistemas à estrutura do problema de planejamento da demanda, fornecendo a base conceitual do modelo proposto.

▪ *Modelo de Divisão de Mercado*

A revisão bibliográfica mostrou que o modelo mais atualizado à projeção da demanda contempla a dinâmica de fatores que compõem a modelagem, porém não considera a competição entre as empresas D/C's por consumidores livres, viabilizando a formulação de um modelo de simulação inédito para a divisão de mercado entre essas empresas.

O arcabouço conceitual propiciado pela dinâmica de sistemas permitiu considerar, num mesmo ambiente computacional, os aspectos técnicos (projeção da demanda da empresa por classe de consumo, segundo as técnicas econométricas em uso) e os aspectos estratégicos (comportamento dos agentes de mercado). Uma característica relevante da dinâmica de sistemas é a possibilidade de agregar à estimativa da demanda, com técnicas tradicionais, o efeito de políticas empresariais sobre a sua evolução.

▪ *Utilização do Modelo*

Outro aspecto importante do modelo desenvolvido foi a formulação integrada dos ambientes macro e microeconômico, permitindo uma análise da evolução da demanda mais ágil e sua utilização tanto por especialistas em planejamento da expansão quanto por não especialistas. A partir deste protótipo, os especialistas poderão investigar outros fatores que contribuam aos estudos da demanda e adicioná-los à modelagem, devido à sua modularidade. Os não especialistas poderão simular suas estratégias de preço de compra e venda de energia e investimentos sem, contudo, atarem-se a detalhes de modelagem.

O modelo poderá ser utilizado, também, pelo órgão regulador para avaliar procedimentos regulatórios.

▪ ***Influência da Regulação Setorial no Planejamento da Demanda Empresarial***

A modelagem da competição entre as empresas D/C's é uma tarefa complexa, pois depende do comportamento dos agentes de mercado e da flexibilização dos critérios vigentes para a qualificação de consumidores cativos e livres. A possibilidade de novas regras de qualificação contribui ainda mais para aumentar a incerteza na projeção da demanda destas empresas. Neste ambiente, o desenho de estratégias empresariais não é trivial, e, sem dúvida, exigirá novas investigações acadêmicas ou empresariais.

Neste sentido, o modelo de divisão de mercado foi aplicado num estudo de caso, baseado numa configuração recente de duas empresas D/C's localizadas na região Sul do Brasil. As simulações revelaram a influência da nova legislação setorial, do comportamento dos consumidores e de empresas concorrentes e das políticas empresarias sobre a avaliação da demanda.

Os resultados desta aplicação confirmaram também a hipótese básica deste trabalho, a de que os aspectos comportamentais dos agentes envolvidos devem ser integrados aos novos modelos de planejamento da demanda de energia elétrica sob o enfoque microeconômico. Demonstraram ainda que as características da dinâmica de sistemas podem contribuir no aprimoramento do problema em estudo, assim como na representação e análise de novos diplomas legais, através dos diagramas de olho de touro e laço causal.

7.3 TÓPICOS PARA PESQUISA

Além das contribuições apontadas, as investigações revelaram uma série de tópicos de pesquisas relevantes, tanto do ponto de vista do modelo quanto da metodologia de planejamento da demanda. Alguns desses tópicos são elaborados a seguir, não só visando futuros trabalhos, mas também visando compor um projeto de pesquisa mais amplo, apoiado na plataforma conceitual e no modelo computacional desenvolvido neste trabalho.

▪ **Aperfeiçoamento no modelo computacional**

O modelo computacional comporta uma série de aperfeiçoamentos; entre eles, citam-se:

- ✓ Elaboração dos módulos de projeção da demanda comercial e outras classes (rural, poderes públicos, iluminação pública, serviços públicos e consumo próprio), utilizando os princípios da dinâmica de sistemas.
- ✓ Na classe comercial, além dos fatores tradicionais, novos fatores deveriam integrar a modelagem, como tarifa, renda *per capita*, concorrência entre o segmento comercial, nível de desemprego e nível de financiamento específico para o segmento, por exemplo;

- ✓ No módulo de projeção da demanda industrial, a consideração de planos governamentais, como o plano Avança Brasil, por exemplo, seria interessante para identificar as categorias do segmento industrial que teriam maior incentivo de crescimento e, por consequência, maior consumo de energia elétrica.
- ✓ No módulo do balanço econômico, a modelagem da tarifa por classe de consumo, dos diferentes tipos de investimentos (expansão da rede, novos serviços, marketing, etc.), faturamento por demanda contribuiriam para uma estimativa mais real do valor do balanço.

▪ Extensões da Metodologia

A metodologia de planejamento da demanda em ambiente competitivo comporta também uma série de aperfeiçoamentos, no que diz respeito ao critério do consumidor e no comportamento das empresas.

O critério do consumidor pode ser estendido, com a inclusão de outros fatores que influem na decisão do consumidor, citados ao longo do texto, como: disponibilidade de energia, nível de satisfação com a fornecedora atual, flexibilidade nos prazos de contratos, custo inicial para troca de fornecedora, prazo nos contratos de fornecimento, condições de pagamento, entre outros.

O comportamento das empresas pode ser aprofundado, através do entendimento e modelagem de alguns aspectos, que podem ocorrer no transcorrer da disputa por consumidores livres, como, por exemplo, o blefe, as coalizões e as decisões subótimas.

Outra extensão da pesquisa é a consideração de que todos os consumidores de uma fornecedora sejam livres, ou seja, da ordem de milhões de consumidores. Neste caso, as técnicas estocásticas são indicadas.

ANEXO 1

**APLICAÇÃO DA TEORIA DOS JOGOS NA DEFINIÇÃO DE
PREÇO DE ENERGIA ELÉTRICA**

1. INTRODUÇÃO

Na nova indústria de eletricidade, a energia elétrica será tratada ora como produto, ora como serviço. A compra e venda do produto energia elétrica será realizada por empresas comercializadoras, segundo as leis de mercado. Já a distribuição será feita por empresas distribuidoras, que prestarão um serviço na forma de monopólio por área de concessão, com tarifas reguladas. Atualmente, a distribuição e a comercialização têm sido realizadas por um mesmo grupo empresarial, mas com registros contábeis separados para cada atividade, conforme a atual legislação setorial, descrita no Capítulo 4.

A energia elétrica vista como um produto é de difícil diferenciação, pois o produto é homogêneo. Com esta característica, as empresas concorrerão em termos de preço para atingir seus objetivos estratégicos. No entanto, produtos aparentemente homogêneos podem ser vistos pelo consumidor como produtos diferenciados.

A diferenciação poderá ocorrer de diversas formas, como: novos serviços, formas de pagamento, preço, publicidade, etc. Em geral, o preço é a diferenciação predominante. No Brasil, um exemplo de competição via preço é o caso da recém privatizada indústria de telefonia.

A finalidade deste estudo é apresentar um exemplo numérico do problema de definição do preço de venda de energia para uma empresa D/C. Como primeiro passo no entendimento deste problema, o mesmo é formulado de modo simplificado e os valores são hipotéticos. Inicialmente, o problema é formulado como um problema de decisão e, após, como um jogo empresarial.

Como um problema de decisão, o objetivo é a busca de um preço ótimo que maximize os ganhos da empresa. Por outro lado, o problema formulado com um jogo busca a escolha da melhor estratégia de preço para uma empresa considerando as ações da concorrente. As estratégias são representadas através de duas formas: a forma normal e a forma extensiva.

A forma normal auxilia a visualização do ponto de equilíbrio do jogo, como o equilíbrio de Nash, por exemplo. Esta forma resulta em uma matriz, denominada *Matriz de Pagamentos*, onde são conhecidos os lucros ou ganhos ou pagamentos auferidos por cada empresa. A forma extensiva mostra os caminhos que o jogo poderá seguir após a tomada de decisão, através de um diagrama de fluxo conhecido como *Árvore de Decisões*.

2. CASOS ESTUDADOS

Caso 1: Problema de Decisão

Duas empresas D/C's, denominadas **A** e **B**, competem por fatias de mercado através do preço de venda de energia. A participação de mercado (PdM) de cada empresa resulta na demanda atendida, que por sua vez depende do preço praticado. Os consumidores preferem a empresa que oferece menor preço. Em outros termos, as empresas enfrentam um problema de definição da demanda a ser atendida, com base no preço.

A base conceitual para a formulação do problema foi retirada de BORGES [29], e o exemplo foi, parcialmente, adaptado de PINDYCK [24].

Formulação do Problema

As curvas de demanda são as seguintes:

$$\text{Demanda da A: } d_A = 120 - 2 p_A + p_B \quad (1.A1)$$

$$\text{Demanda da B: } d_B = 120 - 2 p_B + p_A \quad (2.A1)$$

Onde:

d_A : quantidade de demanda atendida pela **A** (MWh);

d_B : quantidade de demanda atendida pela **B** (MWh);

p_A : preço praticado pela **A** (R\$/MWh);

p_B : preço praticado pela **B** (R\$/MWh).

De acordo com as equações (1.A1) e (2.A1), a demanda atendida por cada empresa diminui quando a empresa aumenta seu preço e aumenta quando sua concorrente aumenta o preço. A determinação dos preços é simultânea. Cada empresa determinará seu preço, supondo fixo o preço da concorrente.

O lucro contábil de cada empresa será a diferença entre a receita e os custos. Os custos fixos são iguais a R\$ 200, e os custos variáveis, zero.

$$\pi_A = p_A \cdot d_A - 200 \quad (3.A1)$$

$$\pi_B = p_B \cdot d_B - 200 \quad (4.A1)$$

Onde:

π_A : lucro da empresa **A** (R\$);

π_B : lucro da empresa **B** (R\$).

Substituindo (1.A1) em (3.A1), e (2.A1) em (4.A1), obtém-se:

$$\pi_A = 120.p_A - 2p_A^2 + p_A.p_B - 200 \quad (5.A1)$$

$$\pi_B = 120.p_B - 2p_B^2 + p_A.p_B - 200 \quad (6.A1)$$

O lucro máximo da **A** depende do preço da **B**, que é considerado constante. No entanto, independente do preço da **B**, o lucro máximo da **A** ocorre quando ela pratica um preço ótimo (p_A^*). Esse preço é encontrado fazendo-se o lucro incremental igual a zero, isto é, o lucro resultante de um pequeno aumento no preço.

O p_A^* é obtido através da derivada de (5.A1) em relação à variável de decisão (p_A), portanto:

$$\frac{\partial \pi_A}{\partial p_A} = 120 - 4p_A + p_B$$

fazendo $\frac{\partial \pi_A}{\partial p_A} = 0$, resulta:

$$p_A^* = 30 + 1/4p_B \quad (7.A1)$$

A equação acima descreve o preço que a empresa **A** deverá praticar, em função do preço p_B que a empresa **B** está determinando.

A determinação do preço ótimo da **B** (p_B^*) segue o mesmo procedimento da **A**, assim:

$$p_B^* = 30 + 1/4p_A \quad (8.A1)$$

As equações (7.A1) e (8.A1) são denominadas, respectivamente, curva de reação da empresa **A** e curva de reação da empresa **B**. O ponto de interseção das curvas é chamado ponto de equilíbrio de Nash ou equilíbrio não-cooperativo, onde cada empresa está fazendo o melhor que pode em função do preço cobrado pela concorrente. Neste ponto, cada empresa praticará o preço de R\$ 40/MWh, atenderá 80 MWh de demanda e, complementando, terá um lucro contábil de R\$ 3.000, e nenhuma delas terá estímulo para alterar seu preço.

O preço ótimo de R\$ 40/MWh é obtido quando as empresas não fazem acordo, isto é, atuam no mercado de forma independente, não-cooperativa, e consideram constante o preço da concorrente. Entretanto, se elas fazem um acordo e decidem em conjunto praticar o mesmo preço que maximize seus lucros, esse ponto é chamado de equilíbrio com acordo ou cooperativo. Neste caso, o preço (p) é determinado como segue:

O lucro total será:

$$\pi_T = \pi_A + \pi_B$$

$$\pi_T = 120.p_A - 2p_A^2 + p_A.p_B - 200 + 120.p_B - 2.p_B^2 + p_A.p_B - 200, \text{ como } p_A = p_B = p$$

$$\pi_T = 240.p - 2.p^2 - 400$$

$$\frac{\partial \pi_T}{\partial p} = 240 - 4p$$

$$\frac{\partial \pi_T}{\partial p} = 0$$

$$p = \text{R\$ } 60/\text{MWh}$$

No equilíbrio cooperativo, cada empresa praticará o preço de R\$ 60/MWh, atenderá 60 MWh de demanda e terá um lucro contábil de R\$ 3.400. Portanto, atenderá uma parcela menor de demanda em relação ao equilíbrio não-cooperativo, mas obterá um lucro maior. A Figura A1.1 mostra os pontos de equilíbrio não-cooperativo e cooperativo, e as curvas de reação de cada empresa.

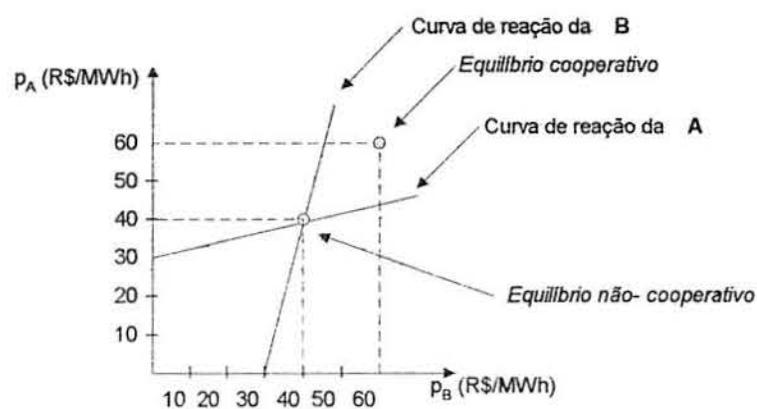


Figura A1.1 - Determinação do Preço Ótimo

Caso 2: Jogo Empresarial com Duas Estratégias

▪ Forma Normal

O Caso 1, visto como um jogo não-cooperativo, tem a seguinte estrutura. O jogo é formado por dois jogadores, a empresa A e a empresa B, que concorrem através de preço para ampliar suas participações. As empresas utilizam estratégias simples durante o transcorrer do jogo, as quais estão arroladas no que segue:

Estratégias da empresa A:

A₁: praticar o preço de R\$ 40/MWh.

A₂: praticar o preço de R\$ 60/MWh.

Estratégias da empresa B:

B₁: praticar o preço de R\$ 40/MWh.

B_2 : praticar o preço de R\$ 60/MWh.

A caracterização completa do jogo é dada pela Matriz de Pagamentos (*payoffs*) M , conforme mostra a Tabela A1.1.

Tabela A1.1 - Matriz de Pagamentos Conceitual

$M =$		A_1	B_1	B_2
		A_2	$(\pi_{A 11}, \pi_{B 11})$	$(\pi_{A 12}, \pi_{B 12})$
			$(\pi_{A 21}, \pi_{B 21})$	$(\pi_{A 22}, \pi_{B 22})$

Onde:

A_i : *i*-ésima estratégia da **A**;

B_j : *j*-ésima estratégia da **B**;

π_{Aij} : *payoffs* ou ganhos da **A** sobre a **B**, quando a **A** utiliza sua *i*-ésima estratégia e **B** utiliza sua *j*-ésima estratégia;

π_{Bij} : *payoffs* ou ganhos da **B** sobre a **A**, quando a **A** utiliza sua *i*-ésima estratégia e **B** utiliza sua *j*-ésima estratégia;

i: índice de estratégias de **A**, $i = 1, n$;

j: índice de estratégias de **B**; $j = 1, n$;

n: número total de estratégias, $n = 2$.

O cálculo dos elementos da matriz L , que representam os lucros contábeis das empresas, é realizado através de:

$$\pi_{Aij} = 120 \cdot p_{Ai} - 2p_{Ai}^2 + p_{Ai} \cdot p_{Bj} - 200, \quad \text{se } p_{Ai} \text{ e } p_{Bj} > 0$$

$$0, \quad \text{se } p_{Ai} \text{ e } p_{Bj} \leq 0$$

$$\pi_{Bij} = 120 \cdot p_{Bj} - 2p_{Bj}^2 + p_{Ai} \cdot p_{Bj} - 200, \quad \text{se } p_{Ai} \text{ e } p_{Bj} > 0$$

$$0, \quad \text{se } p_{Ai} \text{ e } p_{Bj} \leq 0$$

A Tabela A1.2 apresenta os ganhos referentes aos lucros contábeis. Por definição, o primeiro valor representa os ganhos da empresa **A** e o segundo valor os ganhos da empresa **B**.

Tabela A1.2 - Matriz de Pagamentos: Lucros Contábeis (R\$)

		R\$ 40/MWh	R\$ 60/MWh
L =	R\$ 40/MWh	(3.000, 3.000)	(3.800, 2.200)
	R\$ 60/MWh	(2.200, 3.800)	(3.400, 3.400)

O cálculo dos elementos da matriz **D**, que representam as demandas a serem atendidas, é realizado através de:

$$d_{Aij} = 120 - 2 p_{Ai} + p_{Bj}, \text{ se } p_{Ai} \text{ e } p_{Bj} > 0$$

$$0, \text{ se } p_{Ai} \text{ e } p_{Bj} \leq 0$$

$$d_{Bij} = 120 - 2 p_{Bj} + p_{Ai}, \text{ se } p_{Ai} \text{ e } p_{Bj} > 0$$

$$0, \text{ se } p_{Ai} \text{ e } p_{Bj} \leq 0$$

Onde:

d_{Aij} : *payoffs* ou ganhos de demanda da **A** sobre a **B**, quando a **A** utiliza sua *i-ésima* estratégia e **B** utiliza sua *j-ésima* estratégia.

d_{Bij} : *payoffs* ou ganhos de demanda da **B** sobre a **A**, quando a **A** utiliza sua *i-ésima* estratégia e **B** utiliza sua *j-ésima* estratégia.

A Tabela A1.3 apresenta os ganhos de demanda das empresas.

Tabela A1.3 - Matriz de Pagamentos: Demanda (MWh)

		R\$ 40/MWh	R\$ 60/MWh
D =	R\$ 40/MWh	(80, 80)	(100, 40)
	R\$ 60/MWh	(40, 100)	(60, 60)

O cálculo dos elementos da matriz **PdM**, que representam as participações de mercado, é realizado através de:

$$PdMA_{ij} = (d_{Aij}/(d_{Aij} + d_{Bij})) \cdot 100, \text{ se } d_{Aij} > 0 \text{ e } d_{Bij} > 0$$

$$0, \text{ se } d_{Aij} \text{ e } d_{Bij} < 0$$

$$PdMB_{ij} = (d_{Bij}/(d_{Aij} + d_{Bij})) \cdot 100, \text{ se } d_{Bij} > 0 \text{ e } d_{Aij} > 0$$

$$0, \text{ se } d_{Aij} \text{ e } d_{Bij} < 0$$

Onde:

$PdMA_{ij}$: *payoffs* ou ganhos de PdM da **A** sobre a **B**, quando a **A** utiliza sua *i-ésima*

estratégia e **B** utiliza sua *j*-ésima estratégia;

PdM_{Bij} : *payoffs* ou ganhos de PdM da **B** sobre a **A**, quando a **A** utiliza sua *i*-ésima

estratégia e **B** utiliza sua *j*-ésima estratégia.

Através da Tabela A1.4 pode-se visualizar os ganhos de PdM de cada empresa.

Tabela A1.4 - Matriz de Pagamentos: PdM (%)

		R\$/ 40/MWh	R\$ 60/MWh
PdM=	R\$ 40/MWh	(50%; 50%)	(71,43%; 28,57%)
	R\$ 60/MWh	(28,57%; 71,43%)	(50%; 50%)

A análise do resultado do jogo é realizada utilizando os conceitos de Maximin e Minimax. Para tanto, considere [33] “a matriz **M** na qual **S** e **T** representam, respectivamente, seus conjuntos de linhas e colunas. Se *s* é um componente da linha *i* ($s \in T$) e *t* é um componente da coluna *j* ($t \in T$), então, para uma dada estratégia $\pi(s, t)$ tem-se que, para $s \in S$, $\text{Max } \pi(s, t)$ são os maiores valores das colunas e, para $t \in T$, $\text{Min } \pi(s, t)$ são os menores valores das linhas de **M**. (...) Além das noções de maximin e minimax deriva-se o conceito de ponto de sela, que pode ser resumido da seguinte forma: sempre que um valor *m* é, ao mesmo tempo, o maior valor do elenco de colunas e o menor valor do conjunto de linhas, diz que se tem um ponto de sela”. Este ponto é o resultado do jogo e constitui um equilíbrio de Nash.

Para analisar o resultado do jogo através da matriz **L**, Tabela A1.2, e da matriz **D**, Tabela A1.3, considere somente os ganhos da empresa **A**, e tem-se $\text{Minimax } \pi(s, t) = \text{Maximin } \pi(s, t) = \text{R\$ } 3.000$ e 80 MWh. Isto significa que o elemento π_{A11} é o resultado do jogo, onde a empresa **A** estará fazendo o melhor que pode em função das ações da empresa **B**, isto é, maximizando o mínimo ganho que poderá obter.

Deste modo, a melhor estratégia para ambas as empresas será praticarem igualmente o preço de R\$ 40/MWh, independente das ações da concorrente. No entanto, se as empresas pudessem assinar um contrato e ambas praticarem o preço de R\$ 60/MWh, o ganho seria de R\$ 3.400 e 60 MWh, ou seja, as empresas atenderiam uma quantidade menor de demanda, porém, teriam um lucro maior. Na prática, devido às leis anti-truste, este contrato não se realiza.

Por outro lado, se fosse possível um contrato verbal entre as empresas, poderia ocorrer que uma delas não cumprisse o contrato e praticasse o preço de R\$ 40/MWh, de modo a aumentar individualmente seu lucro e sua PdM. Neste caso, a melhor estratégia para as empresas ainda seria praticar o preço de R\$ 40/MWh, ou seja, não se afastar do ponto de equilíbrio de Nash.

▪ Forma Extensiva

O jogo descrito anteriormente na forma normal é agora representado na forma extensiva. A Figura A1.2 mostra esta última forma de representação das estratégias. Os nós são os pontos de tomada de decisão e os ramos são os caminhos pelos quais o jogo poderá seguir. Este jogo é denominado de informação *completa e perfeita*. Completa porque as empresas conhecem o jogo. Perfeita porque os agentes sabem como o jogo evoluiu até suas tomadas de decisão. Se as empresas não soubessem em que ramos da árvore estariam tomando suas decisões o jogo seria de informação *completa, porém imperfeita*.

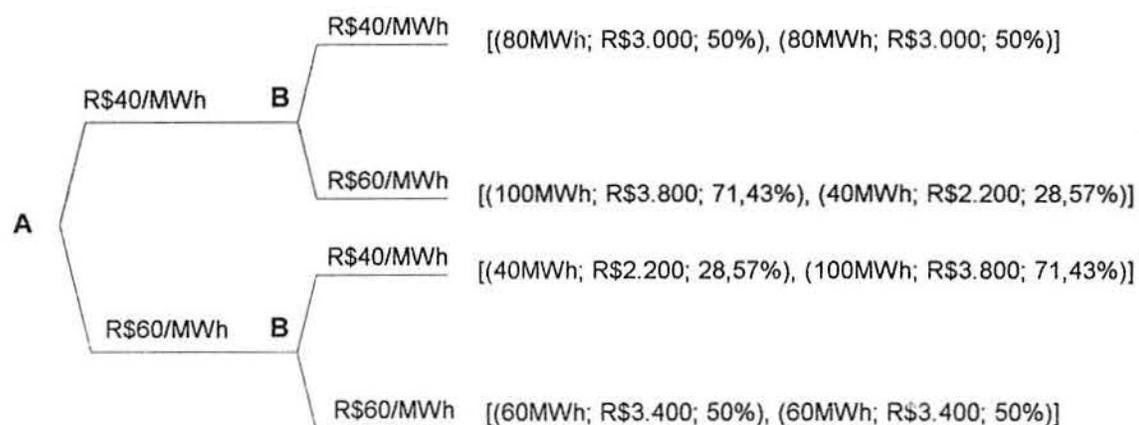


Figura A1.2 - Árvore de Decisões com Duas Estratégias

Na forma anterior as empresas agem simultaneamente, mas há situações em que uma empresa poderá decidir suas estratégias em primeiro lugar e a outra depois. Neste último caso, a forma extensiva é mais útil na representação das estratégias.

Supondo que a empresa A faça primeiro sua escolha e opte pelo preço de R\$ 60/MWh, a empresa B, conhecendo a decisão da A, escolheria a estratégia de R\$ 40/MWh e obteria seu maior ganho, em relação a qualquer outra alternativa. Neste caso, os ganhos da empresa A, independentemente da escolha da B, seriam sempre menores do que se a estratégia escolhida fosse a de valor R\$ 40/MWh.

A melhor estratégia para a empresa A é o preço de R\$ 40/MWh, levando em conta que sua decisão é realizada em primeiro lugar e que sua oponente também é racional. Desta escolha, resulta que ambas as empresas teriam os melhores ganhos de forma conjunta.

Caso 3: Jogo Empresarial com Três Estratégias

O caso anterior foi analisado considerando duas estratégias e um período de tempo. No presente caso estende-se o jogo para dois períodos, uma vez que na prática os resultados do primeiro período muitas vezes são decididos em função dos resultados esperados para o segundo período e assim sucessivamente [34]. Supõe-se que as empresas necessitem determinar seus preços futuros relacionados com os preços atualmente praticados. Cada empresa possui três alternativas de preço em relação ao preço atual: manter, reduzir e aumentar. Este jogo está representado na Figura A1.3. Nesta figura, a simbologia utilizada significa:

k	período do jogo, $k = 1, 2$
A_k	empresa A no período " k "
B_k	empresa B no período " k "
i	estratégia utilizada pela " A "
j	estratégia utilizada pela " B "
APA_{ki}	aumentar o preço da empresa A no período " k "
MPA_{ki}	manter o preço da empresa A no período " k "
RPA_{ki}	reduzir o preço da empresa A no período " k "
APB_{kj}	aumentar o preço da empresa B no período " k "
MPB_{kj}	manter o preço da empresa B no período " k "
RPB_{kj}	reduzir o preço da empresa B no período " k "
$L_{A_{kij}}$	ganhos da A no período " k ", quando a A utiliza sua i -ésima estratégia e a B sua j -ésima estratégia.
$L_{B_{kij}}$	ganhos da B no período " k ", quando a A utiliza sua i -ésima estratégia e a B sua j -ésima estratégia.

Através da Figura A1.3 pode-se visualizar que, à medida que o número de estratégias aumenta e, adicionalmente, o jogo se realiza em períodos de tempo maior que um, a combinação entre estratégias é explosiva, conforme já mencionado no Capítulo 2.

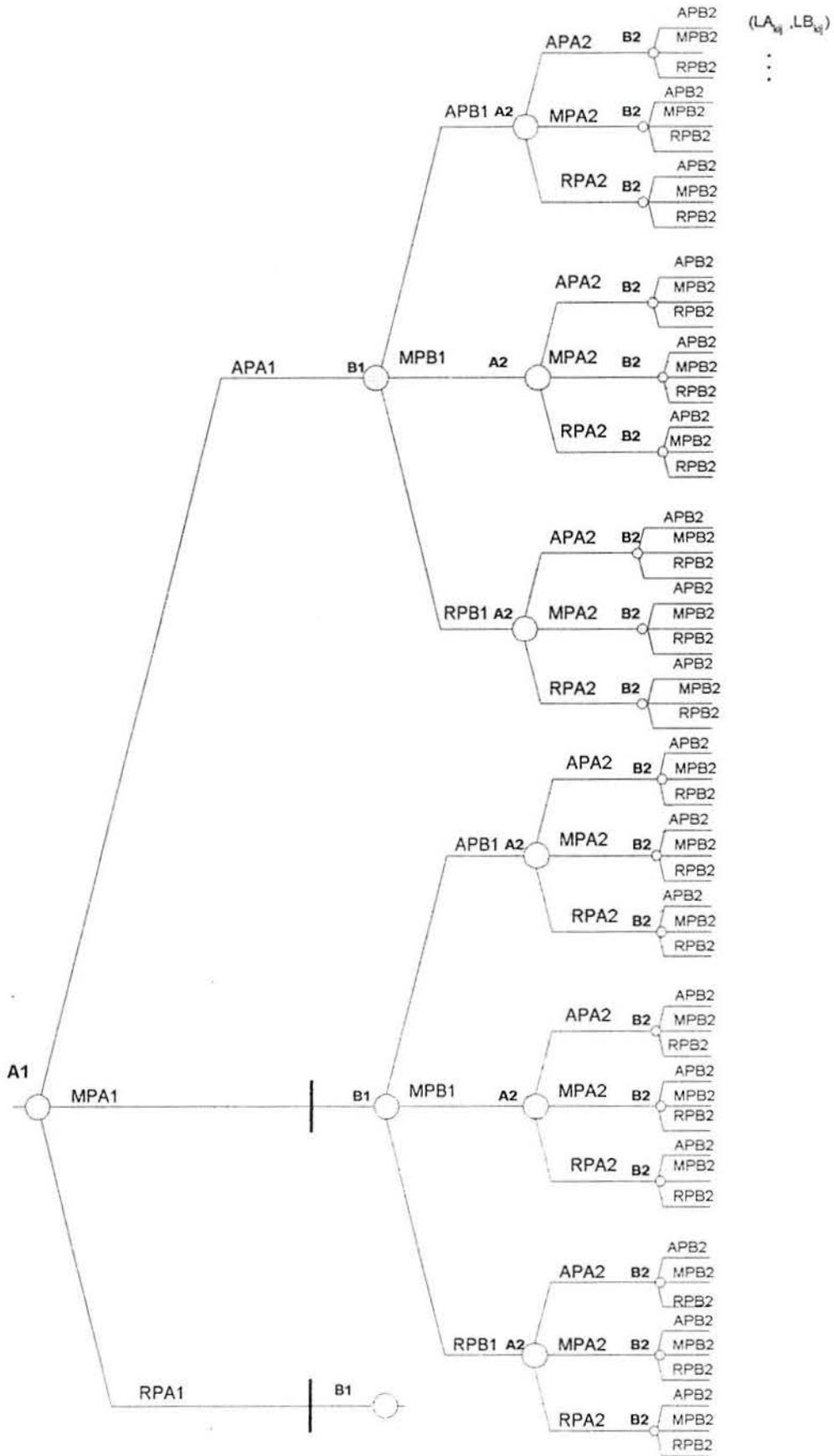


Figura A1.3 - Árvore de Decisões com Três Estratégias

3. CONCLUSÕES

O exemplo, embora hipotético, permite algumas conclusões. O preço será uma variável estratégica, pois influenciará, em parte, a demanda a ser atendida pelas empresas D/C's. Existem outros fatores que afetam a evolução da demanda, mas todos estão refletidos no preço, como: grau de satisfação do consumidor, lealdade do consumidor, imagem da atual fornecedora, etc.

A abordagem via Teoria dos Jogos mostra-se adequada na concepção do jogo e fornece subsídios importantes ao processo de tomada de decisão num ambiente onde as decisões dos agentes de mercado são tomadas levando em consideração as ações dos demais, isto é, onde há conflito de interesses entre os agentes e os recursos são escassos. Todavia, esta técnica é limitada para explicar a complexidade dinâmica de alguns aspectos que ocorrem na realidade, como:

- a busca do ponto de equilíbrio como resultado do jogo é feita em um único período de tempo, mas o equilíbrio poderá ocorrer ao longo dos períodos ou não ocorrer. Algum dos jogadores poderá desejar um ótimo local, como meio de obter ganhos de curto prazo, por exemplo;
- podem ocorrer atrasos nas decisões de um dos jogadores, alterando o resultado do jogo;
- podem ocorrer perturbações, isto é, uma nova informação durante o processo do jogo que desloca o ponto de equilíbrio;
- a percepção dos efeitos a longo prazo do uso continuado de uma estratégia.

As limitações relacionadas acima podem ser melhor tratadas numa abordagem de simulação dinâmica.

ANEXO 2

CONCEITOS BÁSICOS DA DINÂMICA DE SISTEMAS

1. INTRODUÇÃO

A técnica de análise, modelagem e simulação conhecida como Dinâmica de Sistemas (DS), originou-se a partir de conceitos da engenharia de controle e da teoria geral de sistemas. Esta técnica foi preconizada por Jay W. Forrester, do *Institute of Technology* – MIT, que publicou os livros intitulados *Industrial Dynamics* [52] e *Principles of Systems* [53], em 1961.

A adaptação dos métodos da engenharia de controle à abordagem de DS, visava permitir sua aplicação a problemas econômicos e sociais de elevada complexidade, uma representação visual das equações algébricas e diferenciais, que caracterizam a estrutura de sistemas, e a possibilidade de visualização, também, do comportamento dinâmico dos sistemas, através de métodos similares aos usados na análise de sistemas técnicos [53].

De acordo com SENGE [60], o paradigma convencional, de dividir os sistemas em partes e estudar essas partes isoladamente, pode não ser a melhor técnica para análise de sistemas. As conexões e interações são, normalmente, mais importantes. A DS representa um avanço na análise de problemas, pois explicita e modela os mecanismos de realimentação entre as partes.

O estudo de sistemas não é uma novidade, data de 1920, porém a aplicação do pensamento sistêmico na modelagem de problemas na área empresarial, entre outras, tem crescido nas últimas décadas.

Algumas das facilidades oferecidas pela DS são:

- possibilidade de tratar aspectos de longo e curto prazo num mesmo modelo;
- representação completa de relações complexas e não-lineares;
- possibilidade de representar variáveis sociais e psicológicas;
- facilidade com que os efeitos de alternativas políticas podem ser testados.

Em contraste com as técnicas tradicionais, que enfatizam a modelagem dos fluxos físicos, a DS busca representar tanto os fluxos físicos, que podem ser conservados (acumulados), quanto os fluxos de informação, que podem ser observados, mas não acumulados.

Um sistema pode ser caracterizado por seu estado, que é o conjunto de propriedades relevantes num dado período. As variáveis externas devem também ser consideradas, pois as mudanças no ambiente externo podem induzir alterações no estado do sistema.

Muitas vezes, refere-se a um sistema como sendo complexo, porém, o termo “complexidade” não é uma característica claramente definida. Alguns fatores que contribuem para o aumento da complexidade de um sistema são: número de elementos que o compõem, a quantidade de relações

não-lineares e dinâmicas entre os elementos e as diferentes maneiras com que o sistema interage com o ambiente. Frequentemente, considera-se um sistema complexo não por sua complexidade intrínseca, mas por não haver conhecimento suficiente sobre sua forma de operação interna e sobre seus modos de interação com o meio ambiente, que podem torná-lo aparentemente mais complexo do que realmente o é.

A DS é, basicamente, uma técnica de modelagem baseada na simulação matemática, que consiste no processo de alcançar a solução passo a passo, através de instruções (equações), que indicam como chegar ao próximo passo.

O estado de um sistema também pode ser obtido através de solução analítica. Contudo, a maioria dos sistemas dinâmicos somente pode ser representada por modelos não-lineares, cujas soluções analíticas são complexas, senão impossíveis. Para estes sistemas, apenas o processo de simulação, através de solução numérica passo a passo, parece ser a única forma de solução viável.

2. ELEMENTOS DE MODELAGEM DA DINÂMICA DE SISTEMAS [53]

A identificação de laços fechados é a característica principal da modelagem da DS. A estrutura básica de um laço de realimentação é apresentada na Figura A2.1. Um laço realimentado é um caminho fechado que conecta o nível do sistema (estado ou condição), a informação sobre o nível, uma decisão, que controla uma ação, esta última retorna ao nível do sistema.

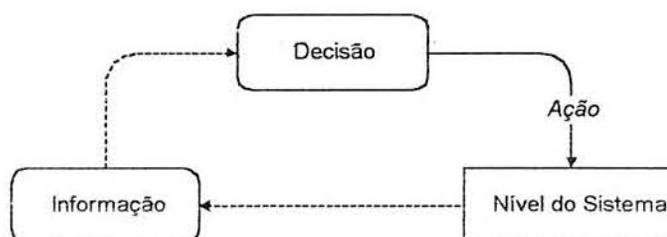


Figura A2.1 – Laço de Realimentação

O nível (nível verdadeiro) do sistema é o gerador de informação (nível aparente), que pode diferir do nível verdadeiro, por estar atrasado e/ou conter ruído. Observe-se, contudo, que a base do processo decisório é a informação, não o nível verdadeiro. A estrutura apresentada na Figura A2.1 é a forma mais simples de um sistema realimentado, que contém, em geral, atrasos, distorções e múltiplos laços de realimentação interligados. Cada laço é composto por dois tipos de elementos: variáveis de nível e variáveis de taxa.

As variáveis de nível, ou de estado, são os acumuladores do sistema, e descrevem a condição do sistema em qualquer instante de tempo. Os níveis integram a diferença líquida entre os fluxos de entrada e de saída, isto é, são influenciados pelas ações do sistema. Este tipo de variável pode ser alterado apenas por variáveis de taxa e, por este motivo, não mudam instantaneamente, constituindo os elementos que promovem a continuidade do sistema ao longo do tempo. Como

exemplo de variável de nível, considere-se a água estocada num tanque. O nível de água pode ser alterado apenas pelas variáveis de taxa “vazão de entrada” e “vazão drenada”.

Por outro lado, as variáveis de taxa, ou de ação, informam quão rápido os níveis estão mudando num sistema. Este tipo de variável não determina o valor atual de uma variável de nível, mas a velocidade com a qual um nível muda de valor. As variáveis de taxa são as ações, isto é, a equação de taxa estabelece a ação a ser tomada num ponto de decisão, em função da informação disponível. O valor de uma variável de taxa é baseado somente em variáveis de nível e constantes, não dependendo de seus valores passados nem de outras variáveis de taxa.

3. DIAGRAMAS DE ESTOQUE E FLUXO

FORRESTER [53] apresenta os símbolos para a diagramação de sistemas realimentados e as regras para conectar estes símbolos. Estes símbolos e regras são utilizados para construir os diagramas de estoque e fluxo, adequados à modelagem computacional.

Conforme SENGE [60], “os estoques e fluxos são responsáveis por retardos; eles dão inércia e memória aos sistemas; eles podem ampliar ou atenuar distúrbios; e são fundamentais na formulação dinâmica produzida por sistemas”.

A simbologia para a representação em diagrama de estoque e fluxo (DEF) é padronizada, conforme mostrada na Figura A2.2 e descrita logo a seguir.

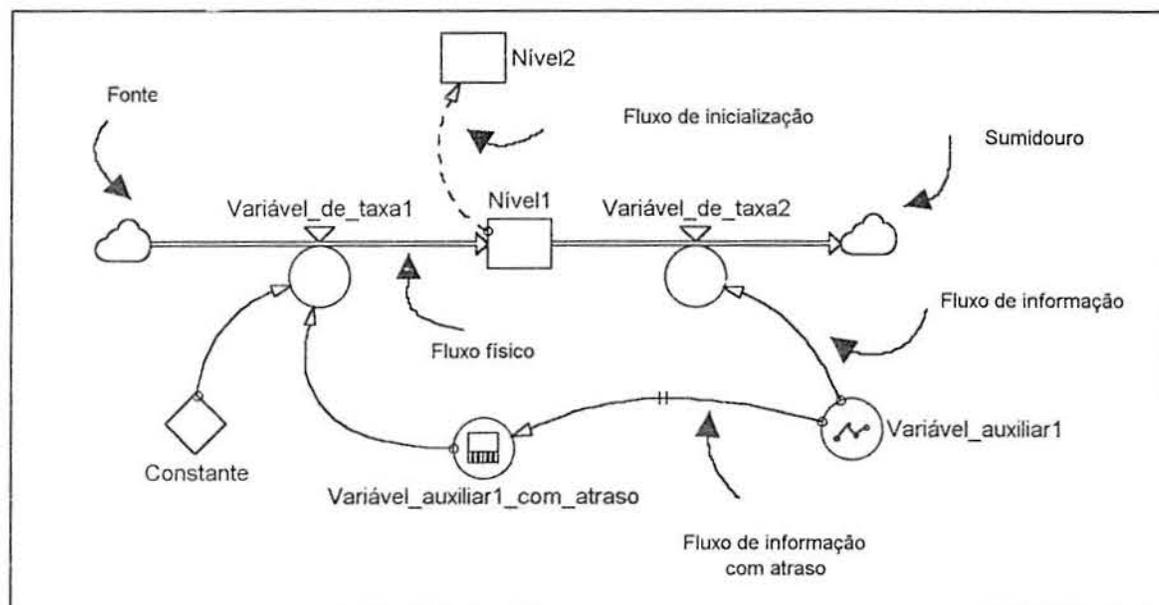


Figura A2.2 – Símbolos para DEF (Powersim 2.5)

- **Níveis:** todas as equações de nível, e quaisquer equações que envolvam integrações, são representadas por um retângulo. A este símbolo estará associado o nome da variável de nível, sua equação correspondente e as variáveis de taxa que influenciam o nível.

- Taxas (políticas): uma variável de taxa recebe informações e controla um fluxo, servindo como uma válvula num sistema hidráulico. Por este motivo, o símbolo é uma válvula, que associa o nome da variável, sua equação e suas entradas (informações).
- Auxiliares: muitas vezes as variáveis de taxa são funções complicadas das variáveis de nível. Neste caso, subdivide-se uma variável de taxa em variáveis auxiliares. Seu símbolo é um círculo, e associa o nome da variável, a equação correspondente e suas entradas.
- Linhas de fluxo: existem fluxos conservativos, como, por exemplo, nascimento ou morte de pessoas; e fluxos não conservativos, como, as taxas de natalidade e mortalidade, ou seja, as informações. Os fluxos físicos representam quantidades conservativas, que podem ser movidas de um lugar para outro no sistema. Os fluxos de informação, não conservativos, que realizam a interconexão entre os fluxos físicos, ou seja, auxiliam na tomada de decisão. Por exemplo, o nível da população depende dos fluxos físicos de nascimentos ou mortes, que, por sua vez, dependem, respectivamente, das informações referentes às taxas de natalidade e mortalidade. A convenção para os símbolos de fluxo depende do *software* utilizado. No presente trabalho, o *Powersim 2.5* [61] utiliza linhas pontilhadas para os fluxos de inicialização de variáveis de nível, linhas cheias para os fluxos de informação e linhas duplas para os fluxos físicos.
- Retirada de informação: a retirada de informação sobre uma variável é feita sem que esta seja afetada, sua representação gráfica é um círculo na região externa do símbolo da variável que cede a informação. Este círculo não representa a remoção do conteúdo da variável, mas a transferência de informação sobre sua magnitude.
- Parâmetros (constantes): um losango representa uma constante, que é o valor que permanece inalterado durante a simulação.
- Fontes e sumidouros: quando a origem (fonte) e/ou o destino (sumidouro) de um fluxo físico não exerce influência sobre o sistema, a fonte e o sumidouro são simbolizados por uma nuvem, que representa os limites do modelo.

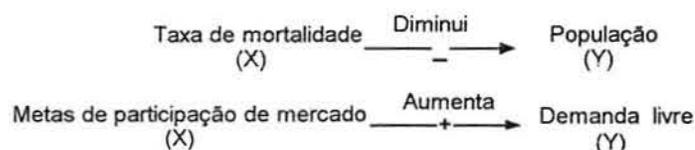
4. DIAGRAMA DE LAÇO CAUSAL

Os Diagramas de Laços Causais (DLC's) são representações visuais das relações causa-efeito entre os elementos de um sistema, formando uma estrutura de laço de realimentação. Este tipo de diagrama dá uma visão global da estrutura causal do sistema, e é muito usado na conceituação de problemas, no desenvolvimento de modelos matemáticos, na análise e explicação de resultados de casos de simulação e em projetos de novas políticas. Desta forma, os DCL's ocupam um lugar de destaque na modelagem de DS e proporcionam a base para a construção de modelos.

Os registros de um DLC são uma sucessão de relações causa-efeito em um caminho circular. Portanto, para construir os diagramas de laço causal, deve-se primeiro conhecer as relações causa-efeito e a forma em que elas são identificadas e representadas.

4.1 *Ligação Causal*

A relação causa-efeito indica o efeito direto (influência, ou impacto) de uma variável sobre outra. Isso significa que, enquanto se estuda esta relação causal, despreza-se o efeito de outras variáveis sobre a variável em análise. A relação é mostrada pela união das duas variáveis através de uma seta. A variável que aparece no início da seta é dita variável causal, e aquela que aparece na ponta é dita variável afetada. A seta indica a direção de causalidade entre a variável causal e a variável afetada. A seguir são mostrados alguns exemplos de ligação causal.



As palavras “aumenta” ou “diminui”, que aparecem associadas à seta, indicam o sentido do efeito ou a direção de causa. Existe uma alternativa na indicação da direção de causalidade. Como o efeito de uma variável sobre outra pode ser positivo ou negativo, a ligação pode ser positiva ou negativa, o que é mostrado através de um sinal mais (+) ou menos (-) na ponta da seta. Se a variável X afeta (influência ou causa) outra variável Y, então se traça uma seta de X para Y. Para estabelecer o sentido da causa, deve-se assumir que: nenhum outro fator (variável) afeta Y; inicialmente, ambos, X e Y, estão no estado estável, isto é, tanto X quanto Y têm valores constantes por um longo tempo.

Então, estuda-se como Y é afetado devido à perturbação em X (X é aumentado ou diminuído a partir do seu estado estável). Se a mudança de X em uma direção causa mudança em Y na mesma direção, de tal forma que um aumento (ou diminuição) de X aumenta (ou diminui) Y, então a direção de causa é dita positiva. Por outro lado, se uma mudança em X em uma direção resulta em mudança em Y em direção contrária, isto é, para o acréscimo (ou diminuição) de X, diminui (ou aumenta) Y, então a direção de causa é dita negativa.

4.2 *Corrente Causal*

Uma variável será causal quando afetar uma outra variável, porém, ela torna-se uma variável afetada se for influenciada por uma terceira variável, como, por exemplo:



A seqüência mostrada indica uma corrente causal aberta, onde o primeiro elemento da corrente é uma variável causal, o último é uma variável afetada e o elemento intermediário é tanto uma variável causal quanto uma variável afetada.

4.3 Laço Causal

Os sistemas reais possuem características de realimentação onde as variáveis afetadas podem influenciar as variáveis causais, representando uma sucessão de relações causa-efeito circulares. Os modelos em DS dizem respeito à sistemas dotados desta relações. Um laço causal é sempre caracterizado por sua polaridade, determinada pela seqüência de relações causais individuais no caminho circular. Existem dois métodos para determinar a polaridade do laço.

No primeiro método, assume-se, inicialmente, que o laço causal está em regime permanente. A seguir, altera-se alguma variável em uma dada direção, isto é, aumenta-se ou diminui-se o valor da variável a partir de seu valor em estado de equilíbrio, e então observa-se o efeito, em seqüência, das demais variáveis do laço frente à esta mudança. Este efeito pode ser de balanceamento ou de reforço. O efeito de balanceamento resiste à mudança original, a partir do estado de equilíbrio, e o laço é dito negativo. O efeito de reforço acentua a mudança original e o laço é dito positivo; no segundo, observa-se a quantidade de sinais negativos nas relações causais. Se o número de sinais negativos for par ou zero, a polaridade é positiva, em caso contrário, é negativa.

Um exemplo de laço causal de polaridade negativa é mostrado na Figura A2.3. Ele representa um sistema onde a eficiência em conservação depende da tarifa, que por sua vez depende dos custos totais, que são influenciados pelos investimentos. Os investimentos dependem do nível de conservação.

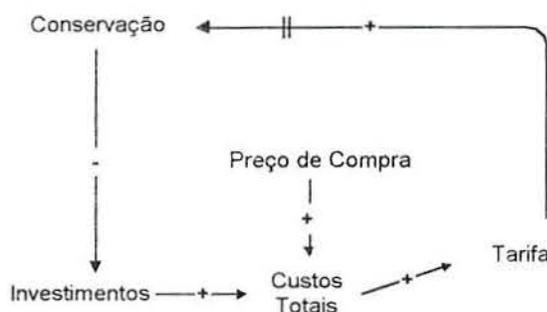


Figura A2.3 - Diagrama de Laço Causal com Polaridade Negativa

Para aplicar o primeiro método, assume-se que todas as variáveis estão no seu estado de equilíbrio. Um aumento na tarifa aumenta a conservação; aumentos na conservação diminuem o nível de investimentos, que aumentam os custos totais, e esses aumentam a tarifa, que atua como inibidor de investimentos, ou seja, há uma tendência de inibição a partir do ponto de equilíbrio. A polaridade é, portanto, negativa. Pelo segundo método, a polaridade é mais rapidamente

determinada, uma vez que o número de sinais negativos no laço é ímpar, e portanto, o laço tem polaridade negativa.

5. ORDEM DO SISTEMA

O número de níveis em um laço é a ordem do laço de realimentação. Assim, um laço de realimentação de primeira ordem possui unicamente um nível; um laço de segunda ordem possui dois níveis; de terceira ordem possui três níveis, e assim por diante. A ordem de um sistema constituído por mais de um laço de realimentação é o número total de níveis do sistema, independentemente da ordem de cada laço de realimentação individual.

6. SISTEMAS DINÂMICOS LINEARES

Um sistema dinâmico é dito linear se a taxa de mudanças de cada nível é linearmente dependente dos valores dos níveis. Assim, para um sistema de primeira ordem,

$$\dot{x}(t) = a \cdot x(t)$$

onde:

x é o nível;

\dot{x} é a taxa de mudança;

e, para um sistema de segunda ordem

$$\dot{x}_1(t) = a_1 \cdot x_1 + b_1 \cdot x_2$$

$$\dot{x}_2(t) = a_2 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2$$

onde:

x_1 e x_2 são os níveis;

\dot{x}_1 e \dot{x}_2 são suas taxas de variação.

7. SISTEMAS DE REALIMENTAÇÃO POSITIVA DE PRIMEIRA ORDEM

Pode ser dito que um sistema de realimentação positiva reforça qualquer mudança a partir do estado de equilíbrio. Para derivar analiticamente o comportamento de um sistema de laço positivo de primeira ordem, considera-se um modelo simplificado de crescimento do consumo comercial, como mostra a Figura A2.4. Neste modelo, a taxa de crescimento do consumo (TCC) depende do nível de consumo comercial (CC) e percentual anual de crescimento do consumo (PAC).

A dinâmica do sistema pode ser representada pelas seguintes equações:

$$CC(t + DT) = CC(t) + DT * TCC(t) \quad (1.A2)$$

$$TCC(t) = CC(t) * PAC \quad (2.A2)$$

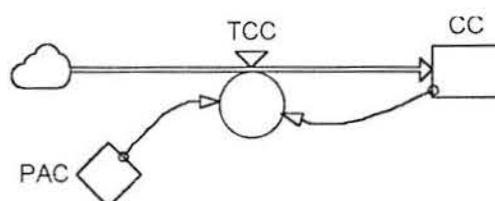


Figura A2. 4 – DEF para o Modelo de Consumo Comercial

Fica evidente a partir das equações (1.A2) e (2.A2) que o consumo comercial, em qualquer instante de tempo, é calculado adicionando-se o aumento de consumo durante o tempo elementar (DT) ao nível do consumo no instante de tempo anterior.

A equação (1.A2) pode ser escrita como:

$$[CC(t + DT) - CC(t)]/DT = TCC(t)$$

Tomando-se o limite quando $DT \rightarrow 0$, obtém-se:

$$\frac{dCC(t)}{dt} = TCC(t)$$

Mas,

$$TCC(t) = CC(t) * PAC$$

Assim,

$$\frac{dCC(t)}{dt} = CC(t) * PAC$$

A dependência linear da taxa de mudança de $d/dt (CC(t))$ com relação à $CC(t)$ é mostrada na Figura A2.5. O crescimento da linha é positivo.

Separando-se as variáveis e integrando-se ambos os lados da equação diferencial, obtém-se:

$$\int_{CC(0)}^{CC(t)} \frac{dCC(t)}{CC(t)} = \int_0^t (PAC) dt$$

ou,

$$\ln \frac{CC(t)}{CC(0)} = PAC * t$$

ou,

$$CC(t) = CC(0) * e^{PAC * t} \quad (3.A2)$$

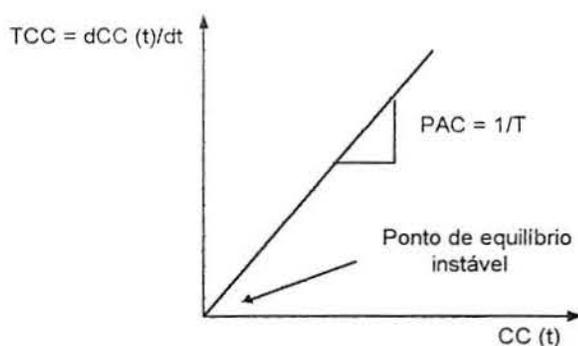


Figura A2.5 - Taxa de Crescimento x Consumo Comercial

Assim, pode-se dizer que o comportamento de um sistema de laço positivo tem um crescimento exponencial, sempre que a variável de nível possuir valores positivos. Se o valor da variável é zero, então o sistema permanece nesse valor. Teoricamente, se o valor inicial de uma variável de nível é negativo, o sistema mostra um decaimento exponencial. Entretanto, como não é possível ter um valor negativo de uma variável na vida real, esta forma de comportamento não aparece na prática.

Se a TCC é dada em MW, o PAC possui, portanto, uma dimensão $1/MW$, e seu inverso tem dimensão em MW. Desde que o PAC seja uma constante num sistema linear, seu inverso é, também, uma constante. Este inverso é frequentemente denominado de “constante de tempo” do sistema. Assim, nota-se que sempre é possível definir constantes de tempo para um sistema dinâmico linear.

Define-se a constante de tempo T de um sistema de crescimento do consumo comercial como o inverso do PAC , portanto, a equação (3.A2) pode ser reescrita como:

$$CC(t) = CC(0) * e^{t/T} \quad (4.A2)$$

A constante (T) proporciona a medição do crescimento da variável $CC(t)$.

8. SISTEMA DE REALIMENTAÇÃO NEGATIVA DE PRIMEIRA ORDEM [64]

Um laço de realimentação negativa é a busca de uma meta, ou seja, tenta mover o nível em direção a algum objetivo desejado. Um exemplo deste tipo de realimentação é o modelo de estoque de uma empresa qualquer, mostrado na Figura A2.6.

Nesta figura, o sistema procura manter um nível desejado de estoque através da taxa de pedidos. Ele admite que qualquer material solicitado é obtido imediatamente sem nenhuma perda de tempo. Além disso, considera-se que esta taxa de pedido (TP) é proporcional à discrepância ($DISC$) entre o estoque desejado (EDE) e o estoque atual (EM). A constante de proporcionalidade é o tempo de ajuste (TA), que é o tempo requerido para corrigir o estoque se a taxa de pedido (TP) se mantém sem mudanças.

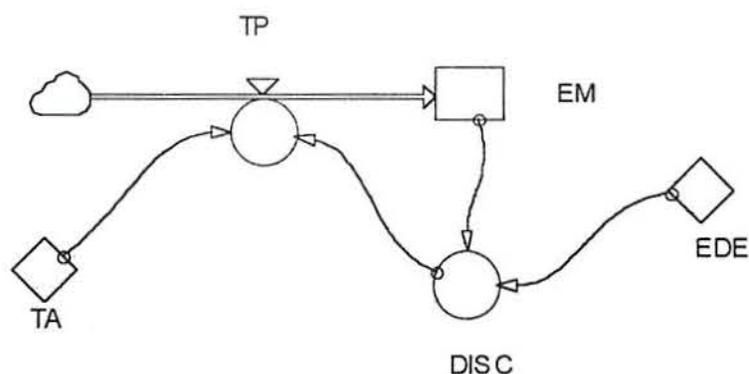


Figura A2.6 - Diagrama de Fluxo Simplificado para Sistema de Estoque

As equações do sistema podem ser escritas como:

$$EM(t + DT) = EM(t) + (DT) * TP(t) \quad (5.A2)$$

$$TP(t) = (EDE - EM(t))/TA \quad (6.A2)$$

A equação (5.A2) estabelece que o estoque, em qualquer instante de tempo, é calculado adicionando-se o material que flui no tempo elementar (DT) ao nível de estoque no instante de tempo anterior. TP é considerado constante para um tempo elementar (DT). Na equação (6.A2) admite-se que o nível de estoque atual é menor que o nível de estoque desejado.

Rearranjando a equação (6.A2), obtém-se:

$$(EM(t + DT) - EM(t))/DT = TP(t)$$

Tomando o limite de $DT \rightarrow 0$, tem-se:

$$\frac{d(EM(t))}{dt} = TP(t)$$

Portanto,

$$\frac{d(EM(t))}{dt} = (EDE - EM(t))/TA$$

Nota-se que EM é o nível e $d/dt(EM)$ é a taxa instantânea de mudança. A Figura A2.7 mostra a dependência de $d/dt(EM)$ sobre EM . Vê-se que, quando EM é igual a EDE , $TP(t)$ é igual a zero; diz-se que o sistema está *em equilíbrio*. Quando EM é menor que EDE , então TP é positivo; e quando EM é maior que EDE , então TP é negativo. Em ambos os casos, o sistema tenta encontrar o nível de estoque desejado. Assim, a propriedade deste sistema é manter o estoque no nível desejado.

Estes sistemas possuem a propriedade de *procurar a meta*, pois procuram manter o *equilíbrio estável*. Qualquer esforço em perturbar o sistema a partir deste ponto de equilíbrio é resistido pelo

sistema. Cabe mencionar que todo sistema de controle, seja físico, econômico ou social é caracterizado por comportamento deste tipo, qual seja, procurar a meta.

Também pode-se observar na Figura A2.7 que o relacionamento taxa-nível é linear com derivada negativa. Define-se, portanto, este sistema como um sistema linear de realimentação negativa.

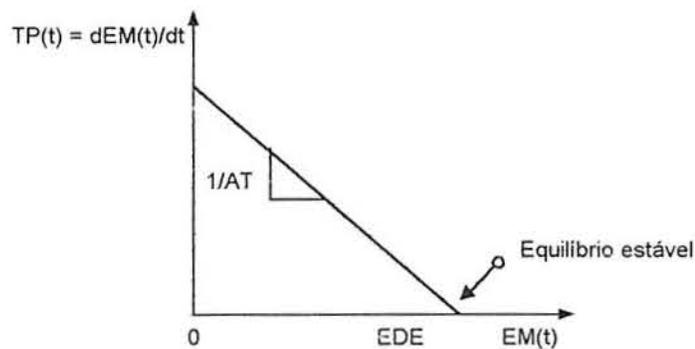


Figura A2.7 - Taxa de Pedido x Estoque

9. MÉTODO ALTERNATIVO DE SOLUÇÃO PARA SISTEMAS DE REALIMENTAÇÃO DE PRIMEIRA ORDEM [64]

Forrester mostrou que o comportamento dinâmico de sistemas de realimentação pode ser determinado de forma alternativa. Em um sistema de realimentação linear, o estado de uma variável não deve mudar após a integração. Observando esta propriedade dos sistemas de realimentação linear, Forrester admitiu que a variável de nível possui a seguinte função do tempo:

$$L(t) = L(0) * e^{(t/AT)} \quad (7.A2)$$

Para um sistema de realimentação positiva, a taxa $R(t)$ é linearmente proporcional a $L(t)$ com a constante de proporcionalidade igual a:

$$R(t) = \frac{L(t)}{A} \quad (8.A2)$$

Desde que a variação de $R(t)$ "alimenta" $L(t)$,

$$L(t) = L(0) + \int_0^t R(t) dt$$

$$L(t) = L(0) + \int_0^t \frac{1}{A} L(0) * e^{t/T} dt$$

$$L(t) = L(0) + \frac{L(0)}{A} * T * (e^{t/T} - 1)$$

$$L(t) = L(0)\left(1 - \frac{T}{A}\right) + \frac{L(0)T}{A} * e^{t/T} \quad (9.A2)$$

Comparando-se os coeficientes de termos similares nas duas expressões (7.A2) e (9.A2), obtém-se

$$L(0)\left(1 - \frac{T}{A}\right) = 0 \quad e \quad \frac{L(0)T}{A} = L(0)$$

A partir de ambas equações, tem-se:

$$T = A$$

Portanto, a expressão assumida para $L(t)$ está correta e é dada por

$$L(t) = L(0) * e^{(t/A)}$$

Análise similar pode ser feita para sistemas de realimentação negativa de primeira ordem.

10. CONCLUSÃO

O objetivo deste anexo foi apresentar uma introdução à teoria da Dinâmica de Sistemas, e definir conceitos utilizados ao longo do trabalho.

REFERÊNCIAS

- [1] CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS S. A. Curso de Mercado de Energia Elétrica. Rio de Janeiro, 1979.
- [2] MOROZOWSKI, M. F.; SCHUCH, G. B. Novo Enfoque para Planejamento de Sistemas Elétricos em Ambiente Competitivo. In: SIMPÓSIO DE ESPECIALISTAS EM PLANEJAMENTO DA OPERAÇÃO E EXPANSÃO (V.: Maio 1996: Recife). Anais. Recife, 1996. p 1-6.
- [3] FORTUNATO, L. A. M.; ARARIPE, T. A. N.; ALBUQUERQUE, J. C. R.; et al. Introdução ao Planejamento da Expansão e Operação de Sistemas de Produção de Energia Elétrica. 1. ed. Rio de Janeiro: Universitária – Universidade Federal Fluminense, 1990.
- [4] CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS S. A. Plano 2015. v.I. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 1992.
- [5] MOROZOWSKI, M. F. Planejamento da Expansão de Sistema de Potência. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina, 1994.
- [6] MOROZOWSKI, M. F. Planejamento Integrado de Sistemas Multiárea com Restrições de Energia e Confiabilidade: Uma abordagem via Programação Estocástica. Rio de Janeiro, 1995. Tese de Doutorado em Engenharia de Sistemas e Computação – Programas de Pós-Graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- [7] MARTINEZ, C. B. O Planejamento de Pequenas Centrais Hidrelétricas Face as Perspectivas da Iniciativa Privada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA (Out. 1996). Anais. 1996. p.1474-1484.
- [8] MELDONIAN, N. L.; MATTOS, L. A. T.; ANDRADE, G. G. Termoeletricidade no Brasil - Perspectivas Futuras. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA (Out. 1996). Anais. 1996. p.1799-1812.
- [9] GORENSTIN, B. G.; CAMPODÓNICO, N. M.; COSTA, J. P.; et al. Power System Expansion Planning Under Uncertainty. IEEE Transactions on Power Systems, New York, v. 8, n. 1, Feb. 1993.
- [10] MOROZOWSKI, M. F. Símula do Modelo Estrutural do Setor Elétrico. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina, 1996.
- [11] COMISSÃO DE INTEGRAÇÃO ELÉTRICA REGIONAL. Organização da Empresa e do Setor Elétrico Nacional. 1994.

- [12] CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS S. A. Plano 2015. Metodologia e Processo de Planejamento da Expansão do Setor Elétrico Brasileiro – Projeto I. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 1992.
- [13] ANDRADE, E. L. Introdução à Pesquisa Operacional: Métodos e Modelos para Análise de Decisão. 1. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1989.
- [14] OHMAE, K. Começando de Novo. HSM Management. São Paulo, ano 2, n. 11, p. 6–10, nov./dez. 1998.
- [15] SERRA, M. T. F. Avanços Metodológicos Recentes e Áreas de Investigação Prioritária nos Estudos de Mercado de Energia Elétrica. O Mercado de Energia. São Paulo, v. 114, p. 90–93, 1992.
- [16] CARREIRO, J. P., et al. Modelos de Análise da Demanda Global de Energia: Uma Descrição Geral e Avaliação. O Mercado de Energia. São Paulo. V. 114, p. 93-99, 1992.
- [17] FARIA, S. N. G. Um Modelo Integrado de Previsão do Mercado de Energia Elétrica a Longo Prazo. São Paulo, 1993. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas.
- [18] KOTLER, P. Administração de Marketing: Análise, Planejamento, Implementação e Controle. 5. ed. São Paulo: Atlas S.A., 1998.
- [19] Dicionário de Economia. São Paulo: Best Seller, 1987.
- [20] ALVES, A. A. F. Construção de Cenários de Demanda no Setor Residencial: Uma Abordagem Baseada em Dinâmica de Sistemas. Florianópolis, 1997. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina.
- [21] BRANDÃO, P. V. Metodologia de Previsão do Mercado de Energia Elétrica. O Mercado de Energia. São Paulo, v.114, p. 86-89, 1992.
- [22] LATHAM, J. H., NORDMAN, D. A.; PLANT, E. C.; et al. Probability Approach to Electric Utility Load Forecasting. IEEE Transactions on Power Systems, New York, v. 87, n. 2, Feb. 1968.
- [23] ARAÚJO, J. L. R. H.; OLIVEIRA, A. Metodologia de Planejamento do Setor Elétrico: Questões dos Anos 90.
- [24] PINDYCK, R. S.; RUBIENFELD, D. L. Microeconomia. 1. ed. Rio de Janeiro: Makron Books do Brasil, 1994.

- [25] PIDD, M. Modelagem Empresarial: Ferramentas para Tomada de Decisão. 1. ed. Porto Alegre: Artes Médicas Sul Ltda., 1998.
- [26] ARAÚJO, J. L. R. H. Modelos de Energia para Planejamento. Rio de Janeiro, 1988. Monografia para Concurso de Professor Titular no Programa de Engenharia Nuclear e Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- [27] RIBAS, J. R. Metodologia para Estimação por Cenários Alternativos com Base na Interação entre Modelos Subjetivos Causais e Técnicas Analíticas para o Dimensionamento de Mercado. São Paulo, 1995. Tese de Doutorado em Administração de Empresas de São Paulo da Fundação Getúlio Vargas.
- [28] MOROZOWSKI, M. F. Planejamento de Sistemas Elétricos em Ambiente Competitivo: Conceitos e Metodologia. Florianópolis, 1998. Monografia para Concurso de Professor Titular em Planejamento de Sistemas de Energia Elétrica – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina.
- [29] BORGES, P. S. S. Um Modelo de Jogos de Estratégia com Base no Paradigma do Dilema do Prisioneiro Iterado, com Emprego de Fuzzy Sets. Florianópolis, 1996. Tese de Doutorado em Engenharia de Produção – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina.
- [30] PINHO, D. B.; VASCONCELLOS, M. A. S. Manual de Economia. 3. ed. São Paulo: Saraiva, 1998.
- [31] KIM, DONG-HWAN, KIM, DOA HOON. A System Dynamics Model for a Mixed-Strategy Game Between Police and Driver. *System Dynamics Review*, New York, v. 13, n. 1, p. 33-52, Spring 1997.
- [32] HOBBS, B. F. Optimization Methods for Electric Utility Resource Planning. *European Journal of Operational Research*, North-Holland, v. 83, p. 1-20, 1995.
- [33] SANTANA, E. A. Teoria dos Jogos e Múltiplos Critérios – Uma Contribuição para o Aperfeiçoamento dos Jogos Não-Cooperativos. Florianópolis, 1995. Monografia para Concurso de Professor Titular de Microeconomia – Centro Sócio-Econômico, Universidade Federal de Santa Catarina.
- [34] KREPS, D. M. *Game Theory and Economic Modelling*. 1. ed. Oxford: Oxford University Press, 1990.
- [35] SILVEIRA, F. S. V. Um Modelo para Planejamento Econômico-Financeiro de Empresa de Energia Elétrica Adequado ao Ambiente Competitivo. Florianópolis, 1997. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa

Catarina.

- [36] LIMA, A.; FERRO, F.; MARTINS, J.; et al. Prejuízos com Problemas de Qualidade em Grandes Consumidores. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (Out. 1994: Recife). Anais. Recife, 1994. p. 162–168.
- [37] NALEBUFF, B. J.; BRANDENBURGER, A. M. Co-opetição. 1. ed. Rio de Janeiro: Rocco Ltda., 1996.
- [38] HUNT, S.; SHUTTLEWORTH, G. Competition and Choice in Electricity. 1. ed. New York: John Wiley & Sons Ltd, 1996.
- [39] SOONG, T. T. Modelos Probabilísticos em Engenharia e Ciências. 1. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1986.
- [40] JABUR, M. A. Carbocloro Inaugura Mercado Livres de Energia. Jornal Gazeta Mercantil, São Paulo, 18 nov. 1999.
- [41] FORD, A. Modelling the Environment: An Introduction to System Dynamics Models of Environmental Systems. 1. ed. Washington: Island Press, 1999.
- [42] CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS S. A. Plano Decenal de Expansão 1997/2006. 2015. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 1997.
- [43] KAVRAKOGLU, I. Energy Policy. European Journal of Operational Research, North-Holland, v.28, p.121-131, 1987.
- [44] FORD, A. Estimating the Impact of Efficiency Standards on the Uncertainty of the Northwest Electric System. Operations Research, v. 38, n. 4, p. 580–597, Aug. 1990.
- [45] DYNER, I.; SMITH, R. A.; PENÃ, G. E. Modelo de Dinamica Energetica Regional, Colciencias, Universidad Nacional de Colombia, Medellin, 1994.
- [46] ---- System Dynamics Modelling for Residential Energy Efficiency Analysis and Management. Journal of the Operational Research Society, v. 46, p. 1163–171, 1995.
- [47] FARUQUI, A. Forecasting in a Competitive Environment: the Need for a New Paradigm. In: Demand Forecasting in the Electric Utility Industry. 2. ed. Pennwell Publishing Company, 1996, p. 13-1, 13-21.
- [48] DYNER, I.; BUNN, D. W. A Systems Simulation Platform to Support Energy Policy in Colombia. In: BUNN, D. W.; LARSEN, E. R. Systems Modelling for Energy Policy. 1. ed. England: John Wiley & Sons Ltd., 1997. p. 259–271.
- [49] RODRIGUES, A.; WILLIAMS, T. Systems Dynamics in Project Mangement: Assessing the

- Impacts of Client Behaviour on Project Performance. *Journal of the Operational Research Society*, v. 49, p. 2– 15, 1998.
- [50] VLAHOS, K.; NINIOS, P.; BUNN, D. W. An Interactive Modelling Approach for Understanding Competitive Electricity Markets. *Journal of the Operational Research Society*, v. 49, p. 187–199, 1998.
- [51] LARSEN, E. R.; BUNN, D. W. Regulation in Electricity: Understanding Strategic and Regulatory Risk. *Journal of the Operational Research Society*, v. 50, p. 337– 344, 1999.
- [52] FORRESTER, J. W. *Industrial Dynamics*. 1. ed. Portland: Productivity Press, 1961.
- [53] ----- *Principles of Systems*. 2. ed. Portland: Productivity Press, 1990.
- [54] RANDERS, J. *Elements of the System Dynamics Method*. 1. ed. Massachusetts: Productivity Press, 1980.
- [55] BUNN, D. W.; LARSEN, E. R. *Systems Modelling for Energy Policy*. 1. ed. England: John & Wiley Sons Ltd., 1997.
- [56] WIERSEMA, F. *Intimidade com o Cliente*. 1.ed., Tradução. Rio de Janeiro: Campus, 1996.
- [57] MORECROFT, J. W. Executive Knowledge, Models and Learning. *European Journal of Operational Research*, North-Holland, v.59, p.9-27, May 1992.
- [58] KIM, DONG-HWAN; KIM DOA HOON. *Systems Dynamics Review*. New York, v.13, n. 1, p. 33-52, Spring 1997.
- [59] GIL, H. A.; GUTIÉRREZ, A. M. *Modelo de Previsão do Consumo de Energia Elétrica da Classe Industrial do Brasil*. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina, 1997.
- [60] SENGE, P. M. *A Quinta Disciplina – Arte e Prática da Organização que Aprende*. 2. ed. São Paulo: Best Seller, 1998.
- [61] POWERSIM.EXE. Versão 2.5. Programa para simulação de modelos baseados em dinâmica de sistemas. Particular. USA, 1993. Powersim Corporation, 12207 Sunire Vallery Drive, Reston, Virginia 2201, USA. HD 20 Mb, RAM 8Mb. C⁺⁺. IBM PC 80386, Windows 3.1.
- [62] E-mail: cmfallon@duke-energy.com.
- [63] LOMBA, L. Copel Vende Energia para Volks. *Jornal Gazeta Mercantil*, São Paulo, 20 jan. 2000.
- [64] MOHAPATRA, P. K. J.; MANDAL, P.; BORA, M. *Introduction to System Dynamics Modeling*. 1. ed. India: Universities Press, 1994.
- [65] *Resumo das Regras do MAE para o COEX*, março 1999. www@mme.gov.br.