

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
PLANEJAMENTO DE SISTEMAS ENERGÉTICOS

*Planejamento Integrado de Recursos
Energéticos: uma aplicação da modelagem na
Região Administrativa de Campinas*

Autora: Cássia Maria Lie Ugaya
Orientador: Gilberto de Martino
Jannuzzi

1996

UG1p Ugaya, Cássia Maria Lie
Planejamento integrado de recursos energéticos: uma aplicação na Região Administrativa de Campinas / Cássia Maria Lie Ugaya, -- Campinas, SP: [s.n.], 1996.

Orientador: Gilberto de Martino Jannuzzi.
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica.

1. Energia - Conservação. 2. Energia - Consumo. 3. Simulação (Computador). I. Jannuzzi, Gilberto de Martino. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Mecânica. III. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
PLANEJAMENTO DE SISTEMAS ENERGÉTICOS

*Planejamento Integrado de Recursos
Energéticos: uma aplicação da modelagem na
Região Administrativa de Campinas*

Autora: Cássia Maria Lie Ugaya
Orientador: Gilberto de Martino Jannuzzi

Curso: Engenharia Mecânica
Unidade: Faculdade de Engenharia Mecânica - Planejamento de Sistemas Energéticos

Tese de Mestrado apresentada à Sub-Comissão de Pós Graduação da Faculdade de Engenharia Mecânica como requisito para a obtenção do título de Mestre em Planejamento de Sistemas Energéticos.

Campinas, 5 de Março de 1996.
São Paulo, Brasil

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
PLANEJAMENTO DE SISTEMAS ENERGÉTICOS

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Planejamento Integrado de Recursos
Energéticos: uma aplicação da modelagem na
Região Administrativa de Campinas

Autora: Cássia Maria Lie Ugaya

Orientador: Gilberto de Martino Jannuzzi

Prof. Dr. Gilberto de Martino Jannuzzi, Presidente
Unicamp / FEM

Prof. Dr. Ennio Peres da Silva
Unicamp / IFGW

Prof^a. Dra. Stellamaris Rolla
Unicamp / FEC

Campinas, 5 de março de 1996.

Agradecimentos

Ao Professor Gilberto de Martino Jannuzzi que orientou esta dissertação.

Aos professores e colegas de curso, em destaque Chan, Magri, Marco, Ronaldo, Vanice e principalmente, Luís.

À turma de Análise e Projeção da Demanda II, ministrada no segundo semestre de 1994, Artur, Carlos, Glacir, Júlia, Máximo, Miriam, Paulo, Pedro, Sérgio, Valéria, Vinício e Vito cujas discussões propiciaram uma crescente onda de idéias.

Ao Sr. Homero, da Secretaria de Energia, que muito colaborou para a realização do estudo.

À Agência para Aplicação de Energia, pelas informações preciosas para o desenvolvimento deste trabalho, em especial ao Sr. Vito.

Ao Kodji e Brunetti, da CPFL.

Aos funcionários da Unicamp, em especial às secretárias Ester e Márcia, à Joana, Neusa e Rodrigues das bibliotecas.

Aos amigos de toda vida, que contribuíram para o meu desenvolvimento pessoal, e muito especialmente à Patrícia.

À minha afilhada, Júlia, que traz as perspectivas de um novo mundo.

Resumo

O objetivo deste trabalho consiste na elaboração de uma metodologia para realizar o Planejamento Integrado de Recursos através do desenvolvimento de um simulador computacional que projeta a demanda de energia e calcula os custos envolvidos no fornecimento, conservação e substituição de energia em três setores da economia (residencial, comercial e industrial) desagregados em seus principais subsetores e usos finais.

Uma aplicação prática da metodologia é realizada como exemplo de utilização do modelo computacional na Região Administrativa de Campinas, apresentando-se as suas características sócio-econômicas-energéticas do ano base e comparando-as com o estado de São Paulo e o país. Posteriormente são elaborados os cenários sócio-econômicos da região e os dois cenários energéticos propostos: i) o tendencial, que não admite as melhorias de tecnologias dos usos finais e a substituição de energia e, ii) o eficiente, que insere nas projeções essas perspectivas. A avaliação dos custos nesses dois cenários procura comparar as alternativas de expansão, conservação e substituição de energia sob a ótica do setor energético.

Abstract

The aim of this study is to develop the methodology to Integrated Resource Planning through a computer simulation that projects the energy demand and calculate the energy supply, conservation and substitution costs in three economy sector (residential, commercial and industrial) desagregated in its main subsectors and end uses.

It is also done a practical application of the methodology developed as an example of the model utilization in the Administrative Region of Campinas, showing its social-economic-energetic characteristics in the base year and comparing them with São Paulo state and Brazil. Afterwards the social-economic and the two energetic scenarios are developed: i) the frozen, that does not allow more efficient end uses and substitution of energy between the base and projection year and, ii) the efficient one, that includes this perspectives. The cost evaluation in these two scenarios are made to compare the expansion, conservation and substitution options to the energetic sector.

Sumário

LISTA DE EQUAÇÕES	IV
LISTA DE FIGURAS	VI
LISTA DE GRÁFICOS.....	VII
LISTA DE TABELAS	IX
Apresentação	1
Capítulo 1	3
Planejamento Integrado de Recursos	3
1.1 ANÁLISE DA OFERTA	3
1.1.1 Aumento da Eficiência.....	4
1.1.2 Aumento da capacidade de produção	5
1.1.3 Relação Importação/Exportação.....	7
1.1.4 Substituição de Energia.....	7
1.1.5 Exemplos de Alguns Modelos Utilizados para a Análise da Oferta.....	8
1.2 ANÁLISE DA DEMANDA	8
1.2.1 Mudança dos Hábitos de Consumo.....	9
1.2.2 Uso de Tecnologias mais Eficientes	10
1.2.3 Mudanças na Estrutura de Consumo	10
1.2.4 Substituição de Energéticos.....	10
1.2.5 Exemplos de Análise da Demanda	11
1.3 PLANEJAMENTO INTEGRADO DE RECURSOS ENERGÉTICOS	11
1.3.1 Impactos Ambientais no PIR	12
1.3.2 Exemplos do PIR	13
Capítulo 2	17
Modelo Utilizado	17
2.1. METODOLOGIA DE PROJEÇÃO	17
2.1.1. Cenário Sócio-Econômico do Ano Base.....	19
2.1.2. Cenário do Ano de Projeção	22
2.1.3. Custos da Expansão e Conservação de Energia	24
2.1.4. Construção da curva de custo-suprimento/conservação de energia.....	24
2.2 PROJEÇÃO DA DEMANDA.....	25
2.2.1 Setor Residencial.....	26
2.2.2 O Setor Comercial.....	30
2.2.3 O SETOR INDUSTRIAL.....	33
2.3 OFERTA DE ENERGIA	36
2.4 CUSTOS DA EXPANSÃO E CONSERVAÇÃO DE ENERGIA.....	37
Capítulo 3	41
Caracterização da Região Administrativa de Campinas.....	41
3.1. CARACTERÍSTICAS SÓCIO-ECONÔMICAS	41
3.1.1 População.....	42
3.1.2 Taxa de Urbanização	43
3.1.3 Pessoal Ocupado.....	44
3.1.4 Caracterização dos Domicílios	45
3.1.5 Número de Habitantes por Domicílio.....	46
3.1.6 Número de Domicílio por Faixa de Renda.....	46
3.1.7 PIB e Valor Adicionado.....	48
3.1.8 PIB por setor da economia.....	49
3.1.9 PIB por Ramo Industrial	51

3.2. CARACTERIZAÇÃO ENERGÉTICA	53
3.2.1 <i>Oferta de Energia</i>	53
3.2.2 <i>Demanda de Energia</i>	62
Capítulo 4	94
Cenários sócio-econômicos e energéticos para a RAC*	94
4.1 CENÁRIO GERAL	94
4.2 CENÁRIOS SETORIAIS	95
4.2.1 <i>Setor Residencial</i>	95
4.2.2 <i>Setor Comercial</i>	102
4.2.3 <i>Setor Industrial</i>	108
4.4 POSSIBILIDADES DE SUBSTITUIÇÃO DE ENERGIA	112
Capítulo 5	114
Resultados da Projeção de Energia	114
5.1 SETOR RESIDENCIAL	115
5.1.1 <i>Eletricidade</i>	115
5.1.2 <i>GLP</i>	119
5.2 SETOR COMERCIAL	121
5.2.1 <i>Eletricidade</i>	121
5.2.2 <i>Derivados de Petróleo</i>	124
5.3 SETOR INDUSTRIAL	125
5.3.1 <i>Eletricidade</i>	125
5.3.2 <i>Derivados de Petróleo</i>	128
5.3.3 <i>Biomassa</i>	130
5.4 CUSTOS MARGINAIS	131
5.5 COMPARAÇÕES COM OUTROS ESTUDOS	136
Capítulo 6	138
Conclusões e Recomendações	138
Referência Bibliográfica	142
Anexo 1: Manual de Utilização dos Módulos de Projeção da Demanda de Energia	149
Anexo 2: Posse de Eletrodomésticos	156
Anexo 3: Etapas de estudo de um aproveitamento hidrelétrico*	158
Anexo 4: Cálculo dos custos médios de fornecimento de energia elétrica e potência	159
Anexo 5: Participação dos Usos Finais no Consumo de Energia Elétrica do Setor Residencial	160
Anexo 6: Metodologia de Cálculo da Penetração de Tecnologias do Setor Residencial no Ano Base	162
Anexo 7: Cálculo da Potência no Setor Industrial	163
Anexo 8: Correspondência entre a vida útil dos usos finais e a saturação	164
Anexo 9: Resultados da Projeção de Energia Elétrica do Setor Residencial da RAC	165
Anexo 10: Resultados da Projeção de GLP do Setor Residencial da RAC	173
Anexo 11: Resultados da Projeção de Energia Elétrica do Setor Comercial da RAC	175
Anexo 12: Resultados da Projeção de Derivados de Petróleo do Setor Comercial da RAC	179

Anexo 13: Resultados da Projeção de Energia Elétrica do Setor Industrial da RAC.....	181
Anexo 14: Resultados da Projeção de Derivados de Petróleo do Setor Industrial da RAC.....	187
Anexo 15: Resultados da Projeção de Biomassa do Setor Industrial da RAC.....	189

Lista de Equações

Equação 2. 1: Consumo de Energia do Setor Residencial	26
Equação 2. 2: Potência Demandada no Setor Residencial	26
Equação 2. 3: Consumo Específico Eficiente do Setor Residencial	26
Equação 2. 4: Potência Específica Eficiente do Setor Residencial	26
Equação 2. 5: Consumo de Energia no Cenário Eficiente do Setor Residencial	27
Equação 2. 6: Potência Demandada no Cenário Eficiente do Setor Residencial	27
Equação 2. 7: Projeção do Número de Domicílios	27
Equação 2. 8: Consumo de Energia do Setor Comercial	30
Equação 2. 9: Projeção da Área dos Estabelecimentos	30
Equação 2. 10: Potência Demandada no Setor Comercial	30
Equação 2. 11: Consumo Específico Eficiente do Setor Comercial	30
Equação 2. 12: Potência Específica Eficiente do Setor Comercial	30
Equação 2. 13: Consumo Eficiente de Energia do Setor Comercial	31
Equação 2. 14: Potência Específica Eficiente do Setor Comercial	31
Equação 2. 15: Consumo de Energia do Setor Industrial	33
Equação 2. 16: Projeção do PIB Industrial	33
Equação 2. 17: Relação Entre o Consumo e o PIB	33
Equação 2. 18: Consumo projetado de Energia do Setor Industrial	34
Equação 2. 19: Consumo Eficiente de Energia do Setor Industrial	34
Equação 2. 20: Potência Demandada no Setor Industrial	34
Equação 2. 21: Estrutura Necessária para Atender ao Consumo de Energia	36
Equação 2. 22: Produção de Energia no Ano de Projeção	36
Equação 2. 23: Produção Anual de Energia	36
Equação 2. 24: Produção Anual de Energia no Cenário Eficiente	37
Equação 2. 25: Custo do Fornecimento de Energia	39
Equação 2. 26: Custo de Atender a Potência	40
Equação 2. 27: Custo de Evitar o Consumo de Energia	40
Equação 2. 28: Custo de Evitar a Potência	40

Equação 2. 29: Custo Total do Consumo de Energia	40
Equação 2. 30: Custo Total de Atender a Potência	40
Equação 3. 1: Custo da Distribuição de Energia na RAC	59
Equação 3. 2: Posse de Eletrodomésticos na RAC	69
Equação 3. 3: Potência Específica (potência por área)	80

Lista de Figuras

Figura 2. 1 Fluxograma Básico do Planejamento Integrado de Recursos	18
Figura 2. 2: Fluxograma da Projeção do Consumo de Energia no Setor Residencial	28
Figura 2. 3: Fluxograma da Projeção da Potência no Setor Residencial	29
Figura 2. 4: Fluxograma do Consumo de Energia do Setor Comercial	31
Figura 2. 5: Fluxograma da Potência do Setor Comercial	32
Figura 2. 6: Fluxograma da Projeção de Energia e da Potência (para a eletricidade) do Setor Industrial	35
Figura 2. 7: Fluxograma dos Custos do Consumo de Energia	38
Figura 2. 8: Fluxograma dos Custos da Potência Instalada	39
Figura A 1: Menu de Abertura do Módulo de Projeção da Demanda de Energia de Proj.xls	147
Figura A 2: Menu de Escolha da Fonte de Energia a ser Estudada em Proj.xls	148
Figura A 3: Menu de Definição da Matriz de Subsetores e Usos Finais de Proj.xls	148
Figura A 4: Exemplo da Definição de uma Matriz de Subsetores e Usos Finais em Proj.xls	149
Figura A 5: Menu de Escolha para Inserção/Alteração dos Dados/Estimativas do Ano Base e dos Cenários Tendencial e Eficiente	149
Figura A 6: Menu de Escolha de Inserção/Alteração dos Dados/Estimativas do Ano Base para o Setor Residencial - Eletricidade	150
Figura A 7: Menu de Escolha de Inserção/Alteração dos Dados/Estimativas do Cenário Tendencial para o Setor Residencial - Eletricidade	151
Figura A 8: Menu de Escolha de Inserção/Alteração dos Dados/Estimativas do Cenário Eficiente para o Setor Residencial - Eletricidade	151
Figura A 9: Menu de Escolha de Resultados	152
Figura A 10: Menu de Escolha dos Resultados do Cenário Eficiente	153

Lista de Gráficos

Gráfico 1. 1: Perdas na Transformação de Energia no Brasil	4
Gráfico 1. 2: Perdas na Distribuição e Armazenagem de Energia no Brasil	5
Gráfico 2. 1: Curva de Custo-Suprimento-Conservação de Energia	25
Gráfico 3. 1 Evolução da população da RAC, São Paulo e Brasil [milhões de habitantes]	42
Gráfico 3. 2: Taxa de Urbanização	43
Gráfico 3. 3: Participação do Pessoal Ocupado por setores na RAC	44
Gráfico 3. 4: Participação do Pessoal Ocupado por setores em São Paulo	44
Gráfico 3. 5: Número de Domicílios da RAC , São Paulo e Brasil	45
Gráfico 3. 6: Taxa de Crescimento do Número de Domicílios	45
Gráfico 3. 7: Número de Habitantes por Domicílio	46
Gráfico 3. 8: Participação do número de domicílios na área urbana	47
Gráfico 3. 9: Participação do número de domicílios na área rural	48
Gráfico 3. 10: Valor Adicionado da RAC, PIB de São Paulo e do Brasil [US\$bilhões]	49
Gráfico 3. 11: Participação do PIB a custo de fatores no Estado de São Paulo	50
Gráfico 3. 12: Participação do PIB a custo de fatores no Brasil	51
Gráfico 3. 13: Participação do PIB [%] por setor industrial no Brasil	52
Gráfico 3. 14: Participação do PIB por setor industrial no Estado de São Paulo	52
Gráfico 3. 15: Consumo de Energia por Setor - Brasil [PJ]	62
Gráfico 3. 16: Consumo de Energia por Setor -SP[PJ]	63
Gráfico 3. 17: Consumo de Energia por Setor - RAC [PJ]	64
Gráfico 3. 18: Consumo de Energia no Setor Residencial da RAC	65
Gráfico 3. 19: Consumo de Eletricidade no Setor Residencial da RAC por Região de Governo	65
Gráfico 3. 20: Número de Consumidores Residenciais de Eletricidade da RAC	66
Gráfico 3. 21: Consumo Específico Mensal de Eletricidade na RAC	66

Gráfico 3. 22: Número de Fogões nas Áreas Urbana e Rural do Estado de São Paulo	75
Gráfico 3. 23: Consumo Final de Energia no Setor Comercial da RAC	77
Gráfico 3. 24: Consumo de Energia por Ramo Industrial no Brasil [PJ]	83
Gráfico 3. 25: Consumo de Energia por Ramo Industrial no Estado de São Paulo	83
Gráfico 3. 26: Consumo de Energia por Ramo Industrial na RAC [PJ]	84
Gráfico 3. 27: Consumo de Eletricidade nos Ramos Industriais do Brasil [GWh *]	86
Gráfico 3. 28: Consumo de Eletricidade nos Ramos Industriais do Estado de São Paulo [GWh]	86
Gráfico 3. 29: Consumo de Biomassa nos Ramos Industriais do Brasil [PJ]	89
Gráfico 3. 30: Consumo de Biomassa nos Ramos Industriais do Estado de São Paulo [PJ]	90
Gráfico 3. 31: Consumo de Derivados de Petróleo nos Ramos Industriais do Brasil [PJ]	92
Gráfico 3. 32: Consumo de Derivados de Petróleo nos Ramos Industriais no Estado de São Paulo [PJ]	92
Gráfico 5. 1: Consumo de Energia Elétrica por Usos Finais no Setor Residencial da RAC	116
Gráfico 5. 2: Potência Instalada por Usos Finais no Setor Residencial da RAC	116
Gráfico 5. 3: Consumo de Energia Elétrica por Faixa de Renda no Setor Residencial da RAC (área urbana)	117
Gráfico 5. 4: Consumo de Energia Elétrica por Faixa de Renda no Setor Residencial da RAC (área rural)	118
Gráfico 5. 5: Potência Instalada por Faixa de Renda no Setor Residencial da RAC (área urbana)	118
Gráfico 5. 6: Potência Instalada por Faixa de Renda no Setor Residencial da RAC (área rural)	119
Gráfico 5. 7: Consumo de GLP por Usos Finais no Setor Residencial da RAC	120
Gráfico 5. 8: Consumo de Energia por Faixa de Renda no Setor Residencial da RAC (área urbana)	120
Gráfico 5. 9: Consumo de Energia por Faixa de Renda no Setor Residencial da RAC (área rural)	121
Gráfico 5. 10: Consumo de Energia Elétrica por Usos Finais no Setor Comercial da RAC	122
Gráfico 5. 11: Potência Instalada por Usos Finais no Setor Comercial da RAC	122
Gráfico 5. 12: Consumo de Energia Elétrica por Estabelecimentos no Setor Comercial da RAC	123
Gráfico 5. 13: Potência por Estabelecimentos no Setor Comercial da RAC	123
Gráfico 5. 14: Consumo de Derivados de Petróleo por Usos Finais no Setor Comercial da RAC	124
Gráfico 5. 15: Consumo de Derivados de Petróleo por Estabelecimento no Setor Comercial da RAC	125
Gráfico 5. 16: Consumo de Energia Elétrica por Usos Finais no Setor Industrial da RAC	126
Gráfico 5. 17: Potência Instalada por Usos Finais no Setor Industrial da RAC	127
Gráfico 5. 18: Consumo de Energia por Subsetores no Setor Industrial da RAC	127
Gráfico 5. 19: Potência de Energia por subsetores no Setor Industrial da RAC	128
Gráfico 5. 20: Consumo de Derivados de Petróleo por Usos Finais no Setor Industrial da RAC	129
Gráfico 5. 21: Consumo de Derivados de Petróleo por Subsetores no Setor Industrial da RAC	129
Gráfico 5. 22: Consumo de Biomassa por Usos Finais no Setor Industrial da RAC [PJ]	130
Gráfico 5. 23: Consumo de Biomassa por Subsetores no Setor Industrial da RAC	131
Gráfico 5. 24: Curva Custo-Suprimento/Conservação de Energia Elétrica	133
Gráfico 5. 25: Curva Custo-Suprimento/Conservação de Potência Elétrica	134
Gráfico 5. 26: Curva Custo-Suprimento/Conservação de Derivados de Petróleo	135
Gráfico 5. 27: Curva Custo-Suprimento/Conservação de Biomassa	136

Lista de Tabelas

Tabela 2. 1: Matriz do Setor Industrial - Eletricidade	19
Tabela 2. 2 Matriz do Setor Comercial - Eletricidade	19
Tabela 2. 3: Matriz do Setor Residencial - Eletricidade	19
Tabela 3. 1: Taxa de Natalidade e Mortalidade por 1000 habitantes na RAC, SP e BR	43
Tabela 3. 2: Estimativa da Porcentagem do Número de Domicílios por Faixa de Renda para a RAC - 1992.	48
Tabela 3. 3: PIB de São Paulo e Estimativa do PIB da RAC por Ramo Industrial em 1992	53
Tabela 3. 4: Potencial de Expansão da Produção de Energia Elétrica na RAC [US\$de 1992]	54
Tabela 3. 5: Potenciais Hidroelétricos da RAC [US\$de 1992].	55
Tabela 3. 6: Custo Total da Geração Termoelétrica [US\$ de 1991]	57
Tabela 3. 7: Custo Marginal de Expansão da Transmissão da Região Sudeste [US\$/kW dez/93]	58
Tabela 3. 8: Custo Marginal da Distribuição [US\$/kW dez/93]	58
Tabela 3. 9: Custos Marginais de Fornecimento e Expansão de Eletricidade para a RAC	59
Tabela 3. 10: Custo Médio do Petróleo Nacional Extraído [US\$/BOE]	60
Tabela 3. 11: Custos de Refino [US\$milhões], Barris de Petróleo por Dia [1000 BPD] e Custo por Barril [US\$/barril]	61
Tabela 3. 12: Número de consumidores residenciais por concessionária na RAC	67
Tabela 3. 13: Domicílios Atendidos por Energia Elétrica em cada Faixa de Renda na RAC em 1992	68
Tabela 3. 14: Participação no consumo diário de eletricidade e potência média no Brasil	68
Tabela 3. 15: Penetração de Tecnologias no setor residencial da RAC - 1992	71
Tabela 3. 16: Estimativa do Consumo por Faixa de Renda da RAC em 1992 [GWh e %]	72
Tabela 3. 17: Consumo Específico por Uso Final da RAC em 1992 [kWh/ano]	72
Tabela 3. 18: Estimativa do Fator de Coincidência de Pico na área urbana e rural da RAC - 1992 [%]	73
Tabela 3. 19: Número de Domicílios que se Utilizam de GLP	75
Tabela 3. 20: Penetração de tecnologias a gás na RAC - 1992	76
Tabela 3. 21: Estimativa do Consumo de GLP por Faixa de Renda da RAC em 1992 [TJ]	76
Tabela 3. 22: Estimativa do do Consumo de Eletricidade por Subsetor e por Área em 1992 para a RAC	78
Tabela 3. 23: Estimativa do Consumo Anual de Eletricidade [kWh/m ²] do Setor Comercial da RAC - 1992	78

Tabela 3. 24: Fator de Coincidência de Pico na RAC para o ano de 1992 [%]	79
Tabela 3. 25: Potência por Área no Setor Comercial da RAC para o Ano Base [W/m ²]	80
Tabela 3. 26: Área dos Estabelecimentos Comerciais da RAC no Ano Base	80
Tabela 3. 27: Estimativa do Consumo de Derivados de Petróleo por Estabelecimento do Setor Comercial em 1992 [TJ]	81
Tabela 3. 28: Estimativa da Penetração de Tecnologias a Derivados de Petróleo no Ano Base para a RAC	82
Tabela 3. 29: Estimativa do Consumo Anual de Derivados de Petróleo por Área e Uso Final na RAC [GJ/m ²]	82
Tabela 3. 30: Participação do Consumo de Energia por Ramo Industrial no Ano Base da RAC	84
Tabela 3. 31: Consumo de Energia Elétrica por Ramos Industriais de São Paulo e da RAC em 1992	87
Tabela 3. 32: Consumo de Eletricidade nos Ramos Industriais da RAC por Uso Final	87
Tabela 3. 33: Fator de Coincidência de Pico na RAC para o Ano Base	88
Tabela 3. 34: Estimativa do Tempo de Funcionamento das Indústrias na Ponta da RAC	88
Tabela 3. 35: Consumo de Biomassa por Ramos Industriais de São Paulo e da RAC em 1992	90
Tabela 3. 36: Consumo de Biomassa nos Ramos Industriais da RAC por Uso Final	91
Tabela 3. 37: Consumo de Derivados de Petróleo dos Ramos Industriais de São Paulo e da RAC em 1992	93
Tabela 3. 38: Consumo de Derivados de Petróleo nos Ramos Industriais da RAC por Uso Final	93
Tabela 4. 1: Taxa de crescimento anual do Número de Domicílios para o ano de Projeção Urbana e Rural (1992-2002)	95
Tabela 4. 2: Penetração de Tecnologias de Eletricidade no Ano de Projeção do Setor Residencial [%]	96
Tabela 4. 3: Penetração de Fogões a Derivados de Petróleo no Ano de Projeção do Setor Residencial [%]	97
Tabela 4. 4: Redução do Consumo e Custos de Conservar Eletricidade e Potência no Cenário Eficiente do Setor Residencial devido ao uso de tecnologias mais eficientes	100
Tabela 4. 5: Taxas de Crescimento da Área por Estabelecimento no Setor Comercial (1990-2000) [%]	102
Tabela 4. 6: Redução do Consumo e Potência, Custos de Conservar Energia Elétrica e Potência em Diversos Estabelecimentos do Setor Comercial da RAC por Uso Final	106
Tabela 4. 7: Taxa de Crescimento do PIB e Elasticidade Energia/PIB por Ramo Industrial (1992-2002)	109
Tabela 4. 8: Estimativa do Potencial de Conservação e Custos por Usos Finais à Eletricidade	111
Tabela 4. 9: Estimativa do Número de Aquecedores (Solar e a Gás) Substituídos no Cenário Eficiente do Setor Residencial da RAC por Faixa de Renda	114
Tabela 5. 1: Projeção da Energia Conservada por Setor e por Fonte na RAC em 2002	114
Tabela 5. 2: Custos Marginais do Fornecimento de Energia e da Capacidade Adicionada	131
Tabela 5. 3: Projeção do Consumo de Energia de Minas Gerais, São Paulo e RAC.	137
Tabela A2. 1: Posse de eletrodomésticos - faixa de renda (até 2 PNS)	154
Tabela A2. 2: Posse de eletrodomésticos - faixa de renda (2 a 5 PNS)	154
Tabela A2. 3: Posse de eletrodomésticos - faixa de renda (mais de 5 PNS)	155
Tabela A9. 1: Consumo de Energia Elétrica do Setor Residencial no Ano Base [MWh]	163
Tabela A9. 2: Consumo de Energia Elétrica do Setor Residencial no Cenário Tendencial [MWh]	163

Tabela A9. 3: Consumo de Energia Elétrica do Setor Residencial no Cenário Eficiente [MWh]	164
Tabela A9. 4: Energia Elétrica Conservada no Setor Residencial [MWh]	164
Tabela A9. 5: Potência Instalada no Setor Residencial no Ano Base [kW]	165
Tabela A9. 6: Potência Instalada no Setor Residencial no Cenário Tendencial [kW]	165
Tabela A9. 7: Potência Instalada no Setor Residencial no Cenário Eficiente [kW]	166
Tabela A9. 8: Potência Conservada no Setor Residencial [kW]	166
Tabela A9. 9: Custo do Consumo de Energia Elétrica do Setor Residencial no Cenário Tendencial [US\$ mil]	167
Tabela A9. 10: Custo do Consumo de Energia Elétrica do Setor Residencial no Cenário Eficiente [US\$ mil]	167
Tabela A9. 11: Custo de Conservar Energia Elétrica no Setor Residencial [US\$ mil]	168
Tabela A9. 12: Custo da Potência Instalada no Setor Residencial no Cenário Tendencial [US\$ mil]	168
Tabela A9. 13: Custo da Potência Instalada no Setor Residencial no Cenário Eficiente [US\$ mil]	169
Tabela A9. 14: Custo da Potência Conservada no Setor Residencial [US\$ mil]	169
Tabela A9. 15: Custo Marginal da Energia Elétrica do Setor Residencial no Cenário Eficiente [US\$/MWh]	170
Tabela A9. 16: Custo Marginal da Potência do Setor Residencial no Cenário Eficiente [US\$/kW]	170
Tabela A10. 1: Consumo de GLP do Setor Residencial no Ano Base [TJ]	171
Tabela A10. 2: Consumo de GLP do Setor Residencial no Cenário Tendencial [TJ]	171
Tabela A10. 3: Consumo de GLP do Setor Residencial no Cenário Eficiente [TJ]	171
Tabela A10. 4: Consumo de GLP Conservado [TJ]	171
Tabela A10. 5: Custo do Consumo de GLP do Setor Residencial no Cenário Tendencial [US\$ milhões]	171
Tabela A10. 6: Custo do Consumo de GLP do Setor Residencial no Cenário Eficiente [US\$ milhões]	172
Tabela A10. 7: Custo de Conservar GLP no Setor Residencial [US\$ milhões]	172
Tabela A10. 8: Custo Marginal de GLP do Setor Residencial no Cenário Eficiente [US\$/GJ]	172
Tabela A11. 1: Consumo de Energia Elétrica do Setor Comercial no Ano Base [MWh]	173
Tabela A11. 2: Consumo de Energia Elétrica do Setor Comercial no Cenário Tendencial [MWh]	173
Tabela A11. 3: Consumo de Energia Elétrica do Setor Comercial no Cenário Eficiente [MWh]	173
Tabela A11. 4: Energia Elétrica Conservada do Setor Comercial no Ano Base [MWh]	173
Tabela A11. 5: Potência Instalada do Setor Comercial no Ano Base [kW]	174
Tabela A11. 6: Potência Instalada do Setor Comercial no Cenário Tendencial [kW]	174
Tabela A11. 7: Potência Instalada do Setor Comercial no Cenário Eficiente [kW]	174
Tabela A11. 8: : Potência Conservada do Setor Comercial no Ano Base [kW]	174
Tabela A11. 9: Custo do Consumo de Energia Elétrica do Setor Comercial no Cenário Tendencial[US\$ mil]	175
Tabela A11. 10: Custo do Consumo de Energia Elétrica do Setor Comercial no Cenário Eficiente [US\$ mil]	175
Tabela A11. 11: Custo de Conservar Energia Elétrica do Setor Comercial [US\$ mil]	175
Tabela A11. 12: Custo da Potência do Setor Comercial no Cenário Tendencial[US\$ mil]	175
Tabela A11. 13: Custo da Potência do Setor Comercial no Cenário Eficiente [US\$ mil]	176
Tabela A11. 14: Custo de Conservar Potência no Setor Comercial [US\$ mil]	176
Tabela A11. 15: Custo Marginal da Energia Elétrica do Setor Comercial no Cenário Eficiente [US\$/MWh]	176
Tabela A11. 16: Custo Marginal da Potência do Setor Comercial no Cenário Eficiente [US\$/kW]	176

Tabela A12. 1: Consumo de Derivados de Petróleo do Setor Comercial no Ano Base [TJ]	177
Tabela A12. 2: Consumo de Derivados de Petróleo do Setor Comercial no Cenário Tendencial [TJ]	177
Tabela A12. 3: Consumo de Derivados de Petróleo do Setor Comercial no Cenário Eficiente [TJ]	177
Tabela A12. 4: : Consumo de Derivados de Petróleo Conservado do Setor Comercial [TJ]	177
Tabela A12. 5: Custo do Consumo de Derivados de Petróleo do Setor Comercial no Cenário Tendencial [US\$ milhões]	177
Tabela A12. 6: Custo do Consumo de Derivados de Petróleo do Setor Comercial no Cenário Eficiente [US\$ milhões]	177
Tabela A12. 7: Custo de Conservar Derivados de Petróleo do Setor Comercial [US\$ milhões]	178
Tabela A12. 8: : Custo Marginal do Consumo de Derivados de Petróleo do Setor Comercial no Cenário Eficiente [US\$/GJ]	178
Tabela A13. 1: Consumo de Energia Elétrica do Setor Industrial no Ano Base [MWh]	179
Tabela A13. 2: Consumo de Energia Elétrica do Setor Industrial no Cenário Tendencial [MWh]	179
Tabela A13. 3: Consumo de Energia Elétrica do Setor Industrial no Cenário Eficiente[MWh]	179
Tabela A13. 4: Energia Elétrica Conservada do Setor Industrial [MWh]	180
Tabela A13. 5: Potência Instalada do Setor Industrial no Ano Base [kW]	180
Tabela A13. 6: Potência Instalada do Setor Industrial no Cenário Tendencial [kW]	180
Tabela A13. 7: Potência Instalada do Setor Industrial no Cenário Eficiente [kW]	181
Tabela A13. 8: Potência Conservada do Setor Industrial [kW]	181
Tabela A13. 9: Custo do Consumo de Energia Elétrica do Setor Industrial no Cenário Tendencial [US\$ mil]	181
Tabela A13. 10: Custo do Consumo de Energia Elétrica do Setor Industrial no Cenário Eficiente [US\$ mil]	182
Tabela A13. 11: Custo de Conservar Energia Elétrica do Setor Industrial [US\$ mil]	182
Tabela A13. 12: Custo da Potência Instalada do Setor Industrial no Cenário Tendencial [US\$ mil]	182
Tabela A13. 13: Custo da Potência Instalada do Setor Industrial no Cenário Eficiente [US\$ mil]	183
Tabela A13. 14: Custo de Conservar Potência do Setor Industrial [US\$ mil]	183
Tabela A13. 15: Custo Marginal da Energia Elétrica do Setor Industrial no Cenário Eficiente [US\$/MWh]	183
Tabela A13. 16: Custo Marginal da Potência do Setor Industrial no Cenário Eficiente [US\$/kW]	184
Tabela A14. 1: Consumo de Derivados de Petróleo do Setor Industrial no Ano Base [TJ]	185
Tabela A14. 2: Consumo de Derivados de Petróleo do Setor Industrial no Cenário Tendencial [TJ]	185
Tabela A14. 3: Consumo de Derivados de Petróleo do Setor Industrial no Cenário Eficiente [TJ]	185
Tabela A14. 4: Derivados de Petróleo Conservados do Setor Industrial [TJ]	185
Tabela A14. 5: Custo do Consumo de Derivados de Petróleo do Setor Industrial no Cenário Tendencial [US\$ milhões]	186
Tabela A14. 6: Custo do Consumo de Derivados de Petróleo do Setor Industrial no Cenário Eficiente [US\$ milhões]	186
Tabela A14. 7: Custo de Derivados de Petróleo Conservados do Setor Industrial Base [US\$ milhões]	186
Tabela A14. 8: Custo Marginal do Consumo de Derivados de Petróleo do Setor Industrial no Cenário Eficiente [US\$ milhões]	186

Tabela A15. 1: : Consumo de Biomassa do Setor Industrial no Ano Base [TJ]	187
Tabela A15. 2: Consumo de Biomassa do Setor Industrial no Cenário Tendencial [TJ]	187
Tabela A15. 3: Consumo de Biomassa do Setor Industrial no Cenário Eficiente [TJ]	187
Tabela A15. 4: Biomassa Conservados do Setor Industrial [TJ]	187
Tabela A15. 5: Custo do Consumo de Biomassa do Setor Industrial no Cenário Tendencial [US\$ milhões]	188
Tabela A15. 6: Custo do Consumo de Biomassa do Setor Industrial no Cenário Eficiente [US\$ milhões]	188
Tabela A15. 7: Custo de Biomassa Conservados do Setor Industrial Base [US\$ milhões]	188
Tabela A15. 8 Custo Marginal do Consumo de Biomassa do Setor Industrial no Cenário Eficiente [US\$ milhões]	188

Apresentação

Esse estudo está inserido no projeto de pesquisa *Balanço Energético, Conservação e Perspectivas de Consumo de Energia na Região de Campinas*, financiado pela CNPq e também no projeto temático de pesquisas *Desenvolvimento e Qualidade Ambiental nas Bacias do Rio Piracicaba e Capivari*, financiado pela FAPESP e FINEP/PADCT São Paulo.

A contribuição deste trabalho para os referidos projetos consiste na elaboração de uma metodologia para realizar o Planejamento Integrado de Recursos (PIR)¹ através do desenvolvimento de um simulador computacional² para a projeção da demanda de energia.

O objetivo do modelo desenvolvido é a projeção do consumo de energia e dos custos envolvidos na produção, conservação e substituição de energia em três setores da economia (residencial, comercial e industrial) desagregados em seus principais subsetores e usos finais.

No capítulo 1 é descrito, de maneira geral, os principais métodos de análise da energia classificados em três grupos: o primeiro, que estuda com maior ênfase as possibilidades de suprimento de energia, isto é, da oferta; o segundo, que analisa o lado da demanda de energia e, finalmente, é apresentado o Planejamento Integrado de Recursos.

No segundo capítulo são apresentadas a metodologia utilizada no trabalho e as equações necessárias para a confecção do modelo computacional.

Nos capítulos 3, 4 e 5 é feita uma aplicação prática da metodologia na Região Administrativa de Campinas (RAC). No terceiro capítulo são apresentadas as características sócio-econômicas, com ênfase nas energéticas, comparando-as com as condições do Estado de São Paulo e do país. O intuito desse capítulo não é tanto de obter precisão nos dados, mas

¹ ver seção 1.3.

²Anexo 1.

mostrar como trabalhar os dados em uma fase anterior à utilização do simulador desenvolvido. No quarto capítulo são descritos os cenários sócio-econômicos da região e os dois cenários energéticos propostos: i) o tendencial, que não admite as melhorias de tecnologias dos usos finais e a substituição de energia e, ii) o eficiente, que insere nas projeções essas perspectivas.

O capítulo 5 traz os resultados das projeções de energia verificando a competitividade, em termos de custos, de programas de conservação e substituição. Por fim, no último capítulo são enumeradas as conclusões do estudo e sugestões para trabalhos futuros.

No Anexo 1 temos um pequeno manual de utilização do simulador e o 2, as tabelas de posse de equipamentos obtidos no estudo do Procel (1989). O terceiro Anexo apresenta as etapas de estudo de aproveitamento hidrelétrico. No Anexo 4 são apresentados os cálculos dos custos médios de fornecimento de energia e de atendimento à potência no estudo em questão. O Anexo 5 traz a participação dos usos finais no consumo de energia elétrica do setor residencial da RAC e o 6 a metodologia de cálculo da penetração de tecnológicos no setor residencial. No Anexo 7 é mostrada como se realizou o cálculo da potência de um uso final no setor industrial e, no último Anexo tem-se os resultados obtidos na projeção da demanda de energia por uso final e os custos dos cenários tendencial e eficiente.

Capítulo 1

Planejamento Integrado de Recursos

A necessidade de atender à demanda futura de energia fez com que diversos modelos de projeção de consumo de energia fossem propostos, procurando avaliar os fatores que influenciam a demanda e de que forma se relacionam. Neste capítulo procuramos mostrar que, independente da técnica utilizada na projeção de energia (extrapolação³, macroeconômica⁴, cenarização⁵), o planejamento energético deve procurar desenvolver ações tanto do lado da oferta como da demanda de energia.

1.1 Análise da Oferta

O planejamento da oferta de energia investiga quais as ações devem ser tomadas para suprir as necessidades energéticas do mercado. Nesta seção são descritas algumas medidas

³Extrapolação: técnica que projeta uma tendência histórica para o futuro, não admitindo, por exemplo, mudanças nos hábitos de uso dos consumidores, como também conservação e substituição de energia e caracterizando-se pela simplicidade e facilidade de manuseio e cálculo (Chateau, 1982).

⁴Macroeconômicas: procuram relacionar o consumo de energia e os indicadores econômicos, necessitando de dados modestos e, em geral, disponíveis. Têm como base, fundamentos estatísticos e são agregados por classe de consumidor (Hirst, 1992). Também reproduzem apenas o futuro de acordo com as características passadas (Chateau, 1982).

⁵Cenarização: de forma agregada ou detalhada em seus usos finais, essa técnica procura mostrar uma gama de situações possíveis de serem atingidas no ano de projeção, ao invés de prever um determinado futuro (Chateau, 1982).

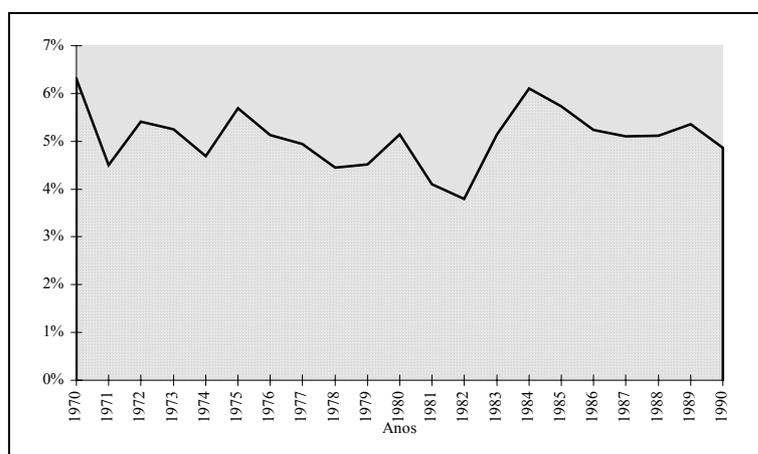
realizadas no lado da oferta para atender à demanda (como o aumento da eficiência, a expansão da produção, a substituição entre as diversas fontes energéticas e o aumento da relação entre a importação e a exportação) .

1.1.1 Aumento da Eficiência

A melhoria de produtividade pode ser atingida através da redução das perdas de transformação, distribuição, armazenagem e, no caso da eletricidade, também na transmissão, já que quanto maior as perdas, maior a necessidade de ofertar energia para atender a uma determinada demanda.

As perdas de transformações de energia no Brasil têm oscilado entre 4 e 6 %, no período entre 1970 e 1990 (Gráfico 1.1), alteradas através da melhoria de eficiência dos equipamentos e de processos diversos. Para o refino de petróleo no Brasil as perdas foram em torno de 10 % em 1994 (MME, 1995).

Gráfico 1. A: Perdas na Transformação de Energia no Brasil



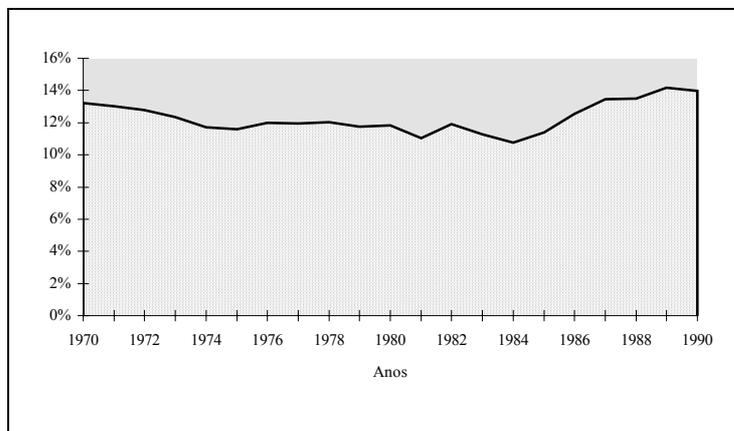
fonte: MME, 1995

nota: As perdas de transformações são definidas como $\frac{A}{B} \times 100$, onde A é a energia secundária e B, a energia primária.

Além das perdas na transformação, existem perdas na distribuição de energia, sendo que a média do país, em 1994, foi de 14% (gráfico 1.2). No sistema elétrico brasileiro, as perdas

giram por volta de 15,5 %⁶, sendo que a distribuição⁷ é responsável por quase 70% das perdas totais do sistema e o demais é perdido na transmissão e subtransmissão (Eletrobrás, 1995).

Gráfico 1. B: Perdas na Distribuição e Armazenagem de Energia no Brasil



fonte: MME, 1995

Por exemplo para a energia elétrica a redução das perdas do sistema de transmissão e distribuição pode ser obtida através da troca de componentes (uso de transformadores e condutores mais eficientes), o estudo das condições de operação (níveis de voltagem), a reconfiguração do sistema (distância entre as cargas, as subestações e os consumidores) e também, a descentralização do sistema de fornecimento (autoprodutores) (La Rovere et alli, 1985, cap.II).

1.1.2 Aumento da capacidade de produção

Além da redução de perdas, outra alternativa plausível para aumentar a oferta de energia é a expansão da produção de energia através do aumento da produção das instalações já existentes (caso não estejam operando com sua capacidade total) ou a expansão do parque energético (com a ampliação dos sistemas existentes ou construção de novos centros).

A expansão do setor energético foi muito utilizada no passado para aumentar o faturamento, enquanto as condições para a construção de obras eram economicamente favoráveis (até a década de 70) e o consumo era limitado pela oferta (Yergin, D., 1993).

⁶Essas perdas variam em função das características de transmissão: em altas tensões, baixas correntes e corrente contínua, são menores (La Rovere et alli, 1985, pp. 109).

⁷ Perdas de distribuição são aquelas ocorridas entre a concessionária e a grande maioria dos consumidores.

O mercado apresentava-se carente de serviços de energia⁸ e as possibilidades de aumentar a oferta fizeram com que o setor energético se expandisse, proporcionando também o desenvolvimento econômico de muitos países. O consumo de energia era considerado um fator de prosperidade do país e acreditava-se que para movimentar a economia era necessário maior quantidade de energia e, quanto mais energia se produzia, maior seria o desenvolvimento econômico.

É possível citar o petróleo como uma ilustração desse fato: devido à sua aparente abundância, aos baixos preços e às múltiplas e emergentes funções, houve uma proliferação rápida do seu uso, até a década de 70⁹, tornando o mundo dependente desta fonte. O petróleo, segundo Yergin (1990) havia se tornado "... o sangue vital das economias industriais do mundo..." e era desperdiçado desde o processo de extração até o consumo final sem que houvesse a preocupação de conservar, conceito que foi estendido às demais fontes energéticas.

Com o correr dos anos, as crises do petróleo foram os estímulos necessários para que surgissem estudos procurando reduzir o consumo de energia através da conservação e de substitutos para o petróleo, sem reduzir o grau de utilidade e conforto, isto é, sem alterar os serviços de energia.

No caso brasileiro e, voltando a discussão para o setor elétrico, as projeções realizadas até a década de 70 ocasionaram a expansão do parque gerador. No entanto, com a crise dos anos 80 houve um aumento no consumo de energia elétrica inferior ao previsto, resultando em obras ociosas. Como solução, o governo adotou uma medida em 1982 para ofertar a energia excedente (garantida¹⁰) a tarifas baixas ao setor industrial¹¹ (Rosa, 1984, cap.2). Nota-se atualmente que os grandes potenciais que oferecem melhores margens de lucro e que estão mais próximos dos principais centros consumidores já foram praticamente todos utilizados no país, tornando os custos de expansão cada vez mais elevados.

⁸ Serviços de energia são os objetivos finais requisitados pelos consumidores (aquecimento, refrigeração, iluminação, etc.).

⁹ Após a Segunda Guerra Mundial, tanto os países vencidos quanto os vencedores basearam a retomada do crescimento econômico no petróleo. O aumento da demanda dessa fonte se deu até a primeira crise mundial do petróleo quando os países dependentes deste energético se viram obrigados a reduzir o consumo devido aos altos preços desse insumo (Yergin, 1990).

¹⁰ Energia Garantida por Tempo Determinado (EGTD) é calculada em função do dimensionamento da vazão mínima de uma série histórica em períodos críticos dos últimos 40 anos (Eletrobrás, 1990).

¹¹ Para a eletrotermia (substituição de óleo combustível pela eletricidade) e nas indústrias eletrointensivas (alumínio, soda-cloro) (Mammanna, 1994).

1.1.3 Relação Importação/Exportação

O aumento da importação e a redução da exportação são outros fatores que contribuem para o suprimento da demanda de energia do ponto de vista da oferta.

Alguns estudos realizados do lado da oferta de energia no Brasil, tanto no setor elétrico (plano 2015 da Eletrobrás) como no setor do petróleo (Petrobrás, 1993) indicam, no entanto, que os custos de importação são superiores ao da expansão local (dentro do país). Com a decisão de reduzir as importações de petróleo após as crises energéticas devido aos elevados gastos de divisas do país¹² foi necessário que a oferta de energia aumentasse através de outras medidas: o aumento da exploração do petróleo no país e a substituição de derivados de petróleo (Magalhães et alli., 1991).

1.1.4 Substituição de Energia

A substituição de fontes energéticas é mais uma forma de atendimento da demanda, inclusive diversificando o suprimento de energia e portanto, garantindo maior confiabilidade.

Uma demonstração do uso dessa alternativa no Brasil foi a substituição dos derivados de petróleo por outras fontes, uma vez que as previsões da época eram de aumento do consumo e as crises energéticas elevaram os preços do petróleo (Oliveira, 1989). Dentre os diversos projetos existentes podemos citar: proóleo, para substituição do óleo Diesel por vegetais, o procarvão e o proálcool substituindo a gasolina pelo álcool, sendo que apenas este se firmou devido à pré-existência de tecnologia de produção de álcool carburante, ao extenso setor açucareiro e aos baixos preços do açúcar mundial (Magalhães et alli., 1991). Só em 1985, os resultados do programa nacional de álcool (Proálcool) implicaram na redução da carga de importação de petróleo em 1,7 bilhões de dólares (Leite, 1990).

Outro exemplo de substituição de fontes energéticas do ponto de vista da oferta de energia é a perspectiva de entrada do gás natural (via importação através da Bolívia, ou num melhor aproveitamento da exploração deste energético na Bacia de Campos) na matriz energética nacional (Petrobrás, 1993).

¹² Em 1985, 80% das necessidades de petróleo do país eram importados (Leite, 1990).

1.1.5 Exemplos de Alguns Modelos Utilizados para a Análise da Oferta

Como exemplo dos modelos de oferta utilizados no planejamento energético do Brasil, citaremos o OTIGLOBAL, o MOFE e o MODEN.

O OTIGLOBAL (Carvalho et alli, 1989), onde são estudadas a evolução e as condições da disponibilidade dos recursos, com o objetivo de otimizar o mix entre as diversas fontes existentes, tal que haja equilíbrio entre a oferta e procura, levando em consideração as tecnologias de conversão, os dados da demanda e as metas do setor energético para o futuro. Conclui-se quais e quando as usinas (no caso do setor elétrico) devem ser construídas, a capacidade de cada uma delas e o momento em que devem entrar em operação. Os custos analisados no modelo são os do investimento e os operacionais (manutenção e dos combustíveis a serem utilizados). O modelo estabelece algumas condições de contorno, dentre as quais pode-se citar o atendimento à demanda e à curva de duração da carga, a operação em condições mínimas, fatores de capacidade entre o mínimo e o máximo de cada usina. Algumas restrições também são estabelecidas, como procurar manter um mínimo de nacionalização dos investimentos de capital, cotas máximas de combustíveis provindos do exterior, seja de um país ou de uma determinada região. A dificuldade deste tipo de análise, como os próprios autores sugerem, é a de considerar as localizações da produção e o consumo de forma pontual.

O MOFE - Modelo de Oferta Energética (Groszewicz et alli, 1989) procura obter a melhor alternativa de suprimento e expansão determinando onde, quando e quanto de energia deve ser ofertada, o tipo de fonte energética e as possibilidades de importação e exportação.

O modelo desenvolvido conjuntamente pela Eletrobrás e Petrobrás para o Ministério das Minas e Energia (MODEN - Modelo de Oferta de Energia) procura minimizar o custo total do sistema energético a longo prazo, os investimentos a serem realizados para ampliação da capacidade instalada, os custos operacionais e os custos marginais de produção, verificando a disponibilidade de reservas e potenciais de energia primária, a quantidade produzida de energia, capacidade de produção, transformação, transporte, importação e exportação (Miguez et alli, 1989).

1.2 Análise da Demanda

A análise da demanda de energia estuda o consumo final procurando verificar o

comportamento dos consumidores de maneira detalhada. Como já citado, após a segunda crise do petróleo (1979), a utilização de energia foi limitada pelos altos preços, fazendo com que as projeções anteriormente realizadas estivessem superestimadas e novos métodos fossem desenvolvidos com o objetivo de compreender melhor os fatores determinantes da demanda de energia.

O uso desses modelos tem sido difundido pelo setor energético, especialmente com o crescimento dos custos de fornecimento de energia e das filosofias de conservação e de preservação do meio ambiente.

Conforme já visto, a crise energética proporcionou o surgimento de estudos que, embora restringissem a oferta de energia, mantivessem ou até mesmo reduzissem as intensidades energéticas.

Nas seções seguintes veremos que para aumentar os serviços de energia através de ações do lado da demanda pode-se alterar os hábitos e a estrutura de consumo, utilizar de tecnologias mais eficientes e substituir energia.

1.2.1 Mudança dos Hábitos de Consumo

Alguns hábitos de consumo registrados mostram o desperdício de energia, como o simples apagar de luzes, desligamento de ar condicionado, fechamento de geladeiras, etc. (PROCEL, 1989). Através da alteração desses hábitos, é possível que se poupe energia e maiores serviços de energia sejam supridos sem alterar a oferta.

Além disso, a utilização de energia elétrica durante o período de ponta, cuja demanda implica no dimensionamento do parque gerador, pode significar a construção de usinas, que serão durante a maior parte do tempo subutilizadas (Eletrobrás, 1994a). Apesar da redução do pico através da administração da carga essa medida não contribui propriamente para a redução do consumo, que apenas tem seu horário deslocado. Algumas companhias nos EUA utilizaram desse recurso (Niagara Mohawk, 1991; Detroit Edison, 1992; LCRA, 1992), mas LCRA (1992) admite que apesar da economia gerada com a redução do horário de pico, as metas da empresa de redução do consumo não são atingidas a longo prazo.

1.2.2 Uso de Tecnologias mais Eficientes

Atualmente, o aumento da competitividade entre empresas tem resultado em medidas de conservação de energia. A conservação pode retardar as necessidades de expansão do setor energético e ceder tempo para o desenvolvimento de novas tecnologias de geração que tenham maior eficiência e menores custos de investimento e manutenção. Contudo, algumas barreiras para sua implementação devem ser ultrapassados como os obstáculos de ordem institucional, já que muitas empresas do setor energético priorizam o consumo e, de ordem cultural, devido às baixas tarifas de energia (Lins et alli, 1990). É, no entanto, importante lembrar que, ainda que reduza o faturamento das empresas energéticas, a redução de custos é essencial para a sobrevivência do setor em épocas de escassez de capital.

1.2.3 Mudanças na Estrutura de Consumo

É possível reduzir (ou aumentar) o consumo de energia de um país ou região com a alteração de sua estrutura econômica. Por exemplo, uma industrialização em direção a setores mais energo-intensivos irá aumentar o consumo de energia sem, muitas vezes, resultar no mesmo crescimento econômico. Por outro lado, nos Estados Unidos, regulamentações e investimentos em pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias tornaram o consumo de energia de 1986 igual ao de 1973, enquanto o PIB cresceu 36% e, na Alemanha Ocidental, entre 1973 e 1988 enquanto o PIB cresceu 33%, o consumo de energia aumentou em 3% (Rosa, 1990).

1.2.4 Substituição de Energéticos

Uma alternativa de planejamento da demanda é a escolha entre as diversas fontes energéticas disponíveis no mercado para atender aos serviços requisitados de energia. Por exemplo ainda existem residências no Brasil onde a cocção é realizada através do consumo de lenha. No entanto, a eficiência desse insumo energético é inferior ao do GLP, o que indica que a substituição de uma fonte por outra, macroeconomicamente, significa em menor consumo de energia e, portanto, menor necessidade de oferta.

1.2.5 Exemplos de Análise da Demanda

Gangi et alli (1989) apresentam uma metodologia de previsão da demanda de energia elétrica para a irrigação através da desagregação dos setores segundo as classes de consumo mais significativas. Posteriormente, propõe a composição de alguns cenários futuros nos setores residencial e, especificamente no agrícola, a irrigação, visando a modulação de carga.

A metodologia de previsão da demanda de Barreiro et alli (1989) é utilizada em diversas classes consumidoras de eletricidade (industrial, residencial, comercial e outros) também segundo estudos das curvas de carga, verificando especialmente o planejamento de transmissão, distribuição e dos custos de fornecimento de energia.

Almeida et alli (1989) realizaram um cenário básico¹³ para a projeção do consumo final de energia, através do estudo das características existentes na demanda dos setores residencial, de serviços, de transporte, agropecuário e industrial.

1.3 Planejamento Integrado de Recursos Energéticos

O Planejamento Integrado de Recursos (PIR) procura avaliar sequencial ou simultaneamente¹⁴ as ações a serem adotadas tanto do lado da oferta como da demanda de energia, buscando otimizar os custos econômicos e sociais (Cavanagh, 1986; Hirst, 1988, NARUC, 1988; Hill et al., 1992). Essa atividade, nos EUA, envolve planejadores, executivos, comissões de utilidade pública e consumidores. O objetivo desse tipo de planejamento é o de procurar atender aos serviços, de forma confiável e a preços baixos, mantendo a estabilidade financeira do setor energético, o retorno do investimento aceitável e competitivo aos acionistas e a preocupação com o meio ambiente (Hirst et alli, 1990).

Análises que têm como característica principal o planejamento da expansão, fornecem o menor custo de atendimento a uma dada demanda futura, enquanto nas análises de demanda, são verificadas apenas os menores investimentos do lado da demanda. A integração desses modelos é necessária para a realização do PIR, onde se procura otimizar alguma(s) meta(s) considerando medidas de oferta e demanda.

¹³Cenário básico: baixo crescimento econômico e manutenção da estrutura energética do ano base para o ano de projeção.

¹⁴Alguns estudos optam por avaliar a demanda e a oferta de energia sequencialmente (WEPCO, 1989; Duke Power, 1989) enquanto outros os analisam simultaneamente (NEES, 1990). Hirst (1992) recomenda o estudo simultâneo onde o potencial de conservação obtido é superior aos estudos sequenciais uma vez que nos estudos sequenciais algumas das opções são descartadas antes de serem comparadas.

1.3.1 Impactos Ambientais no PIR

Como já mencionado, o PIR colabora para uma análise ótima quanto aos objetivos requeridos entre a oferta e a demanda de energia. Uma questão que tem crescido em níveis mundiais é a ecológica e, de uma maneira geral, a redução do consumo de energia diminui os impactos ambientais associados à produção e ao uso de energia¹⁵.

Os impactos causados ao meio ambiente, sob o ponto de vista dos estudos de oferta de energia, são dados pelo tipo de planta energética a ser levantada, o aumento de produtividade do setor energético e a melhor localização entre o centro consumidor e o distribuidor de energia. Alguns estudos enumeram os impactos causados na oferta de energia, como Mammana (1994) em relação à construção e ao funcionamento de hidro e termoelétricas. No Plano 2015 da Eletrobrás (1993c), constam os relatórios de impactos ambientais relativos às hidrelétricas, termoelétricas, cogeração, etc., a melhoria do processo de transformação, da distribuição da energia, ainda que subdimensionados, segundo Walter (1995).

As reduções dos impactos ambientais do lado da demanda de energia podem ser efetivadas através do melhor uso de energia, isto é, hábitos de consumo sem desperdício, uso de tecnologias mais eficientes e escolha da fonte energética consumida, já que qualquer uma dessas medidas contribui para a redução do consumo e, conseqüentemente de impactos ambientais.

Ainda que o PIR avalie os impactos ambientais da oferta e demanda de energia, muito ainda existe a se elaborar quanto à contabilidade desses efeitos. Algumas propostas têm sido utilizadas atualmente, como por exemplo, o imposto sobre a poluição, as cotas de emissões de poluentes, a conversão da dívida em investimentos na natureza e a contabilização dos recursos naturais (Souza, 1993). Alguns estudos, por exemplo, têm avaliado a disposição da sociedade a pagar e a aceitar um patamar de poluição (Hirst et alli, 1991), no entanto, a dificuldade de se quantificar os impactos ambientais tem retardado a sua inserção nos planejamentos energéticos¹⁶.

1.3.2 Exemplos do PIR

¹⁵ Alguns energéticos (todos os combustíveis), quando queimados, emitem poluentes (partículas e gases). O CO₂, CO, SO_x e NO_x contribuem para o chamado efeito estufa e acidificação de chuvas.

¹⁶É interessante observar que quando inseridos os custos ambientais ou qualquer outro critério que inclua as questões ambientais, os programas do lado da demanda são mais competitivos (Hill et alli, 1992).

Vários estudos internacionais utilizaram-se do PIR para o planejamento integrado de recursos energéticos, como nos Estados Unidos, Índia, Paquistão, Taiwan e também no Brasil, mostrando a competitividade de medidas de conservação de energia.

A Pacific Gas & Electric nos EUA analisou os programas de demanda e os custos de expansão do sistema de distribuição, verificando que a implementação agressiva de eficiência energética no setor residencial e comercial evita a necessidade da construção de subestações e a recondução de uma linha de transmissão, o que implica em cortes de investimentos da ordem de 30%, isto é, de \$112 milhões para \$76 milhões (Orans et alli, 1992).

No estudo realizado para Karnataka, Índia, (Reddy et alli, 1988), projetou-se o consumo de energia para o ano 2000, verificando que medidas como o uso de motores e bombas mais eficientes nas indústrias são as opções de menores custos, inclusive inferiores ao preço médio da eletricidade, representando o consumo de aproximadamente 5 GWh/ano (Asian Development Bank, 199?). O mesmo estudo demonstra que a partir deste valor até 6 GWh, a construção de uma usina PCH é a alternativa de menor custo.

No Paquistão, para o ano 2000, Miller et alli (1992) consideram um cenário de redução da demanda através de equipamentos de uso final mais eficientes, estabelecendo um potencial de conservação no setor industrial de 6.830 GWh e de capacidade instalada, de 1.400 MW¹⁷. Para tanto, tomariam-se medidas na iluminação, motores, controladores de velocidade e aumento do fator de carga. No setor comercial, o potencial é de 12.800 GWh e de capacidade instalada, de 1.800 MW apenas alterando a estrutura da iluminação, luminárias, ventiladores e ar condicionado. Este objetivo seria alcançado através de políticas específicas e programas governamentais que incentivem o uso de equipamentos mais caros.

Em Taiwan o fator relevante para a construção dos cenários foram os impactos ambientais causados pelas eventuais políticas energéticas (Vries, 1990). Em um primeiro cenário, admite-se que a situação existente entre 1952 e 1985 fosse mantida, refletindo uma tendência de aumento no consumo de energia e de poluentes emitidos. Em um segundo cenário, pressupõe-se um cenário de tecnologias, energias e serviços eficientes. Esse cenário realizar-se-ia através de aumentos dos preços do petróleo, políticas tecnológicas e administrativas adequadas assim como esforço advindo da população. Apesar dos custos

¹⁷O intervalo gira em função do fator de capacidade utilizado.

serem altos no curto prazo, as técnicas já existem e, a longo prazo, é benéfico ao meio ambiente.

A substituição de lâmpadas incandescentes no setor residencial de São Paulo indica que mesmo quando a empresa distribuidora de eletricidade cede as lâmpadas mais eficientes ao consumidor, seu investimento evitado é de *US\$ 0,10/kWh* (Jannuzzi, 1993).

Os resultados do planejamento integrado de recursos proposto pela CEMIG (1994) apontam crescimento do consumo de energia no setor residencial urbano de 38% a 54% em função das expectativas de crescimento do PIB, respectivamente assumidos em 5% a.a. (cenário baixo) e 6,5% a.a. (cenário alto) e nas áreas rurais uma queda de 63% no consumo. Para o setor de serviços e industrial, a expectativa de crescimento do consumo é respectivamente de 182% e 77% no cenário baixo e de 314% e 133% no alto. No cenário eficiente, a conservação através do uso racional de energia e da co-geração, o reflorestamento para produção de lenha, a substituição do carvão vegetal para coque metalúrgico proporcionaram reduções no consumo de energia de 16%. Já no setor residencial urbano, as propostas foram a redução de 40W por domicílio através da troca de lâmpadas incandescentes por fluorescentes, 20% de redução do consumo em geladeiras de uma porta, 25% nas de duas e substituição de 65% dos chuveiros em residências cujo consumo superam 300 kWh/mês e a medida de conservação no setor residencial rural é basicamente o uso de fogões a lenha 100% mais eficientes e as mesmas perspectivas da iluminação consideradas nas áreas urbanas. No setor de serviços contempla-se no cenário a troca de lâmpadas incandescentes pelas fluorescentes como também o bloqueamento da radiação solar com o objetivo de reduzir a demanda de condicionamento ambiental, a substituição de lenha por GLP para a cocção e ainda, o uso de controladores de velocidade variável para motores. Por último, no setor industrial, utiliza-se motores mais eficientes e controladores de velocidade, o que permite a redução de 22% do consumo de energia nas indústrias de alimentos e bebidas. Assume-se ainda que as usinas de açúcar sejam auto-suficientes e a substituição de óleo combustível por gás natural. O trabalho utiliza as propostas do planejamento integrado de recursos uma vez que assume medidas do lado da oferta e da demanda de energia, no entanto, apesar de levar em consideração possibilidades de conservar energia elétrica, não chega a definir o impacto no percentual de redução devido a cada medida, bem como os seus custos de conservação. É interessante, contudo, a gama de opções de oferta existentes, com as diversas fontes de energia e, em especial, às expectativas do uso de cogeração e de programas de suprimento da demanda.

A utilização do PIR tem demonstrado que os custos de conservar energia têm sido competitivos aos do fornecimento, como se pode constatar na tabela 1.1. Segundo Geller (1991), para o Brasil, os custos de atender à demanda de eletricidade dos refrigeradores para o setor elétrico é de *US\$ 0,100/kWh* enquanto os custos de conservar são da ordem de *US\$ 0,029/kWh*. Outras medidas como a melhoria de eficiência de serviços de iluminação, aquecimento de água, força motriz e iluminação no setor residencial e industrial implicam em custos marginais de conservação de 3% a 70% menores que os custos de fornecimento. No estudo realizado em Jannuzzi et alli. (1993) para o Estado de São Paulo também se observa que os investimentos relativos à melhoria de eficiência são inferiores à expansão do sistema, sendo de 33% no setor residencial, 10% no comercial e 11% no industrial.

Tabela 1. A: Custos de Conservar e Fornecer Energia

	Fornecimento [US\$/kWh]	Conservar [US\$/kWh]
Refrigeradores	0,100	0,029
Iluminação no Setor Residencial ⁽¹⁾	0,100	0,031
Aquecimento de Água	0,100	0,013 ⁽²⁾ ; 0,031 ⁽³⁾
Motores	0,047 ⁽⁴⁾ a 0,064 ⁽⁵⁾	0,014
Iluminação no Setor Industrial	0,047 ⁽⁴⁾ a 0,064 ⁽⁵⁾	0,024 ⁽⁶⁾
Setor Residencial	0,15	0,10
Setor Comercial	0,10	0,09
Setor Industrial	0,09	0,08

fonte: Geller, 1991; Jannuzzi et alli., 1993.

⁽¹⁾ *substituição de lâmpadas incandescentes por fluorescentes*

⁽²⁾ *bomba de calor*

⁽³⁾ *controle de potência*

⁽⁴⁾ *baixa tensão*

⁽⁵⁾ *alta tensão*

⁽⁶⁾ *reposição de reatores e lâmpadas a vapor de mercúrio por lâmpadas de sódio a alta pressão e instalação de sistemas fluorescentes reflexivos em algumas instalações*

Em geral, a literatura demonstra a realização do planejamento integrado de recursos energéticos em companhias de energia elétrica. Algumas tentativas têm sido feitas em companhias de gás, através da regulamentação, ocasionando na redução dos investimentos em tubulação e benefícios ambientais (Hirst et alli, 1991).

Mais uma vez é importante afirmar que o PIR procura avaliar conjuntamente as ações do lado da oferta e da demanda de energia. É, contudo, interessante observar que, em geral, esse tipo de avaliação é realizado sob o ponto de vista do próprio setor energético, o que não significa que não tenha, em alguns estudos, sendo utilizado para averiguar as necessidades do consumidor e da sociedade, como visto em Madureira (1995).

Capítulo 2

Modelo Utilizado

Através do capítulo anterior pôde-se notar que para a realização de um planejamento visando otimizar algum (vários) objetivo(s) são necessários estudos do lado da oferta e da demanda de energia. Vamos nos limitar a analisar os custos de oferta e de conservar energia, considerando que as propostas de redução do consumo contribuam para os menores impactos ambientais¹⁸.

Neste trabalho, consideramos do lado da oferta as possibilidades de expansão do setor energético e a melhoria de produtividade (aumento da eficiência e redução das perdas em transmissão e distribuição) e do lado da demanda, as possibilidades de conservação de energia (hábitos de uso e eficiência dos equipamentos) e substituição entre as fontes energéticas.

Neste capítulo é descrita uma metodologia de estudo para o planejamento integrado de recursos energéticos e as equações de projeção da demanda e dos custos de fornecimento e conservação de energia utilizadas para o desenvolvimento do modelo computacional¹⁹.

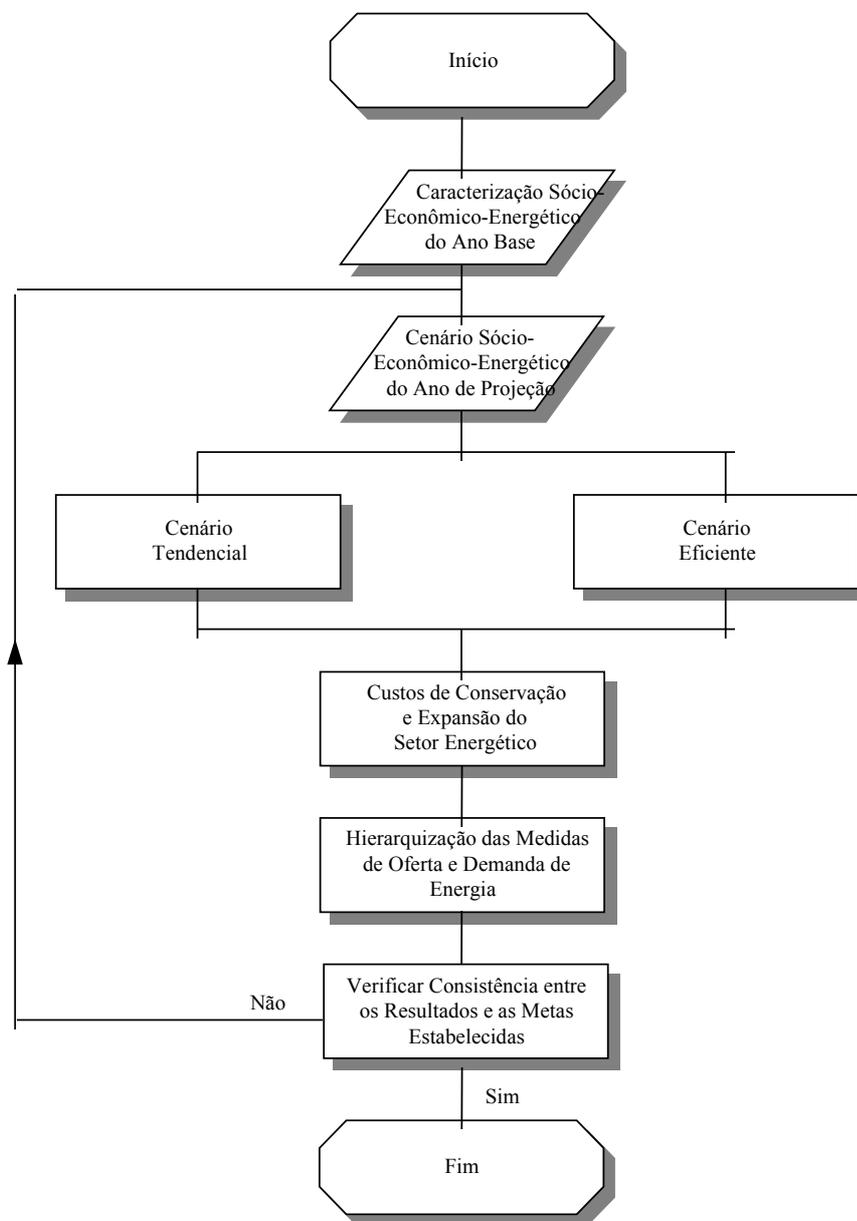
2.1. Metodologia de projeção

O presente estudo segue as etapas utilizadas no trabalho DEFENDUS (Reddy et alli, 1991) e também, Hirst (1992), de acordo com as etapas observadas na figura 2.1.

¹⁸ Ver seção 1.3.2.

¹⁹ Anexo 1.

Figura 2. 1 Fluxograma Básico do Planejamento Integrado de Recursos



Conforme se observa no fluxograma, o primeiro passo consiste na caracterização sócio-econômica-energética do local em estudo para o ano base. A seguir é elaborado um cenário sócio-econômico para o ano de projeção e dois cenários energéticos: um tendencial (CT), que não admite melhorias nas tecnologias de usos finais e a substituição entre as diversas fontes energéticas e o eficiente (CE), que considera essas medidas. A próxima etapa consiste no cálculo dos custos dos cenários. Por fim, as medidas de conservar e ofertar energia são hierarquizadas e dispostas na curva custo-suprimento-conservação de energia²⁰ e

²⁰ Ver seção 2.1.4.

verificada a consistência desses resultados com os cenários elaborados inicialmente. Caso os resultados sejam distintos das considerações elaboradas, os cenários são reestudados e novas projeções são realizadas.

2.1.1. Cenário Sócio-Econômico do Ano Base

O primeiro passo no PIR consiste no estudo das características sócio-econômicas, incluindo as energéticas, do ano base²¹. Neste trabalho, procura-se, com maior detalhe, desagregar os três setores específicos da economia em seus principais subsetores²² e usos finais (tabela 2.1 a 2.3, exemplos para a eletricidade).

Tabela 2. 1: Matriz do Setor Industrial - Eletricidade

	Motor	Aquecimento	Eletroquímica	Iluminação	Outros
Metalúrgico					
Alimentos					
Têxtil					
Químico					
Papel					
Outros					

Tabela 2. 2 Matriz do Setor Comercial - Eletricidade

	Iluminação	Ar Condic.	Cocção Elétr.	Refrigeração	Outros
Lojas					
Alimentos					
Bancos					
Escritórios					
Outros					

Tabela 2. 3: Matriz do Setor Residencial - Eletricidade

	Lâmpadas	Ar Condici.	Chuveiro	Geladeiras	Freezers	Outros
até 2 SM						
de 2 a 5 SM						
de 5 a 10 SM						
mais de 10 SM						

SM: salário mínimo

As informações sócio-econômicas, excluídas as energéticas, consistem, por exemplo, no estudo da população, número de domicílios, renda, PIB, etc., que analisadas criam um contexto regional que pode ser alterado na projeção (tanto para o cenário tendencial quanto

²¹Ano base é determinado como sendo o ano em que se tem os dados necessários para o início dos estudos e a partir do qual se farão as projeções de energia.

²²Subsetores são as desagregações de cada um dos três setores da economia em estudo. No caso do setor industrial, refere-se aos diversos ramos; enquanto para o setor comercial indica os tipos de estabelecimentos e, no setor residencial, as faixas de renda.

para o eficiente), como por exemplo, entre os setores, reduzindo a participação do setor industrial no PIB e aumentando a do setor comercial, ou então dentro dos próprios setores, incentivando as indústrias de menor impacto ambiental, aumentando o número de domicílios nas faixas de renda superiores, etc.

Quanto aos dados sobre o consumo de energia é importante que se tenha acesso às informações sobre a demanda e a oferta através de um levantamento de dados que devem ser suficientes, confiáveis e consistentes (Hirst, 1992). Alguns elementos, apesar de necessários para entender o comportamento energético, devem ser avaliados cuidadosamente, como é o caso (i) da contabilização dos recursos comerciais e não comerciais, (ii) consumo por subsetor e por uso final, (iii) da avaliação das perdas na transformação, armazenamento, distribuição e no consumo final, (iv) dos possíveis não atendimentos da demanda no ano base.

Recursos Comerciais e não Comerciais

Recursos comerciais são aqueles que são contabilizados formalmente na economia, enquanto os não comerciais, apesar de serem utilizados como fontes energéticas, não são inseridos na economia o que resulta, muitas vezes, em dados não disponíveis sobre a sua utilização, especialmente em áreas rurais (Goldemberg et alli, 1988). A não contabilização do uso desses recursos faz com que as informações da demanda do ano base sejam inferiores à real.

Consumo Desagregado

Os dados do consumo são, em geral, agregados, tendo dificultado os trabalhos de usos finais. Alguns estudos procuram ultrapassar essa barreira através da coleta de informações desagregadas dos maiores consumidores (usualmente em número reduzido e representando boa parte do consumo de energia)²³.

O estudo por usos finais requer informações ainda mais detalhadas do consumo, contudo nem sempre estão disponíveis fazendo com que diversas estimativas sejam realizadas

²³ Goldemberg et alli (1988) extrapolou os resultados do consumo dos Estados Unidos e da Suécia para os demais países desenvolvidos, considerando que as características desses países fossem semelhantes. AAE (1989) fez uma aquisição de dados de consumo para uma amostra de indústrias desagregado em diversos ramos e usos finais, estimando que os valores representem a demanda de energia nas várias regiões administrativas do estado de São Paulo.

reduzindo a precisão do estudo. Não obstante essas barreiras, os trabalhos de demanda de energia através de usos finais são uma importante contribuição na obtenção dos potenciais de conservação (Hirst, 1992).

Perdas

Como já mencionado no capítulo 1, as perdas de energia implicam em um consumo maior de energia, podendo ainda ser interpretado como um *consumidor virtual*. As perdas na transformação final são avaliadas através do consumo dos usos finais, enquanto as demais perdas podem ser admitidas como ineficiências do setor produtivo.

A redução das perdas na transformação, distribuição, transmissão e armazenagem também podem ser entendidas como uma conservação de energia pelo lado da oferta, já que ocorre a diminuição do consumo através do uso de tecnologias e sistemas produtivos mais eficientes, no entanto, neste trabalho são admitidas como medidas do lado da oferta e tendo, portanto, seus custos incluídos no de fornecimento de energia e não no de conservação.

A redução das perdas do lado da demanda de energia, são tratadas nesta dissertação como melhoria de eficiência dos equipamentos. Ainda existem dificuldades para coletar esse tipo de informações no Brasil como por exemplo, os refrigeradores residenciais que não continham informações do consumo de eletricidade até 1988. Somente após a implementação do programa de etiquetagem advindo no Programa de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) isso passou a ser disponível. Mesmo assim, o controle é precário, fazendo com que a maioria dos aparelhos não contenha o selo discriminando a quantidade de energia dispendida no funcionamento (Magalhães, 1995).

Atendimento do Ano Base

A demanda de energia contabilizada no ano base pode estar sendo reprimida, isto é, não é totalmente atendida o que implica em dizer que os dados obtidos sobre o consumo não estejam refletindo a demanda real do ano base. No estudo realizado para Karnataka (Reddy et all, 1988) esse fato ocorria para o caso da demanda de eletricidade, sendo necessário que o déficit fosse estimado e somente então se desse prosseguimento ao processo de projeção. O reflexo de informações subdimensionadas da demanda no ano base é a projeção reduzida do consumo de energia.

2.1.2. Cenário do Ano de Projeção

Segundo a figura 2.1, após o entendimento das características sócio-econômica-energéticas do ano base a fase seguinte consiste na elaboração do cenário para o ano de projeção. Para essa etapa são enumeradas as metas a serem atingidas no futuro, sejam elas o desenvolvimento regional, a terceirização da economia, menores impactos ambientais, etc.

A partir do momento em que se tem em mente esses objetivos, são construídos os cenários setoriais, isto é, as características desejadas para cada setor da economia em questão, como por exemplo, a implementação da melhor distribuição da renda no setor residencial, o crescimento das indústrias intensivas em capital, etc.

O estudo de energia proposto procura relacionar o consumo de energia a algumas variáveis explanatórias para cada setor da economia. Alguns estudos mostram que no caso do setor comercial, a demanda de energia C^c é relacionada com a área de construção do estabelecimento A , isto é, $C^c = f(A)$, enquanto no setor industrial C^i , com o Produto Interno Bruto, PIB : $C^i = f(PIB)$ e no setor residencial C^r , com o número de domicílios N : $C^r = f(N)$ (Chateau, 1982; Goldemberg et alli, 1988).

Cenário Tendencial

Conforme visto, o cenário tendencial apenas reflete a tendência de continuidade das características do ano base sem a possibilidade de alterações na estrutura do consumo através da conservação e substituição de energia. De posse dos valores das variáveis determinantes do consumo para o ano de projeção, é estimada a energia demandada nos setores residencial, comercial e industrial, respectivamente, através das equações 2.1, 2.8 e 2.18 descritas nas próximas seções.

A diferença existente entre o consumo do ano base e do cenário tendencial se dá em função do crescimento das variáveis explanatórias e, no caso dos setores residencial e comercial, também pela penetração de tecnologias, isto é a porcentagem de equipamentos inseridos em cada subsetor e, no setor industrial, a participação do consumo de energia dos diversos usos finais em seus ramos.

Seja, por exemplo, a título de ilustração, um cenário no setor residencial em que na faixa de renda entre 5 e 10 salários mínimos haja um crescimento da penetração de freezers de

10% no ano base para 20% no ano de projeção. O resultado é o aumento da participação do uso final no consumo, caso a penetração dos demais equipamentos seja mantida constante.

Cenário Eficiente

No cenário eficiente (*CE*), os potenciais de melhoria da eficiência dos diversos usos finais e as possibilidades da substituição entre fontes energéticas são inseridos na projeção sendo as primeiras através das reduções no consumo e na potência (no caso da energia elétrica) dos usos finais e da mudança dos hábitos de consumo. As substituições são avaliadas pela redução do consumo da fonte substituída e o respectivo aumento daquela que a substitui, através, por exemplo, para o setor residencial, da alteração dos valores da penetração de tecnologias.

Quando se trata de conservação de energia, há diversos potenciais de entrada dos equipamentos eficientes, classificados em técnico, econômico e de mercado. O potencial técnico diz respeito à substituição total dos equipamentos, isto é, todos os usos finais utilizados no ano de projeção possuem a melhoria de eficiência. Já o potencial econômico, admite que essa troca de tecnologias ocorra apenas quando é economicamente viável, isto é, seus custos são inferiores ao da manutenção do aparelho antigo. Entretanto, mesmo sendo vantajoso do ponto de vista econômico, muitas vezes há dificuldades na troca dos usos finais, como por exemplo residências que não foram projetadas para receber coletores solares, fazendo-se necessário a análise do potencial de mercado. Neste trabalho, consideramos este potencial de conservação para cada setor da economia e seus usos finais, com o objetivo de procurar ter um retrato mais próximo da realidade. O potencial técnico é dado pela redução do consumo e da potência (no caso da eletricidade). Para refletir o potencial de mercado, como já mencionado utiliza-se da saturação dos equipamentos eficientes.

2.1.3. Custos da Expansão e Conservação de Energia

A partir dos resultados dos consumos no CT e no CE, são calculados os custos tecnológicos da expansão e da conservação de energia a fim de compará-los.

Os custos da expansão são referentes ao aumento da capacidade da produção enquanto os custos de conservação refletem os investimentos necessários para reduzir a demanda de energia.

É importante notar que não fica a cargo deste modelo a elaboração dos custos marginais de fornecimento e conservação de energia, mas a partir dos mesmos, calcular os referentes às medidas do lado da oferta e da demanda. É no entanto conveniente relatar que a reflexão dos impactos sociais, econômicos e ambientais têm sido difíceis de serem adquiridos, uma vez que na prática não existem regulamentações que as contabilizem e são muitas vezes renegados a um segundo plano. Não obstante esse fato, essas questões têm crescido mundialmente devido aos movimentos ecológicos e à conscientização de que os recursos são finitos, como se pode observar com o surgimento de normas internacionais como a BS7750 (British Standard, 1992) e a ISO14000²⁴ para as indústrias²⁵ e, em nível nacional, a inserção de tais elementos na Constituição Federal (1988, Art.225) e nas Constituições Estaduais (Petrobrás, 1992).

De fato, a contabilização desses custos pode tornar viáveis medidas que não são competitivas sob outra forma, inclusive, a conservação de energia (Hirst, 1994).

2.1.4. Construção da curva de custo-suprimento/conservação de energia

Após o cálculo dos custos relativos às medidas de oferta e demanda de energia, ou seja, os custos totais da expansão da capacidade instalada e da conservação, as medidas são hierarquizadas de modo a selecionar as de maior significância (baixos custos marginais, elevado potencial de conservação de energia, reduzidos impactos ambientais, etc.) em função das metas estabelecidas na elaboração do cenário global para o ano de projeção.

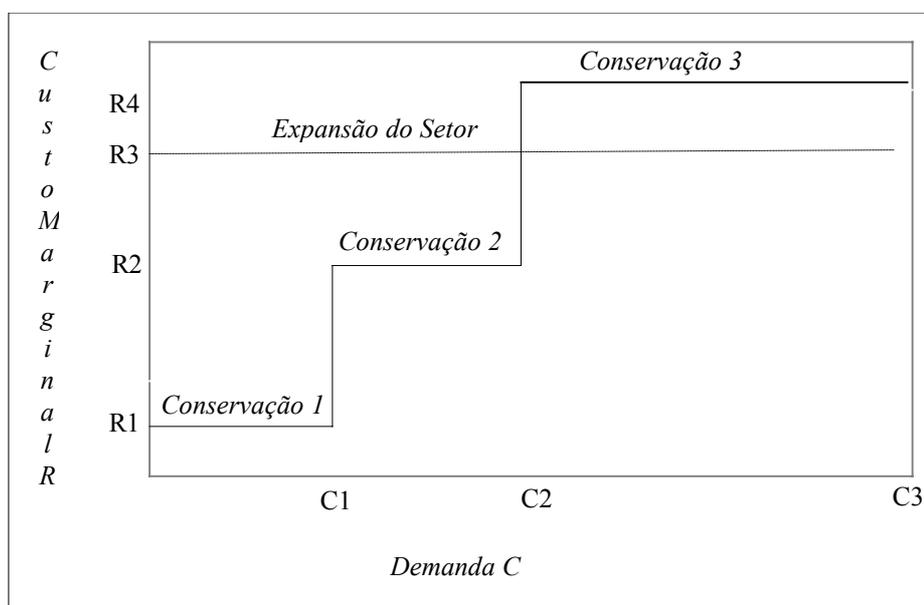
²⁴ Ver Cicco (1994).

²⁵ Tais medidas têm feito com que até mesmo os países importadores, que às vezes não possuem relações diretas com os impactos sociais e ambientais, exijam dos países exportadores a exploração de recursos de uma forma ambientalmente aceitáveis, como no caso de fábricas exportadoras de papel, onde uma porcentagem da produção deve ser feita com uma certa porcentagem de papéis recicláveis e reduzido o uso de cloro no processo de clareamento (Cicco, 1994).

Com a finalidade de dispor hierarquicamente as diversas medidas de oferta e demanda de energia utiliza-se da curva de custo-suprimento/conservação de energia, também denominada curva de mínimos custos. Essa curva fornece o custo mínimo alcançado através de uma série de medidas de conservação e produção de energia para uma dada demanda. Na abscissa do gráfico temos a energia demandada e na ordenada, os custos marginais.

Seja por exemplo, em um ano de projeção, a demanda requerida C_3 dada na curva de custo-suprimento/conservação como no gráfico 2.1. Para atender a essa demanda, as medidas de menor custo são as que atendem a demanda C_1 , com custo R_1 , ou seja, a *conservação 1*, seguida da *conservação 2* a custos marginais R_2 para atender a um consumo $C_2 - C_1$ e, para complementar a demanda energética $C_3 - C_2$, a *expansão do setor* a custos R_3 .

Gráfico 2. 1: Curva de Custo-Suprimento-Conservação de Energia



2.2 Projeção da Demanda

Um dos passos necessários para a realização do planejamento integrado de recursos consiste na projeção da demanda de energia, conforme relatado na seção 1.3. Aqui são descritas as equações utilizadas nos setores residencial, comercial e industrial.

2.2.1 Setor Residencial

Como já citado na seção 2.1.2, o consumo do setor residencial tem uma relação direta com o número de domicílios. Caso todos os domicílios dispusessem dos usos finais considerados, o consumo total do setor residencial C^r , seria dado por $C^r = c^r \times N$, onde c^r é o consumo de todos os equipamentos. No entanto, como não é o que ocorre na prática, necessário se faz introduzir um fator, denominado penetração de tecnologias e designado por p^r , que indica a porcentagem de residências que possuem todas as tecnologias. De forma semelhante temos para cada uso final i em cada faixa de renda j o que resulta no consumo do setor residencial por uso final, dado na equação 2.1, onde o expoente r indica que se trata de uma variável do setor residencial.

$$C_{i,j}^r = N_i \times c_{i,j}^r \times p_{i,j}^r \quad (2.1)$$

Seguindo a mesma linha de raciocínio, o cálculo da potência instalada necessária Po por faixa de renda e uso final é dado na equação 2.2, onde po é a potência específica, isto é, a potência demandada por equipamento e FCP é o fator de coincidência de pico, ou seja, a porcentagem de usos finais i funcionando no período de ponta (das 17h às 20h).

$$Po_{i,j}^r = N_i \times po_{i,j}^r \times p_{i,j}^r \times FCP_{i,j}^r \quad (2.2)$$

Uma vez que o cenário tendencial (CT) não admite melhorias de tecnologia, o consumo e a potência (para a eletricidade) específicos são os mesmos do ano base. No entanto, esses valores são alterados no cenário eficiente através das reduções proporcionadas pelo aumento de eficiência. Essas reduções são apresentadas para o consumo como η^r e para a potência, ϕ^r , em relação ao ano base, fazendo com que o consumo e a potência específicos sejam dados como mostrado nas equações 2.3 e 2.4, onde o índice ce reflete que a variável pertence ao cenário eficiente.

$$c_{i,j}^{r,ce} = c_{i,j}^r \times (1 - \eta^r) \quad (2.3)$$

$$po_{i,j}^{r,ce} = po_{i,j}^r \times (1 - \phi^r) \quad (2.4)$$

Sabe-se, no entanto, que nem todos os domicílios que possuem os usos finais i no cenário eficiente podem estar usufruindo da nova tecnologia, utilizando-se dos mesmos equipamentos do ano base. Sendo assim, insere-se um fator s , a saturação dos equipamentos

eficientes que reflete a porcentagem de residências que se utilizam do uso final com melhorias de tecnologia. Temos então, o consumo e potência determinados como nas equações 2.5 e 2.6.

$$C_{i,j}^{r,ce} = N_i^{ap} \times p_{i,j}^r \times c_{i,j}^{r,ce} \times (1 - \eta^r \times s_{i,j}^r) \quad (2.5)$$

$$PO_{i,j}^{r,ce} = N_i^{ap} \times p_{i,j}^r \times FCP_{i,j}^r \times po_{i,j}^r \times (1 - \phi_{i,j}^r \times s_{i,j}^r) \quad (2.6)$$

onde o número de domicílios do ano de projeção é dado como na equação 2.7:

$$N_i^{ap} = N_i^{ab} \times \left(1 + \frac{TC_i}{100}\right)^{(AP-AB)} \quad (2.7)$$

sendo que **TC** é a taxa de crescimento do número de domicílios, **AB** o ano base, **AP** o ano de projeção e os índices **ab** e **ap** determinam respectivamente que a variável pertence ao ano base e ao ano de projeção. Os fluxogramas apresentados adiante oferecem uma visão global dos cálculos da projeção de energia (figura 2.2) e da potência (figura 2.3) para o setor residencial.

Figura 2. 2: Fluxograma da Projeção do Consumo de Energia no Setor Residencial

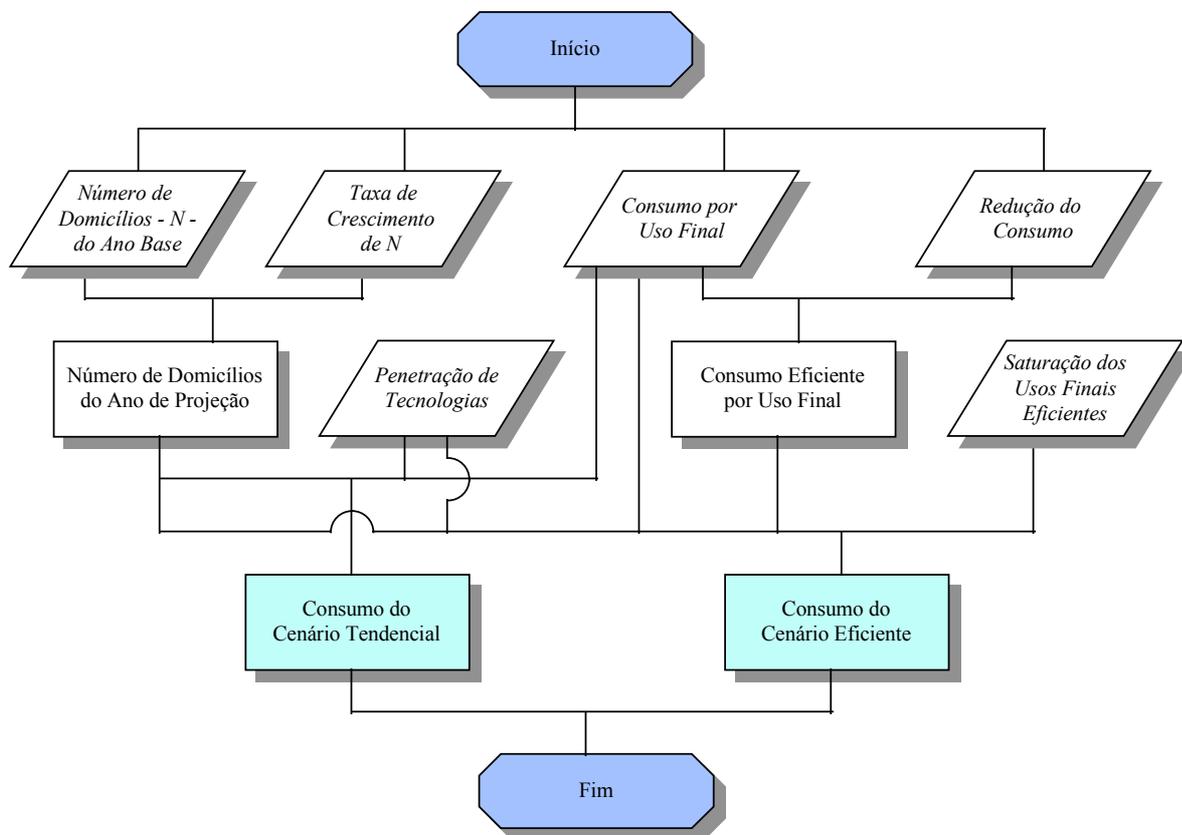
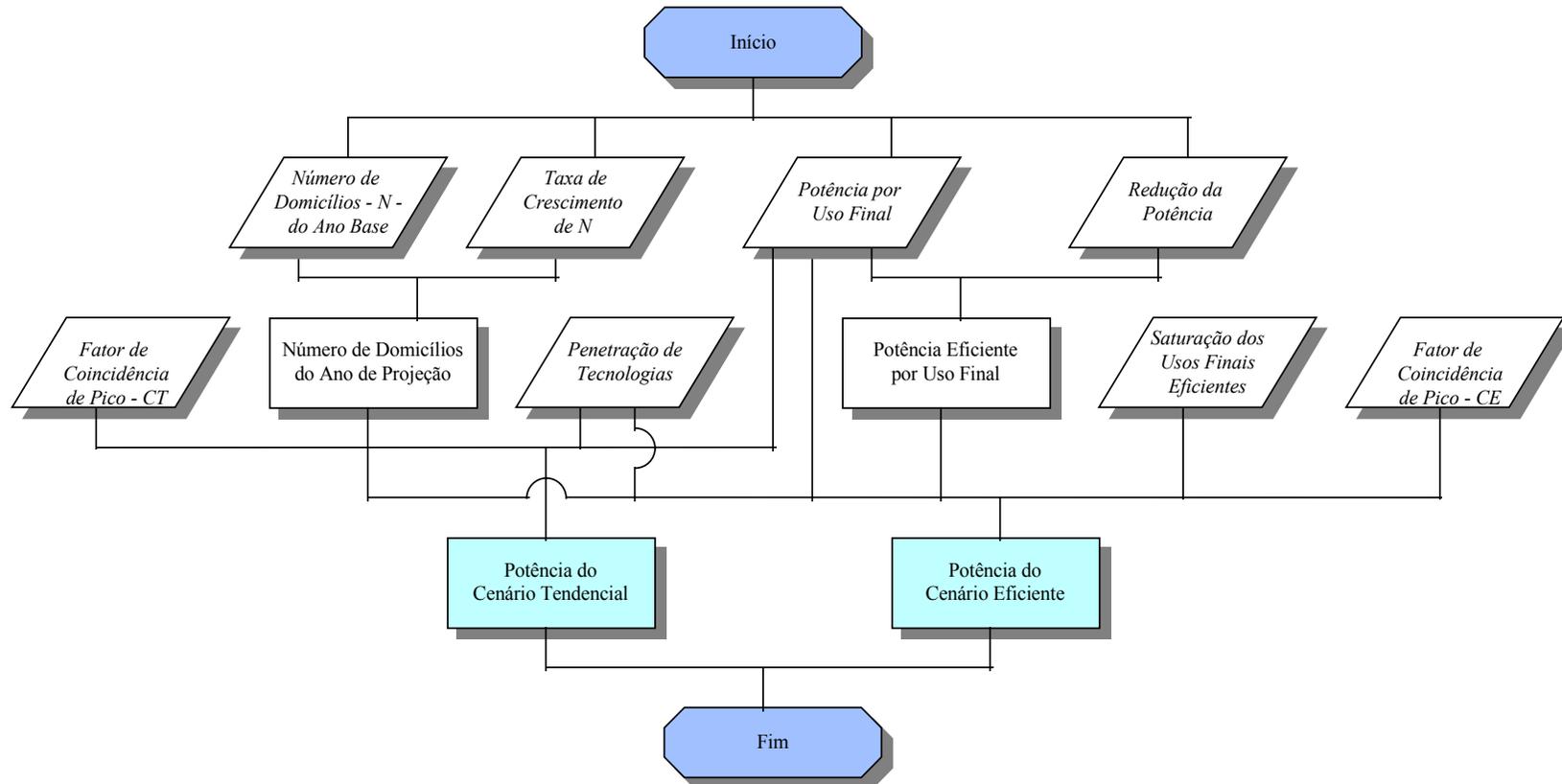


Figura 2. 3: Fluxograma da Projeção da Potência no Setor Residencial



2.2.2 O Setor Comercial

Como já citado na seção 2.1.1, o consumo de energia do setor comercial C^c tem uma relação com a área do estabelecimento A : $C^c = f(A)$. Seja o consumo por área c^c . Conforme observado para o setor residencial, apenas uma porcentagem da área dos estabelecimentos possui o uso final o que requer a penetração de tecnologias p^c para refletir esse fato. Assim sendo, o consumo de energia por estabelecimento comercial j e por uso final i é dado como na equação 2.8.

$$C_{i,j}^c = A_{i,j} \times c_{i,j}^c \times p_{i,j}^c \quad (2.8)$$

O crescimento do consumo de energia é refletido através do aumento da área no ano de projeção segundo a equação 2.9, onde TC é a taxa de crescimento da área, AB o ano base, AP o ano de projeção e ab e ap indicam, respectivamente, que a variável pertence ao ano base e ao ano de projeção.

$$A_{i,j}^{ap} = A_{i,j}^{ab} \times \left(1 + \frac{TC_i}{100}\right)^{(AP-AB)} \quad (2.9)$$

Temos então, para a energia elétrica, a potência instalada Po^c dada na equação 2.10, onde po^c é a potência por área e FCP^c , o fator de coincidência de pico que indica a porcentagem dos equipamentos ligados no horário de ponta.

$$Po_{i,j}^c = A_{i,j} \times po_{i,j}^c \times p_{i,j}^c \times FCP_{i,j}^c \quad (2.10)$$

Enquanto as penetrações podem variar em cada um dos cenários em relação ao ano base, o consumo e a potência (para a eletricidade) específicos, dados nas equações 2.11 e 2.12 são alterados através de suas respectivas reduções, η^c e ϕ^c apenas no cenário eficiente.

$$c_{i,j}^{c,ee} = c_{i,j}^c \times (1 - \eta_{i,j}^c) \quad (2.11)$$

$$po_{i,j}^{c,ee} = po_{i,j}^c \times (1 - \phi_{i,j}^c) \quad (2.12)$$

Como para o setor residencial, a substituição de tecnologias é parcial, isto é, nem todos os estabelecimentos possuem as melhorias de eficiência propostas, sendo necessário um fator que explicita a porcentagem dos subsectores que estejam inseridos nesse novo contexto,

dada por s^c , a saturação de equipamentos no setor comercial, de onde se obtém o consumo e a potência total no cenário eficiente, dados em 2.13 e 2.14.

$$C_{i,j}^{c,ce} = A_{i,j}^{ap} \times p_{i,j}^c \times c_{i,j}^c (1 - s_{i,j}^c \times \eta_{i,j}^c) \quad (2.13)$$

$$Po_{i,j}^c = A_{i,j}^{ap} \times p_{i,j}^c \times FCP_{i,j}^c \times po_{i,j}^c \times (1 - s_{i,j}^c \times \varphi_{i,j}^c) \quad (2.14)$$

Observa-se nas figuras 2.4 e 2.5 os fluxogramas relativos à projeção do consumo e da potência do setor comercial.

Figura 2. 4: Fluxograma do Consumo de Energia do Setor Comercial

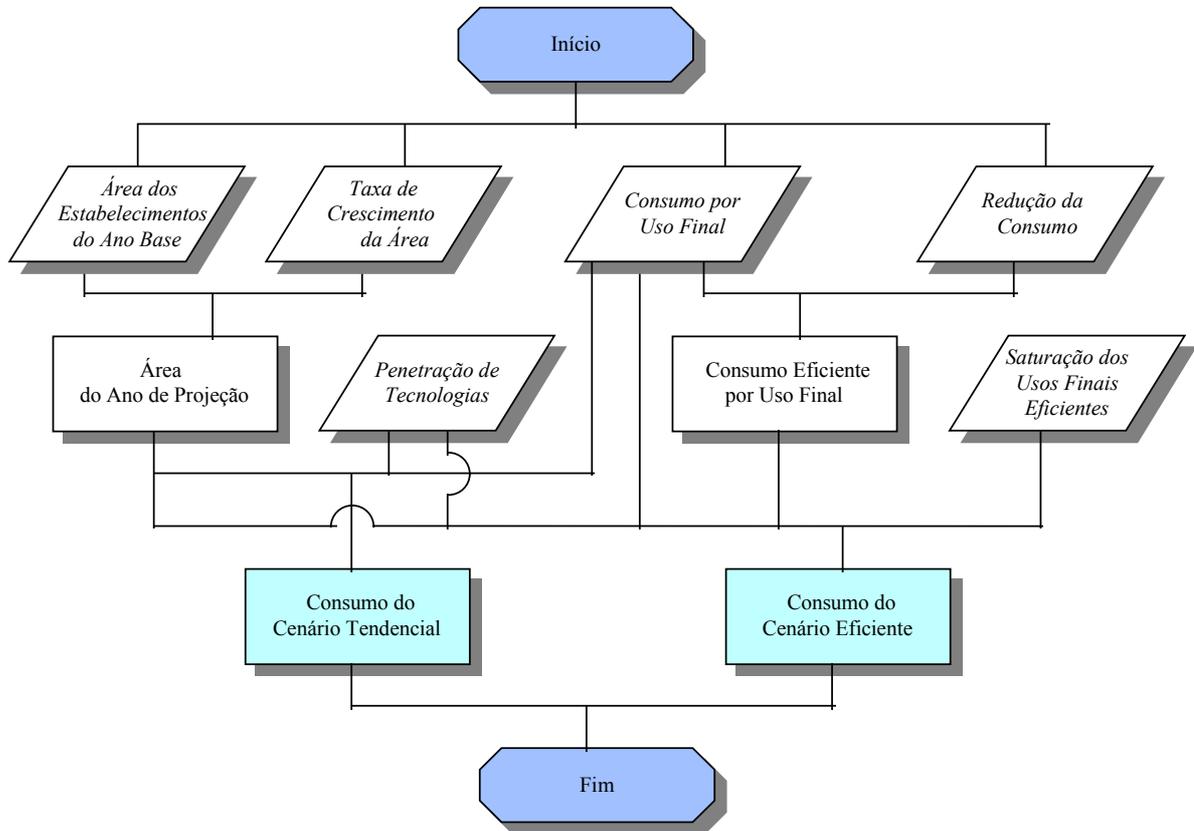
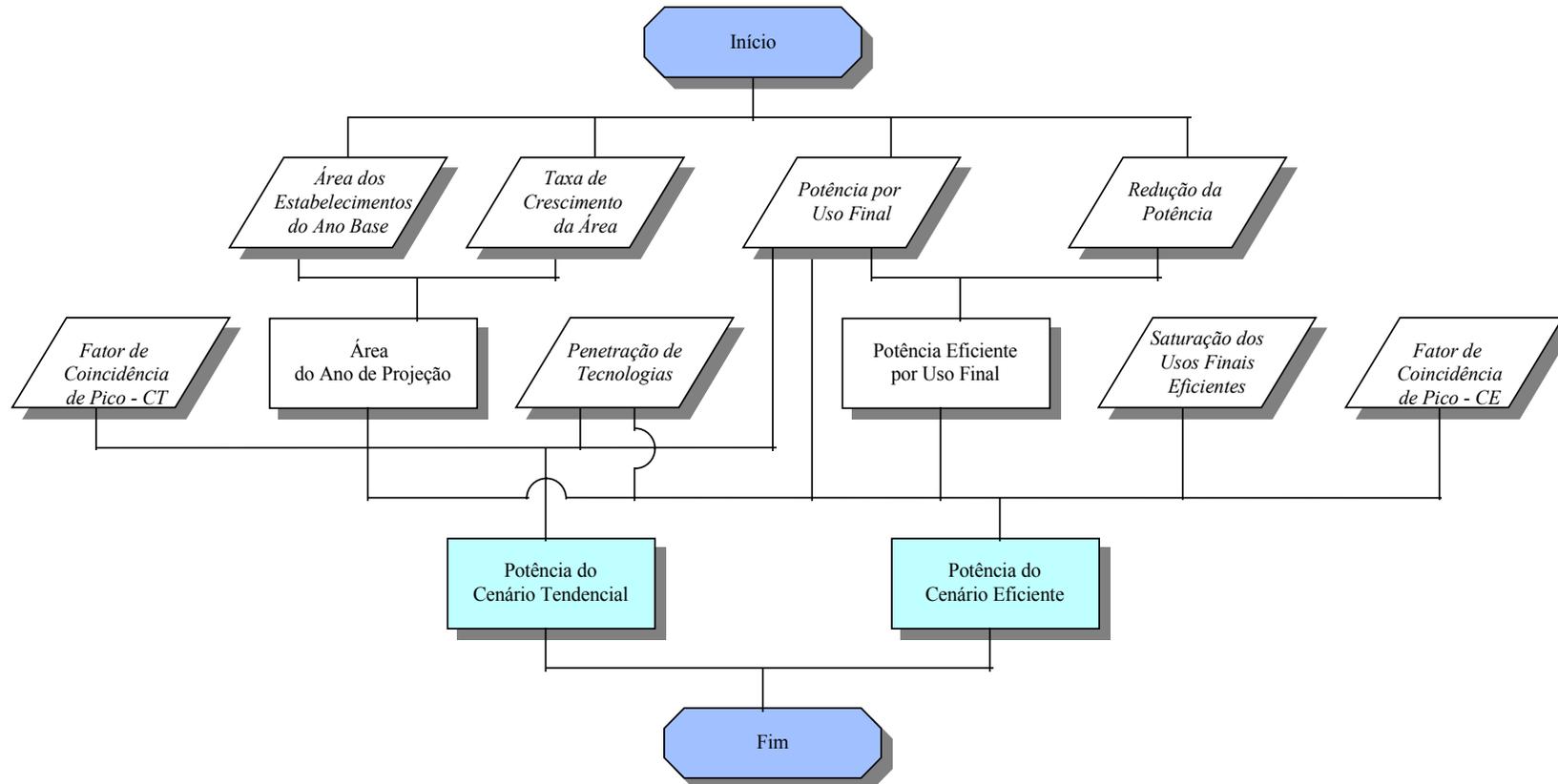


Figura 2. 5: Fluxograma da Potência do Setor Comercial



2.2.3 O Setor Industrial

Como já referido na seção 2.1.2, alguns trabalhos apontam uma variável econômica, o **PIB**, relacionando-se com o consumo de energia no setor industrial C^i . Entretanto, essa relação, de forma distinta dos setores residencial e comercial, não é diretamente proporcional, mas elevado à elasticidade²⁶ energia - PIB, ε : $C^i = f(\text{PIB}^\varepsilon)$.

O consumo de energia do setor industrial do ano base é dado através da equação mostrada em 2.15, onde **P** é a participação porcentual do consumo para cada uso final **i** em cada ramo industrial **j**.

$$C_{i,j}^i = C_j \times P_{i,j} \quad (2.15)$$

A projeção do consumo é dada através da relação do consumo com o PIB, como pode ser observado nas equações 2.16 e 2.17, onde, **TC** é a taxa de crescimento do PIB de cada subsetor, **AB** é o ano base, **AP** é o ano de projeção e os índices **ab**, **ap** e **ct** refletem que as variáveis pertencem respectivamente ao ano base, ao ano de projeção e ao cenário tendencial.

$$PIB_j^{ap} = PIB_j^{ab} \times (1 + TC_j)^{(AP-AB)} \quad (2.16)$$

$$C_j^{ct} = \left(\frac{PIB_j^{ap}}{PIB_j^{ab}} \right)^{\varepsilon_j} \times C_j^{ab} \quad (2.17)$$

Através das relações mencionadas, temos que o consumo de energia projetado para o cenário tendencial corresponda à equação 2.18:

²⁶ ε é a elasticidade energia PIB dada como na equação abaixo, onde **C** é o consumo de energia:

$$\varepsilon = \frac{\Delta C}{C} \times \frac{PIB}{\Delta PIB}$$

Para $\varepsilon > 1$, o crescimento da energia é maior que do PIB no período em estudo;

$\varepsilon = 1$, os crescimentos do PIB e da energia se equivalem e,

$\varepsilon < 1$, o crescimento da energia é menor que o do PIB, o que se tem procurado alcançar (Bohi, 1981).

$$C_{i,j}^{ct} = C_j^{ab} \times \left[(1 + TC_j)^{(AP-AB)} \right]^{e_j} \times P_{i,j} \quad (2.18)$$

Para o cenário eficiente, o consumo é dado em 2.19, onde η é a redução do consumo de energia, s é a saturação dos usos finais eficientes, isto é, a porcentagem dos equipamentos que possuem a nova tecnologia e ce indica que a variável pertence ao cenário eficiente.

$$C_{i,j}^{ce} = C_{i,j}^{ct} \times (1 - \eta_{i,j}^{ce} \times s_{i,j}^{ce}) \quad (2.19)$$

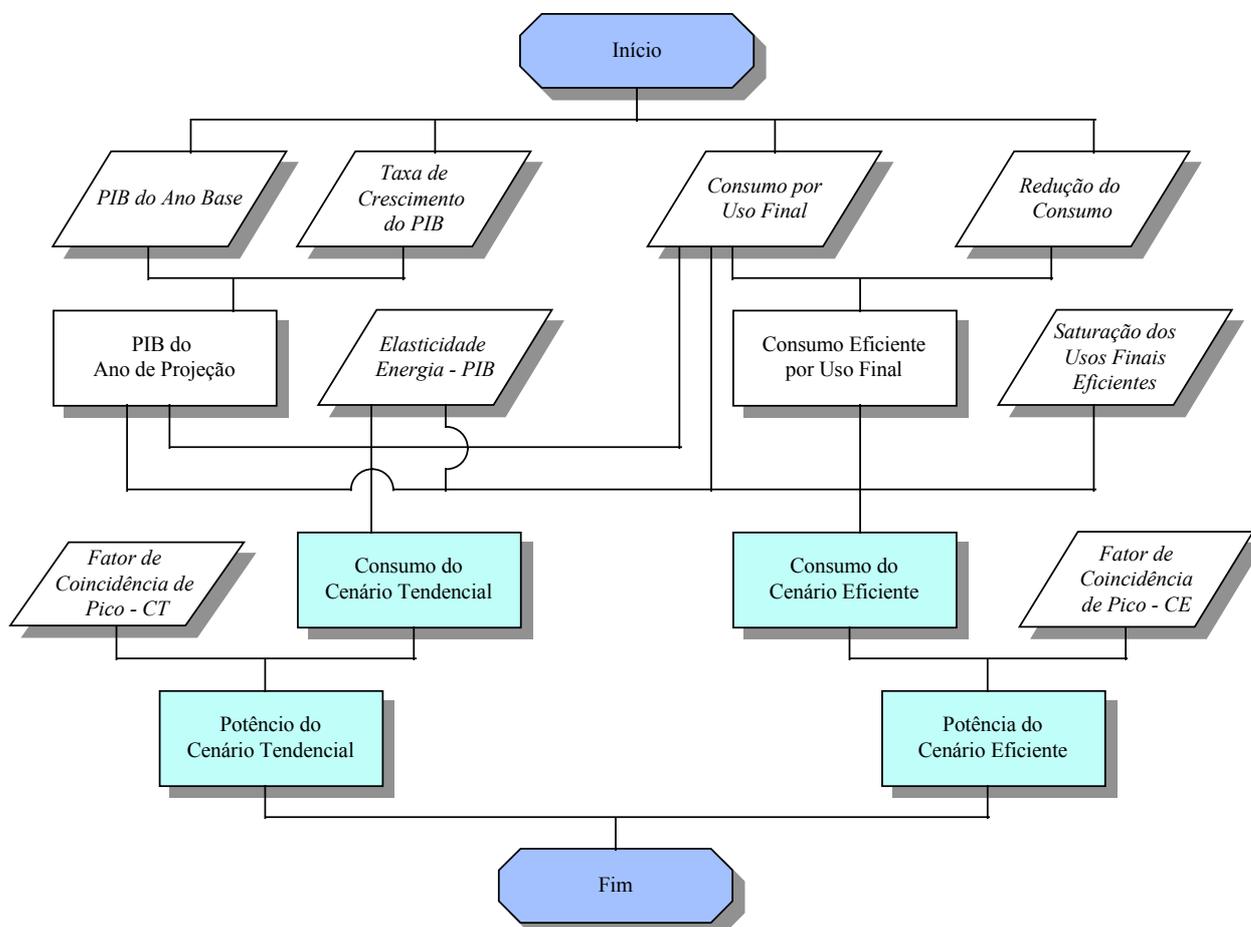
O cálculo da potência instalada Po^i para a eletricidade é calculada através da relação 2.20, onde FCP^i é o fator de coincidência de pico, que indica a porcentagem de equipamentos que estão funcionando na ponta e, K^{27} é a constante que indica o número de horas de utilização do uso final no período em estudo.

$$Po_{i,j}^i = \frac{C_{i,j}^i \times FCP_{i,j}^i}{K} \quad (2.20)$$

Na figura 2.6, está ilustrado o fluxograma de projeção do consumo de energia e da potência, no caso da eletricidade, para o setor industrial. Para as demais fontes a mesma figura é válida omitindo-se o cálculo da potência instalada.

²⁷Ver Anexo 2.

Figura 2. 6: Fluxograma da Projeção de Energia e da Potência (para a eletricidade) do Setor Industrial



2.3 Oferta de Energia

Concomitantemente à obtenção da projeção da demanda de energia são analisadas as opções das medidas do lado da oferta. Neste trabalho, o acréscimo da demanda pode ser suprido através da expansão do setor energético e do aumento da eficiência de produção²⁸.

Atualmente, o dimensionamento do setor elétrico é realizado através da previsão do consumo de energia futura e posterior avaliação da demanda máxima diária ocorrida no horário de pico (Eletrobrás, 1993a; Eletrobrás, 1994b).

Para a eletricidade, a expansão do setor energético é avaliada pela demanda requerida no horário de pico, dada nas equações 2.2, 2.10 e 2.20, respectivamente para os setores residencial, comercial e industrial. Para os demais energéticos assume-se que o consumo seja constante ao longo do tempo²⁹, o que significa dizer que a produção necessária de energia para atender ao consumo sejam os valores obtidos na seção anterior.

Caso não haja melhoria de produtividade, a estrutura necessária, ES , para atender ao consumo é dada como abaixo:

$$ES^{ap} = PAE^{ap} + I^{ap} - E^{ap} \quad (2.21)$$

onde PAE é a produção anual de energia, I , a importação de energia, E , a exportação de energia e o índice ap estabelece que as variáveis pertencem ao ano de projeção.

A produção anual de energia no ano de projeção é dada na equação 2.22 onde ex indica que a produção é obtida através da expansão da capacidade existente no ano base.

$$PAE^{ap} = PAE^{ab} + PAE^{ex} \quad (2.22)$$

No entanto, nem toda a capacidade de produção pode estar sendo absorvida no ano base, podendo ser alterada PAE através da equação 2.23, onde CPD é a capacidade de produção diária e NDO o número de dias em que as instalações estão em operação.

$$PAE = CPD \times NDO \quad (2.23)$$

²⁸ Esta seção não consta do desenvolvimento do modelo computacional, sendo apenas utilizada a metodologia nas considerações das medidas da oferta de energia.

²⁹ Para efeitos de facilitar a análise, já que existem variações como por exemplo no setor sucro-alcooleiro, com períodos intensivos de consumo durante a safra.

Assim, o aumento da produção pode ocorrer com o incremento de *CPD*, *NDO*, se $PAE < PAE_{m\acute{a}x}$ ou ainda, com a instalação de novos centros produtores PAE^{ex} .

No cenário eficiente, considera-se também as melhorias de produtividade do próprio setor energético, através de reduções das perdas, citadas no capítulo anterior. A reflexão dessas melhorias pode ser observada na equação 2.24, onde se observa, como no caso dos cálculos da energia demandada, a saturação das melhorias de eficiência da oferta, s^o , isto é, de forma equivalente aos consumos eficientes dos três setores em estudo e μ é a redução do consumo.

$$PAE^{ce} = PAE^{ap} \times [1 - \mu \times s^o] \quad (2.24)$$

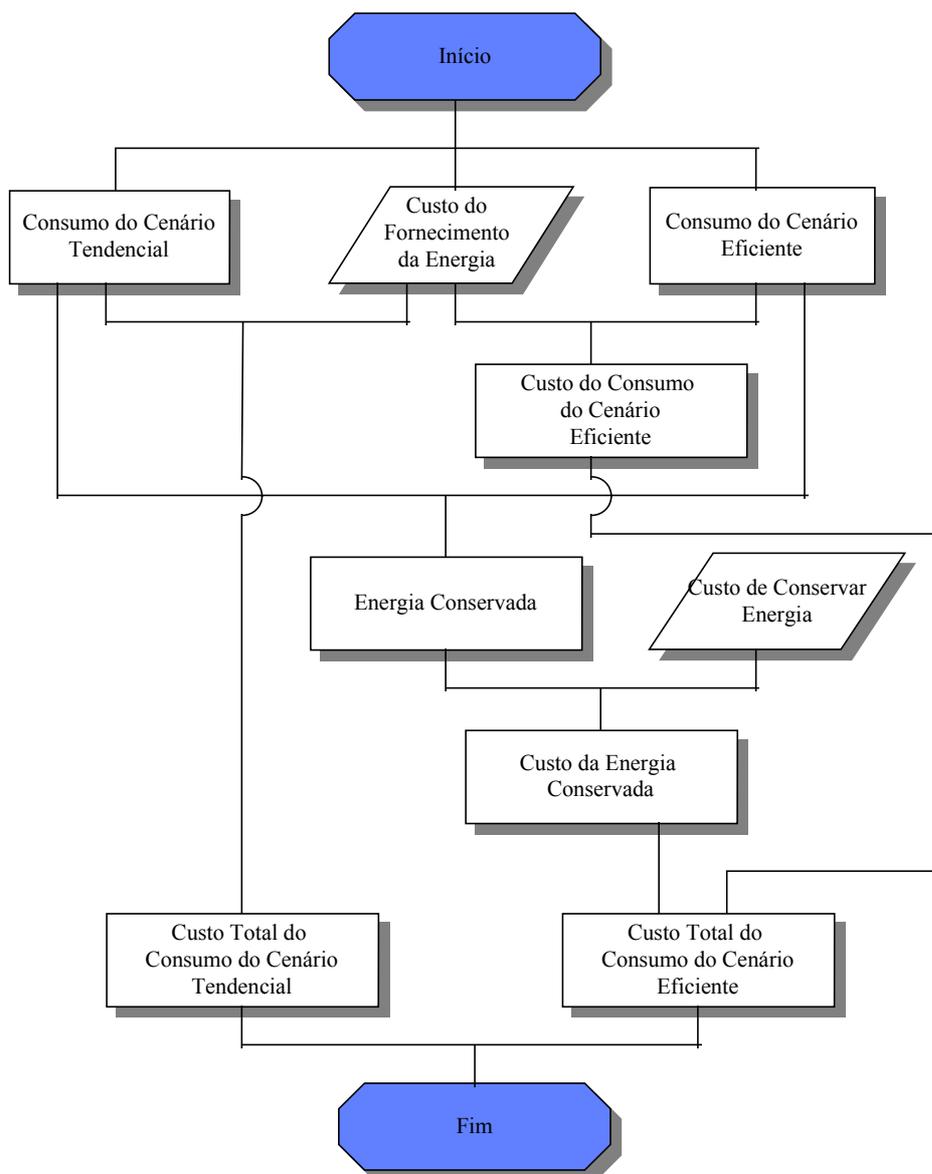
Admitindo que não haja restrições de consumo no ano de projeção, ou seja, que a demanda de energia seja completamente atendida, temos, para o caso da eletricidade, $Po \leq ES$ e, para as demais fontes, $C \leq ES$.

2.4 Custos da Expansão e Conservação de Energia

A análise de custos/benefícios neste trabalho será feita do ponto de vista do setor energético, de modo a limitar o trabalho, no entanto, acreditamos que além desse estudo, devem também serem verificados a validade dos programas de conservação segundo a ótica do consumidor e da sociedade.

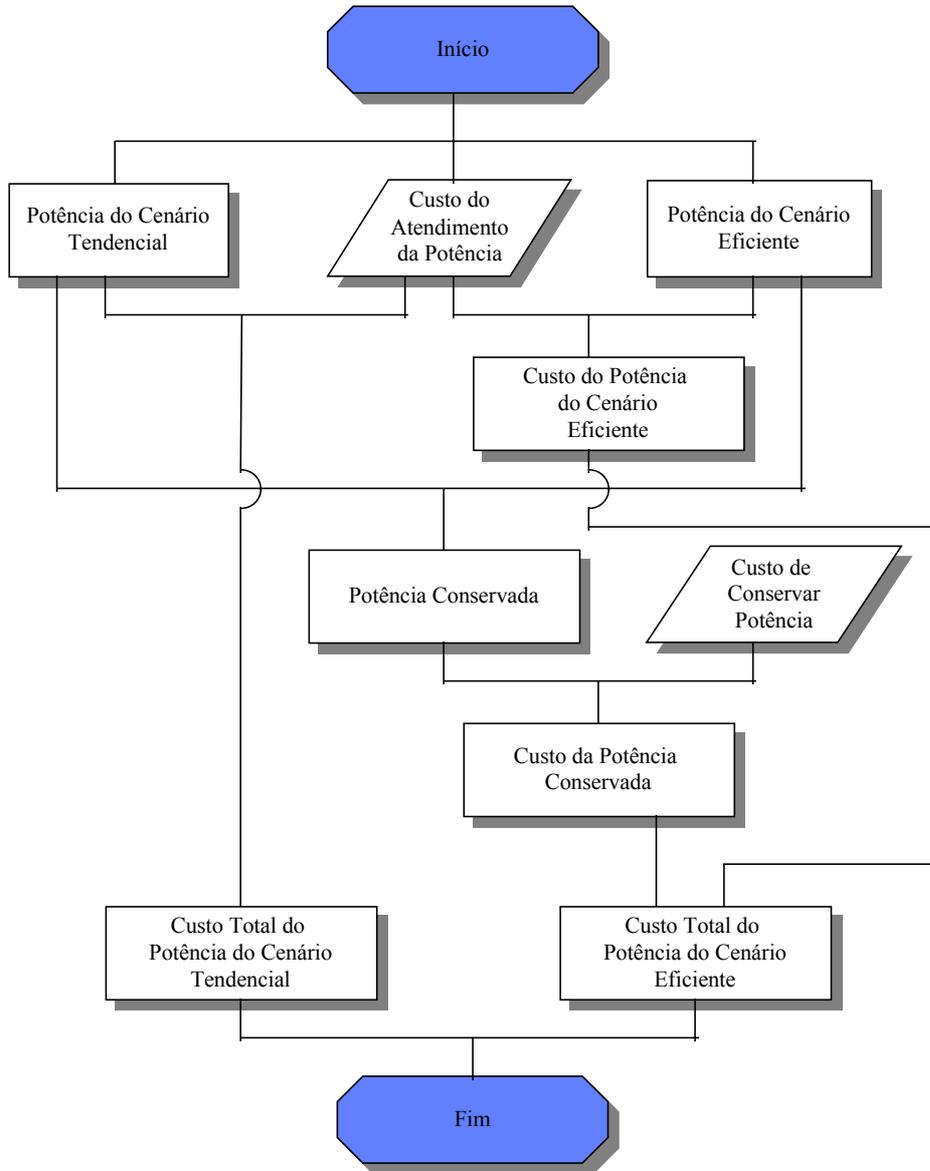
Na figura 2.7 observa-se o fluxograma dos custos do consumo de energia, isto é, do fornecimento de energia. No cenário eficiente existem custos de conservação de energia, que consistem nos investimentos realizados pelo setor energético para se efetuar os programas do lado da demanda, procurando mostrar que mesmo investindo em conservação, há ganhos para o setor energético.

Figura 2. 7: Fluxograma dos Custos do Consumo de Energia



Similarmente, para a energia elétrica, como se pode observar na figura 2.8, são também avaliados os custos da potência instalada, que são, em geral, investimentos pesados para o setor energético.

Figura 2. 8: Fluxograma dos Custos da Potência Instalada



O custo de fornecer energia, CC , é determinado para cada uso final i e em cada subsetor j , como em 2.25, onde C é o consumo de energia e cE é o custo unitário do fornecimento de energia (por exemplo, US\$/MWh ou US\$/GJ) para cada alternativa de expansão a . O custo da capacidade instalada CPO é dado em 2.26, onde PO é a potência instalada e cPO é o custo unitário da potência.

$$CC_{i,j} = C_{i,j} \times cE_a \quad (2.25)$$

$$CPO_{i,j} = PO_{i,j} \times cPO_a \quad (2.26)$$

O custo de evitar o consumo **CEC** e o custo de evitar a capacidade instalada, **CEPo**, isto é, os custos relativos à conservação de energia, são dados em 2.27 e 2.28:

$$CEC_{i,j} = (C_{i,j}^{ce} - C_{i,j}^{ct}) \times CCE_{i,j} \quad (2.27)$$

$$CEPo_{i,j} = (PO_{i,j}^{ce} - PO_{i,j}^{ct}) \times CCP_{i,j} \quad (2.28)$$

o que resulta no custo total do consumo de energia **CTC** e da potência instalada **CTPo**, como em 2.29 e 2.30:

$$CTC_{i,j}^{ce} = CC_{i,j} + CEC_{i,j} \quad (2.29)$$

$$CTW_{i,j}^{ce} = CW_{i,j} + CEW_{i,j} \quad (2.30)$$

³⁰No estudo realizado por Meier et alli (1990), o custo de conservar energia, é como dado: $CCE_{i,j}^{ce} = \frac{I_m^e + I_t^e}{C_{i,j}^{ce} - C_{i,j}^{ct}}$, onde I_m é o investimento anual no novo equipamento, I_t , o investimento anual na operação e manutenção e $C_{i,j}^{ce} - C_{i,j}^{ct}$ e o índice e representa a energia.

³¹ Do mesmo estudo, o custo de conservar potência, **CCPo** é dado abaixo, $CCPo_{i,j}^{ce} = \frac{I_m^e + I_t^e}{PO_{i,j}^{ce} - PO_{i,j}^{ct}}$ onde p é a potência conservada no cenário de eficiência tecnológica em relação ao cenário tendencial e p representa a potência.

$$CCPo_{i,j}^{ce} = \frac{I_m^e + I_t^e}{PO_{i,j}^{ce} - PO_{i,j}^{ct}}$$

Capítulo 3

Caracterização da Região Administrativa de Campinas

Neste capítulo procura-se fazer uma análise histórica da sócio-economia da Região Administrativa de Campinas (RAC) dando ênfase à situação energética e descrever os dados e estimativas do ano base, necessários para serem introduzidos no modelo de projeção, seguindo as etapas dispostas no capítulo anterior.

Uma vez que nem todos os dados necessários para a projeção são disponíveis para a região em estudo, tendo sido necessário que algumas estimativas fossem realizadas através de comparações com o Estado de São Paulo e o país. O ano tomado como base da projeção foi o de 1992. É importante citar novamente que não se procura precisão nos resultados deste estudo, mas demonstrar como se realiza a aplicação do modelo desenvolvido.

3.1. Características sócio-econômicas

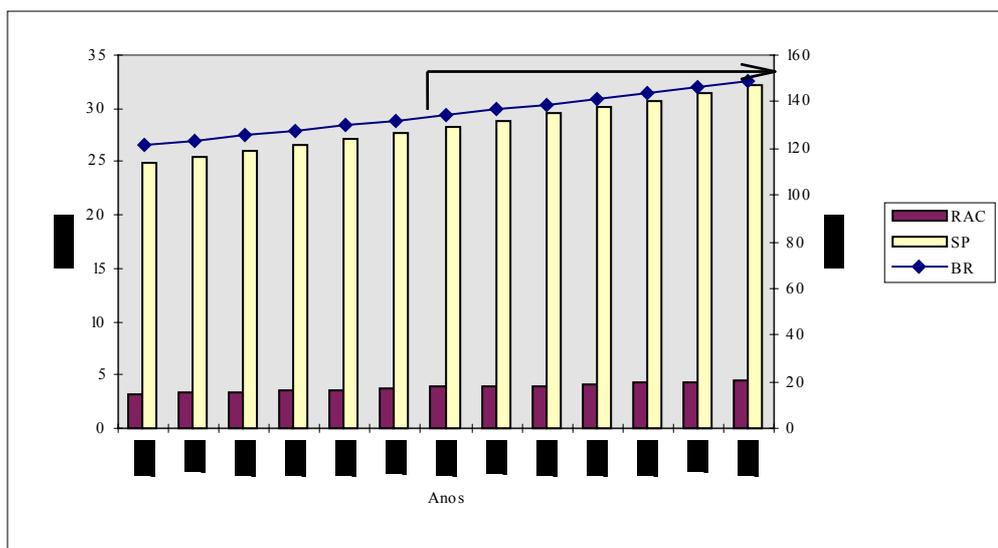
Nesta seção são descritas algumas características sócio-econômicas da RAC, do Estado de São Paulo e do Brasil, importantes para o estudo proposto, através de dados do crescimento populacional, grau de urbanização, pessoal ocupado, número de domicílios, PIB e valor adicionado.

A RAC, composta por sete regiões de governo e noventa municípios é a segunda em importância econômica e populacional do Estado, atrás apenas da Região Metropolitana de São Paulo, o que mostra a relevância de uma análise nesta região (Canavarros, 1994).

3.1.1 População

A população da RAC tem crescido, conforme se pode observar na série histórica mostrada no gráfico 3.1, sendo que em 1980 a região contava com 3,2 milhões de habitantes, passando a 4,5 milhões em 1992³², o que corresponde a uma taxa média de crescimento de 3,05% ao ano.

Gráfico 3. 1 Evolução da população da RAC, São Paulo e Brasil [milhões de habitantes]



fonte: SEADE, 1981 a 1993; IBGE, 1981 a 1993.

No Estado de São Paulo, no mesmo período, também houve crescimento populacional, como ilustrado no mesmo gráfico, passando de 25,0 milhões para 32,1 milhões, o que representando um crescimento anual de 2,1% a.a.

A população brasileira cresceu de 121,3 milhões para 149,7 milhões nesse mesmo período, o que corresponde a uma taxa de crescimento relativamente menor que o Estado e a região (1,7% a.a.). Isso pode ser explicado pela elevada imigração na RAC em relação ao país e ao Estado, já que as taxas de natalidade são inferiores na região e as de mortalidade são bem próximas nas três regiões (tabela 3.1).

³² Assumindo um crescimento de 2,91% entre os anos de 1991 e 1992 (estimativa da autora).

Tabela 3. 1: Taxa de Natalidade e Mortalidade por 1000 habitantes na RAC, SP e BR

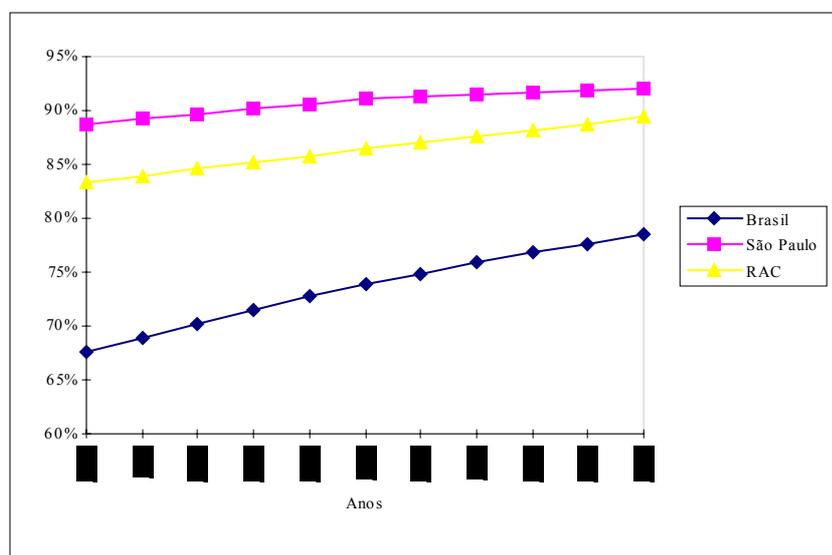
Anos	RAC		São Paulo		Brasil	
	Natalidade	Mortalidade	Natalidade	Mortalidade	Natalidade	Mortalidade
1985	23,25	6,27	25,05	6,52	27,83	7,72
1986	23,22	6,29	24,83	6,62	26,90	7,61
1987	22,63	6,22	23,99	6,50	25,99	7,51
1988	22,40	6,42	24,00	6,77	25,19	7,42
1989	21,50	6,30	23,00	6,61	24,42	7,34
1990	20,11	6,36	21,18	6,68	23,72	7,27

fonte: SEADE, IBGE.

3.1.2 Taxa de Urbanização

No gráfico 3.2 é apresentada a taxa de urbanização na RAC, em São Paulo e no Brasil. Como se pode observar, em 1980, essa taxa era de 84% na região crescendo para 89% em 1990. Para o Estado de São Paulo, a mesma taxa que correspondia em 1980 a 89% atingiu 93% em 1990 enquanto o Brasil cresceu de 65% para 77%. Apesar da taxa de urbanização ter sido mais elevada no Estado de São Paulo o crescimento desse índice foi menor que o da RAC e do país durante o período analisado. Para o ano base considerou-se que a taxa da região seja de 90%³³ no ano base.

Gráfico 3. 2: Taxa de Urbanização



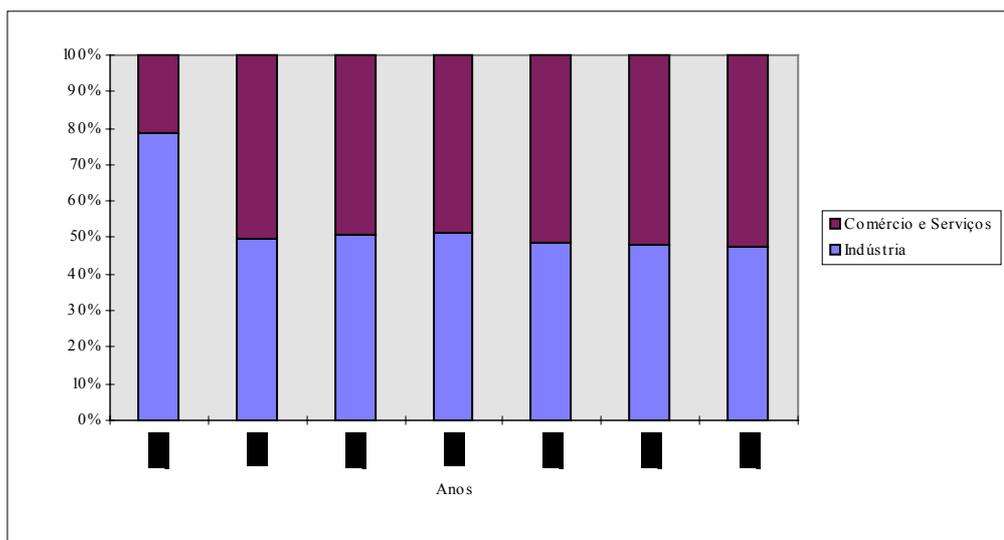
fonte: IBGE, 1981 a 1991; SEADE, 1981 a 1991.

³³ Considerando que o crescimento entre 1990 e 1992 fosse equivalente a 1%, correspondente ao crescimento linear observado durante o período entre 1980 e 1990.

3.1.3 Pessoal Ocupado

A participação do pessoal ocupado por setores da RAC está disposta no gráfico 3.3, onde se nota uma queda do setor industrial de 79% a.a. em 1980 para 47% em 1990, porcentual esse deslocado para o setor de comércio e serviços.

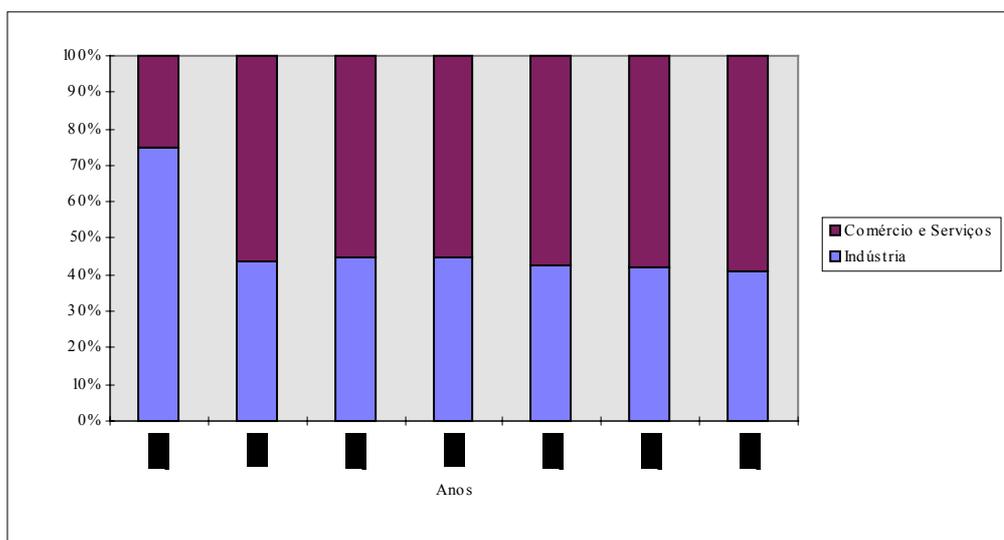
Gráfico 3. 3: Participação do Pessoal Ocupado por setores na RAC



fonte: SEADE, 1985 e 1991.

No Estado de São Paulo, como se pode notar no gráfico 3.4, também houve alteração do pessoal ocupado por setores da economia, sendo que o setor industrial sofreu uma queda de 79% em 1980 para 41% em 1990 e o setor de comércio e serviços cresceu de 21% para 53%.

Gráfico 3. 4: Participação do Pessoal Ocupado por setores em São Paulo

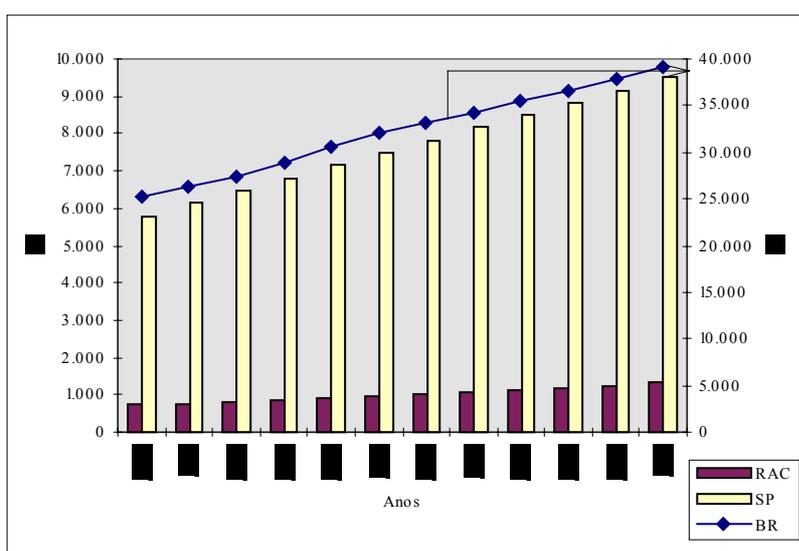


fonte: SEADE, 1985 e 1991.

3.1.4 Caracterização dos Domicílios

Entre os anos de 1980 e 1991 ocorreu aumento do número de domicílios da RAC, do Estado e do país (gráfico 3.5). Em 1980 a RAC contava com 730.606 de residências, o que significava 12% do Estado de São Paulo e 2,9% do Brasil. Já em 1991, o número de domicílios correspondia a 1.314.065, 13,8% e 3,4% do Estado e do país, respectivamente, mostrando que o aumento de residências na região é mais intenso. Considerando a taxa de urbanização de 90% em 1992, tem-se 1.245 mil residências na área urbana e 141 mil na rural.

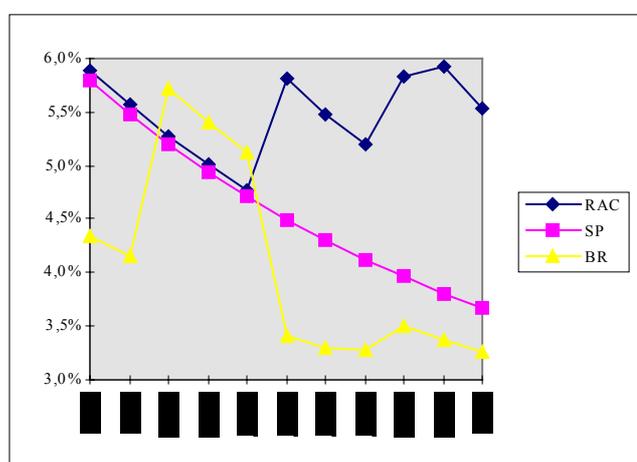
Gráfico 3. 5: Número de Domicílios da RAC , São Paulo e Brasil



fonte: SEADE, 1981 a 1992; IBGE, 1981 a 1992.

Esse fato também pode ser observado através das taxas médias de crescimento do número de domicílios durante os anos de 80 a 91 no gráfico 3.6.

Gráfico 3. 6: Taxa de Crescimento do Número de Domicílios



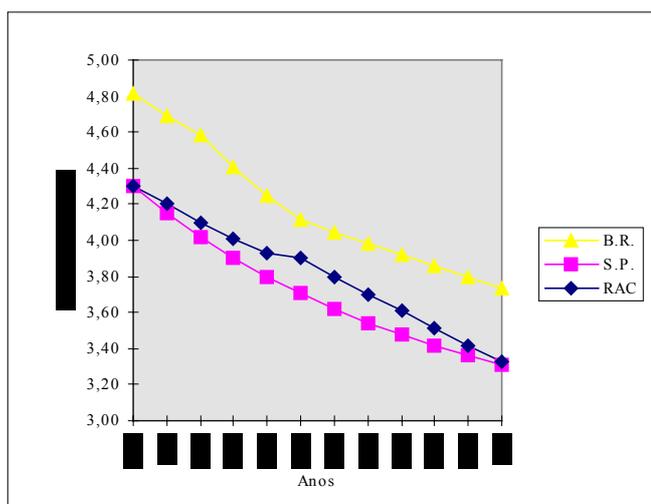
fonte: SEADE e IBGE.

Enquanto essa taxa foi de 5,5% a.a. para a RAC, para o Estado de São Paulo houve uma queda do crescimento de 5,8% a.a. em 1980 para 3,9% a.a. em 1990 e no Brasil, com exceção dos anos entre 82 e 85, as taxas mantiveram-se inferiores a 4,5% a.a., não ultrapassando nos últimos anos a média anual de 3,5%. Assume-se neste trabalho que entre 1991 e 1992 o número de domicílios na RAC cresceu conforme a taxa média registrada na região (5,5%), o que resultou, para o ano base, 1.386.094 residências.

3.1.5 Número de Habitantes por Domicílio

Nota-se através do gráfico 3.7 que o número de habitantes por domicílio vem caindo ao longo dos anos tanto em nível nacional quanto estadual e regional. Em 1980, esse índice que era de 4,30 para a RAC reduziu para 3,31 em 1991 enquanto para o Estado essa queda foi de 4,31 para 3,33 e, para o Brasil, de 4,80 para 3,74.

Gráfico 3. 7: Número de Habitantes por Domicílio



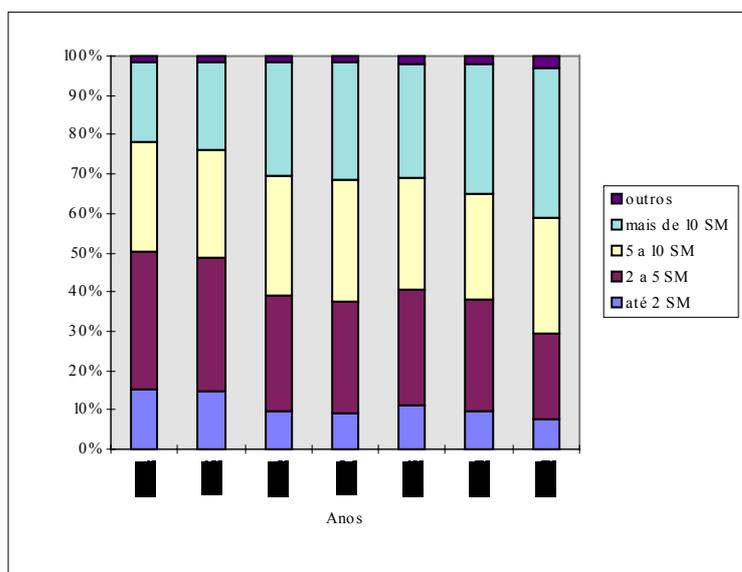
fonte: SEADE, IBGE, elaboração própria.

3.1.6 Número de Domicílio por Faixa de Renda

A participação do número de domicílios por faixa de renda no Estado de São Paulo por área (rural e urbana) são dados nos gráficos 3.8 e 3.9. Na área urbana, nota-se que no decorrer dos anos ocorreu um acréscimo da porcentagem de residências no subsetor acima de 5 salários mínimos. A faixa que corresponde aos domicílios entre 5 e 10 salários mínimos aumentou a participação de 27,7% em 1984 para 29,3% em 1990 enquanto a correspondente

às residências cuja renda supera os 10 salários mínimos cresceu de 20,4% para 38,2%. Nesse mesmo período, a porcentagem de domicílios pertencentes à menor faixa de renda caiu de 15,3% para 7,8% e ainda, para as residências entre 2 e 5 salários mínimos houve uma redução ainda maior de 35,1% para 21,8%.

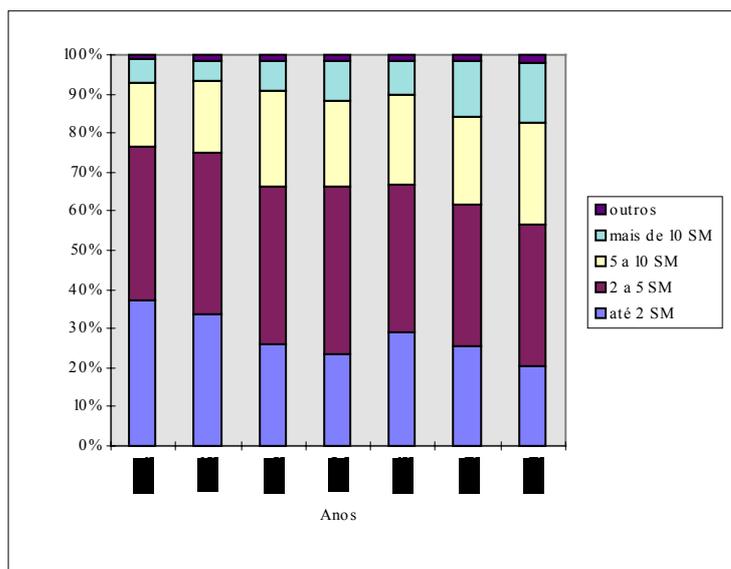
Gráfico 3. 8: Participação do número de domicílios na área urbana do estado de São Paulo



fonte: IBGE, 1981-1990.

Quanto às participações do número de domicílios na área rural entre 1984 e 1990, mostradas no próximo gráfico, também houve um crescimento das faixas de maior poder aquisitivo, sendo que as correspondentes às residências entre 5 e 10 salários mínimos elevaram-se de 16,3% para 25,9% e as superiores a 10 salários mínimos, de 6,0 para 15,5%. No mesmo período, a faixa até 2 salários mínimos caiu de 37,3% para 20,4% e a faixa de 2 a 5 salários mínimos reduziu de 39,2% para 20,4%.

Gráfico 3. 9: Participação do número de domicílios na área rural do estado de São Paulo



fonte: IBGE, 1981-1990.

Como não se tem dados disponíveis da distribuição dos domicílios por faixa de renda para a RAC admitiu-se para o ano base os mesmos valores obtidos do Estado de São Paulo no ano de 1990, apesar da alteração ocorrida em um espaço curto de tempo (7 anos), resultando na tabela 3.2.

Tabela 3. 2: Estimativa da Porcentagem do Número de Domicílios por Faixa de Renda para a RAC - 1992.

Faixa de renda	urbana		rural	
	domicílios	%	domicílios	%
até 2 SM	97.088	7,8%	28.842	20,4%
2-5 SM	271.347	21,8%	51.039	36,1%
5-10 SM	364.701	29,3%	36.618	25,9%
+10 SM	475.480	38,2%	21.914	15,5%
Outros	36.097	2,9%	2.969	2,1%
TOTAL	1.244.713	100,0%	141.382	100,0%

fonte: elaboração própria

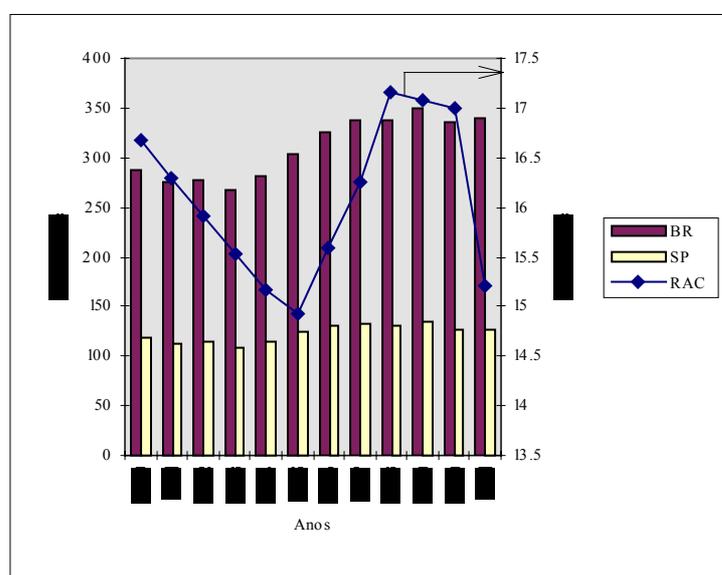
3.1.7 PIB e Valor Adicionado

A fim de avaliar-se a situação econômica da região escolheu-se como indicador o PIB³⁴ em níveis nacional e estadual e o valor adicionado³⁵ para a RAC, já que não se dispõe de

³⁴ PIB: Produto Interno Bruto definido, segundo o IBGE, é a medida do fluxo total de bens e serviços finais produzidos em uma região. Os valores aqui apresentados são do PIB a custo de fatores, isto é, estão incluídos os subsídios e deduzidos os impostos diretos nos valores setoriais.

dados relativos ao PIB regional. Como se pode notar no gráfico 3.10, em termos absolutos, esses indicadores sofreram uma queda até meados da década de 80, passando a crescer até 1988, quando sofrem uma nova redução. O PIB do Brasil aumentou de US\$ 287,2 bilhões³⁶ em 1980 para US\$ 339,3 bilhões em 1991, o que representa taxa de crescimento de 1,5% a.a. O PIB estadual cresceu de US\$ 119,4 bilhões para US\$ 126,8 bilhões no mesmo período o que correspondendo a uma taxa de crescimento média inferior ao país (0,55% a.a.). O valor adicionado da RAC, por outro lado, caiu ao longo desses anos de US\$ 16,7 bilhões para US\$ 15,2 bilhões, isto é, a uma taxa média de -0,84% a.a..

Gráfico 3. 10: Valor Adicionado da RAC, PIB de São Paulo e do Brasil [US\$bilhões]



fonte: IBGE, SEADE, Canavarros, 1994.

nota: O Valor Adicionado da RAC para os anos de 1981 a 1984, 1986, 1987 e 1989 foi estimado através das taxas de crescimento médio dos anos cujos dados existem.

3.1.8 PIB por setor da economia

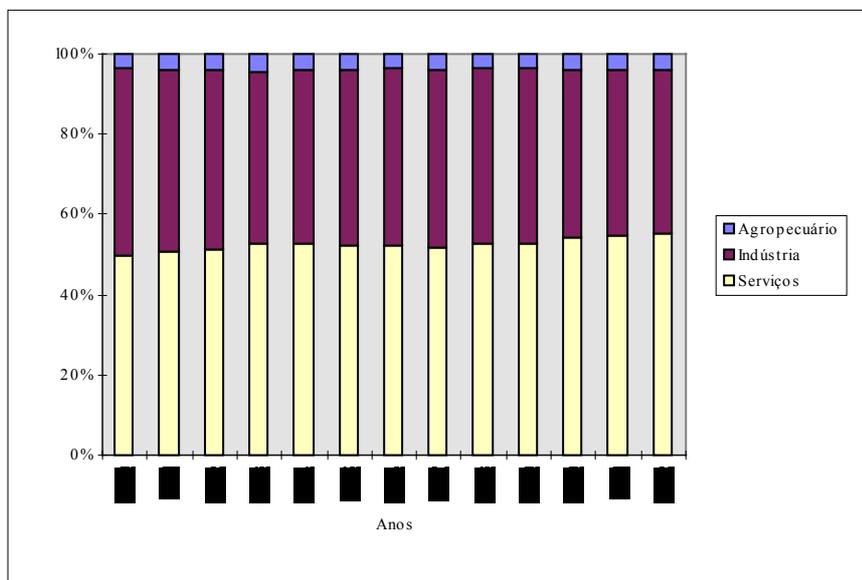
Ainda analisando o PIB de uma forma um pouco mais detalhada, obteve-se informações desagregadas em três setores da economia (agropecuário, serviços e indústria) para o Estado de São Paulo e para o Brasil, uma vez que não se dispõe de informações desagregadas do valor adicionado da região. Os dados obtidos são mostrados, respectivamente, nos gráficos 3.11 e 3.12, onde se pode observar o crescimento da participação do setor de serviços.

³⁵ Valor Adicionado é o valor das saídas de mercadorias acrescido do valor das produções de serviços deduzido o valor das entradas das mercadorias (SEADE, 1993).

³⁶ US\$ médio de 1991.

No ano de 1980, o setor de serviços do Estado correspondia a 49,6% do valor do PIB, enquanto o industrial, 47,1%. Já em 1992, esses valores passaram respectivamente para 54,6% e 41,3%. O setor agropecuário manteve-se em torno de 4% ao longo do período em questão.

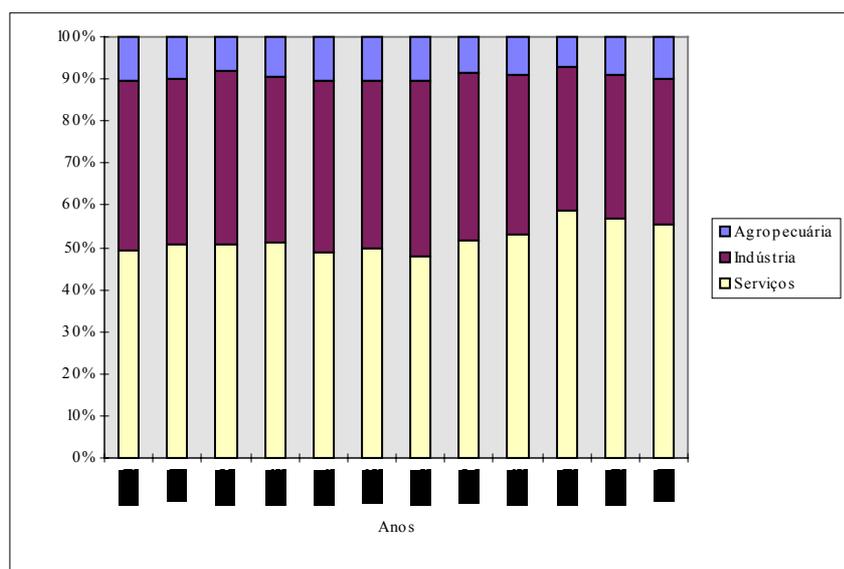
Gráfico 3. 11: Participação do PIB a custo de fatores no Estado de São Paulo



fonte: SEADE

Para o Brasil, o setor agropecuário, apesar de ter sofrido uma queda na participação no decorrer dos anos, tem um percentual bem superior ao do Estado, correspondente a aproximadamente 10% do PIB. A participação do setor de serviços cresceu de 49,1% em 1980 para 55,4% em 1992 enquanto o industrial caiu de 40,7% para 34,6%.

Gráfico 3. 12: Participação do PIB a custo de fatores no Brasil



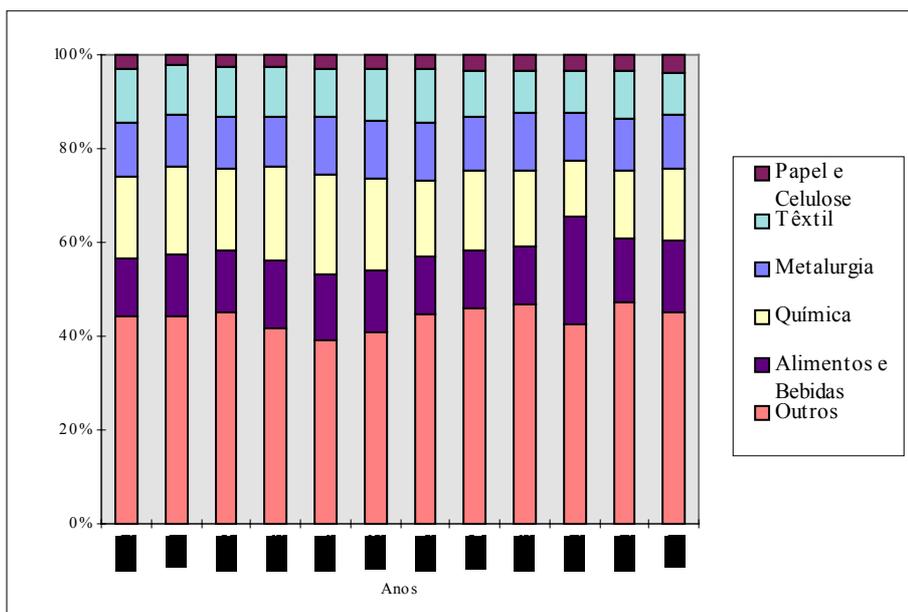
fonte: IBGE, SEADE

3.1.9 PIB por Ramo Industrial

O próximo passo consiste na obtenção do PIB por ramos industriais, de acordo com o relatado no capítulo 2. Devido à limitação do estudo, admitimos a desagregação do setor industrial em apenas seis ramos: metalúrgico, papel e celulose, químico, têxtil, alimentos e bebidas e outros.

No gráfico 3.13 está apresentada a participação do PIB por ramo industrial no Brasil, onde se pode constatar que não houve grandes alterações entre os anos de 1980 a 1991, tendo as indústrias do setor químico e de alimentos e bebidas participado cada uma, nesse último ano, com 15% do PIB, seguidas das metalúrgicas, com 12%; a têxtil, 9% e a de papel e celulose, 4%.

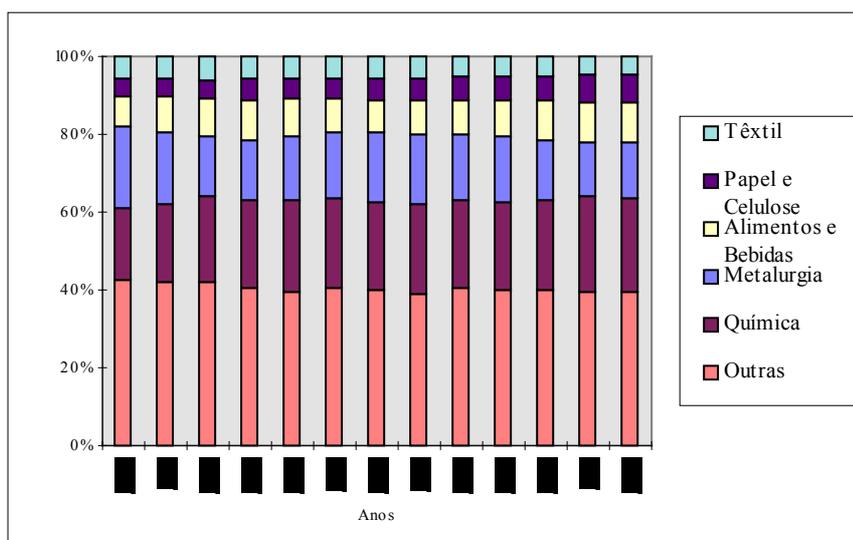
Gráfico 3. 13: Participação do PIB [%] por setor industrial no Brasil



fonte: IBGE

Para o Estado de São Paulo essas mesmas indústrias também não alteraram significativamente durante o período entre 1980 e 1992, representando cerca de 60% do PIB. O setor químico foi responsável, em 1992, por 24% do PIB estadual; o metalúrgico, 14%; o de alimentos e bebidas, 10%; o de papel e celulose, 7% e o têxtil, 5% (Gráfico 3.14 e tabela 3.3).

Gráfico 3. 14: Participação do PIB [%] por setor industrial no Estado de São Paulo



fonte: SEADE

Conforme já referido, devido à indisponibilidade de informações para a região referente ao PIB desagregado em cada um dos subsetores em estudo, estima-se os valores admitindo

que as intensidades energéticas para a região e o Estado sejam semelhantes³⁷ e que o PIB estadual em 1992 seja de US\$ 127 bilhões (SEADE, 1993). Os resultados estão apresentados na tabela 3.3.

Tabela 3. 3: PIB de São Paulo e Estimativa do PIB da RAC por Ramo Industrial em 1992

Subsetores	PIB - São Paulo		PIB - RAC*	
	US\$ milhões	%	US\$ milhões	%
Metalurgia	7.196	14,0%	1.697	20,2%
Papel e Celulose	3.598	7,0%	711	8,5%
Alimentos e Bebidas	5.140	10,0%	1.765	21,0%
Têxtil	2.570	5,0%	641	7,6%
Química	12.336	24,0%	1.833	21,9%
Outras Indústrias	20.550	40,0%	1.739	20,7%
Total	51.390	100,0%	8.386	100,0%

*fonte: SEADE
elaboração própria

De posse dos dados sócio-econômicos do ano base necessários para a projeção, descreve-se na seção seguinte as características energéticas da região, do Estado e do país.

3.2. Caracterização energética

Nesta seção procura-se descrever a situação de oferta e demanda de energia da RAC no ano base (1992), comparando-a com o Estado de São Paulo e o Brasil.

3.2.1 Oferta de Energia

Estudaremos a oferta de energia da RAC em três grupos: eletricidade, petróleo e biomassa.

³⁷ Consumo total de energia por ramo industrial do Estado e da região em 1992 estão enumerados na seção 3.2.2, *Setor Industrial*. Os valores do PIB de São Paulo desagregados por subsectores na tabela 3.3, junto às estimativas obtidas para a RAC.

Eletricidade

A oferta de energia elétrica gerada na RAC é reduzida quando comparada à demanda existente na região, sendo praticamente toda importada para suprir o mercado regional. A capacidade instalada é de apenas 368 MW e em 1992, cerca de 88,3% dos 11.058 GWh consumidos proviram de outras localidades (Canavarros, 1994).

Expansão da Geração

O potencial de expansão do parque gerador de eletricidade da região é de cerca de 1.624 MW, através de pequenas centrais hidrelétricas (PCHs), cogeração, usinas térmicas a gás, substituição por outras fontes energéticas³⁸ (tabela 3.4). A viabilidade de tais medidas, segundo Canavarros (1994), é a curto (até 5 anos) e médio (5 a 16 anos) prazo, com exceção da energia solar fotovoltaica, cuja possibilidade de uso se dá apenas a longo prazo (acima de 16 anos) e, do gás natural boliviano, previsto para médio e longo prazo. Consideraremos apenas as alternativas de curto e médio prazo neste estudo uma vez que o horizonte de projeção é de 10 anos. Os custos marginais dessas alternativas de curto e médio prazo oscilam entre *US\$ 30/MWh* e *US\$ 50/MWh*.

Tabela 3. 4: Potencial de Expansão da Produção de Energia Elétrica na RAC [US\$ de 1992]

Fontes Primárias	Formas de Conversão	Energia	Potência [MW]	US\$/MWh	US\$/kW
Energia Hidráulica	PCH	Elétrica	175	34	600 - 8.100
Bagaço de Cana	Cogeração	Elétrica	83	42	700 - 1.586
Energia Solar	Col. Solares	Calor	56 ⁽¹⁾	25	900 ⁽²⁾
Energia Solar	Célula Fotovoltaica	Elétrica	-	+ 100	-
Energia Eólica ⁽³⁾	Aerogeradores	Elétrica	25	47 - 72	1.100 - 1.300
Lenha	Cogeração	Elétrica	14	42	700 - 1.586 ⁽⁴⁾
Palhas e Pontas	Cogeração	Elétrica	204	42	700 - 1.586 ⁽⁴⁾
Gás Natural	Combustão	Calor	717	30	1.040 ⁽⁵⁾
Gás Natural	UTE ⁽⁶⁾	Elétrica	350	30	-
Total	-	-	1.624	34	-

fonte: Canavarros, 1994; ⁽¹⁾ Canavarros (1994) assume redução de 50% do consumo de energia elétrica no aquecimento de água estimado em 980 GWh em 1992; ⁽²⁾ CPFL, 1993; ⁽³⁾ Gipe, 1991(incluindo custos de capital, operação, manutenção e reposição); ⁽⁴⁾ Eletrobrás, 1993a; ⁽⁵⁾ assumindo os mesmos investimentos do bagaço de cana para palhas e pontas e lenha. ⁽⁶⁾ UTE: Usina Térmica

³⁸A possibilidade de substituição de eletricidade por energia solar será vista na seção 3.3.2 no item relativo ao setor residencial.

Do potencial hidroelétrico existente na região, 5% dos projetos estão em construção, 21% são básicos, 25% têm viabilidade, 41% estão inventariados e 8% desativados³⁹ (tabela 3.5). De acordo com os dados da tabela, os custos marginais de expansão da capacidade instalada variam de *US\$ 615/kW* a *US\$ 8.100/kW*.

Tabela 3. 5: Potenciais Hidroelétricos da RAC [US\$ de 1992].

Alternativa de Expansão	Potência [kW]	Energia ⁽¹⁾ [MWh/ano]	US\$/kW ⁽²⁾	US\$/MWh ⁽³⁾	Etapa
1- Mogi Guaçu	7.000	30.660	4.198,6	40,6	Construção
2- Socorro	1.000	4.380			Construção
3- São José	19.000	83.220	1.794,7	17,4	Proj. Básico
4- Carrapatos	17.000	74.460	2.164,7	20,9	Proj. Básico
5- Eleutério	7.200	31.536	614,8	5,9	Viabilidade
6- Saltinho	7.500	32.850	3.945,3	38,1	Viabilidade
7- Nova Pinhal	5.100	22.338	4.570,6	44,2	Viabilidade
8- Divisa Baixa	5.800	25.504	4.351,7	42,1	Viabilidade
9- S. M. da Serra	12.000	52.560			Viabilidade
10- Baguari	7.500	32.850	4.113,3	39,8	Viabilidade
11- São Geraldo	2.200	9.636			Inventário
12- S. Antônio	1.400	6.132			Inventário
13- Retirão	3.700	16.206			Inventário
14- Barreiro	10.000	43.800	2.112,3	20,4	Inventário
15- Fco. L.S.Dias	1.600	7.008			Inventário
16- Jacubinha	4.500	19.710			Inventário
17- N. S. Graças	2.400	10.152			Inventário
18- N. S. Fátima	2.000	8.760			Inventário
19- Ponte Nova	600	2.628			Inventário
20- Capivari	3.400	14.892			Inventário
21- Jaguari 1	2.100	9.198			Inventário
22- Laranjal Paulista	6.400	28.032	7.089,1	68,5	Inventário
23- Camanducaia	5.000	21.900			Inventário
24- Jaguari 2	10.100	44.238			Inventário
25- São Carlos	4.500	19.710	5.064,1	49,0	Inventário
26- Corredeira	4.500	19.710	6.000,0	58,0	Inventário
27- Porto Feliz	3.200	14.046	8.100,0	78,3	Inventário
28- Tietê	4.800	21.024	7.339,6	71,0	Inventário
29- São Joaquim	2.900	12.702			Desativada
30- São José	3.500	15.330	1.794,7	17,4	Desativada
31- Santa Inês	1.600	7.008			Desativada
32- Três Quedas	-				Desativada
33- São Valentim	1.445	6.329			Desativada
34- Tatu	780	3.416			Desativada
35- Feixos	1.000	4.380			Desativada
36- Arpuí	660	2.891			Desativada
37- Jacaré	2.000	8.760			Desativada
Total	175.385	768.186	2.266	22	

fonte: CESP, 1993.

⁽¹⁾ estimando fator de carga = 50%.

⁽²⁾ Eletrobrás, 1992.

⁽³⁾ regra de três entre o valor total do custo marginal de fornecimento de eletricidade (US\$ 34/MWh - tabela 3.4) e o energia gerada (coluna 3)

³⁹ Ver a descrição das etapas no Anexo 3.

Através dos dados do custo marginal médio de expansão de eletricidade (*US\$ 34/MWh*, dado na tabela 3.4); do potencial de expansão de fornecimento de energia (*768 MWh/ano*, tabela 3.5) e do potencial de expansão do parque gerador (*175 MW*), obteve-se o custo marginal de expansão da capacidade instalada de eletricidade por regra de três o que resultou em *US\$ 3.514/kW*⁴⁰. Assumimos ainda, para as alternativas cujos custos marginais de expansão da capacidade instalada não estão expressos na tabela o valor médio de *US\$ 3.514/kW* e *US\$ 34/MWh*, necessários para hierarquizar as alternativas de expansão. Consideramos ainda um fator de carga de 50%, o que resultou no potencial de fornecimento de energia elétrica dado na terceira coluna.

Outro potencial de fornecimento de energia elétrica na região é através do aproveitamento da cogeração, podendo fornecer 83 MW em usinas sucro-alcooleiras; 14 MW da lenha e lixívia e 204 MW com palhas e pontas⁴¹ (Canavarros, 1994). Estão listadas algumas dessas opções e os respectivos custos marginais na tabela 3.6.

Para efeitos deste estudo considera-se apenas a primeira alternativa denotada na tabela, cuja variação do custo é de *US\$ 32/MWh* a *US\$ 76/MWh* se a geração for feita exclusivamente na safra para *US\$ 55/MWh* a *US\$ 80/MWh*, quando realizada também na entressafra (Eletrobrás, 1993). Foram adotados os maiores valores do custo marginal de expansão da geração apresentados, isto é, *US\$ 80/MWh* e *US\$ 700/kW* com potencial de 301 MW⁴² e, considerando um fator de carga de 30%, temos uma capacidade de fornecer 791 GWh por ano.

Outra opção para suprir a crescente demanda de eletricidade na região é a expansão da oferta através de termelétricas convertidas ou construídas. Por exemplo, há planos de conversão da usina de Carioba de óleo combustível para gás natural, o que permitiria o aumento da oferta para 350 MW com custos operacionais de *US\$30/MWh* (Eletrobrás, 1992). Assumindo-se o mesmo fator de carga da biomassa (30%) para o gás natural, tem-se um potencial de fornecimento de 920 GWh por ano. Quanto à produção de calor através dessa fonte energética, admite-se apenas nas opções de demanda substituindo outras fontes⁴³.

⁴⁰ Valor obtido através da média ponderada entre os valores existentes (relação entre o custo marginal de atendimento da potência [US\$/kW] e a capacidade instalada [kW] dados na tabela 3.5).

⁴¹ Admitindo tecnologias com ciclo Rankine, temperatura de vaporização de 300°C, pressão de 21 kgf/cm² em caldeiras reformadas e turbinas de compressão (Tecnologia mais difundida atualmente devido às pequenas mudanças estruturais necessárias quando comparadas com as demais opções) (tabela 3.6). Esse potencial, no entanto, pode atingir até 4 vezes esse valor com a economia de vapor do processo e uso de equipamentos mais eficientes. Se utilizada a tecnologia GSTIG⁴¹, esse potencial chega a ser dez vezes maior.

⁴² Admitindo o potencial referente ao bagaço de cana, palhas e pontas e lenha (tabela 3.4).

⁴³ Considera-se, entretanto, que essa fonte substitui apenas outros derivados de petróleo na RAC, o que não altera as estimativas.

Tabela 3. 6: Custo Total da Geração Termoelétrica [US\$ de 1991]

Tecnologia	Produção Líquida de Eletricidade (kWh/te)		Características Principais	Custo Marginal de Geração		Invest. ** [US\$/kW]
	Bagaço safra (1)	Pontas Folhas entres. (2)		[US\$/MWh]		
			Pv: pressão de vaporização Tv: temperatura de vaporização	(1)	(1) + (2)	
Ciclo Rankine (Vapor)	5	36	Pv=21kgf/cm ² ; Caldeira reform. Tv=300°C; Turb. contrapressão	32 - 76	55 - 80	700
	5	36	Pv=21kgf/cm ² ; Caldeira nova Tv=300°C; Turb. contrapressão	43 - 87	61 - 87	1.030
	42	84	Pv=42kgf/cm ² ; Caldeira instrum. Tv=440°C; Turb. condensação	55 - 74	47 - 58	1.382
	48	90	Pv=61kgf/cm ² ; Caldeira instrum. Tv=480°C; Turb. condensação	60 - 77	49 - 59	1.586
Ciclo Rankine (Vapor) com Economia de Vapor no Processo e Equipamento mais Eficiente	27	64	Pv=21kgf/cm ² ; Caldeira reform. Tv=300°C; Turb. contrapressão	32 - 78	39 - 65	700
	27	64	Pv=21kgf/cm ² ; Caldeira nova Tv=300°C; Turb. contrapressão	43 - 89	45 - 72	1.030
	57	94	Pv=42kgf/cm ² ; Caldeira instrum. Tv=440°C; Turb. condensação	55 - 82	46 - 61	1.382
	64	100	Pv=61kgf/cm ² ; Caldeira instrum. Tv=480°C; Turb. condensação	60 - 85	48 - 62	1.586
GSTIG - I	140	142	Efic. Total = 28%	51 - 67	38 - 47	1.240
GSTIG - II	193	186	Efic. Total = 36%	51 - 64	36 - 43	1.240
GSTIG - III	219	209	Efic. Total = 40%	51 - 62	35 - 42	1.240

fonte: Eletrobrás, 1993b.

* Copersucar et alli, 1991.

nota: teor de umidade do bagaço de 50% e das folhas e pontas de 20% nos ciclos a vapor e de 15% para o ciclo GSTIG; para o bagaço, produção líquida de uma usina de açúcar com destilaria anexa e os custos de geração consideram as disponibilidades líquidas descontado o consumo interno da indústria.

Além das alternativas hidro e termoelétricas, há a possibilidade de gerar eletricidade através do aproveitamento de energia solar. A insolação da RAC chega a atingir cerca de 2.500 horas por ano em algumas localidades; no entanto os atuais custos das células fotovoltaicas, a disponibilidade de energia hidroelétrica e a eletrificação quase que total, não torna essa opção atrativa e, portanto, não é considerada neste estudo. Na região de governo de Rio Claro é ainda possível, tecnologicamente, a instalação de usinas eólicas devido ao potencial existente de 3,78 GJ/m²/ano propiciado por ventos da ordem de 5,8 m/s. Segundo Canavarros (1994), a instalação de 100 turbinas pode produzir cerca de 250 kW.. Assume-se que o custo marginal de expansão para essa alternativa seja de US\$ 1.100/kW e com custos de US\$ 47/MWh, valor da opção de menor custo entre as alternativas em estudo.

Custos Marginais da Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica

O custo marginal de expansão da transmissão de eletricidade para a região Sudeste, segundo a Eletrobrás (1994), vem caindo ao longo dos anos, tendo atingido em 1993 os valores expressos na tabela 3.7. Considera-se para o ano de 1992 esses mesmos valores.

Tabela 3. 7: Custo Marginal de Expansão da Transmissão da Região Sudeste [US\$/kW dez/93]

Nível de Tensão	US\$/kW
A0 (maior ou igual a 345 kV)	48,6
A1 (230 kV)	80,2

fonte: Eletrobrás, 1993.

Dados do custo marginal de distribuição de eletricidade estão dispostos na tabela 3.8 para os anos de 1993 e 1994. Como se pode observar, os custos marginais são inferiores nas maiores tensões e, ainda, na região da CESP, mais elevados que na Eletropaulo e esta, por sua vez, que a CPFL, nas baixas tensões. Nas médias tensões, esses custos são praticamente os mesmos. Nota-se na tabela que os custos referentes ao ano de 1994 são menores que os de 1993. Entretanto, para este estudo, são admitidos os mesmos valores de 1993 para o ano base.

Tabela 3. 8: Custo Marginal da Distribuição [US\$/kW dez/93]

Localidade	Baixa Tensão		Média Tensão		Baixa + Média Tensão	
	1993	1994	1993	1994	1993	1994
CESP	65	56	19	17	84	73
CPFL	47	39	18	16	65	55
Eletropaulo	59	56	19	18	78	74
Sudeste	52	48	17	16	69	64
Brasil	48	42	19	16	67	58

fonte: Eletrobrás, 1994.

Foi ainda estimado que o custo marginal de distribuição da RAC do ano base ponderando-se os valores apresentados para 1993 na tabela 3.8, admitindo que os consumidores atendidos pelas concessionárias CESP, CPFL e Eletropaulo, sejam conforme a tabela 3.12 (pág. 67) e através da equação 3.1, onde $C^{d,RAC}$ é o custo da distribuição da RAC, $C^{d,con}$ é o custo de distribuição da concessionária, N^{con} é o número de domicílios atendidos pela concessionária, N^{RAC} é o número de domicílios⁴⁴ total e t indica o setor da economia.

Equação 3. 1: Custo da Distribuição de Energia na RAC

$$C^{d,RAC} = \sum_t \frac{C_t^{d,con} \times N_t^{con}}{N_t^{RAC}}$$

Assumindo que a distribuição seja realizada 50% em baixa tensão e 50% em média e alta tensão nos três setores, o custo marginal é de $C^d = US\$ 32/kW$. Utilizando-se do mesmo

⁴⁴ Ver seção 3.2.2, **Setor Residencial**, Número de Domicílios Atendidos por Energia Elétrica.

procedimento obteve-se $C^t = US\$ 64/kW$ para o custo marginal de transmissão. Através do fator de carga de 80%⁴⁵, e admitindo uma vida útil de 15 anos, o custo marginal de fornecimento de energia para a transmissão é de $US\$ 0,6/MWh$ e, assumindo o mesmo fator de carga e vida útil para a distribuição resultou em um custo marginal de $US\$ 0,3/MWh$.

Os custos de fornecimento de energia elétrica e da expansão utilizados no modelo computacional correspondem à soma dos valores dos custos de expansão da geração, transmissão e distribuição. O resumo desses resultados é dado na tabela 3.9⁴⁶.

Tabela 3. 9: Custos Marginais de Fornecimento e Expansão de Eletricidade para a RAC

Fontes Primárias	Energia [GWh/ano]	Potência [MW]	US\$/MWh	US\$/kW
Energia Hidráulica	768	175	35	3.578
Biomassa	791	301	81	797
Energia Eólica	110 ⁽¹⁾	25	51	1.100
Gás Natural	920	350	81	1.040
Importação	8.489 ⁽²⁾	1.139 ⁽³⁾	36	3.680
Total	11.078	1.990	43	2.738

fonte: elaboração própria; ⁽¹⁾ Assumindo um fator de carga de 50%.; ⁽²⁾ Admitindo que se mantenha o mesmo valor do ano base (88,3% do consumo dos três setores, no caso); ⁽³⁾ Assumindo que o setor residencial corresponda a 36% da demanda na RAC (p.63) e que a capacidade instalada para esse setor no ano base seja de 410 MW (p. 116).

Como não se dispunha de dados referentes ao custo da importação de eletricidade de outras regiões para a RAC, considerou-se para esse valor a soma entre a tarifa azul (A0) do setor industrial no Brasil, equivalente a cerca de $US\$ 35/MWh$ em julho de 1990 (Eletrobrás, 1990), e os custos marginais de transmissão e distribuição, o que implica em $US\$ 36/MWh$. Para obter-se o custo por capacidade instalada, utilizou-se da regra de três entre o custo marginal (US\$/kW) e a potência (MW) da alternativa hidráulica dada na tabela 3.9 e a potência suprida através da importação de energia, o que resultou em $US\$ 3.680/kW$.

Derivados de Petróleo

Apesar da RAC não possuir nenhum campo petrolífero, encontra-se na região a maior refinaria do país (REPLAN), que produziu, em 1991, 436.600 TJ de derivados de petróleo, sendo apenas 27% consumido na própria região (Canavarros, 1994).

Há perspectivas de aumentar a capacidade de refino na REPLAN para obter maiores quantidades de GLP, gasolina e Diesel. Estima-se investimentos da ordem de US\$ 165

⁴⁵ Contato pessoal na CPFL: outubro de 1995.

⁴⁶ Ver Anexo 4.

milhões para a unidade de coque, com previsão de início da operação em 1997 e tempo de retorno em 2 anos. Outra unidade de hidrotreamento consta também do calendário de obras, visando a estabilização e tratamento cerca de 5.000 m³ de Diesel (reduzir o enxofre), com investimentos de US\$ 252 milhões e previsão para início em 1997 (Petrobrás, 1993).

Em 1992, o custo de descoberta da Petrobrás, foi de US\$ 1,3/BOE (Salomon Brothers e DEPEX) e, segundo a própria companhia, considerando médias móveis de 5 anos, esses custos foram de US\$ 3,35/BOE. Como se pode observar na tabela 3.10, o custo de produção em 1992 foi de US\$ 12,34/BOE, e o custo total de US\$ 14,32/BOE (Petrobrás/Sefin, 1992).

Tabela 3. 10: Custo Médio do Petróleo Nacional Extraído [US\$/BOE]

Descrição do Custo	1989	1990	1991	1992
Custo Operacional de Extração	6,41	5,83	4,48	4,67
Materiais, Comb. e Lubrificantes	1,38	1,35	0,61	0,55
Pessoal	1,98	1,83	1,67	1,78
Serviços de Terceiros	2,34	2,17	1,86	1,80
Serv. Públ., Aluguéis e Encargos	0,71	0,48	0,33	0,51
Impostos e Taxas	0	0	0	0
Alocações	0	0	0,01	0,03
Amortização dos Investimentos				
Exploração	2,53	2,73	2,51	2,42
Desenvolvimento da Produção	5,06	5,40	5,20	5,25
Custo de Produção	14,00	13,96	12,19	12,34
Pesquisa Tecnológica	0,28	0,18	0,30	0,21
Overhead Total	0,87	0,85	1,14	0,98
Custo Financeiro	1,13	0,92	0,79	0,40
Custo Total (exceto royalties)	16,28	15,91	14,42	13,93
Royalties	0,46	0,62	0,54	0,39
Custo Total do BOE Extraído	16,74	16,53	14,96	14,32

fonte: Petrobrás (1993)

nota: BOE - barris de óleo equivalente (óleo e gás natural)

Os custos de refino são dados na tabela 3.11 para os anos de 1989 a 1991. Em 1992, o custo do refino, sem consumo próprio, foi de US\$ 2,17 por barril, tendo variado, segundo dados da Petrobrás/Depin, de US\$ 1,47 a US\$ 2,47 entre 1982 e 1992, sem contabilizar a depreciação e o consumo próprio. Ainda em 1992, com o consumo próprio, esse valor corresponde a US\$ 2,92 por barril, custos elevados segundo a companhia, devido ao acúmulo de atividades de manutenção no ano em questão (Petrobrás, 1993).

Através desses custos podemos concluir que no ano de 1992 os custos de fornecimento de derivados de petróleo, excluindo-se os custos de distribuição foram de US\$ 17,24/BOE, o que corresponde a US\$ 2,78/GJ⁴⁷.

Tabela 3. 11: Custos de Refino [US\$milhões], Barris de Petróleo por Dia [1000 BPD] e Custo por Barril [US\$/barril]

⁴⁷ 1 tEP = 10,8 Gcal = 7,28 BOE (MME, 1995).: 1 BOE = 1,479 Gcal = 6,19 GJ.

Elemento de Custo	1989	1990	1991
Materiais	70	82	103
Pessoal e Encargos	529	396	427
Serviços de Terceiros	365	280	242
Encargos Operacionais	53	41	44
Total [US\$milhões]	1.017	799	816
BPD [1000]	1.183	1.156	1.130
US\$ /barril	2,22	1,82	2,01

fonte: Ernst Young, sem depreciação e consumo próprio

Biomassa

No estudo da biomassa, levar-se-á em consideração apenas o bagaço de cana, palhas e pontas, apesar da presença da lenha e do carvão vegetal na região. Da produção total de 520 PJ produzido na região, 99,5% foi consumido internamente em 1991, sendo que aproximadamente 90% no próprio processo industrial das usinas sucro-alcooleiras devido ao uso de tecnologias menos eficientes (Canavarros, 1994). O custo da biomassa utilizado neste trabalho é estimado como sendo o custo do combustível para a geração de eletricidade, isto é, US\$ 10/t.c.⁴⁸ para o bagaço de cana com teor de umidade de 50% e US\$ 17/t⁴⁹ para as palhas e pontas, o que significa, respectivamente, US\$ 1,34 /GJ⁵⁰ e US\$ 1,09 /GJ⁵¹. Estimamos um valor médio de US\$ 1,22/GJ para facilitar a análise.

3.2.2 Demanda de Energia

A demanda de energia será descrita com ênfase nos setores residencial, comercial e serviços e industrial, que representaram 63% do consumo total nacional em 1992, cerca de 50% em São Paulo e 54% na RAC.

No gráfico 3.15 está apresentado o consumo histórico de energia nos principais setores da economia do Brasil. Como se pode observar, houve um crescimento do consumo de energia, que passou de 3.100 PJ em 1980 para 4.350 PJ em 1993, o que corresponde a uma taxa de crescimento média anual de 3%. O setor energético foi o que apresentou maior aumento (6% a.a.), seguidos pelo comercial e público (5% a.a.). O setor residencial cresceu,

⁴⁸ Copersucar et alli., 1991.

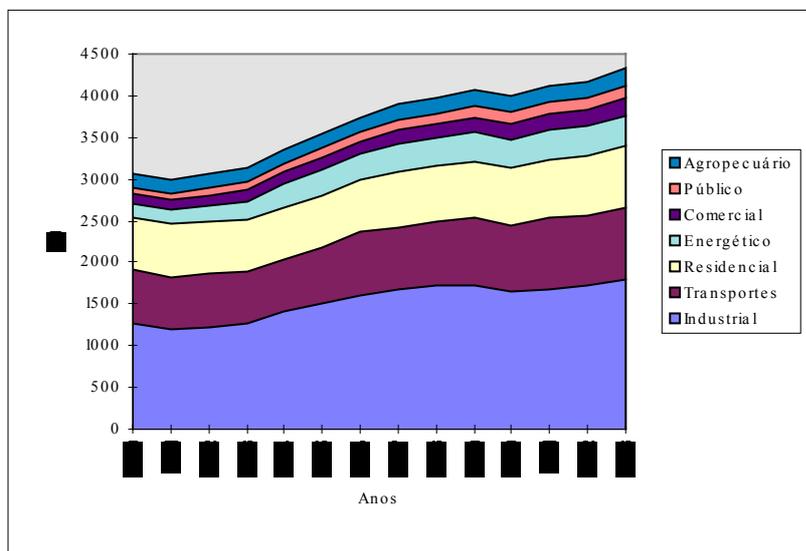
⁴⁹ Eletrobrás, 1993.

⁵⁰ 1 tonelada bagaço com 50% de umidade corresponde a $B = 1,777 \text{ Gcal}$ (SEE, 1996); $1 \text{ cal} = 4,186 \text{ J} \therefore B = 7,439 \text{ GJ}$

⁵¹ Para as palhas, o poder calorífico inferior corresponde a 3.710 kcal/kg com 10,6% de umidade (Notas de aula: Bezzon, 1993). Consideramos para as pontas o mesmo valor.

durante o mesmo período, 4% a.a. e o industrial, 2%. As taxas de crescimento diferenciadas entre os diversos setores fizeram com que em 1992 o setor residencial participasse com aproximadamente 17% do consumo, o setor comercial, 5% e o setor industrial, 41%.

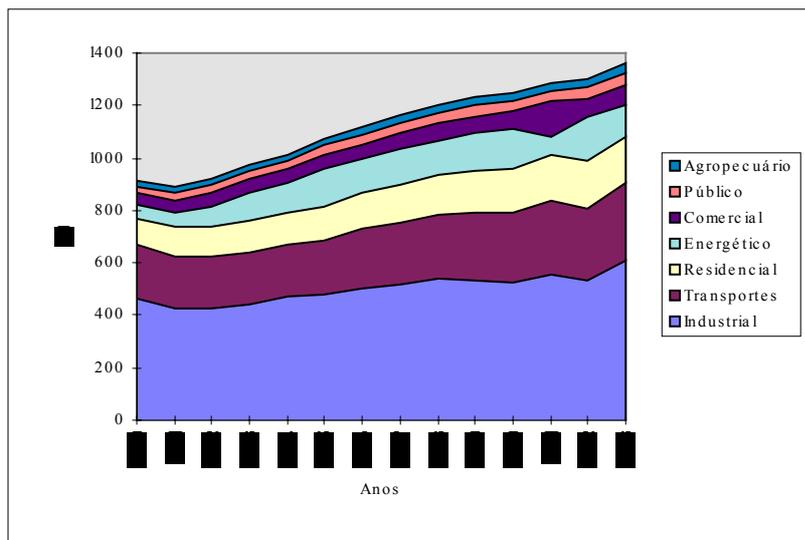
Gráfico 3. 15: Consumo de Energia por Setor - Brasil [PJ]



fonte: MME, 1994

No gráfico 3.16 observa-se o aumento do consumo de energia do Estado de São Paulo de 900 PJ em 1980 para 1.370 PJ em 1992, o que significa uma taxa de crescimento média de 3% ao ano. O setor que apresentou maior aumento também foi o energético (6% a.a.), seguido pelo residencial, comercial e público (4%). A taxa do setor industrial foi de 2% a.a. para o mesmo período, o que implicou numa redução de sua participação no consumo energético do Estado de 47% em 1980 para 41% em 1992. O setor residencial participou em 1992 com 14% do consumo de energia no Estado e o setor comercial, 6%.

Gráfico 3. 16: Consumo de Energia por Setor -SP[PJ]

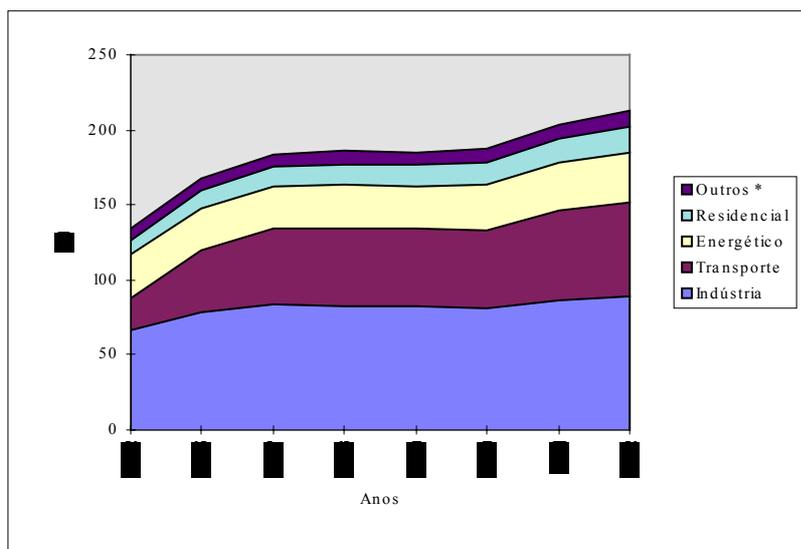


fonte: SEE, 1996.

O consumo de energia setorial da RAC está ilustrado no gráfico 3.17, onde se nota o aumento da demanda de 134 PJ em 1982 para 210 PJ em 1992, o que significa uma taxa média de 5% a.a.. O setor de transportes foi o que mais contribuiu para esse fato, com crescimento de 11% a.a., seguido pelo residencial, de 5% a.a. e o industrial, 1% a.a. Em 1992, a participação do setor residencial no consumo era de 8% e o industrial 42%.

Como se pode observar através dos dados apresentados nesta seção, o consumo de energia tem crescido com maior intensidade na RAC que no Estado e no país.

Gráfico 3. 17: Consumo de Energia por Setor - RAC [PJ]



Fonte: Canavarros, 1994.

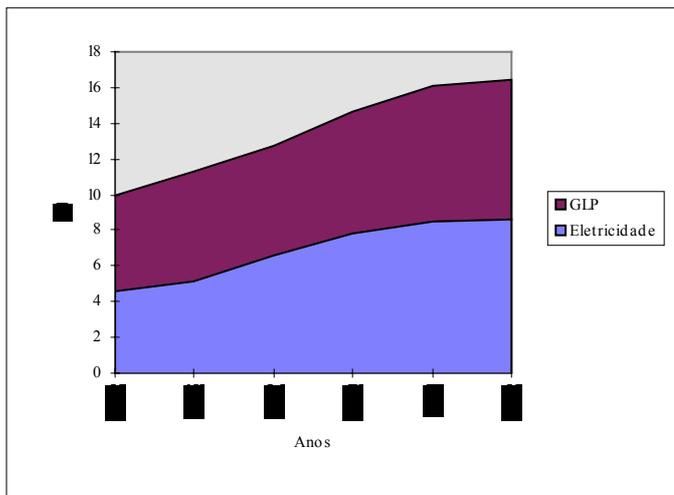
* Outros: Comercial, Público e Agropecuário

Em seguida é descrito o consumo de energia nos setores residencial, industrial, comercial e serviços.

Setor Residencial

O setor residencial da RAC caracteriza-se basicamente pelo consumo de eletricidade e GLP (Canavarros, 1994), apesar de se ter em mente o uso de biomassa (lenha e carvão vegetal), especialmente na zona rural. No entanto, para efeitos deste estudo, consideraremos apenas as duas primeiras fontes energéticas que são mostradas ao longo desta seção com maior detalhe. Como se pode notar no gráfico 3.18 houve um crescimento do consumo total de energia de 9,9 PJ em 1982 para 16,5 PJ em 1992 o que representa um aumento médio de 5,2% a.a..

Gráfico 3. 18: Consumo de Energia no Setor Residencial da RAC

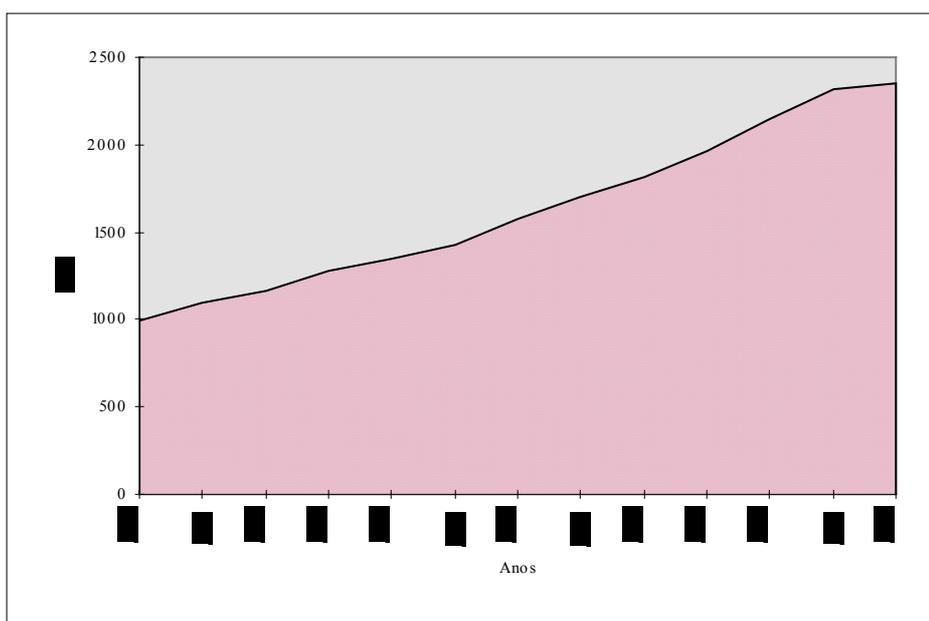


fonte: Canavarros, 1994

Elettricidade

O setor residencial nacional representa 22% do consumo e 36% da demanda de energia elétrica com tarifas inferiores aos custos de fornecimento durante o horário de ponta (Jannuzzi et alli, 1993). O consumo do setor residencial da RAC é dado no gráfico 3.19, onde se pode notar o crescimento do consumo de 956 GWh em 1980 para 2.354 GWh em 1992, implicando em uma taxa média anual de crescimento de 7,4%.

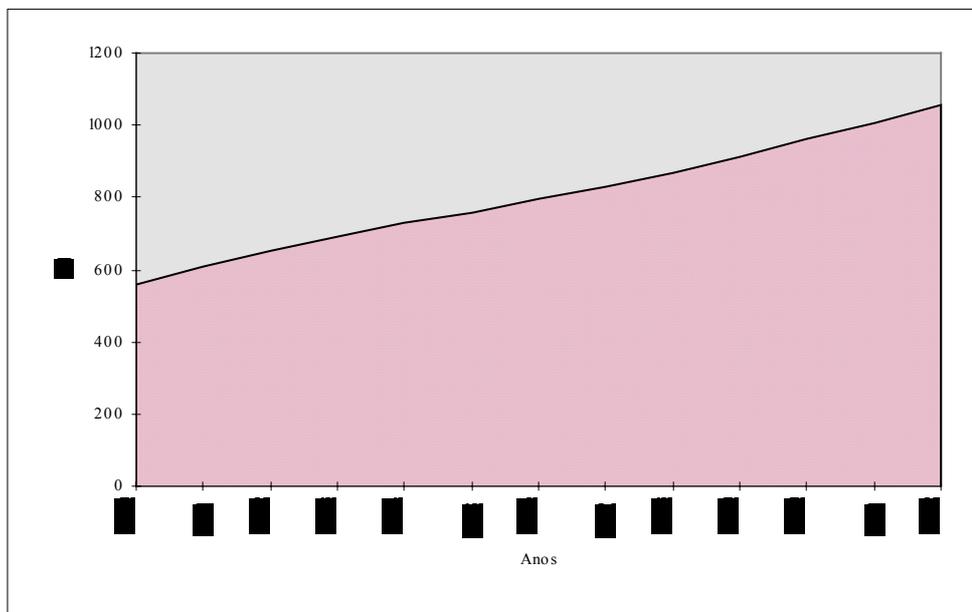
Gráfico 3. 19: Consumo de Elettricidade no Setor Residencial da RAC



fonte: CESP, 1981 a 1993.

O aumento da demanda de energia elétrica pode ser, em parte, explicado pelo crescimento do número de consumidores residenciais, observado no gráfico 3.20, que elevou-se de 556 mil em 1980 para 1.059 mil em 1992 significando um aumento médio de 5,5% a.a., no entanto inferior às taxas do crescimento da demanda (7,4% a.a.).

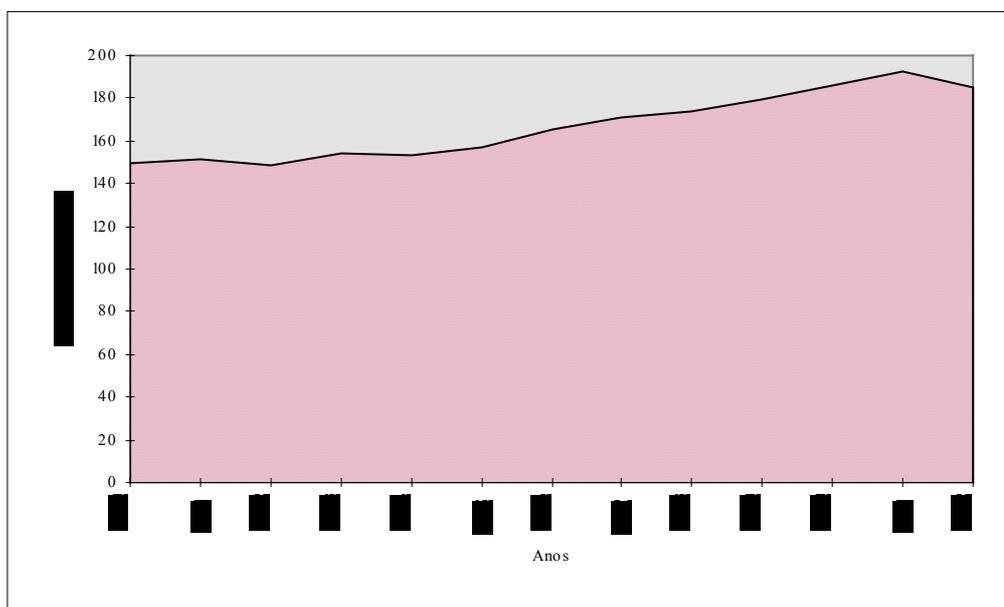
Gráfico 3. 20: Número de Consumidores Residenciais de Eletricidade da RAC



fonte: CESP, 1981 a 1993

Um outro fator que contribuiu para o crescimento da demanda elétrica na região foi o aumento do consumo específico (consumo por domicílio) que passou de 149 kWh/mês no ano de 1980 para 185 kWh/mês em 1992 observado no gráfico 3.21.

Gráfico 3. 21: Consumo Específico Mensal de Eletricidade na RAC



fonte: CESP, 1981 a 1993.

Conforme citado na seção 2.2.1, o consumo residencial desagregado entre os diversos subsetores e usos finais é dado pelo produto entre o número de domicílios, a penetração de tecnologias e o consumo específico. Para o ano base, dispomos dos dois primeiros valores, isto é, N e p , além do consumo total de eletricidade. De posse dessas informações e da equação 2.1, obtém-se o consumo por uso final, conforme apresentado nas seções seguintes.

Número de Domicílios Atendidos por Energia Elétrica

A CESP, CPFL e a ELETROPAULO respondem pelo atendimento de aproximadamente a totalidade dos consumidores residenciais presentes na região (96,06%⁵²). Estima-se, de modo a facilitar a análise, que 100% dos domicílios com energia elétrica sejam atendidos por essas concessionárias de acordo com a tabela 3.12.

Tabela 3. 12: Número de consumidores residenciais por concessionária na RAC

Concessionária	Consumidores	%
CESP	316.885	30
CPFL	591.518	56
ELETROPAULO	147.879	14
TOTAL	1.056.282	100

fonte: elaboração própria baseado nos dados da CESP, 1992.

Como se pode observar através do número de domicílios (1.385.094) e do número de consumidores atendidos (1.056.282), apenas 76% das residências são eletrificadas. A CESP (CESP, 1992), no entanto, tem índice de eletrificação de 96% em relação à população que está sendo atendida. Acredita-se que o baixo índice obtido neste trabalho se deve em parte à porcentagem de domicílios fechados e vazios⁵³ e, ainda, porque as concessionárias apenas admitem como residências aquelas que podem estar ligadas à rede elétrica⁵⁴.

A partir da taxa de urbanização foram estimados os números de consumidores nas áreas urbana e rural o que resultou respectivamente, 949 mil e 108 mil. Para obtenção desses valores por faixa de renda utilizou-se das mesmas participações de domicílios por subsetor dadas na tabela 3.2, resultando na tabela 3.13.

Tabela 3. 13: Domicílios Atendidos por Energia Elétrica em cada Faixa de Renda na RAC em 1992

⁵² Do total dos consumidores residenciais de energia elétrica da RAC, 28,5% são atendidos pela CESP, 54,95% pela CPFL e 12,96% pela Eletropaulo (CESP, 1992).

⁵³ Cerca de 10% no município de Campinas (PMC, 1993).

⁵⁴ Contato pessoal, CPFL, outubro de 1995.

Faixa de Renda	urbana	rural	total
até 2 SM	73.956	21.979	95.935
de 2 a 5 SM	206.782	38.894	245.676
de 5 a 10 SM	277.923	27.905	305.828
mais de 10 SM	362.343	16.700	379.043
outros	27.507	2.262	29.769
Total	948.511	107.740	1.056.251

fonte: elaboração própria

Penetração de Tecnologias Elétricas no Setor Residencial

Os equipamentos escolhidos para este estudo foram aqueles que representavam maior participação no consumo de energia (lâmpadas incandescentes, fluorescentes, ferro de passar roupa, televisão, geladeira de 1 e 2 portas, chuveiro, ventilador/circulador, rádio, máquina de lavar e de secar roupa, máquina de lavar louça, freezers, cocção, aquecedor e ar condicionado) dados na tabela 3.14.

Tabela 3. 14: Participação no consumo diário de eletricidade e potência média no Brasil

Consumo diário [%]	Semana	Potência média [W]
Chuveiro	19,51%	3500
Televisão	11,85%	100
Forno Microondas	0,06%	2000
Rádio	1,64%	70
Máq. Lavar Louça	0,07%	1400
Ar Condicionado	3,41%	1415
Máq. Lavar Roupa	1,53%	600
Secadora de Roupa	0,61%	1700
Ferro	2,50%	1000
Iluminação	12,88%	60 (inc.), 20 (fluor,)
Geladeira	34,06%	150 (1 porta), 270 (2)
Ventilador/Circulador	0,17%	70
Freezer	6,2%*	200
Outros	4,12%	100

fonte: PROCEL, 1989

**estimativa da autora*

Não se dispunha de dados da participação do consumo de todos os equipamentos escolhidos neste trabalho, tendo sido estimados os valores das lâmpadas, geladeiras e freezers⁵⁵. Para as lâmpadas, uma vez que estamos avaliando separadamente as incandescentes e as fluorescentes, pondera-se a participação em função da penetração de tecnologias (tabela 3.15, p.71) e da potência assumindo que o nível de uso seja o mesmo

⁵⁵ Ver anexo 5.

independente do tipo de lâmpada, o que resultou para as incandescentes, 12,3% do consumo total e, para as fluorescentes, 0,5%. Quanto às geladeiras, utiliza-se do mesmo processo obtendo-se 26,2% para as de 1 porta e 7,8% para as de 2 portas. Compara-se ainda os freezers com as geladeiras de uma porta o que implicou em uma participação de 6,2% no consumo diário de eletricidade.

As informações da posse de eletrodomésticos foram obtidas em um estudo realizado pelo PROCEL (1989), envolvendo dados do Brasil e regiões, e ainda, em maior detalhe, junto às concessionárias, dentre as quais a CESP, a CPFL e a ELETROPAULO.

Para determinar-se a posse de equipamentos elétricos nas residências da RAC, utilizou-se das estimativas de distribuição do atendimento por concessionária (tabela 3.12), dos dados da posse das companhias⁵⁶ (Anexo 2) e da média ponderada, dada na equação 3.2, onde Y é a posse de eletrodomésticos, ϕ é a porcentagem de domicílios atendidos pela concessionária em relação ao total da RAC, os índices i e j representam os usos finais e faixas de renda e, *con e RAC* indicam que a posse é, respectivamente, da concessionária e da RAC.

Equação 3. 2: Posse de Eletrodomésticos na RAC

$$Y_{i,j}^{RAC} = \sum_{i,j} (Y_{i,j}^{con} \times \phi_j^{con})$$

Observa-se no Anexo 2 o grande uso de lâmpadas, geladeiras, televisões e ferros em qualquer das faixas de renda em estudo e em qualquer das regiões, sendo sempre superior na CPFL e nas residências de maior poder aquisitivo.

Quanto à iluminação, aproximadamente 99% das residências da RAC possuem lâmpadas incandescentes, sendo que nas regiões das concessionárias, chega-se a atingir 99,5% de uso. Já as lâmpadas fluorescentes estão presentes em 26% dos domicílios brasileiros, superando índices da CESP (11,0%), mas atrás ainda da CPFL (29,1%).

Apesar das geladeiras de uma porta serem mais difundidas que as de duas portas, nota-se que quanto maior a renda familiar, maior a absorção das últimas (Anexo 2).

Há ainda alto índice de posse de televisão, em menor escala nas menores faixas de renda no Brasil (77,65%), mas atingindo 97,55% na região da CPFL em faixas superiores a 5 SM.

⁵⁶ Admitindo que não tenham se alterado entre os anos de 1988 e 1992.

Além destes aparelhos, a posse de ferros de passar roupa é elevada, sendo o mínimo de 70% no Brasil na menor faixa de renda, alcançando 99% na região da CPFL em residências cuja faixa de renda é superior a 5 salários mínimos.

A posse de chuveiro no Brasil é de 55,15% nas faixas de renda até 2 SM e atingindo índices de 77,69% nas faixas superiores a 5 SM. A região da CESP, da CPFL e da ELETROPAULO possuem percentuais mais elevados, destacando-se as duas últimas, onde o aparelho encontra-se presente em 97,75% dos domicílios.

Apesar da baixa difusão do ar condicionado, este aparelho responde por 3,41% do consumo de energia elétrica. Observa-se, no entanto, que o equipamento é menos utilizado nas regiões das concessionárias que no Brasil, devido às diferenças climáticas existentes no país. Em menor proporção, tem-se ainda o rádio e os ventiladores e circuladores de ar.

Para a cocção elétrica, foram reunidos todos os aparelhos citados pelo PROCEL (1989) para a cocção que necessite de eletricidade (microondas, forno elétrico, torradeira, panela elétrica, etc). Como se pode observar, entretanto, a posse desses eletrodomésticos é ainda pequena quando comparado com os demais aparelhos.

A fim de desagregar esses dados nas áreas urbana e rural, assumimos ainda que na área urbana existe maior uso de equipamentos, sendo considerado que a posse de ferros de passar roupa para a área urbana é 1% superior ao da média, para os secadores de roupa e a cocção elétrica 5% e para os demais eletrodomésticos 2%. Para dar consistência a essas estimativas, retira-se proporcionalmente a posse desses usos finais na zona rural.

Há que se estabelecer, no entanto, o número de equipamentos em cada faixa de renda, ou seja, a penetração⁵⁷ de tecnologias, já que a posse apenas indica a presença do uso final na residência. Para o caso das faixas de renda até 10 salários mínimos, admite-se que não haja mais de um aparelho em uma residência. Já para a faixa superior a 10 SM, apesar da posse estimada como sendo a mesma da faixa de 5 a 10 SM, estabelece-se a presença de 10% a mais de alguns usos finais (ferro, televisão, geladeiras, chuveiros, ventilador/circulador, rádio, freezer e cocção elétrica). Os resultados obtidos estão na tabela 3.15.

Observa-se na tabela que existem casos onde a penetração é superior a 100%, o que indica a presença de mais de um equipamento por domicílio. As penetrações das lâmpadas nas áreas urbana e rural foram assumidas como sendo iguais.

Tabela 3. 15: Penetração de Tecnologias no setor residencial da RAC - 1992

	Urbano	Rural
--	--------	-------

⁵⁷ Penetração é a quantidade de equipamentos por domicílio, enquanto posse é a presença ou não de determinado uso final (Anexo 6).

Faixa de Renda - SM	até 2	2 a 5	5 a 10	+ 10	NS	até 2	2 a 5	5 a 10	+ 10	NS
lâmpadas incand.	581%	683%	835%	835%	780%	581%	683%	835%	835%	780%
lâmpadas fluoresc.	32%	57%	136%	136%	111%	32%	57%	136%	136%	111%
Ferro	90%	95%	99%	109%	95%	86%	85%	89%	98%	86%
Televisão	89%	94%	100%	110%	97%	72%	76%	81%	89%	78%
Geladeira - 1 porta	77%	80%	82%	90%	81%	62%	65%	66%	73%	65%
Chuveiro	90%	95%	98%	108%	95%	73%	77%	79%	87%	77%
Ventilador / Circul,	35%	44%	57%	63%	51%	28%	35%	46%	51%	41%
Rádio	41%	46%	48%	52%	47%	33%	37%	38%	42%	38%
Geladeira - 2 portas	5%	11%	23%	26%	18%	4%	9%	19%	21%	14%
Freezer	2%	8%	21%	23%	15%	2%	7%	17%	18%	12%
Secadora de Roupa	1%	2%	4%	4%	3%	0%	1%	2%	2%	2%
Ar Condicionado	1%	2%	6%	6%	4%	0%	2%	5%	5%	3%
Máq, L,L	1%	2%	5%	5%	3%	1%	1%	4%	4%	3%
Lav Roupa	26%	39%	57%	57%	49%	21%	32%	46%	46%	40%
Cocção Elétrica	5%	11%	22%	24%	17%	3%	6%	12%	13%	9%
Outros	23%	32%	43%	48%	38%	19%	26%	35%	39%	31%

fonte: elaboração própria

Consumo Específico Anual de Eletricidade no Setor Residencial

Para desagregar o consumo por usos finais foi usado o seguinte procedimento: o consumo total de eletricidade do setor residencial (2.354 GWh) foi subdividido nas áreas urbana e rural de acordo com o número de consumidores, admitindo-se que seja 5% maior na zona urbana, isto é, correspondendo a 93,8% do consumo o que implica em 2.208 GWh e, na zona rural, 146 GWh, significando um consumo anual por residência de 2.344 kWh e 1.347 kWh, respectivamente.

Em seguida, desagrega-se o consumo segundo o número de domicílios por faixa de renda e estimado que tanto na zona urbana quanto na rural, o consumo por residência entre 5 e 10 salários mínimos seja 5% superior e nas faixas acima de 10 salários mínimos, 10% superior ao da média, devido à maior penetração de tecnologias observada na tabela 3.15. Para dar consistência aos dados do consumo de energia elétrica total do setor residencial, retirou-se esses valores da faixa de renda que cobre as residências até 2 salários mínimos. Os resultados estão apresentados na tabela 3.16.

Tabela 3. 16: Estimativa do Consumo por Faixa de Renda da RAC em 1992 [GWh e %]

faixa de renda	urbana		rural	
	GWh	%	GWh	%
até 2 SM	110	5%	29	20%
2-5 SM	486	22%	53	36%
5-10 SM	684	31%	39	27%
+10 SM	927	42%	25	17%
Total	2.208	100%	146	100%

fonte: elaboração própria

Por fim, para que seja obtido o consumo por usos finais, utiliza-se da equação 2.1, dados do número de domicílios atendidos apresentados na tabela 3.12, o consumo por faixa de renda da tabela 3.16, a participação dos usos finais no consumo de eletricidade⁵⁸ e os dados das penetrações na tabela 3.15. Os resultados estão expressos na tabela 3.17. Pode-se explicar o fato do consumo específico de um uso final ser diferente para cada faixa de renda devido ao hábito de uso.

Tabela 3. 17: Consumo Específico por Uso Final da RAC em 1992 [kWh/ano]

Usos Finais	Faixa de Renda Urbana (SM)				Faixa de Renda Rural (SM)			
	até 2	2 a 5	5 a 10	mais de 10	até 2	2 a 5	5 a 10	mais de 10
lâmpadas incand.	31	42	36	38	28	25	21	22
lâmpadas fluoresc.	10	14	12	13	9	8	7	7
Ferro	41	62	62	59	41	40	39	38
Televisão	198	296	292	276	217	212	204	199
Geladeira - 1 porta	502	764	780	739	553	545	551	533
Chuveiro	331	495	502	474	361	354	354	344
Ventilador / Circul,	7	9	7	7	8	7	5	5
Rádio	59	84	84	81	66	60	60	58
Geladeira - 2 portas	2380	1709	856	787	2639	1211	588	570
Freezer	4611	1821	727	690	4090	1207	510	516
Secadora de Roupa	907	717	375	390	0	831	426	457
Ar Condicionado	5072	4007	2098	2181	0	4647	2383	2552
Máq. L,L	104	82	29	30	0	48	20	21
Lav Roupa	2276	1798	753	783	2019	2085	535	573
Cocção Elétrica	3	4	3	3	4	3	2	2
Outros	297	214	112	107	440	227	116	115
Total	16831	12119	6729	6655	10475	11510	5821	6013

SM: salário mínimo

⁵⁸ Admitindo que sejam os mesmos independente da faixa de renda.

Fator de Coincidência de Pico do Setor Residencial

Através dos dados de hábitos de consumo nas três concessionárias (PROCEL, 1989) extrapolados para toda a região segundo o critério adotado (tabela 3.12), obteve-se o fator de coincidência de pico, ou seja, a porcentagem dos equipamentos que estão sendo utilizados na ponta (17h-20h) para a RAC, dado na tabela 3.18. Foram apenas considerados os valores dos dias úteis. No caso do chuveiro, estabeleceu-se que cada consumidor utiliza o aparelho durante 5 minutos⁵⁹ no horário de ponta, o que multiplicado pelo número de habitantes por domicílio no ano base (assumindo o mesmo índice de 1991: 3,31 hab./dom.), resulta em 16,6 minutos, o que implica que 9,19%⁶⁰ dos equipamentos utilizados na ponta são utilizados simultaneamente. Multiplicando essa porcentagem pelo hábito de consumo para cada faixa de renda obteve-se o fator de coincidência de pico dado na tabela abaixo. Para a cocção foi utilizado o mesmo procedimento assumindo uso de 10 minutos durante a ponta. No caso das lâmpadas, geladeiras e freezers assumiu-se fatores de coincidência de pico próximos ao de Jannuzzi et alli (1993). Quanto aos demais usos finais, considerou-se que a porcentagem dos mesmos em funcionamento durante o horário de ponta estejam ligados durante todo o período.

Tabela 3. 18: Estimativa do Fator de Coincidência de Pico na área urbana e rural da RAC - 1992 [%]

Usos Finais	Faixa de Renda Urbana				Faixa de Renda Rural			
	até 2	2 a 5	5 a 10	mais de 10	até 2	2 a 5	5 a 10	mais de 10
lâmpadas incand.	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%
lâmpadas fluoresc.	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%
Ferro	1,1%	3,0%	4,2%	4,2%	1,1%	3,0%	4,2%	4,2%
Televisão	3,6%	12,2%	19,3%	19,3%	3,6%	12,2%	19,3%	19,3%
Geladeira - 1 porta	50,0%	50,0%	50,0%	50,0%	50,0%	50,0%	50,0%	50,0%
Chuveiro	2,0%	4,9%	6,4%	6,4%	2,0%	4,9%	6,4%	6,4%
Ventilador / Circul,	0,5%	2,7%	6,4%	6,4%	0,5%	2,7%	6,4%	6,4%
Rádio	2,6%	5,7%	7,2%	7,2%	2,6%	5,7%	7,2%	7,2%
Geladeira - 2 portas	50,0%	50,0%	50,0%	50,0%	50,0%	50,0%	50,0%	50,0%
Freezer	50,0%	50,0%	50,0%	50,0%	50,0%	50,0%	50,0%	50,0%
Secadora de Roupa	0,2%	1,6%	2,4%	2,4%	0,2%	1,6%	2,4%	2,4%
Ar Condicionado	0,5%	2,7%	6,4%	6,4%	0,5%	2,7%	6,4%	6,4%
Máq. L,L	0,4%	2,1%	6,5%	6,5%	0,4%	2,1%	6,5%	6,5%
Lav Roupa	0,2%	0,6%	0,9%	0,9%	0,2%	0,6%	0,9%	0,9%
Cocção Elétrica	0,3%	1,3%	2,0%	2,0%	0,3%	1,3%	2,0%	2,0%
Outros	0,3%	0,3%	0,3%	0,3%	0,3%	0,3%	0,3%	0,3%

fonte: elaboração própria

⁵⁹ Ver Madureira (1995), hábitos de uso do consumidor.

⁶⁰ $16,55 \div 180 = 0,092$

Potência Específica do Setor Residencial

A potência por equipamento utilizada no cálculo da potência instalada necessária para atendimento do ano base consta da tabela 3.14. Assumiu-se que em qualquer uma das faixas de renda a demanda média (W) por uso final seja a mesma, diferenciando-se apenas quanto à coincidência com a ponta dado no item anterior.

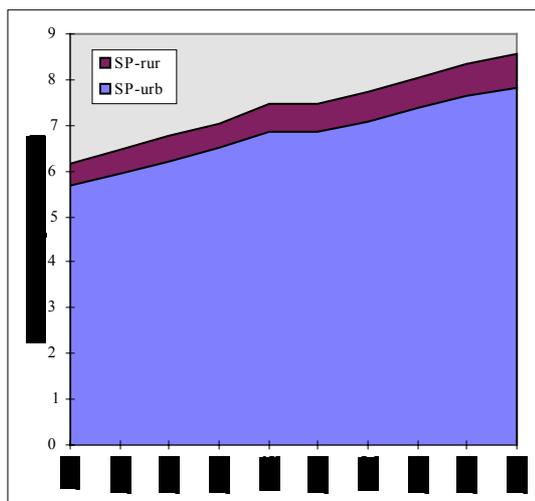
GLP

O consumo de GLP no setor residencial da RAC cresceu de 5.341 TJ em 1982 para 7.840 TJ em 1992, o que representa taxas de crescimento médias anuais de 3,84% a.a., inferior ao crescimento médio do número de domicílios na região (5,5% a.a.) implicando na redução do consumo por domicílio de 6,5 GJ para 6,0 GJ durante o período, no entanto mantendo a média por habitante (1,9 GJ). Os equipamentos que utilizam GLP no setor residencial para efeitos deste estudo são apenas os fogões.

Número de Domicílios Utilizando o GLP

Conforme se nota no gráfico 3.22, houve um crescimento do número de fogões tanto na área urbana quanto na rural do Estado de São Paulo atingindo 8,552 milhões em 1990. A penetração desse uso final na zona urbana é de 100,7% (o que indica mais de 1 equipamento por residência) e na zona rural, 98,9% para esse ano, SEADE (1991). Admitindo que essa penetração seja a mesma para a região em estudo, estimamos que o número de fogões existentes sejam de 1.248 milhões para a área urbana e 139 mil para a área rural no ano base.

Gráfico 3. 22: Número de Fogões nas Áreas Urbana e Rural do Estado de São Paulo



Fonte: SEADE.

Admite-se que 100% dos domicílios na zona urbana e 98,9% na zona rural sejam atendidos em qualquer das faixas de renda no ano base. Isso implica em dizer que o número de domicílios que utilizam-se de GLP sejam dados segundo a tabela abaixo.

Tabela 3. 19: Número de Domicílios que se Utilizam de GLP

Faixa de Renda	urbana	rural
até 2 SM	96.654	28.397
de 2 a 5 SM	270.135	50.252
de 5 a 10 SM	363.071	36.053
mais de 10 SM	473.355	21.576
outros	35.935	2.923
Total	1.239.150	139.201

Penetração de Tecnologias a GLP no Setor Residencial

De posse do número total de equipamentos existentes e do número de domicílios atendidos por GLP, tem-se a seguir, a tabela fornecendo a penetração de tecnologias a GLP na Região Administrativa de Campinas para o ano de 1992, considerando que haja mais de um fogão por domicílio apenas nas faixas de renda superiores a 5 SM na zona urbana e, na rural, nessas mesmas faixas, o equivalente a um fogão por domicílio. Na faixa entre 2 e 5 salários mínimos da zona rural estimou-se uma penetração de 99% e o restante dos fogões foram colocados na faixa até 2 salários mínimos, o que resultou em uma penetração de 96%, conforme se observa na tabela 3.20.

Tabela 3. 20: Penetração de tecnologias a gás na RAC - 1992

Faixa de Renda	urbana	rural
até 2 SM	100%	96%
2-5 SM	100%	99%
5-10 SM	101%	100%
+10 SM	101%	100%

Consumo Específico de GLP no Setor Residencial

O consumo de GLP por uso final para o ano base na RAC foi determinada através da mesma metodologia apresentada para a obtenção do consumo específico de energia elétrica, o que resulta nos valores apresentados na tabela 3.21. Primeiro, assumiu-se que o consumo total seja proporcional ao número de fogões das zonas urbana e rural, o que implica, respectivamente, em 7.054 TJ e 786 TJ. Em seguida, dividiu-se esse consumo nas diversas faixas de renda, com a mesma proporção da eletricidade, dada na tabela 3.16, resultando nos valores expressos na tabela 3.21.

Tabela 3. 21: Estimativa do Consumo de GLP por Faixa de Renda da RAC em 1992 [TJ]

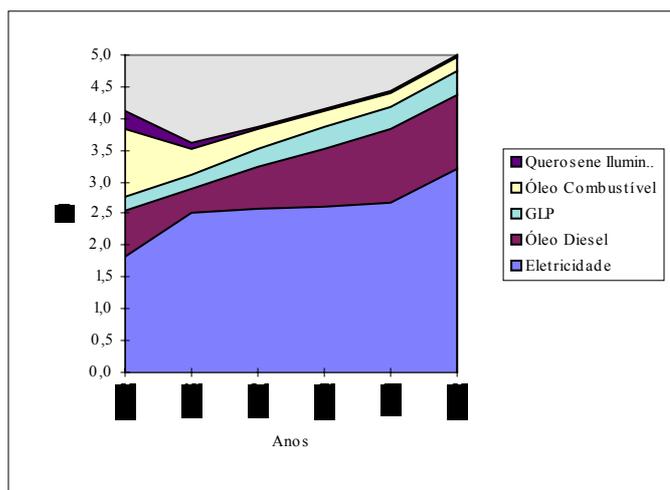
faixa	urbana	rural
até 2 SM	382	154
2-5 SM	1.537	283
5-10 SM	2.170	213
+10 SM	2.965	135
Total	7.054	786

fonte: elaboração própria

Setor Comercial

Como se pode observar no gráfico 3.23, o consumo de energia no setor comercial da RAC cresceu de 4,1 PJ em 1982 para 5,0 PJ em 1992 o que significou uma taxa de crescimento anual de 1,9%, considerando-se apenas o consumo de eletricidade e derivados de petróleo apesar da presença da biomassa (lenha e carvão vegetal) nos subsetores de serviços de alimentos (pizzarias, padarias, churrascarias, etc.). Como se observa no gráfico, a participação dos derivados de petróleo reduziu-se ao longo do período de uma representação superior a 50% em 1982 para atingir apenas 36% em 1992. Esse fato ocorreu não apenas pela diminuição do consumo absoluto dessa fonte como também pela elevada taxa de crescimento da energia elétrica.

Gráfico 3. 23: Consumo Final de Energia no Setor Comercial da RAC



fonte: Canavarros, 1994.

Eletricidade

O consumo de energia elétrica no setor comercial da RAC cresceu no período de 1982 a 1992, de 505 GWh para 890 GWh, isto é, a taxas anuais de 5,8%⁶¹.

Consumo Específico de Eletricidade no Setor Comercial

Como citado no capítulo 2, o PIR procura desagregar as informações para melhor entendimento do consumo de energia. No setor comercial os subsetores utilizados neste trabalho são, como no estudo da J.W.C.A. (1989): lojas, comércio e serviço de alimentos, serviços pessoais, bancos, escritórios, hotéis e grandes estabelecimentos. Nesse mesmo estudo, obteve-se a distribuição do consumo de energia elétrica por estabelecimento comercial e o consumo mensal de eletricidade por área para o ano de 1988 no município de São Paulo. Admite-se que esses valores sejam válidos para a RAC no ano base.

A estimativa do consumo de energia elétrica e o consumo por área por estabelecimento constam da tabela 3.22. Nota-se que apesar dos subsetores de serviços representarem apenas 15% do consumo de eletricidade do setor, a intensidade energética (consumo pela área) é elevada.

Tabela 3. 22: Estimativa do do Consumo de Eletricidade por Subsetor e por Área em 1992 para a RAC

⁶¹ 1 GWh = 0,86 Tcal = 3,59996 TJ

Subsetor	Consumo Mensal por Área [kWh/ m ²]*	Consumo [GWh]	Participação do Consumo [%]*
Lojas	10,9	56	11%
Comércio de Alimentos	15,7	86	17%
Serviço de Alimentos	49,8	61	12%
Serviços Pessoais	47,3	15	3%
Bancos	12	35	7%
Escritórios	16,2	106	21%
Grandes Estabelecimentos	52	101	20%
Outros	8	45	9%
TOTAL	211,9	505	100%

* J.W.C.A. (1989)

É também admitido que o consumo anual de eletricidade por área para cada uso final (iluminação, condicionamento de ar, cocção, refrigeração e outros) no setor comercial da RAC seja semelhante ao da cidade de São Paulo no estudo realizado pela J.W.C.A. (1989). O resultado obtido está resumido na tabela 3.23.

Tabela 3. 23: Estimativa do Consumo Anual de Eletricidade [kWh/m²] do Setor Comercial da RAC - 1992

Subsetores	Iluminação		Ar condicionado		Cocção Elétrica*		Refrigeração*		Outros		Total	
	kWh/m2	%	kWh/m2	%	kWh/m2	%	kWh/m2	%	kWh/m2	%	kWh/m2	%
Lojas	100	76,4	16	11,9	0	0	0	0	15	11,7	130,8	100
Com. Alimentos	47	25	3	1,8	25	13,4	106	56	7	3,8	188,4	100
Serv. Alimentos	121	20,3	42	7,1	157	26,2	264	44,2	13	2,2	597,6	100
Serv. Pessoais	51	8,9	17	3	0	0	0	0	500	88,1	567,6	100
Bancos	75	52,1	49	33,8	0	0,3	0	0,1	19	13,5	144	100
Escritórios	98	50,3	67	34,3	0	0	0	0	30	15,3	194,4	100
Grandes Estab.	309	49,5	210	33,6	38	6,1	38	6,1	29	4,6	624	100
Outros	16	16,7	10	10,4	0	0	0	0	70	72,9	96	100

fonte: J.W.C.A. 1989 e *elaboração própria.

Como se pode observar a iluminação tem grande participação no consumo de diversos subsectores, especialmente nas lojas (76,4%). Os bancos, escritórios e grandes estabelecimentos têm além da iluminação (cerca de 50% do consumo), o ar condicionado como grande consumidor de eletricidade (em torno de 34%). A refrigeração e a cocção têm grande participação nos estabelecimentos de comércio e serviço de alimentos (respectivamente, 56% e 44,2%).

Fator de Coincidência de Pico no Setor Comercial

Admitimos que ao longo do ano o comportamento do consumo de energia elétrica seja uniforme, apesar de que, durante a época de festas, as lojas estejam abertas além das 18 horas, quando se tem a maior demanda de eletricidade no setor comercial. Assumiu-se que as lojas, os escritórios e os serviços pessoais tenham apenas uma hora coincidente com a ponta (17-18h) e que os grandes estabelecimentos, o comércio e o serviço de alimentos estejam funcionando durante todo o horário de pico.

Além disso, estimou-se que nesse horário 50% da iluminação e 20% do ar condicionado e outros equipamentos dos bancos estejam sendo utilizados; nos estabelecimentos de alimentos considerou-se 100% de coincidência para esses usos finais e nos demais subsetores, 33%. Para a refrigeração foi estabelecido um fator de 60% da ponta em locais onde esses usos finais não sejam abertos frequentemente (lojas, bancos) e 80% onde são (comércio e serviço de alimentos). Para a cocção, estimou-se 15% de fator de coincidência de pico nos estabelecimentos de serviços de alimentos, 5% no de comércio de alimentos e 1% em lojas. O resumo desses valores está apresentado na tabela 3.24.

Tabela 3. 24: Fator de Coincidência de Pico na RAC para o ano de 1992 [%]

	Iluminação	Ar Condic.	Cocção	Refrigeração	Outros
Lojas	33%	33%	1%	60%	10%
Com. Alimentos	100%	100%	5%	80%	10%
Serv. Alimentos	100%	100%	15%	80%	10%
Serv. Pessoais	33%	33%	5%	60%	30%
Bancos	50%	20%	0%	60%	20%
Escritórios	33%	33%	0%	60%	20%
Grandes	100%	100%	15%	60%	60%

Potência Específica no Horário de Pico

A potência por área [W/m^2] nas faixas de consumo foi estimada através dos valores do fator de coincidência de pico, das penetrações de tecnologias e do consumo específico de cada uso final. Seja então a equação 3.3, onde po é a potência total por equipamento, c é o consumo por área, FCP o fator de coincidência de pico (tabela 3.24) e K é o número de horas de pico anual⁶². Os resultados da potência por área estão listados na tabela 3.25.

Equação 3. 3: Potência Específica (potência por área)

⁶² Excluindo os domingos, temos: $K = \text{número de dias úteis na semana} \times \text{número de semanas por ano} \times \text{número de horas de pico por dia} \Rightarrow K = 6 \times 52 \times 3 = 936 \text{ horas}$.

$$p_o = \frac{c \times FCP}{K}$$

Tabela 3. 25: Potência por Área no Setor Comercial da RAC para o Ano Base [W/m²]

Subsetores	Iluminação	Ar condicion	Cocção	Refrigeração	Outros
Lojas	37,4	55,9	0	0	1,8
Com. Alimentos	53,2	4,1	1,4	76,1	0,1
Serv. Alimentos	137,9	47,8	26,6	240,3	1,5
Serv. Pessoais	18,9	6,3	0	0	170,1
Bancos	43	11,2	0	0,1	4,4
Escritórios	36,5	25,2	0	0	6,8
Grandes Estabel.	352,2	238,9	6,6	24,8	19,7

Área dos Estabelecimentos Comerciais no Ano Base

A estimativa da área dos estabelecimentos na RAC foi determinada através dos dados já descritos nas seções anteriores e da equação 2.8. Os resultados estão mostrados na tabela 3.26.

Tabela 3. 26: Área dos Estabelecimentos Comerciais da RAC no Ano Base

	Área [m ²]
Lojas	748.471
Com. Alimentos	803.079
Serv. Alimentos	178.715
Serv. Pessoais	47.040
Bancos	432.639
Escritórios	961.420
Grandes	285.257
Outros	834.375
Total	4.290.995

A penetração de tecnologias é neste estudo igual a 1, uma vez que o consumo por área obtido no trabalho da J.W.C.A. (1989) é referente à área total dos estabelecimentos existentes.

Derivados de Petróleo

O consumo de derivados de petróleo no setor comercial da RAC apresentou uma queda de 2,5% a.a. entre 1982 e 1992, passando de 2.294 TJ para 1.784 TJ. No entanto, o óleo Diesel aumentou cerca de 4,8% a.a., atingindo em 1992 a quantia de 1.172 TJ. O GLP apresentou um crescimento ainda mais intenso (5,0% a.a.), sendo que no ano base era de 226 TJ. Dentre os derivados de petróleo, o mais consumido é o óleo Diesel, seguido pelo GLP, ambos ocupando 86% de toda a demanda de derivados do setor na região e os considerados no âmbito deste estudo.

Consumo de Derivados de Petróleo por Estabelecimento do Setor Comercial

Na região de Campinas, em 1984, o consumo de óleo Diesel se dava em hotéis (41,8%) e em hospitais e casas de saúde (58,2%); e o de GLP, 66% nos hotéis e 26% nos hospitais (CPFL,1985). Assumiu-se essas mesmas participações para o ano de 1992, cujo consumo total de Diesel era de 1.172 TJ e do GLP de 368 TJ no setor, resultando nos valores do consumo de derivados de petróleo por estabelecimento dados na tabela 3.27. Admite-se neste trabalho, que o consumo de derivados de petróleo no setor comercial seja existente apenas nos hotéis e nos hospitais e casas de saúde.

Tabela 3. 27: Estimativa do Consumo de Derivados de Petróleo por Estabelecimento do Setor Comercial em 1992 [TJ]

	Óleo Diesel	GLP	Total
Hospitais e Casas de Saúde	682	95	777
Hotéis	490	242	732
Outros	0	31	31
Total	1.172	368	1.540

fonte: elaboração própria

Penetração de Tecnologias a Derivados de Petróleo no Setor Comercial

Considerou-se ainda que somente as caldeiras demandem óleo Diesel e que o consumo de GLP seja em equipamentos de cocção e chuveiros. A estimativa da penetração de tecnologias de derivados de petróleo pode ser vista na tabela 3.28.

Tabela 3. 28: Estimativa da Penetração de Tecnologias a Derivados de Petróleo no Ano Base para a RAC

	Cocção	Chuveiros	Caldeira	Outros
Hospitais	10%	10%	90%	10%
Hotéis	50%	10%	50%	0%
Outros	10%	10%	10%	10%

Consumo Específico de Derivados de Petróleo no Setor Comercial

Admitiu-se para a obtenção do consumo específico de derivados de petróleo no setor comercial que 30% da área dos outros estabelecimentos dada na tabela 3.27 sejam de hospitais e 30% de hotéis. Isso, juntamente com a equação 2.8 e o consumo de derivados de petróleo do setor comercial no ano base, resulta no consumo por usos finais dado na tabela 3.29.

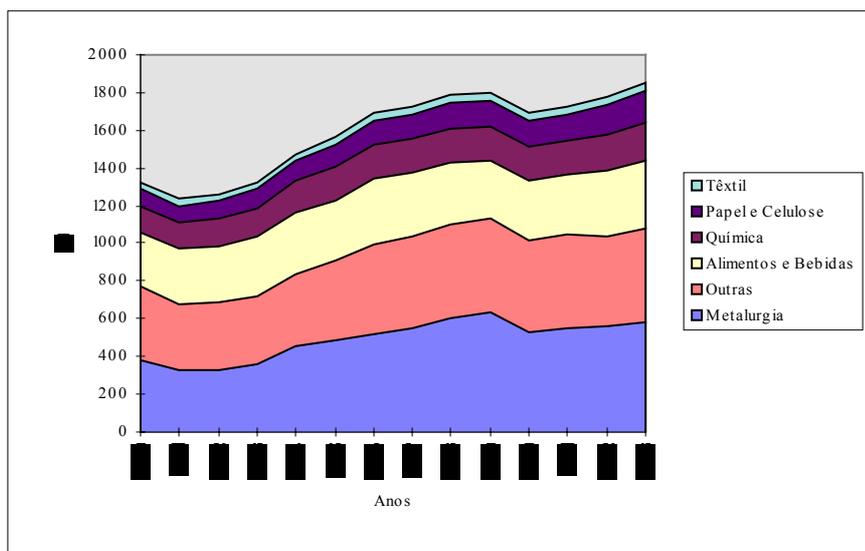
Tabela 3. 29: Estimativa do Consumo Anual de Derivados de Petróleo por Área e Uso Final na RAC [GJ/m²]

	Cocção	Chuveiros	Caldeira	Outros
Hospitais	150	360	3456	150
Hotéis	420	1560	2484	120
Outros	2220	12	0	84

Setor Industrial

O consumo de energia do setor industrial por ramo industrial (têxtil, papel e celulose, química, alimentos e bebidas e metalurgia) no Brasil está ilustrado no gráfico 3.24, onde se pode notar o aumento de 1.312 PJ em 1980 para 1.775 PJ em 1992 o que representa um crescimento médio de 3,1% ao ano. As indústrias de papel e celulose foram as que mais colaboraram para esse aumento (5% a.a.).

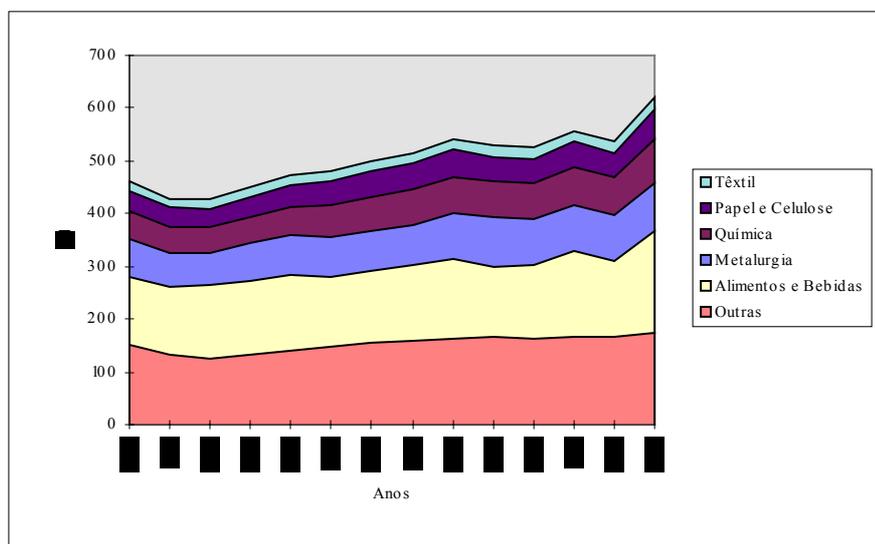
Gráfico 3. 24: Consumo de Energia por Ramo Industrial no Brasil [PJ]



fonte: MME, 1994.

No Estado de São Paulo, conforme se observa no gráfico 3.25, o consumo de energia do setor industrial cresceu de 441 PJ em 1980 para 564 PJ em 1992 o que representa um aumento anual médio de 2,5%. Em 1992, os ramos em estudo participavam com quase 70% do consumo.

Gráfico 3. 25: Consumo de Energia por Ramo Industrial no Estado de São Paulo

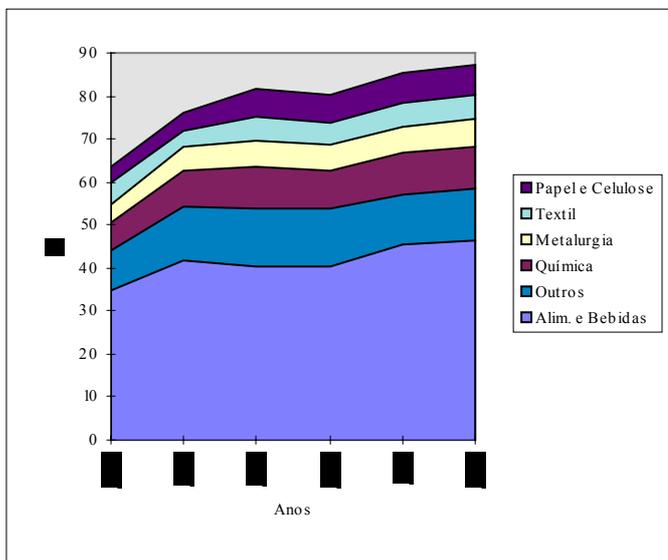


fonte: SEE, 1996

O consumo de energia do setor industrial da RAC (gráfico 3.26) entre 1982 e 1992 teve crescimento de 66,2 PJ para 89,2 PJ o que indica um crescimento médio de 3,1% a.a.. A participação dos ramos industriais em estudo no consumo do setor foi de 84% em 1992.

Destaca-se o ramo de papel e celulose, apesar de participar com apenas 8% do consumo em 1992, cujo crescimento foi de 6% a.a. durante o período.

Gráfico 3. 26: Consumo de Energia por Ramo Industrial na RAC [PJ]



fonte: Canavarros, 1994.

Há diferenças nas participações dos subsetores no consumo de energia da região, do Estado e do país. Enquanto as indústrias alimentícias na RAC demandam quase a metade da energia no ano base, no Estado, apesar de também serem os grandes consumidores de energia, essa porcentagem cai para 30%, e para o país, 26%, o que mostra a grande concentração desse ramo na região.

Por outro lado, as indústrias metalúrgicas, de papel e celulose e químico, que no Brasil representam respectivamente 42%, 14% e 17% do consumo, caem no Estado para 15%, 13% e 16% e na região para 7%, 8% e 11% em 1992.

A participação do consumo de energia por ramo industrial no ano base para a RAC é dado na tabela 3.30.

Tabela 3. 30: Participação do Consumo de Energia por Ramo Industrial no Ano Base da RAC

Subsetores	%	TJ
Alim. e Bebidas	52%	46.376
Química	11%	9.810
Metalurgia	7%	6.243
Textil	6%	5.351
Papel e Celulose	8%	7.135
Outros	16%	14.270
TOTAL	100%	89.185

fonte: Canavarros, 1994

Nas próximas seções, apresenta-se com maior detalhe o consumo de derivados de petróleo, da energia elétrica e da biomassa, dispondo-se os dados necessários para a análise da demanda de energia. Como se verá, não se dispõe dos consumos de cada uma dessas fontes desagregados nos ramos industriais para a RAC, sendo considerado, mais uma vez, que a intensidade energética da região se assemelha com a do Estado de São Paulo e que as indústrias da RAC tenham a mesma participação dos usos finais no consumo de cada ramo do Estado, ou seja, com as mesmas porcentagens obtidas em AAE (1989).

Energia Elétrica

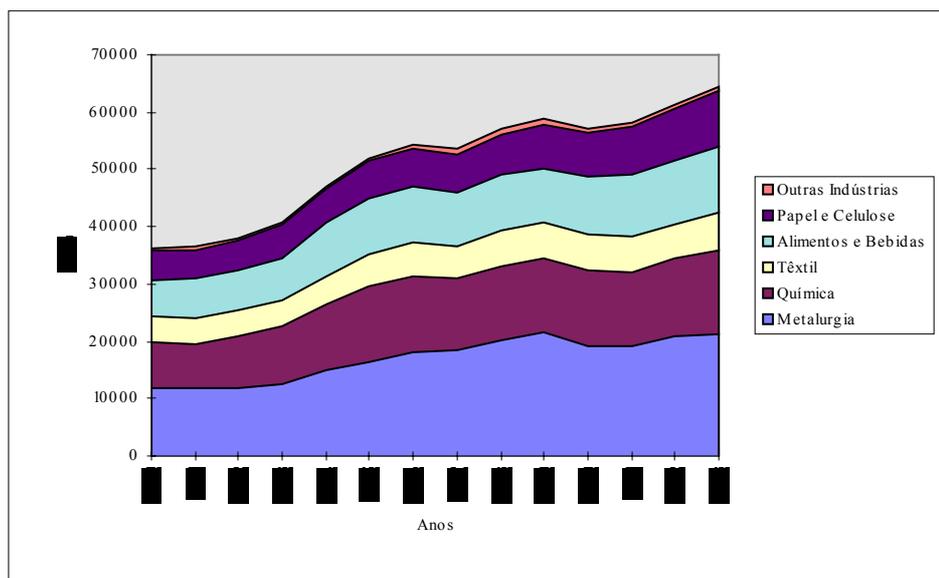
O consumo de energia elétrica na RAC em 1992 foi de 26.337 TJ, o que corresponde a 7.316 GWh⁶³, tendo crescido a uma taxa anual de 5% desde o ano de 1982.

Consumo de Energia Elétrica por Ramo Industrial

A participação dos ramos industriais na demanda de energia elétrica do país é apresentada no gráfico 3.27, onde se nota o crescimento do consumo de 36.331 GWh para 64.538 GWh, o que representa uma taxa de 5,4% a.a. Também pode-se perceber através do gráfico a grande presença do ramo metalúrgico em relação aos demais subsetores, responsável por cerca de 33% da demanda total de eletricidade no país.

⁶³ 1 GWh = 3,59996 TJ.

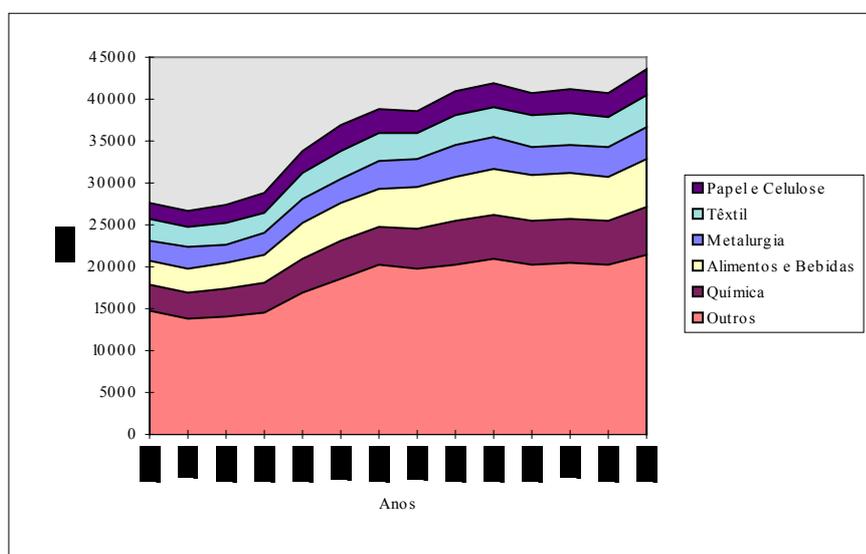
Gráfico 3. 27: Consumo de Eletricidade nos Ramos Industriais do Brasil [GWh *]



fonte: MME, 1994
 * 1 tEP = 0,29 GWh

O consumo de energia elétrica dos ramos industriais do Estado de São Paulo é apresentado no gráfico 3.28. Em 1980 a demanda de eletricidade do setor industrial do Estado era de 27.621 GWh e em 1993, 43.552 GWh significando um crescimento médio de 4% ao ano. Como se pode observar também no gráfico, os subsetores de alimentos e bebidas e o químico são bem representativos, correspondendo cada um a 13% do consumo de energia elétrica, enquanto o ramo têxtil e o metalúrgico acarretam quase 9% cada e o de papel e celulose, 7%.

Gráfico 3. 28: Consumo de Eletricidade nos Ramos Industriais do Estado de São Paulo [GWh]



fonte: SEE, 1996

O consumo de energia elétrica no ano de 1992 para São Paulo e a estimativa realizada para a RAC, assumindo as mesmas intensidades energéticas de eletricidade do Estado e da região, constam da tabela 3.31.

Tabela 3. 31: Consumo de Energia Elétrica por Ramos Industriais de São Paulo e da RAC em 1992

Ramos Industriais	São Paulo		RAC		I.E. ^{el*}
	TJ	%	TJ	%	MJ/US\$
Metalurgia	12.614	8,6	2.974	12,6	1,8
Química	18.716	12,8	2.782	11,7	1,5
Alimentos e Bebidas	19.053	13,0	6.543	27,6	3,7
Têxtil	12.909	8,8	3.218	13,6	5,0
Papel e Celulose	10.143	6,9	2.006	8,5	2,8
Outras	72.807	49,8	6.162	26,0	3,5
Total	146.243	100,0	23.683	100,0	2,8

fonte: elaboração própria

* I.E.^{el}.: intensidade energética (consumo de eletricidade pelo PIB)

Participação dos Usos Finais no Consumo de Energia Elétrica

É dada na tabela 3.32, a participação dos usos finais no consumo de energia elétrica da RAC estimada através dos mesmos valores do Estado obtidos no estudo da AAE (1989), conforme já mencionado. O uso final que mais demanda energia elétrica no setor industrial é o motor, não obstante o setor metalúrgico tenha o seu maior consumo registrado em fornos e no ramo de alimentos e bebidas a caldeira também seja responsável por grande parte do consumo de eletricidade.

Tabela 3. 32: Consumo de Eletricidade nos Ramos Industriais da RAC por Uso Final

	Metalurgia	Química	Alim. e Beb.	Têxtil	Papel e Cel.	Outros
Caldeira	7%	9%	40%	11%	12%	2%
Aq. Água/F.Term.	0%	1%	0%	0%	0%	1%
Forno	62%	2%	0%	4%	0%	20%
Secador/Estufa	0%	0%	0%	2%	0%	5%
Força Motriz	28%	53%	48%	74%	83%	60%
Iluminação	1%	2%	3%	4%	5%	6%
Eletrólise	0%	31%	7%	0%	0%	0%
Outros	0%	2%	2%	5%	0%	4%
TOTAL	100%	100%	100%	100%	100%	100%

fonte: AAE, 1990.

Fator de Coincidência de Pico no Setor Industrial

O fator de coincidência de pico no setor industrial da RAC é estimado com os mesmos valores do estudo realizado por Jannuzzi et alli (1993) admitindo que a RAC e a região delimitada pelo estudo citado tenham comportamento semelhantes quanto ao uso desses equipamentos (tabela 3.33).

Tabela 3. 33: Fator de Coincidência de Pico na RAC para o Ano Base

	F.C.P.
Metalurgia	30%
Química	10%
Alim. e Beb.	10%
Têxtil	20%
Papel e Cel.	15%
Outros	15%

fonte: Jannuzzi et alli, 1993.

Horas de Funcionamento na Ponta por Ano

Estima-se que o funcionamento na ponta das indústrias em estudo seja de 1 h ou 3 h diárias, como se pode notar na tabela 3.34. Assim, o número de horas por ano é dado na terceira coluna da mesma tabela, considerando que as indústrias estejam funcionando durante todos os dias do ano.

Tabela 3. 34: Estimativa do Tempo de Funcionamento das Indústrias na Ponta da RAC

	Horas/Dia	Horas/Ano
Metalurgia	1	365
Química	3	1.095
Alim. e Beb.	3	1.095
Têxtil	1	365
Papel e Cel.	3	1.095
Outros	1	365

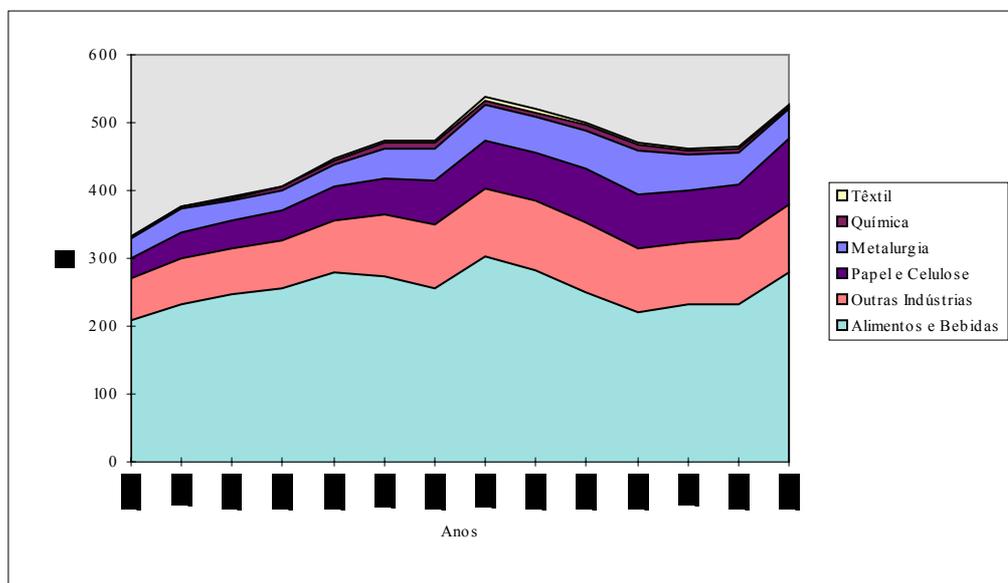
Biomassa

O consumo de biomassa do setor industrial da RAC⁶⁴ aumentou de 32.830 TJ em 1982 para 44.120 TJ em 1992, ou seja, com crescimento médio de 3% a.a., menor que o da eletricidade.

Consumo de Biomassa por Ramo Industrial

É possível notar no gráfico 3.29, o aumento do consumo de biomassa no país até meados da década de 80, quando sofre uma queda até o início da década seguinte. Em 1980, o consumo foi de 333.281 TJ e em 1993 de 526.176 TJ, o que corresponde a uma taxa de crescimento média de 3,6%. Pode-se notar também no gráfico que o consumo dessa fonte se dá intensivamente nas indústrias de alimentos e bebidas, tendo atingido em 1992 uma participação de 50%, enquanto o ramo de papel e celulose contou com 18% e o metalúrgico com 10%.

Gráfico 3. 29: Consumo de Biomassa nos Ramos Industriais do Brasil [PJ]



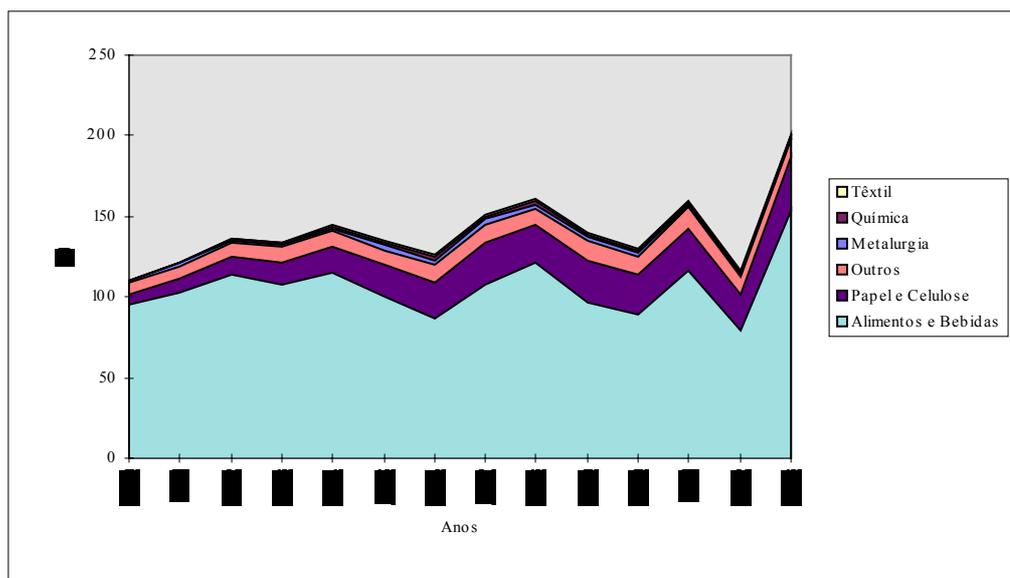
fonte: MME, 1995.

O consumo de biomassa no Estado de São Paulo é dado no gráfico 3.30, onde se nota o aumento da demanda dessa fonte energética, especialmente no início da década de 90,

⁶⁴ Bagaço de cana e lenha, estimando que o consumo de álcool no setor industrial da região tenha correspondido a 293 TJ (Canavarros, 1994).

fazendo com que, o consumo, que era de 110.346 TJ em 1980, crescesse para 200.216 TJ em 1993, ou seja, com aumento médio de 4,7%. As participações dos diversos ramos industriais não apresentaram grande alteração ao longo do período sendo que em 1992, o ramo de alimentos e bebidas era responsável por 68% do consumo, seguido pelo subsetor de papel e celulose contando com quase 20%.

Gráfico 3. 30: Consumo de Biomassa nos Ramos Industriais do Estado de São Paulo [PJ]



fonte: SEE, 1996

O consumo de biomassa do ano de 1992 para São Paulo e a estimativa para a RAC estão expressos na tabela 3.35, seguindo as mesmas prerrogativas de que as intensidades energéticas da biomassa das duas regiões sejam as mesmas.

Tabela 3. 35: Consumo de Biomassa por Ramos Industriais de São Paulo e da RAC em 1992

Ramos Industriais	São Paulo		RAC		I.E. ^{b*} MJ/US\$
	TJ	%	TJ	%	
Metalurgia	5.556	4,4	1.310	3,6	0,8
Química	709	0,6	105	0,3	0,1
Alimentos e Bebidas	86.898	69,4	29.842	82,8	16,9
Têxtil	2.135	1,7	532	1,5	0,8
Papel e Celulose	15.279	12,3	3.021	8,4	4,2
Outras	14.670	11,7	1.242	3,4	0,7
Total	125.248	100,0	36.052	100,0	2,4

fonte: elaboração própria

* I.E.^b: intensidade energética (consumo de biomassa pelo PIB)

Consumo de Biomassa por Uso Final

O consumo de biomassa desagregado em seus diversos usos finais está relacionado na tabela 3.36. Como se pode observar há grande uso dessa energia em caldeiras, exceto no ramo metalúrgico onde a maior demanda desse setor, como para a energia elétrica, ocorre principalmente em fornos.

Tabela 3. 36: Consumo de Biomassa nos Ramos Industriais da RAC por Uso Final

	Metalurgia	Química	Alim. e Beb.	Têxtil	Papel e Cel.	Outros
Caldeira	0%	97%	89%	100%	100%	92%
Aq.Água/F.Term.	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Forno	85%	0%	0%	0%	0%	5%
Secador/Estufa	0%	1%	11%	0%	0%	1%
Outros	15%	2%	0%	0%	0%	1%
TOTAL	100%	100%	100%	100%	100%	100%

fonte: AAE, 1990.

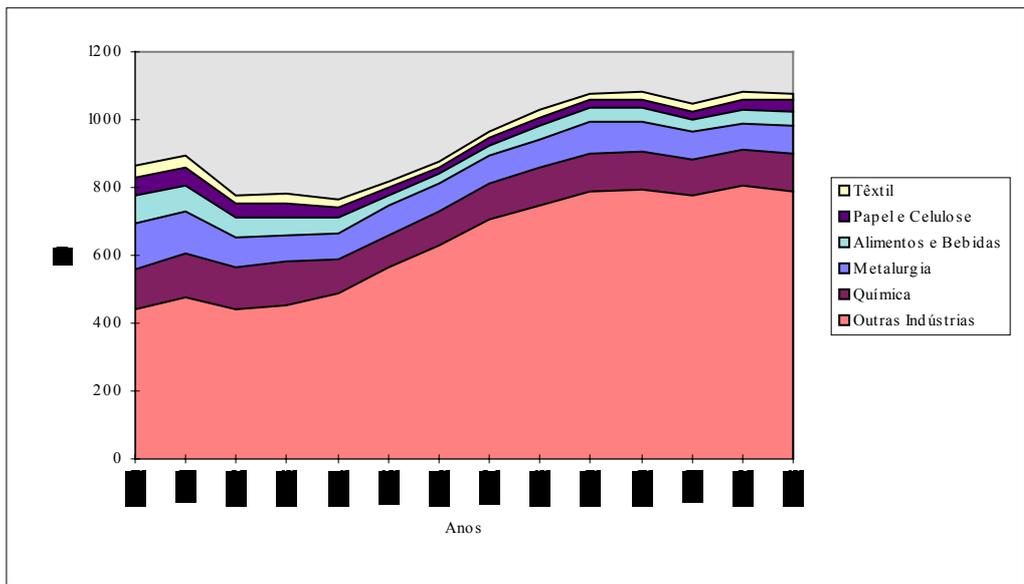
Derivados de Petróleo

O consumo de derivados de petróleo do setor industrial da RAC cresceu em 1% a.a. entre os anos de 1982 e 1992, tendo alcançado no último ano, 18.454 TJ.

Consumo de Derivados de Petróleo por Ramo Industrial

O consumo de derivados de petróleo por ramo industrial no Brasil é apresentado no gráfico 3.31, onde se nota o intenso crescimento de 864.755 TJ em 1980 para 1.078.070 TJ em 1993, isto é, com uma taxa de crescimento média de 1,7% a.a.. É possível também salientar a participação de cada subsetor no consumo de derivados no país sendo que, em 1992, as indústrias químicas contaram com aproximadamente 10%, seguidas pelas metalúrgicas, com cerca de 7% e as de alimentos e bebidas, papel e celulose e têxtil, 9% cada.

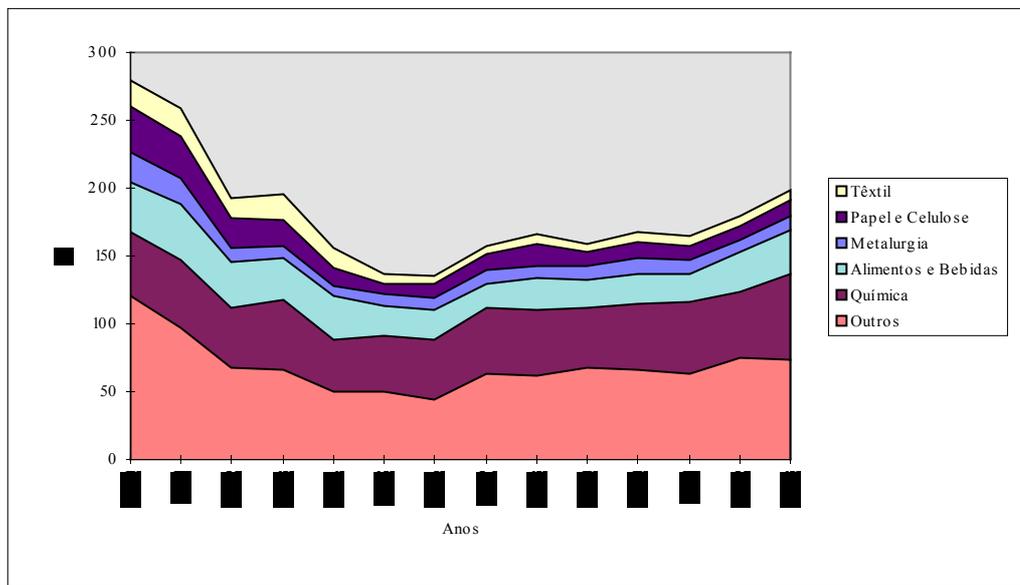
Gráfico 3. 31: Consumo de Derivados de Petróleo nos Ramos Industriais do Brasil [PJ]



fonte: MME, 1995.

No gráfico 3.32 verifica-se que o consumo de derivados de petróleo no Estado de São Paulo apresentou um comportamento bem distinto do país, com uma queda substancial durante a década de 80 reduzindo a demanda de 279.302 TJ em 1980 para 198.442 TJ em 1993 (isto é, com taxas de -2,6% a.a.). Não houve grandes alterações da participação dos diversos ramos no consumo de derivados de petróleo, sendo que em 1992 o ramo químico representava 27%, o de alimentos e bebidas participava com 16%, o de papel e celulose com 6%, o metalúrgico com 5% e o têxtil com 4%.

Gráfico 3. 32: Consumo de Derivados de Petróleo nos Ramos Industriais no Estado de São Paulo [PJ]



fonte: SEE, 1996.

Estima-se que o consumo de derivados de petróleo no setor industrial da RAC considerando que tenha a mesma intensidade energética (PIB pelo consumo de derivados) do Estado de São Paulo. Os resultados das estimativas da RAC bem como o consumo do Estado estão apresentados na tabela 3.37.

Tabela 3. 37: Consumo de Derivados de Petróleo dos Ramos Industriais de São Paulo e da RAC em 1992

	São Paulo		RAC		I.E. ^{dp} *
	TJ	%	TJ	%	MJ/US\$
Ramos Industriais					
Metalurgia	9.190	5,1	2.167	7,3	1,3
Química	45.977	25,4	6.833	23,2	3,7
Alimentos e Bebidas	28.864	16,0	9.912	33,6	5,6
Têxtil	7.192	4,0	1.793	6,1	2,8
Papel e Celulose	10.565	5,8	2.089	7,1	2,9
Outras	79.113	49,7	6.695	22,7	3,8
Total	180.901	100,0	29.489	100,0	3,5

fonte: elaboração própria

* I.E.^{dp}: intensidade energética (consumo de derivados de petróleo pelo PIB)

Consumo de Derivados de Petróleo por Usos Finais

Adota-se a distribuição do consumo de derivados de petróleo por uso final obtidos em 1988 para o Estado (AAE, 1990) para o ano base da RAC, dado na tabela 3.38, onde se nota que a caldeira apresenta grande participação, com exceção do ramo metalúrgico, onde os fornos representam 70% do consumo. No subsetor de alimentos e bebidas outros usos finais são os principais consumidores de derivados de petróleo, segundo o estudo realizado para o Estado de São Paulo, devido ao intenso uso em transportes (AAE, 1990).

Tabela 3. 38: Consumo de Derivados de Petróleo nos Ramos Industriais da RAC por Uso Final

	Metalurgia	Química	Alim. e Beb.	Têxtil	Papel e Cel.	Outros
Caldeira	23%	87%	28%	76%	85%	40%
Aq.Água/F.Term.	0%	4%	2%	23%	0%	1%
Forno	69%	7%	0%	0%	14%	49%
Secador/Estufa	1%	2%	13%	0%	0%	3%
Outros	8%	1%	58%	0%	2%	7%
TOTAL	100%	100%	100%	100%	100%	100%

fonte: AAE, 1990.

Capítulo 4

Cenários sócio-econômicos e energéticos para a RAC*

Neste capítulo são descritos os cenários da RAC utilizados para a projeção de energia conforme delineado no capítulo 2. O horizonte de projeção estipulado é de 10 anos. Inicialmente é elaborado o contexto sócio-econômico do cenário regional e, em seguida detalha-se o cenário nos setores residencial, comercial e industrial segundo as etapas descritas nas seções 2.1.1 e 2.1.2. Posteriormente é realizado um levantamento das tecnologias atualmente existentes, procurando verificar o potencial de conservação de energia e seus respectivos custos segundo a seção 2.1.3.

4.1 Cenário Geral

Como tendência geral para a região, admitiu-se a interiorização das indústrias no estado de São Paulo. Para o ano de projeção, considera-se a mesma taxa de crescimento do PIB estabelecida no cenário III do estudo da Eletrobrás (1993a), isto é, de 5,1% ao ano de 1990

* A confecção das características principais deste cenário apresentado foi feita em conjunto com os alunos da disciplina Análise e Projeção da Demanda II no segundo semestre de 1994.

até 2015, separados entre os setores comercial (5,6% a.a.) e industrial (4,3% a.a.), admitindo que o setor agropecuário mantenha a participação que tem ocorrido historicamente, conforme avaliado no capítulo 3 (5% a.a.). O setor comercial apresenta maior crescimento como uma continuidade do processo histórico verificado na seção 3.2.3 e devido à terceirização de serviços, crescente em níveis mundiais.

4.2 Cenários Setoriais

Algumas das variáveis são utilizadas tanto para o cenário tendencial quanto para o eficiente e são descritas nas seções que se seguem sob o subtítulo de *Ano de Projeção*. As possibilidades de conservação de energia e custos encontram-se no subtítulo *Cenário Eficiente*.

4.2.1 Setor Residencial

Ano de Projeção

Admitindo que o crescimento do número de domicílios e o PIB tenham a mesma taxa entre os anos base e de projeção para a RAC, isto é, 5% a.a.; que a taxa de urbanização seja mantida (89,8%) e procurando uma melhor distribuição da renda, obteve-se a desagregação da taxa conforme a tabela 4.1.

Tabela 4. A: Taxa de crescimento anual do Número de Domicílios para o ano de Projeção (1992-2002)

Faixa de renda	Taxa de Crescimento
até 2 SM	4,0%
de 2 a 5 SM	5,3%
de 5 a 10 SM	5,1%
mais de 10 SM	5,0%
Total	5,0%

A penetração de tecnologias e o fator de coincidência de pico nos cenários tendencial e eficiente do setor residencial são os mesmos com o objetivo de reduzir o número de variáveis neste estudo, exceto para os chuveiros e as lâmpadas, como será visto mais adiante.

Penetração de Tecnologias Elétricas do Ano de Projeção

Admitindo que a distribuição de renda melhore também dentro das diversas faixas de renda é estabelecido um aumento da penetração de tecnologias do setor residencial no cenário tendencial em relação ao ano base como se pode observar na tabela 4.2.

Tabela 4. B: Penetração de Tecnologias de Eletricidade no Ano de Projeção do Setor Residencial [%]

Usos Finais do Setor Residencial	Faixa de Renda - salários mínimos							
	urbana				rural			
Cenário Tendencial	até 2	de 2 a 5	de 5 a 10	+ de 10	até 2	de 2 a 5	de 5 a 10	+ de 10
lâmpadas incand.	581%	683%	835%	835%	581%	683%	835%	835%
lâmpadas fluoresc.	32%	57%	136%	136%	32%	57%	136%	136%
Ferro	95%	105%	109%	120%	85%	94%	98%	108%
Televisão	93%	103%	110%	121%	76%	84%	89%	98%
Geladeira - 1 porta	81%	86%	88%	96%	65%	70%	71%	78%
Chuveiro	95%	105%	108%	119%	77%	85%	87%	96%
Ventilador / Circul,	37%	48%	63%	69%	29%	39%	51%	56%
Rádio	43%	51%	53%	57%	35%	41%	42%	46%
Geladeira - 2 portas	5%	14%	27%	32%	4%	12%	23%	25%
Freezer	2%	9%	23%	25%	2%	8%	19%	20%
Secadora de Roupa	1%	2%	4%	4%	0%	1%	2%	2%
Ar Condicionado	1%	2%	4%	4%	0%	1%	2%	2%
Máq, L,L	1%	2%	7%	7%	0%	2%	6%	6%
Lav Roupa	27%	43%	63%	63%	22%	35%	51%	51%
Cocção Elétrica	5%	12%	24%	27%	3%	7%	13%	15%
Outros	24%	35%	47%	53%	20%	29%	39%	43%
Cenário Eficiente	até 2	de 2 a 5	de 5 a 10	+ de 10	até 2	de 2 a 5	de 5 a 10	+ de 10
lâmpadas incand.	407%	478%	585%	585%	407%	478%	585%	585%
lâmpadas fluoresc.	168%	216%	331%	331%	168%	216%	331%	331%
Chuveiro	95%	102%	105%	116%	77%	82%	85%	93%

Para obtenção desses valores foram estimados que na faixa de renda até dois salários mínimos ocorra um aumento de 5% e nas demais faixas 10% superior, com exceção dos chuveiros, geladeiras, ar condicionado e dos aparelhos de cocção. O número de chuveiros elétricos por residência tem crescimento de apenas 7% no cenário eficiente devido ao uso de aquecedores solares e de chuveiros a gás⁶⁴. Quanto às geladeiras, devido à tendência de aumento do mercado dos equipamentos de duas portas⁶⁵, assume-se que a penetração nas faixas de renda superior a 5 salários mínimos de aparelhos de 1 porta seja de 7% no ano de projeção e os 3% restantes (aumento da penetração médio de 10%) acrescidos aos aparelhos

⁶⁴ Ver seção 4.4.

⁶⁵ Ver *Eletricidade*.

de duas portas. Para o ar condicionado e os aparelhos de cocção elétrica, admitiu-se um crescimento um pouco maior em relação aos demais usos finais (12%). A penetração de lâmpadas incandescentes no ano de projeção é reduzida em relação ao ano base, devido à estimativa de substituição de 50% das mesmas por fluorescentes⁶⁶.

Penetração de Tecnologias a Derivados de Petróleo do Ano de Projeção

Como verificado no capítulo 3, no ano base praticamente todos os domicílios possuem fogões à gás na área urbana⁶⁷ e algumas residências da zona rural ainda utilizam-se de fogões à lenha⁶⁸. No ano de projeção, assume-se a mesma penetração do ano base para a área urbana e na rural, a ausência de fogões a lenha, todos substituídos pelos a GLP.

Na tabela 4.3 encontra-se a estimativa da penetração de tecnologias de derivados de petróleo para o ano de projeção do setor residencial.

Tabela 4. C: Penetração de Fogões a Derivados de Petróleo no Ano de Projeção do Setor Residencial [%]

Faixas de Renda	urbana	rural
até 2 SM	100%	100%
2-5 SM	100%	100%
5-10 SM	101%	100%
+10 SM	101%	100%

Fator de Coincidência de Pico no Ano de Projeção

O fator de coincidência de pico para os cenários tendencial e eficiente também foram mantidos como no ano base a fim de limitar o número de variáveis a serem trabalhadas neste estudo.

Cenário Eficiente

⁶⁶ Ver *Eletricidade*.

⁶⁷ Existem ainda residências que não se utilizam de GLP, em favelas, apresentando consumo de lenha (Jannuzzi, 1988), no entanto representam uma porcentagem muito pequena no consumo urbano e, portanto, considera-se 100% de penetração de fogões à GLP para o ano base na zona urbana.

⁶⁸ A penetração no ano base é inferior a 1 (100%) nos domicílios de faixa de renda inferior a 5 salários mínimos.

Esta seção traz as características dos usos finais em estudo no setor residencial, as perspectivas de conservação e os custos de conservar energia, sempre levando em conta as tecnologias já existentes no país e, em alguns casos, o estado da arte em países desenvolvidos.

Eletricidade

Em 1988, 63% dos domicílios no país, ou seja, cerca de 20 milhões de residências possuíam refrigeradores (Procel, 1989). Deste número, 86% são modelos de apenas uma porta, sendo que a maioria com degelo automático parcial (apenas no freezer) (Geller, 1991). O uso de tecnologias mais eficientes implicam na redução de 15 a 35% do consumo (Eletrobrás, 1994b) e que, segundo Geller (1991), com custo de conservar eletricidade de *US\$ 0,029/kWh*, considerando equipamentos de vida útil de 15 anos e média de conservação de 150 a 400 kWh/ano. No horizonte de dez anos estipulado na projeção de demanda de energia deste trabalho, foi admitido 35% de redução do consumo e da potência.

Atualmente, conforme observado no capítulo anterior, a penetração de lâmpadas incandescentes é intensa. A troca de uma lâmpada incandescente por uma fluorescente implica na redução de 50% do consumo, podendo atingir até 80% se substituída por uma lâmpada fluorescente compacta. Segundo a Eletrobrás (1989) e Geller (1991), o potencial de redução do consumo através da substituição de lâmpadas pode atingir 48 kWh/ano, caso a sua utilização seja de 3 horas por dia e 150 kWh/ano, se usada 10 horas, com custos de conservar respectivamente de *US\$ 0,026/kWh* e *US\$ 0,057/kWh* (Geller, 1991). Neste estudo, vamos admitir apenas a troca de lâmpadas incandescentes por fluorescentes com uso de 3 horas diárias.

A redução do consumo de energia elétrica em aquecimento de água é possível através da administração da demanda, deslocando a utilização desse uso final do horário de ponta⁶⁹, da substituição desse uso final pelo aquecimento solar⁷⁰ e da melhoria da eficiência dos chuveiros, apesar de já ser elevada (cerca de 95%) do ponto de vista da primeira lei da termodinâmica. Segundo Geller (1991), o dimensionamento adequado das resistências⁷¹, a

⁶⁹ Veja nesta mesma seção sobre *Fator de Coincidência de Pico*.

⁷⁰ Ver seção 4.4.

⁷¹ A potência utilizada para o aquecimento de água através de chuveiros varia de 4,0 a 8,0 kW no Brasil, sendo que para a região sudeste, a máxima sugerida é de 3,9 kW (Battaglini e Oliveira, 1990).

possibilidade de variar a temperatura do banho⁷² e o uso de bombas de calor⁷³ implicam em reduções até 60% no consumo. O mesmo autor ainda estima que para essas reduções, os aparelhos com vida útil de 12 anos, o custo de conservar eletricidade é de *US\$ 0,013/kWh*. Neste trabalho, no entanto, admitimos apenas 20% de redução uma vez que paralelamente às melhorias de eficiência há uma procura do consumidor por melhores índices de conforto, isto é, maior fluxo de água e banhos mais longos.

A venda média de ar condicionado no Brasil entre os anos 85 e 87 foi de 380.000 aparelhos por ano, estando presente em 6% dos domicílios em 1988 (Procel, 1989). Alguns testes mostraram que a eficiência varia de 6,5 a 7,7 btu/h/W nos equipamentos de baixa capacidade e de 8,0 btu/h/W nos de alta capacidade, no entanto já existe tecnologia nacional com produção de aparelhos para exportação cuja eficiência gira em torno de 8,2 a 12,0 btu/h/W (Kwasigroch, 1990), apenas com o uso de compressores mais eficientes (Romariz, 1990) que reduzem o consumo de 20 a 40%. O uso de melhores trocadores de calor e motores também podem reduzir a demanda de energia. Assumindo reduções da ordem de 30% do consumo e considerando vida útil de 12 anos e uso de 540 h/ano, o custo de conservar eletricidade para esse equipamento é de *US\$ 0,032/kWh* (Geller, 1991).

No Brasil, 28% das residências possuem máquinas de lavar roupa com consumo anual de cerca de 60 kWh/ano (Graça, 1989). Apesar da entrada de aparelhos mais eficientes no mercado, nota-se uma tendência de equipamentos com aquecimento de água, o que, se por um lado, indica aumento da demanda de eletricidade, por outro melhora o serviço de energia (limpeza de roupas). A melhoria de eficiência pode ser atingida substituindo a água quente pela morna, uso de melhores controladores, detergentes e desenhos do sistema (Norgard, 1989). Assume-se neste estudo que o potencial de conservação desses aparelhos seja de cerca de 33% com $CCE = US\$ 0,015/kWh$ ⁷⁴. Para as máquinas de lavar louça foram admitidos os mesmos potenciais de redução e custos de conservar, ocasionado pela semelhança de funções com as máquinas de lavar roupa.

Há ainda no país 9% dos domicílios que possuem freezers, cujo consumo varia de 455 kWh/ano (capacidade de 150 a 200 litros) a 790 kWh/ano (capacidade de 200 a 250 litros), podendo-se ter modelos mais eficientes através da melhoria dos trocadores de calor e do

⁷²Varição da temperatura do banho não apenas em função do volume de água, como também através da mudança da resistência elétrica a ser utilizada, já que atualmente a maioria dos chuveiros possui apenas três posições (verão, inverno e desligado).

⁷³Segundo Ferreira (1991), as bombas de calor são cerca de duas a três vezes mais eficientes que as resistências elétricas.

⁷⁴Esses valores são estimados comparando-se com os motores elétricos e os chuveiros, já que as máquinas de lavar roupa requerem um motor para o funcionamento e, alguns modelos, têm aquecimento de água.

sistema de refrigeração (Geller, 1991). Assumimos neste estudo que esse potencial seja um pouco inferior ao das geladeiras (30%), com custo de conservar equivalente: *US\$ 0,029/kWh*.

Ainda consideramos que: i) ventiladores/circuladores de ar tenham melhorias de eficiências em cerca de 30%; ii) ferros com redução de 5% no consumo; iii) televisão, rádio e outros aparelhos com melhorias de eficiência da ordem de 15%, como se observa na tabela 4.4 e custo de conservar energia de *US\$ 0,05/kWh* para todos. São ainda estimados que a secadora de roupa e a cocção elétrica tenham custos de conservar semelhantes ao do ar condicionado. O custo de conservar potência é assumido com os valores obtidos em Jannuzzi et alli (1993). O resumo das reduções do consumo, o custo de conservar energia e potência por uso final no setor residencial é dado na tabela 4.4.

Tabela 4. D: Redução do Consumo e Custos de Conservar Eletricidade e Potência no Cenário Eficiente do Setor Residencial devido ao uso de tecnologias mais eficientes

Usos Finais	Consumo		Potência
	Redução [%]	Custo [US\$ /kWh]	Custo [US\$ /kW]
Iluminação	50	0,026	200
Ferro	5	0,050	330
Televisão	15	0,050	400
Geladeira - 1 porta	35	0,029	500
Geladeira - 2 portas	35	0,029	550
Freezer	30	0,029	550
Chuveiro	20	0,013	300
Ventil. / Circul.	30	0,03	2000
Ar Condicionado	30	0,032	200
Rádio	15	0,050	400
Secadora de Roupa	15	0,032	400
Máq. L.L	33	0,015	200
Lav Roupa	33	0,050	400
Cocção Elétrica	15	0,032	400
Outros	15	0,050	400

Saturação de Tecnologias Eficientes a Energia Elétrica

Uma vez que a cenarização global contemple a melhor distribuição de renda, a saturação tende a crescer. Estima-se, de modo a limitar o estudo, que o potencial de redução do consumo de energia e da potência dos usos finais, seja o mesmo em todas as faixas de renda, procurando estabelecer uma correspondência com a vida útil dos usos finais⁷⁵: para aqueles cuja vida útil é equivalente a 15 anos, assumiu-se uma troca de 33% do estoque

⁷⁵ Ver Anexo 8.

existente; para os de 12 anos, 42% e, quanto às lâmpadas incandescentes, substituição de 50% pelas fluorescentes⁷⁶.

Esses resultados foram obtidos admitindo que as mudanças dos hábitos de consumo entre os anos base e de projeção desloquem o consumo para fora do horário de ponta e ainda, que essas alterações ocorram mais acentuadamente nas classes de renda superiores (acima de 5 SM), atingindo 50% dos domicílios e apenas 20% nas demais.

Derivados de Petróleo

A diferença existente entre os equipamentos elétricos e aqueles que demandam derivados de petróleo e biomassa é basicamente o sistema de combustão (Witte et alli., 1988), sendo adotado neste estudo um potencial de conservação de 5%⁷⁷, que somado ao aumento de eficiência registrado desse equipamenteo a eletricidade (aparelhos de cocção elétrica) fornece um potencial de 20% para os fogões a GLP.

Devido à indisponibilidade de informações referentes ao custo de conservar GLP, supõe-se que os investimentos serão apenas realizados se forem inferiores ao custo de fornecimento de energia. Em uma primeira instância, estimou-se que o custo de conservar derivados de petróleo para cocção seja equivalente ao da eletricidade, o que implica em *US\$ 8,89/GJ*⁷⁸ e, portanto, não competitivo com o custo de fornecimento de derivados (*US\$ 2,78/GJ*, p.59). Portanto, considerou-se que apenas as medidas de conservação cujos custos sejam inferiores aos custos de fornecimento sejam adotadas. A título de ilustração é adotado que o potencial de redução do consumo de GLP para os fogões seja reduzido à metade, isto é, 10%, com custo de conservar de *US\$ 2,5/GJ*.

⁷⁶ No caso das lâmpadas a substituição é refletida diretamente na penetração de tecnologias, isto é, o número de lâmpadas incandescentes que decresceu é o mesmo do aumento das fluorescentes.

⁷⁷ Segundo Witte et alli. (1988), para o setor industrial esse potencial é de 13,5%. Ver seção 4.2.3, *Biomassa*, p. 110.

⁷⁸ *US\$ 8,89/GJ = US\$ 0,032/kWh*. (tabela 4.4).

Saturação de Tecnologias Eficientes a Derivados de Petróleo

Conforme já aludido para as tecnologias à eletricidade, as incertezas quanto à saturação dos usos finais eficientes existem sendo considerada a mesma vida útil dos aparelhos de cocção do setor residencial para os fogões (12 anos), estima-se uma substituição de 42% do estoque no cenário eficiente⁷⁹.

4.2.2 Setor Comercial

Ano de Projeção

De acordo com o mencionado no início deste capítulo, a taxa de crescimento do PIB para o setor comercial é de 5,6% a.a. entre os anos base e de projeção. Considera-se que a taxa de crescimento da área seja equivalente e desagregada segundo a tabela 4.5, onde se procura aumentar a participação dos estabelecimentos de menor intensidade energética.

Tabela 4. E: Taxas de Crescimento da Área por Estabelecimento no Setor Comercial (1990-2000) [%]

Estabelecimentos	T.C.[%]
Lojas	7%
Com. Alim.	5%
Serv. alim.	5%
Serv. Pess.	5%
Bancos	6%
Escritórios	6%
Grandes Estabelecimentos	4%
Outros	6%
Total	5,6%

A penetração de tecnologias e o fator de coincidência de pico são mantidos os mesmos do ano base em ambos os cenários.

⁷⁹ Anexo 8.

Cenário Eficiente

Nesta seção é feito o levantamento dos principais usos finais que consomem energia no setor comercial, as perspectivas de conservação e os seus respectivos custos.

Eletricidade

As informações obtidas sobre o nível de consumo de energia elétrica correspondem à cidade de São Paulo. Considera-se, para efeito deste estudo, que o comportamento da RAC seja semelhante ao da capital do Estado.

O consumo de energia elétrica em iluminação é elevado no setor comercial, representando cerca de 40% do consumo do setor na cidade de São Paulo no ano de 1988 (J.W.C.A., 1989). A melhoria de eficiência pode ser alcançada através do dimensionamento correto do nível de luz necessário, o melhor aproveitamento da iluminação natural e o uso de equipamentos mais eficientes. O primeiro passo para o melhor uso da iluminação é o dimensionamento do fluxo luminoso necessário. Em estabelecimentos de escritórios e comércio, em geral, fluxos da ordem de 400 a 700 lux são suficientes para suprir as necessidades básicas de conforto. Na cidade de São Paulo, observou-se que no setor de serviços esse valor atingia muitas vezes 1.000 lux e, em alguns casos, até 1.500 lux, enquanto no setor de comércio não ultrapassava 500 lux. Concentrando o fluxo por tarefa (*task lightning*), é possível reduzir o consumo de energia elétrica para esse uso final de 30 a 50% (J.W.C.A., 1989). Além disso, o melhor aproveitamento da iluminação natural chega a reduzir as horas de funcionamento de lâmpadas em um fator de 2 a 3 (J.W.C.A., 1989). Após o dimensionamento da iluminação necessária, é importante que se faça a escolha entre os diversos tipos de lâmpadas existentes. Apenas as lâmpadas incandescentes, fluorescentes e fluorescentes compactas são consideradas neste trabalho. O consumo de energia elétrica em iluminação do setor comercial é 50% devido ao uso de lâmpadas incandescentes, presentes especialmente em ambientes sofisticados, em serviços de alimentos e em loja de roupas e tecidos (J.W.C.A., 1989). A troca de lâmpadas incandescentes por fluorescentes pode reduzir o consumo pela metade, com custo de conservar de *US\$ 0,026/kWh*, assumindo que funcionem de maneira semelhante ao do setor residencial (Geller, 1991). Nos casos onde há superdimensionamento é admitido que os custos sejam um pouco menores: *US\$ 0,02/kWh*. A

troca de lâmpadas fluorescentes de 40W por 32W, o uso de reatores mais eficientes e refletores reduzem o consumo de eletricidade em até 65%, com custo de conservação em instalações já existentes de *US\$ 0,019/kWh* e em novas instalações, de *US\$ 0,005/kWh* (Geller, 1991). Considera-se para esse trabalho um potencial de conservação da iluminação de energia elétrica variando entre 50% e 70%. A maior redução no consumo e na potência é estimada para os estabelecimentos de alimentação onde ocorre o superdimensionamento e uso intensivo de lâmpadas incandescentes. Nas lojas estabeleceu-se um potencial de conservação um pouco menor, admitindo que a iluminação incandescente seja apenas no comércio de roupas e tecidos para o ano base. Foram também admitidas que apenas uma pequena porcentagem dos escritórios e grandes estabelecimentos sejam considerados ambientes sofisticados, com superdimensionamento de iluminação no ano base, sendo assim o potencial de melhoria estimado como para as lojas. Nos demais estabelecimentos assumimos que a redução seja em torno de 50%.

O condicionamento de ambientes na cidade de São Paulo representa cerca de 15% do consumo de eletricidade do setor comercial atingindo, nos estabelecimentos de grande porte, 50% (Eletrobrás, 1994b; J.W.C.A., 1989). Para a RAC estimou-se os mesmos níveis de consumo. Melhorias de eficiência desse equipamento podem reduzir o consumo de 20 a 50%, segundo J.W.C.A. (1989). Já nos grandes estabelecimentos, os equipamentos mais eficientes consomem 40% menos energia que os menos eficientes. Além dessas propostas, uma arquitetura adequada, com ventilação e utilização de plantas para amenizar o calor, pode reduzir o consumo, como verificado nos shoppings das cidades de Campinas e de Jundiaí e que, segundo a J.W.C.A. (1989), chega até a dispensar a instalação do equipamento. O potencial de redução estimado neste caso é de 60%, superior ao do setor residencial, considerando a possibilidade de melhores projetos arquitetônicos. Para os grandes estabelecimentos, onde se supõe uso de centrais de ar condicionado estima-se uma redução de 70%. Os custos de conservar energia são respectivamente de *US\$ 0,012/kWh* e *US\$ 0,018/kWh* (Geller, 1991).

Na cidade de São Paulo, 50% do consumo de supermercados e restaurantes é devido à refrigeração, enquanto nos demais estabelecimentos este serviço corresponde a 17% do consumo (J.W.C.A., 1989). Algumas experiências mostraram a redução de 30 a 40% no consumo através do uso de motores e compressores de alto rendimento, alterações no desenho e a introdução de novos componentes, como portas de vidros, contudo apenas possível em grandes estabelecimentos (Eletrobrás, 1994b). Nos Estados Unidos o uso de motores e

compressores eficientes reduziram o consumo de 10 a 15% com CCE de *US\$ 0,004/kWh* (Miller, Eto e Geller, 1989) e Gellings et alli (1991) estimam reduções da ordem de 20 a 40%, nesse mesmo país, com o uso de tecnologias de compressão avançadas, controles de velocidade variável e outras medidas que incluem a prática de controle e manutenção do equipamento. Neste trabalho, em estabelecimentos onde os refrigeradores não são usos finais essenciais para o funcionamento, admitimos que tenham eficiências mais baixas no ano base e, portanto, com maior potencial de redução. Para aqueles que dependem desse uso final (serviços de alimentos), estima-se um potencial de 30% com custos de conservar de *US\$ 0,02/kWh*. Nos estabelecimentos que necessitam parcialmente desse aparelho (comércio de alimentos) admitiu-se diminuição de 35% do consumo.

O uso de cocção elétrica no setor comercial é ainda reduzido, representando 3,5% do consumo anual na cidade de São Paulo (J.W.C.A., 1989). As melhorias de eficiências desses usos finais variam entre 20 e 30% (Geller, 1991), estimativas similares ao de Gellings et alli (1991) para os EUA em projeção de 1987 a 2000, conseguidas através do aumento de isolamento, melhores componentes de aquecimentos, painéis refletivos, redução de massa térmica e menor resistência. Assume-se que os custos de conservar eletricidade para esse equipamento igual ao do setor residencial, isto é, de *US\$ 0,032/kWh* e que o potencial de redução seja diferenciado da seguinte forma: os estabelecimentos que não utilizam desse uso final para o funcionamento (lojas, bancos, escritórios e outros) sejam de 30%, para aqueles que necessitam (serviço de alimentos) esse potencial seja de 20% e para os demais, considere-se 25%.

Nos Estados Unidos, estima-se que há possibilidades de redução do consumo de equipamentos de escritórios de até 50%, dos elevadores e escadas rolantes de 35% e outros de 10 a 30% (Gellings et alli, 1991). É admitido neste estudo que para os outros usos finais sejam considerados potenciais de 50% em escritórios, 35% em grandes estabelecimentos, onde há presença de elevadores e escadas rolantes, e 30% para os demais subsetores no período em estudo. Como não se obteve os custos de conservação desses aparelhos assumiu-se que sejam equivalentes aos custos de maior valor entre as alternativas do setor comercial (cocção), isto é, de *US\$ 0,032/kWh*. O resumo das reduções do consumo de energia elétrica e potência no setor comercial estão enumeradas na tabela 4.6, juntamente com os respectivos custos de conservação.

Tabela 4. F: Redução do Consumo e Potência, Custos de Conservar Energia Elétrica e Potência em Diversos Estabelecimentos do Setor Comercial da RAC por Uso Final

Uso Final	Estabelecimentos	Redução do Consumo [%]	CCE [US\$/kWh]	CCP [US\$/kW]*
Iluminação	Lojas	60	0,02	300
	Com. de Alimentos	70	0,02	450
	Serviços de Alimentos	70	0,026	450
	Bancos	50	0,02	300
	Escritórios	60	0,026	300
	Hotéis	50	0,026	350
	Grandes Estabelecimentos	60	0,026	300
	Outros	50	0,026	550
Ar Condic.	Lojas	60	0,012	300
	Com. de Alimentos	60	0,012	450
	Serviço de Alimentos	60	0,012	450
	Bancos	60	0,012	300
	Escritórios	60	0,012	300
	Hotéis	60	0,012	350
	Grandes Estabelecimentos	70	0,018	300
	Outros	60	0,018	550
Refrigeração	Lojas	40	0,01	300
	Serviço de Alimentos	30	0,01	450
	Com. de Alimentos	35	0,01	450
	Bancos	40	0,01	300
	Escritórios	40	0,01	300
	Hotéis	35	0,01	350
	Grandes Estabelecimentos	35	0,01	300
	Outros	40	0,01	550
Cocção	Lojas	30	0,032	300
	Serviço de Alimentos	20	0,032	450
	Com. de Alimentos	25	0,032	450
	Bancos	30	0,032	300
	Escritórios	30	0,032	300
	Hotéis	25	0,032	350
	Grandes Estabelecimentos	25	0,032	300
	Outros	30	0,032	550
Outros	Lojas	30	0,032	300
	Serviço de Alimentos	30	0,032	450
	Com. de Alimentos	30	0,032	450
	Bancos	30	0,032	300
	Escritórios	50	0,032	300
	Hotéis	30	0,032	350
	Grandes Estabelecimentos	35	0,032	300
	Outros	30	0,032	550

* *Jannuzzi et alli, 1993.*

Saturação de Tecnologias Eficientes à Eletricidade no Setor Comercial

Como para o setor residencial, estabelece-se que a saturação dos usos finais com melhorias de eficiência sejam correspondentes à sua vida útil⁸⁰, sendo portanto de 42% dos aparelhos de condicionamento de ar e da cocção elétrica, 33% para os refrigeradores e outros usos finais assumindo que a vida útil desses usos finais seja a mesma desses aparelhos à eletricidade no setor residencial. Para a iluminação estimou-se a substituição de 50% do estoque de lâmpadas incandescentes pelas fluorescentes.

Derivados de Petróleo

O potencial de redução do consumo de derivados de petróleo é estimado através da soma da redução de 5% das perdas no sistema de combustão, como no caso do setor residencial⁸¹, e do potencial correspondente ao uso final para a eletricidade. Por exemplo, no caso da cocção, a capacidade de redução do consumo desse equipamento movido à eletricidade em outros estabelecimentos do setor comercial é de 30%, que somados aos 5% de melhorias da combustão resulta no potencial de conservação de 35%. Para o aquecedor de água, é admitido o potencial desses aparelhos no setor residencial (20%) o que implica na redução de 25% do consumo e para as caldeiras, soma-se os 5% à conservação desse uso final no setor industrial (10%) o que fornece 15% de potencial.

O custo de conservar derivados de petróleo é estimado conforme a metodologia utilizada para essa fonte no setor residencial, tendo-se mais uma vez obtido valores muito elevados em relação ao custo marginal de fornecimento. Em sendo assim, o custo de conservar energia adotado é de *US\$ 2,5/GJ*, no entanto com potencial de redução reduzido à metade para todos os usos finais, isto é, de 17,5% para a cocção, 12,5% para os chuveiros e 7,5% para as caldeiras. Considera-se ainda que não haja diferença desses potenciais por estabelecimento comercial.

⁸⁰ Ver Anexo 8.

⁸¹ Ver seção 4.2.1, item *Derivados de Petróleo*.

4.2.3 Setor Industrial

Ano de Projeção

Procurou-se priorizar no setor industrial a penetração de ramos intensivos em capital e trabalho estabelecendo taxas de crescimento superiores em outros (informática, comunicação, etc.), e renegando os intensivos em energia, como as fábricas de papel e celulose, químicas e de alimentos e bebidas, observados na tabela 4.7. Também se nota que as elasticidades energia e PIB giram em torno de 1, valores reduzidos quando comparados ao passado. Tanto a taxa de crescimento diferenciada por ramo industrial quanto a baixa estimativa das elasticidades vão de encontro às tendências dos países desenvolvidos, ou seja, procurando agregar maior valor ao produto ao invés de energia.

Tabela 4. G: Taxa de Crescimento do PIB e Elasticidade Energia/PIB por Ramo Industrial (1992-2002)

	Elasticidade	T.C. anual do PIB
Metalurgia	1	5,0
Química	1,1	4,5
Alim. e Beb.	1,1	4,5
Têxtil	1,05	5,0
Papel e Cel.	1,1	4,5
Outros	1,1	6,0

Assumindo que no setor industrial já se tenha feito o gerenciamento de carga em todos os subsetores no ano base, o fator de coincidência de pico do ano de projeção é mantido o mesmo. Também considera-se que a participação dos usos finais no consumo de energia para o cenário tendencial seja a mesma do ano base.

Cenário Eficiente

Explicita-se nesta seção os cenários de conservação de energia no setor industrial, levantando-se dados dos principais usos finais para cada fonte energética.

Eletricidade

Os motores são os principais usos finais consumidores de energia elétrica, seguido pelos fornos, caldeiras, eletrólise e iluminação (Geller, 1991).

O uso de motores representa 50% do consumo de energia elétrica no setor industrial, 78% dos quais trifásicos. Destes, 2% têm potência menor que 1 hp, 38% entre 1 e 10 hp, 26% entre 10 e 40 hp, 14% entre 40 e 100 hp, 12 % entre 100 e 300 hp e os demais, acima de 300 hp (Geller, 1991). Os motores acima de 200 hp fabricados por multinacionais no país são tão eficientes quanto o de países desenvolvidos (Mascarini, 1990); no entanto, a média dos nacionais são 4% menos eficientes que na ex-Alemanha Ocidental (Lobosco, 1989). Através da difusão da tecnologia já existente no país, poder-se-ia melhorar de 6 a 20% os motores (Geller, 1991). Cerca de 35% dos motores operam abaixo de 60% de sua capacidade. O uso de controladores de velocidade para cargas variáveis pode reduzir em 20% o consumo dos motores, sendo até 12% com o uso de equipamentos disponíveis no país (Eletrobrás, 1994b) e custos de conservar energia de *US\$ 0,061/kWh* (Eletrobrás, 1989). Nos Estados Unidos, o uso desses controladores implicam em reduções de 20 a 50% e com o uso de motores mais eficientes em 3 a 10% (Gellings et alli, 1991). Os custos são ainda elevados, segundo Geller (1991), devido às taxas e aos impostos de componentes importados e o mercado limitado desse uso final fazendo com que o CCE seja de *US\$ 0,016/kWh* com possibilidades de redução do consumo de 26% a 72%. Para este estudo admite-se 50% do potencial de conservação para esse mesmo custo de conservar eletricidade.

Os fornos elétricos são responsáveis por 14% do consumo de eletricidade do setor industrial no ano base da RAC (Anexo 13, tabela 13.1). O uso de coberturas, fornos completos, instalação de timers e melhor controle do processo podem reduzir o consumo de eletricidade nesses usos finais. Segundo a Eletrobrás (1994b), a recuperação de gases e otimização da operação pode implicar em cerca de 10% da conservação de eletricidade neste uso final. Nas siderúrgicas os fornos elétricos foram instalados nos últimos 15 anos com eficiências dos países desenvolvidos (CNE, 1988). Segundo o PROCEL (1989), o potencial de conservação em fornos e caldeiras é de 10%, com *CCE = US\$ 0,011/kWh*. Para o aquecimento de água, fluidos térmicos, secadoras e estufas estimam-se os mesmos valores.

O consumo na iluminação no setor industrial representa de 2 a 4% de energia elétrica do setor, sendo em alguns casos de 5 a 10%. A substituição de lâmpadas incandescentes por fluorescentes tem CCE de *US\$ 0,04/kWh*, enquanto a melhoria de eficiência das fluorescentes

US\$ 0,02/kWh e a substituição de lâmpadas com reatores por sódio de alta pressão de US\$ 0,025/kWh, reduzindo em cada caso 50% do consumo ou mais (Geller, 1991). Assume-se para fins deste trabalho apenas a troca de incandescentes por fluorescentes, isto é, potencial de conservação de 50%.

Os processos eletrolíticos participam com 7% no consumo de eletricidade do setor industrial em 1984, sendo estimados aumento para 10%, com o crescimento das indústrias de alumínio e de cloro-soda (Geller, 1991). As indústrias de alumínio mais recentes são cerca de 8% mais eficientes que as mundiais, no entanto as antigas têm potencial de redução de cerca de 6,5% (Geller, 1991). As células eletrolíticas instaladas nos meados da década de 80 consomem cerca de 15,5 kWh/kg (CNE, 1989a). Nos Estados Unidos, o potencial de conservação gira em torno de 30 a 50% através do uso de células bipolares, anodos inertes e catodos úmidos. Além disso, nas indústrias de soda-cloro a redução é de cerca de 10% com a troca de células de mercúrio por células de diafragmas e membranas. Admite-se neste estudo um potencial de redução de 10% do consumo para esse uso final com custo de conservar energia e potência conforme Jannuzzi et alli (1993). Para os demais usos finais é considerado o custo de conservar potência desse mesmo trabalho. As possibilidades de conservação e os custos relativos estão expressos na tabela 4.8.

Tabela 4. H: Estimativa do Potencial de Conservação e Custos por Usos Finais à Eletricidade

	Redução do Consumo [%]	CCE [US\$ /kWh]	CCP [US\$ /kW]*
Caldeira	10	0,011	200
Aq.Água/F.Term.	10	0,011	200
Forno	10	0,011	200
Secador/Estufa	10	0,011	200
Força Motriz	50	0,016	200
Iluminação	50	0,04	200
Eletrólise	10	0,02	500
Outros	15	0,03	200

fonte: elaboração própria

** Jannuzzi et alli, 1993*

Saturação de Tecnologias à Energia Elétrica no Setor Industrial

Admitindo uma vida útil de 15 anos para os equipamentos, estima-se a saturação de 33%, com exceção da iluminação, cujo valor estimado é de 50%.

Biomassa

A participação dos usos finais no consumo de biomassa da RAC é mantida a mesma do ano base para o cenário tendencial.

Conforme referido, a diferença existente entre os equipamentos elétricos e os de biomassa e derivados de petróleo é o sistema de combustão, sendo que nesse setor há possibilidades de redução de 13,5% no consumo de energia através do uso de estratégias de baixo custo⁸² e com custos⁸³ (Witte et alli, 1988).

Para o cenário eficiente, adota-se o potencial de conservação somando-se a redução de 10% das perdas no sistema de combustão aos valores estimados para o potencial desses mesmos usos finais à energia elétrica (tabela 4.8) o que resulta para os usos finais em questão, 20% de potencial de conservação.

Para estimar o custo de conservar energia da biomassa, procede-se de forma semelhante ao da obtenção desses custos para os derivados de petróleo nos setores residencial e comercial, o que resultou em *US\$ 3,06/GJ*, superando o custo de fornecimento de biomassa (*US\$ 1,22/GJ*). Em sendo assim, com o intuito de exemplificar o uso da metodologia descrita no capítulo 2, admite-se o custo de conservação da biomassa de *US\$ 1/GJ* e 10% de potencial de conservação para qualquer um dos usos finais. Estima-se ainda que a saturação desses equipamentos seja a mesma dos usos finais à energia elétrica.

⁸² Planejamento da operação; minimização de 35% para 10% do excesso de ar com ajustes de controle, reduz 2% do consumo de energia; redução da transferência de calor com a diminuição da temperatura de de 500 para 400°F aumenta a eficiência em 2,5% e, manutenção e troca de refratários reduz de 1 a 2% a demanda de energia elétrica.

⁸³ Melhorias de controle de combustão, viável apenas se a temperatura for superior a 800-900°F e, para temperaturas abaixo de 500-600°F, através de economizadores, atinge-se melhorias da ordem de 3 a 7% com período de retorno de 1 a 2 anos.

Derivados de Petróleo

A participação dos usos finais no consumo de derivados de petróleo é assumida como sendo a mesma do ano base para o cenário tendencial, enquanto para o cenário eficiente, as reduções do consumo são estimadas como sendo as mesmas da biomassa (10%). No entanto, o custo de conservar é mantido como do setor comercial, isto é, de *US\$ 2,5/GJ* e a saturação de 42%.

4.4 Possibilidades de Substituição de Energia

Entre as diversas possibilidades de substituição dos diversos recursos energéticos só considerou-se a difusão do uso de coletores solares como uma aplicação do modelo.

Uma das alternativas possíveis para reduzir o uso do aquecimento de água no setor residencial é através do uso de coletores solares, apesar de sua difusão ser muito restrita em função do alto custo de aquisição. Alguns estudos mostram, no entanto, que esse investimento é competitivo com os custos de expansão do setor elétrico. Madureira (1995), por exemplo, mostra, do ponto de vista do consumidor, das concessionárias e da sociedade, que os sistemas solares (aquecedores e pré-aquecedores) são vantajosos tanto ambientalmente como em termos de custos. Conforme salientado na seção 4.1, o crescimento de chuveiros elétricos entre os anos base e de projeção é limitado a 7%, contrário à média de 10%, já que se estima uma porcentagem de substituição desses usos finais por aquecedores solares e a GLP. Assumindo que metade da troca de equipamentos seja realizada por aquecedores solares e metade por aquecedores a gás, temos 13.900 aparelhos a mais para cada fonte em residências de faixas de renda superiores a 5 salários mínimos, distribuídos como na tabela 4.9. Nas faixas de renda mais baixas admitiu-se que não ocorra substituição dos chuveiros por aquecedores solares devido ao custo de aquisição do equipamento. Canavarros (1994) estima que a substituição de 50% dos chuveiros por aquecedores solares resulta em conservação de 55,9 MW. No horizonte em que estamos trabalhando, consideramos apenas uma pequena parcela de troca dos aparelhos (1,5%), o que implica em redução de 1,6 MW. Apesar da previsão de entrada do gás natural, acredita-se que em razão da inexistência de gás canalizado na região, a difusão do mesmo no setor residencial não ocorra, limitando-se aos setores comercial e industrial. Como a troca por aquecedores a gás é de mesma expressão, temos um total de 3,2 MW conservados através da substituição de chuveiros, montante bem inferior às

reduções propostas através da alteração dos hábitos de consumo (fator de coincidência de pico) e da melhoria da eficiência dos chuveiros⁸⁴.

Tabela 4. I: Estimativa do Número de Aquecedores (Solar e a Gás) Substituídos no Cenário Eficiente do Setor Residencial da RAC por Faixa de Renda

	urbana	rural
2 a 5 *	5893	898
5 a 10	8171	661
mais de 10	11740	436
Total	25804	1996

**só a gás*

⁸⁴ Observar os resultados no capítulo 5.

Capítulo 5

Resultados da Projeção de Energia

Os resultados obtidos na simulação da demanda de energia no ano 2002 para a RAC demonstraram um potencial de conservação de 11.890 TJ, sendo que 69,0% dos quais no setor industrial; 20,4% no setor residencial e 10,6% no comercial, vistos na tabela 5.1. Na mesma tabela, observa-se que a biomassa tem um potencial de redução de 17,5%, os derivados de petróleo, 19,7% e o demais (62,8%) cabe à eletricidade. Mais uma vez é necessário afirmar que esses resultados são apenas uma simulação das medidas de conservação propostas e não previsões do consumo energético para o ano de projeção. Esse potencial é descrito neste capítulo, de forma mais detalhada (por subsetores e usos finais), mostrando ao final, para cada fonte, quais as medidas de menor custo marginal e de maior impacto na conservação de energia (no caso da eletricidade, a potência também) e verificando que a maior parte dos programas de conservação, independente do setor da economia estudado e também da fonte energética, são altamente competitivos com qualquer proposta de expansão do parque energético existente.

Tabela 5. A: Projeção da Energia Conservada por Setor e por Fonte na RAC em 2002

	Energia Conservada	
	TJ	%
Fonte		
Eletricidade	7.472	62,8
Derivados de Petróleo	2.342	19,7
Biomassa	2.076	17,5
Setor		
Residencial	2.421	20,4
Comercial	1.266	10,6
Industrial	8.203	69,0
TOTAL	11.890	100

5.1 Setor Residencial

O potencial total de conservação de energia no setor residencial, de acordo com os dados inseridos no programa, foi de 2.421 TJ/ano, sendo 78% devido às reduções no consumo de energia elétrica e o demais nos derivados de petróleo.

5.1.1. Eletricidade

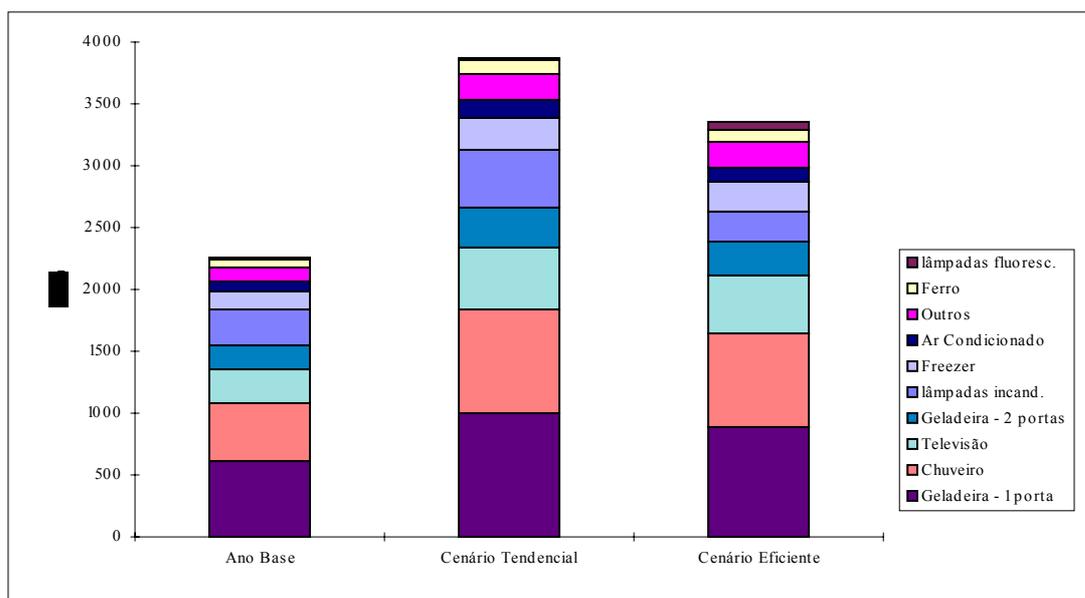
Através das taxas de crescimento estabelecidas, o consumo de energia elétrica, que era de 2.360 GWh no ano base alcança 3.876 GWh no cenário tendencial e 3.354 GWh no cenário eficiente⁶⁴, reduzindo o custo dos investimentos em US\$ 9,0 milhões. A potência instalada que era de 410 MW no ano base passou a 753 MW no cenário tendencial e 669 MW no eficiente, evitando custos no último cenário de US\$ 200 milhões.

O fator de carga do setor residencial é de 60,3% no cenário tendencial decaindo para 55,7% no cenário eficiente devido ao gerenciamento da carga através das estimativas de mudança dos hábitos de consumo (fator de coincidência de pico) e da redução do consumo de energia nos usos finais cuja demanda na ponta é elevada.

Nos gráficos 5.1 e 5.2 estão apresentados o consumo de energia elétrica e a potência instalada necessária para atender ao pico por usos finais no ano base e nos cenários tendencial e eficiente. Como se pode observar quanto ao consumo de eletricidade, tanto no ano base quanto em qualquer um dos cenários, a participação da geladeira de uma porta é alta, sendo de quase 26%. Logo em seguida destaca-se o chuveiro, contando com 20% do consumo no ano base e, mesmo com a redução da penetração desse uso final no cenário eficiente, aumenta a sua participação no consumo de eletricidade para 22% devido aos maiores potenciais de conservação de outros usos finais que são responsáveis por uma porcentagem alta do consumo (geladeira de uma porta e lâmpadas incandescentes). As lâmpadas incandescentes que eram responsáveis no ano base por cerca de 12% sofrem uma queda no cenário eficiente de 5%.

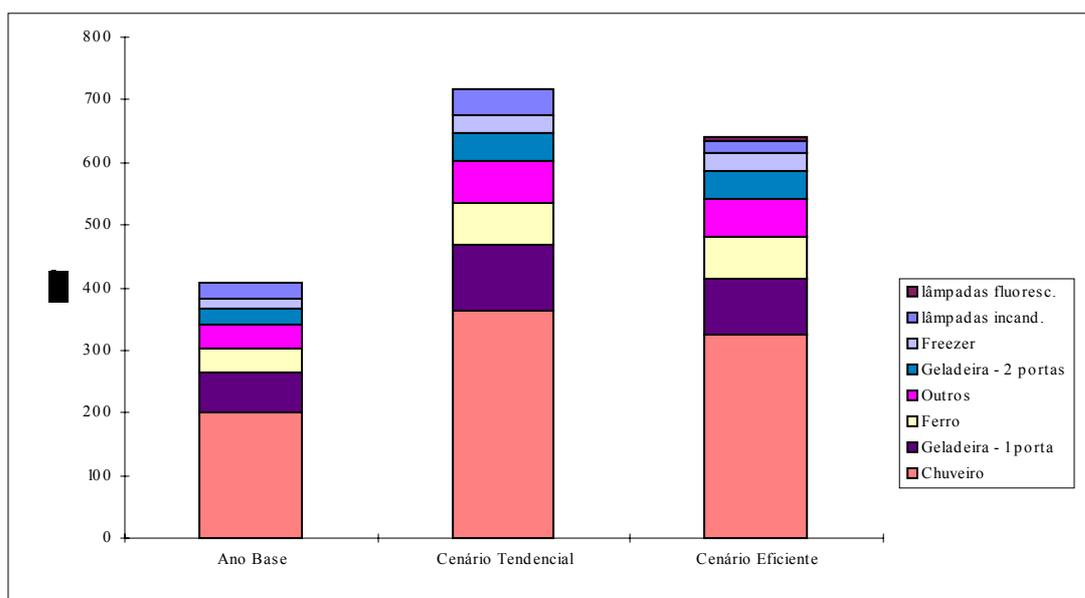
⁶⁴ No Anexo 9 são apresentados os resultados do consumo de energia elétrica e dos custos relativos ao ano base e aos dois cenários desagregados nos subsetores e usos finais.

Gráfico 5. A: Consumo de Energia Elétrica por Usos Finais no Setor Residencial da RAC



Em relação à potência instalada, dada no gráfico 5.2, pode-se notar que o chuveiro é o uso final que tem maior participação na demanda correspondendo a cerca de 56% e que caso não haja substituição mais acentuada dos aquecedores solares e a GLP ou então a alteração no hábito de uso (deslocamento do consumo no horário de pico), continuará sendo responsável por grande parte da demanda de eletricidade desse setor.

Gráfico 5. B: Potência Instalada por Usos Finais no Setor Residencial da RAC



As substituições de lâmpadas incandescentes por fluorescentes no cenário eficiente proporcionaram uma redução da potência necessária para as primeiras de 39 MW para 20

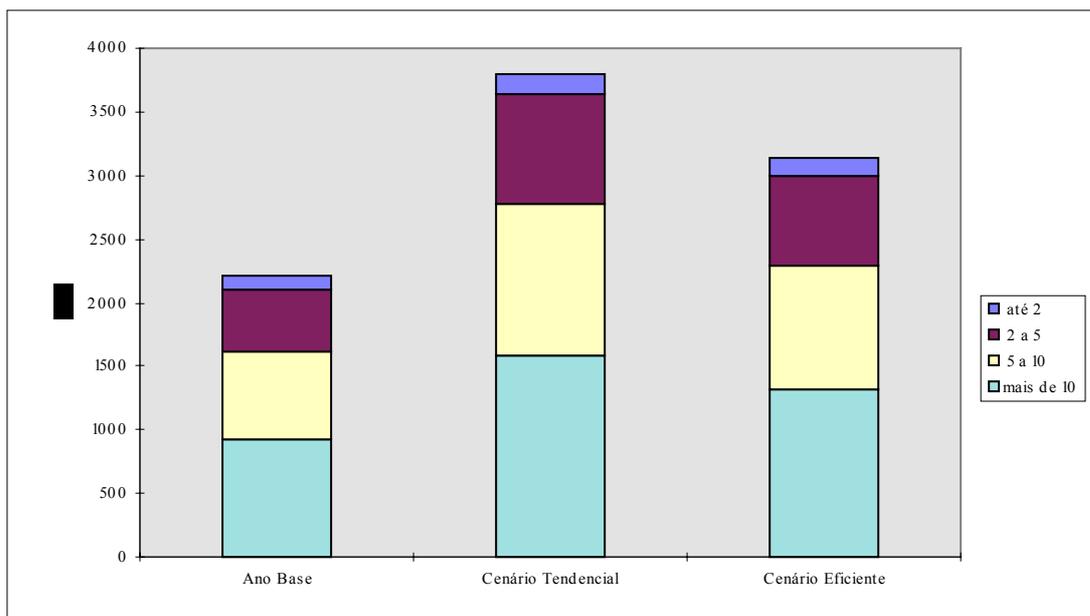
MW e em um aumento das segundas de 2 MW para 5 MW. Resumindo, para a iluminação houve um decréscimo da demanda de capacidade instalada de 16 MW.

Os usos finais com maior potencial de redução do consumo são a geladeira de uma porta (27%), a lâmpada incandescente (24%), o chuveiro (21%), a geladeira de 2 portas (10%) e o freezer (6%) e o potencial de conservação de potência para esses mesmos equipamentos são, respectivamente de 6%, 5%, 72%, 3% e 2%.

Já os gráficos 5.3 e 5.4 apresentam dados relativos ao consumo de energia nas áreas urbana e rural desagregados nas diversas faixas de renda assumidas neste trabalho.

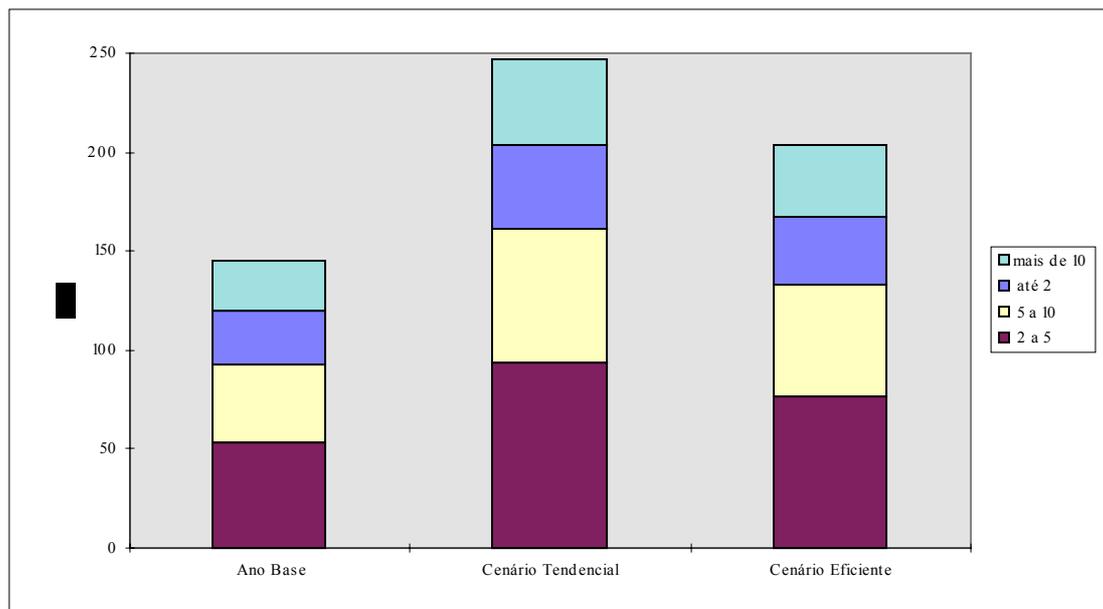
No gráfico 5.3 pode-se notar o intenso uso de equipamentos nos domicílios de melhor situação financeira sendo a maior faixa de renda responsável por quase 38% do consumo em qualquer dos cenários. Os potenciais de conservação de energia aumentam conforme a faixa de renda aumentam chegando a atingir 39% para os domicílios cuja renda é superior a 10 salários mínimos.

Gráfico 5. C: Consumo de Energia Elétrica por Faixa de Renda no Setor Residencial da RAC (área urbana)



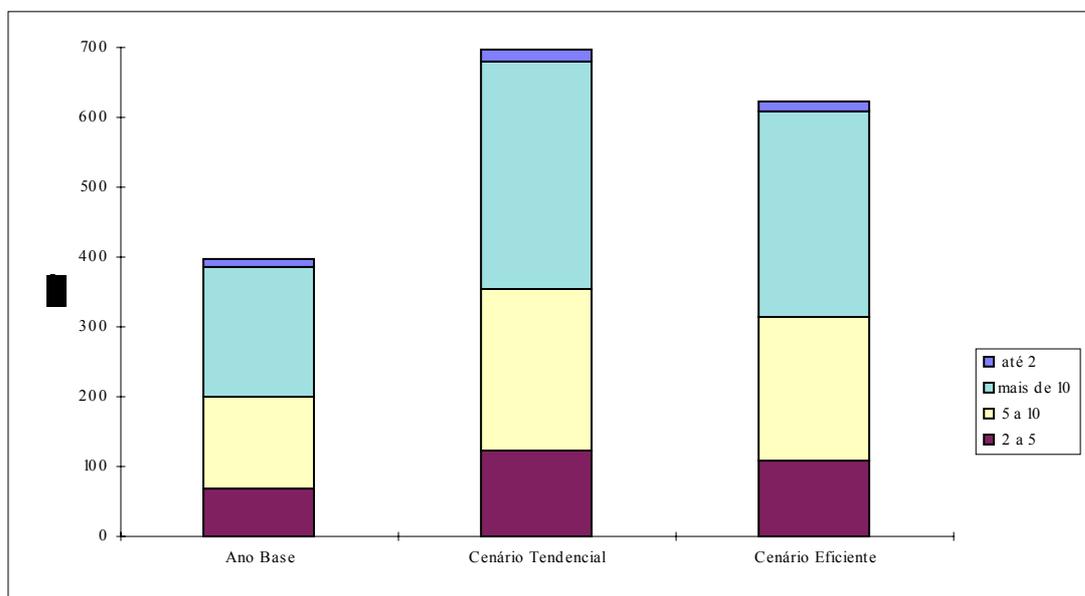
Na zona rural, a faixa que mais se destaca é a entre 2 e 5 salários mínimos correspondendo no ano base e em ambos os cenários a cerca de 33% do consumo seguida pela faixa de renda imediatamente superior com 27%, os domicílios de menor e maior poder aquisitivo com 20% cada.

Gráfico 5. D: Consumo de Energia Elétrica por Faixa de Renda no Setor Residencial da RAC (área rural)



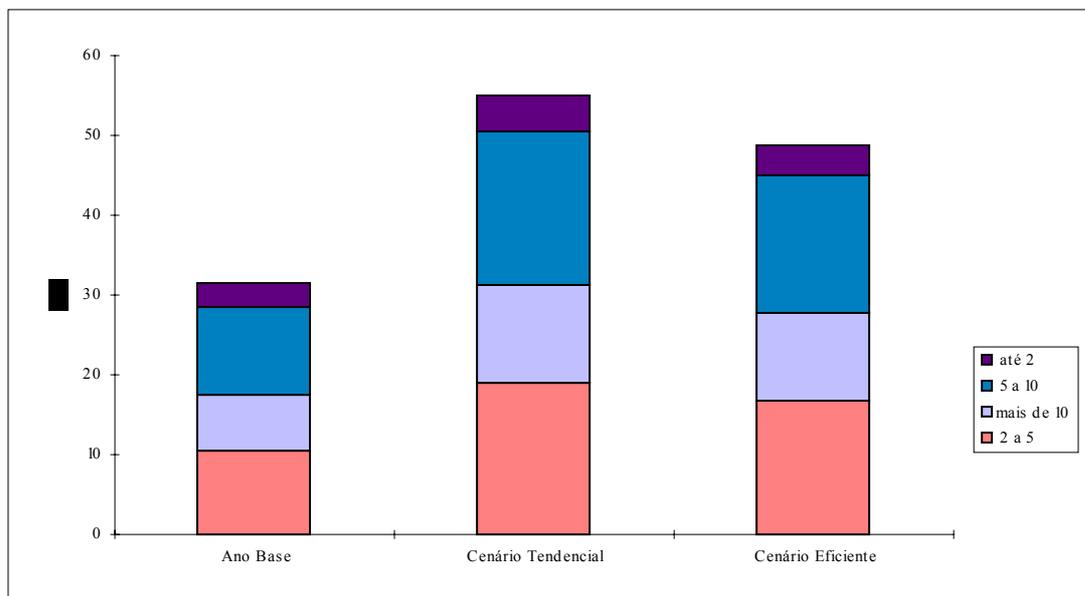
No gráfico 5.5 está apresentada a potência instalada necessária para atender o pico na área urbana onde se percebe que além da faixa de maior poder aquisitivo manter 38% do consumo é ainda mais marcante a sua participação na demanda de eletricidade contando com quase 45% o que demonstra a necessidade de alteração dos hábitos de consumo dessa faixa de renda.

Gráfico 5. E: Potência Instalada por Faixa de Renda no Setor Residencial da RAC (área urbana)



No gráfico 5.6 verifica-se que as faixas da área rural compreendidas entre 2 e 10 salários mínimos respondem por grande parte da potência instalada (70%), os domicílios de maior poder aquisitivo contam com cerca de 24% e os demais, 6%.

Gráfico 5. F: Potência Instalada por Faixa de Renda no Setor Residencial da RAC (área rural)



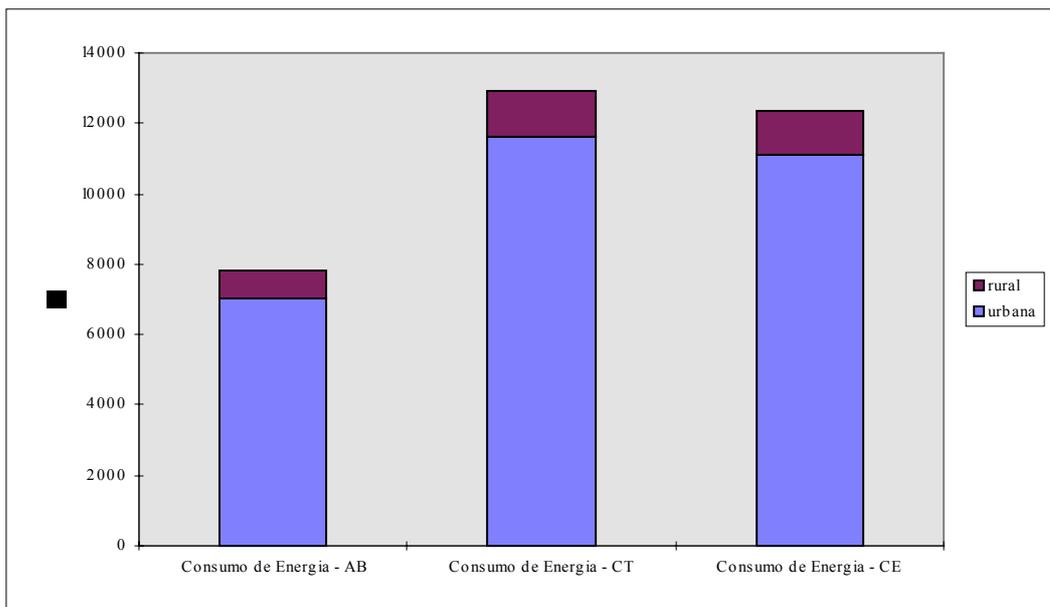
5.1.2 GLP

De acordo com as taxas de crescimento estabelecidas, o consumo de derivados de petróleo no setor residencial⁶⁵, que era no ano base de 7.838 TJ atinge no cenário tendencial 12.921 TJ e no eficiente, 12.378 TJ implicando em investimentos evitados de US\$ 151 milhões.

Do consumo registrado em fogões, cerca de 90% se dá na área urbana e o demais na área rural indo de acordo com as estimativas previamente feitas no capítulo 3.

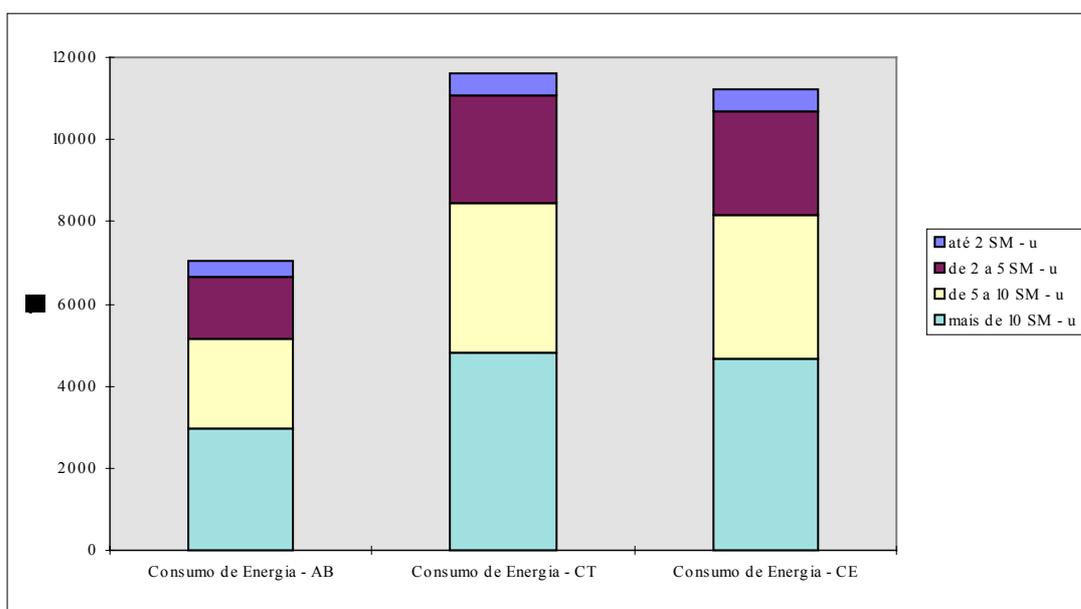
⁶⁵ Ver no Anexo 10 os resultados da projeção de demanda, custos do fornecimento e de conservação de GLP do setor residencial desagregados em seus subsectores e usos finais.

Gráfico 5. G: Consumo de GLP por Usos Finais no Setor Residencial da RAC



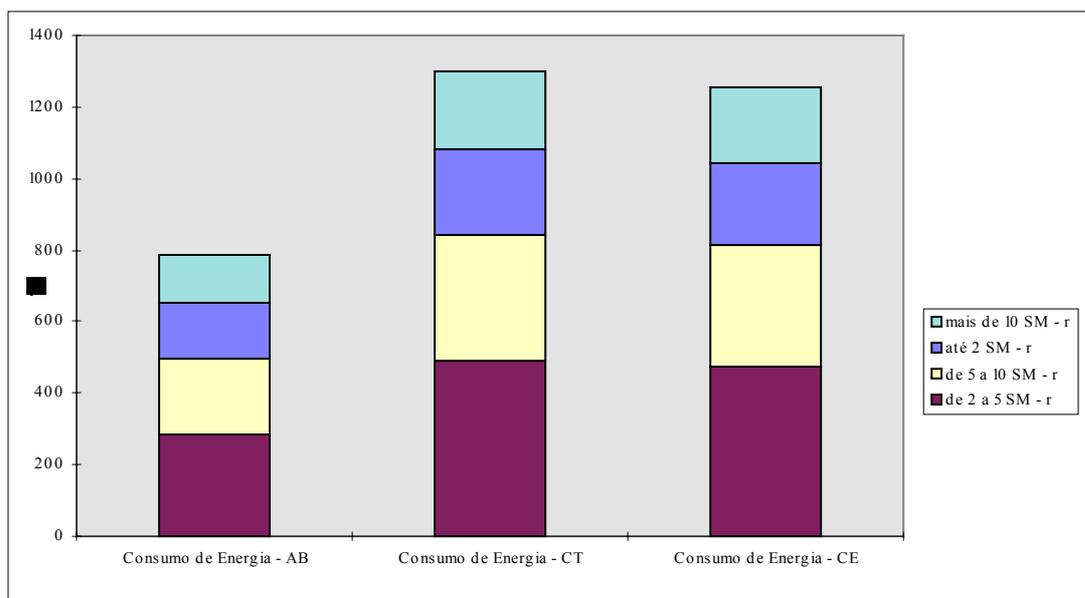
Nos gráficos 5.8 e 5.9 são mostrados os consumos de energia por faixa de renda, respectivamente na área urbana e na rural. Mais uma vez se nota na área urbana que as classes de renda mais abonadas têm maior participação, representando cerca de 40% do consumo de GLP. A participação no consumo da faixa imediatamente inferior (5 a 10 salários mínimos) gira em torno de 31% e a menor conta com apenas 6%, apesar do número de residências desse subsetor ser superior.

Gráfico 5. H: Consumo de GLP por Faixa de Renda no Setor Residencial da RAC (área urbana)



Na área rural, por outro lado, as faixas que mais demandam GLP são aquelas entre 2 e 5 salários mínimos, contando com cerca de 40%, seguidas pelas de 5 a 10 salários mínimos com 36%. Ao contrário do que até então tem se observado, o consumo do subsetor de maior poder aquisitivo é aquele cujo consumo é o menor, contando com aproximadamente 20%.

Gráfico 5. I: Consumo de GLP por Faixa de Renda no Setor Residencial da RAC (área rural)



5.2 Setor Comercial

O potencial total de conservação de energia no setor comercial, de acordo com os dados inseridos no programa, foi de 1.266 TJ/ano, sendo 93% devido às reduções no consumo de energia elétrica e o demais em derivados de petróleo.

5.2.1. Eletricidade

As necessidades de energia elétrica para o cenário tendencial são de 1.499 GWh e, no eficiente, de 1.172 GWh⁶⁶, resultando em custos 10% menores neste último, ou seja, US\$ 7,5

⁶⁶ Os resultados da projeção de energia elétrica e dos custos do setor comercial desagregados em seus subsectores e usos finais constam do Anexo 11.

milhões. A potência, no cenário tendencial é de 870 MW enquanto no cenário eficiente é de 674 MW, implicando em custos evitados da ordem de US\$ 470 milhões.

Nos gráficos 5.10 e 5.11 pode-se observar o consumo de energia e a potência instalada desagregados por usos finais, com pequena alteração na participação dos mesmos no consumo de energia elétrica, como por exemplo, a iluminação, que participa no cenário tendencial com 46% do consumo e no eficiente com 36%. De toda a conservação, cerca de 62% é na iluminação, 19% em ar condicionado e 10% em aparelhos de refrigeração.

Gráfico 5. J: Consumo de Energia Elétrica por Usos Finais no Setor Comercial da RAC

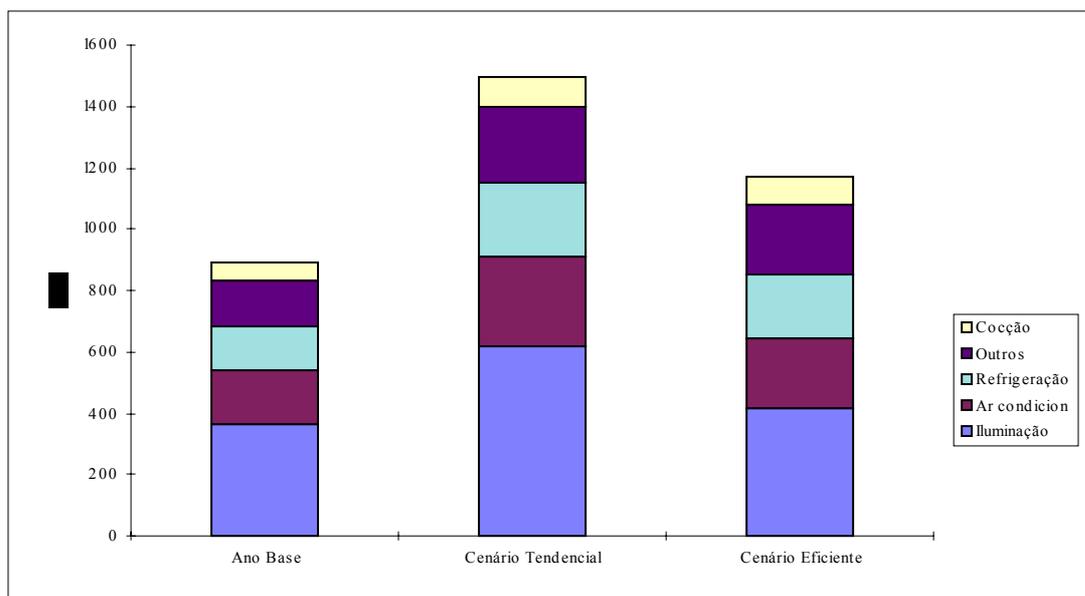
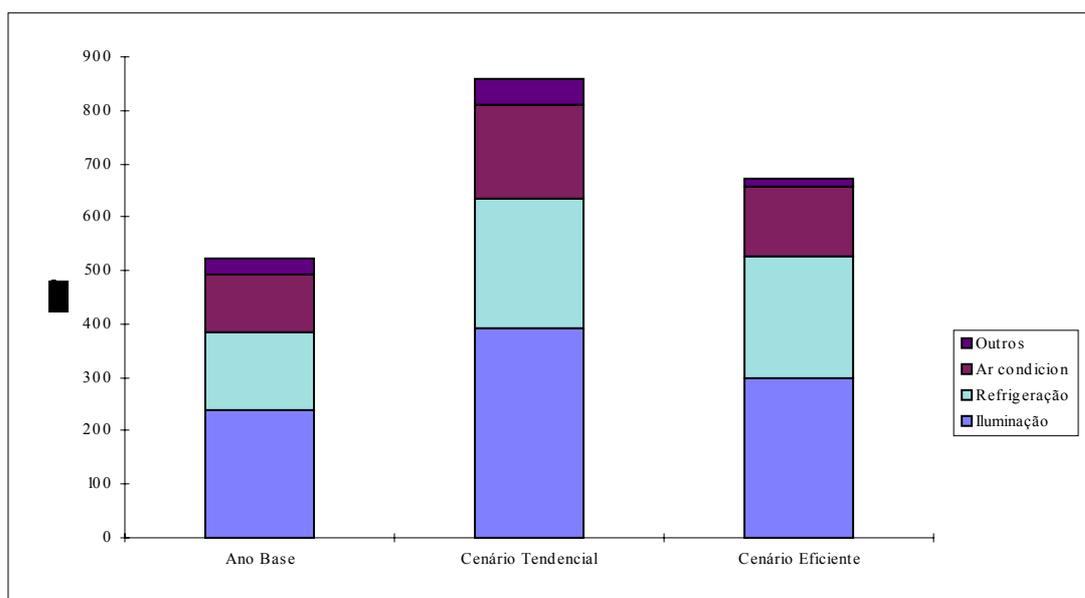


Gráfico 5. K: Potência Instalada por Usos Finais no Setor Comercial da RAC



Já os gráficos 5.12 e 5.13 apresentam dados relativos ao consumo de energia e à potência instalada desagregados nos vários subsetores, onde se observa o intenso consumo especialmente em escritórios e grandes estabelecimentos (22% cada), seguidos pelo comércio de alimentos (17%).

Gráfico 5. L: Consumo de Energia Elétrica por Estabelecimentos no Setor Comercial da RAC

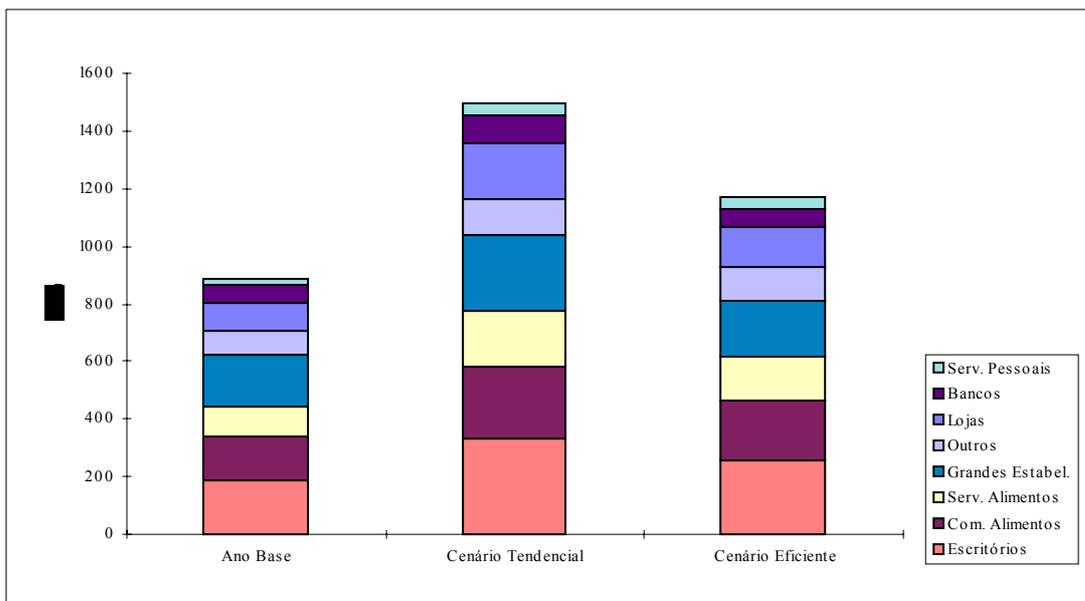
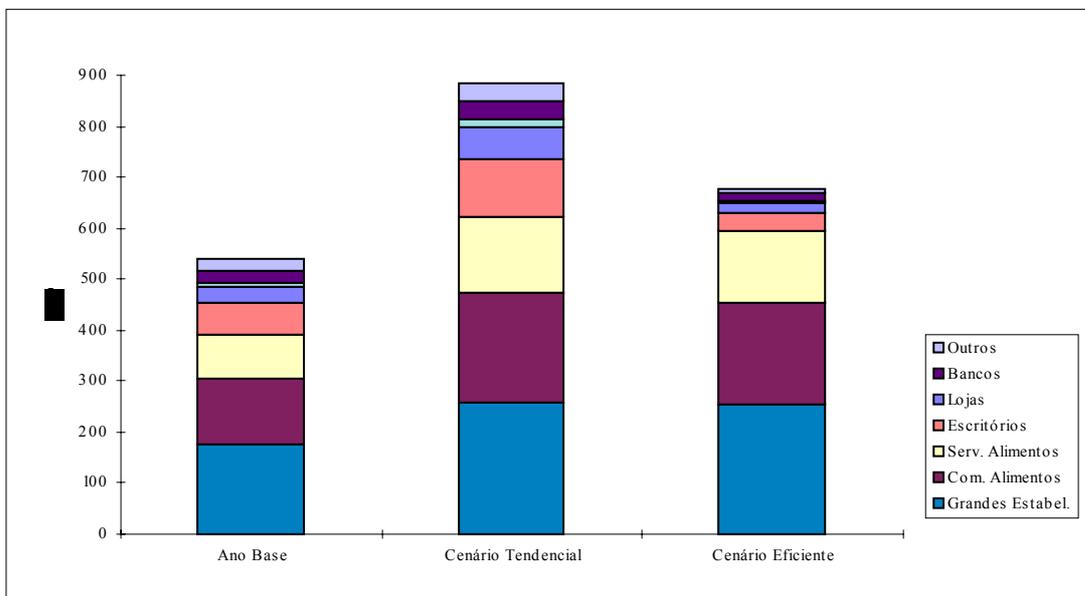


Gráfico 5. M: Potência por Estabelecimentos no Setor Comercial da RAC



O maior potencial de conservação de energia elétrica se dá nos escritórios (cerca de 25%), onde a medida de maior impacto é a redução do consumo em lâmpadas (62%) seguida do ar condicionado (33%). O potencial dos grandes estabelecimentos também é elevado

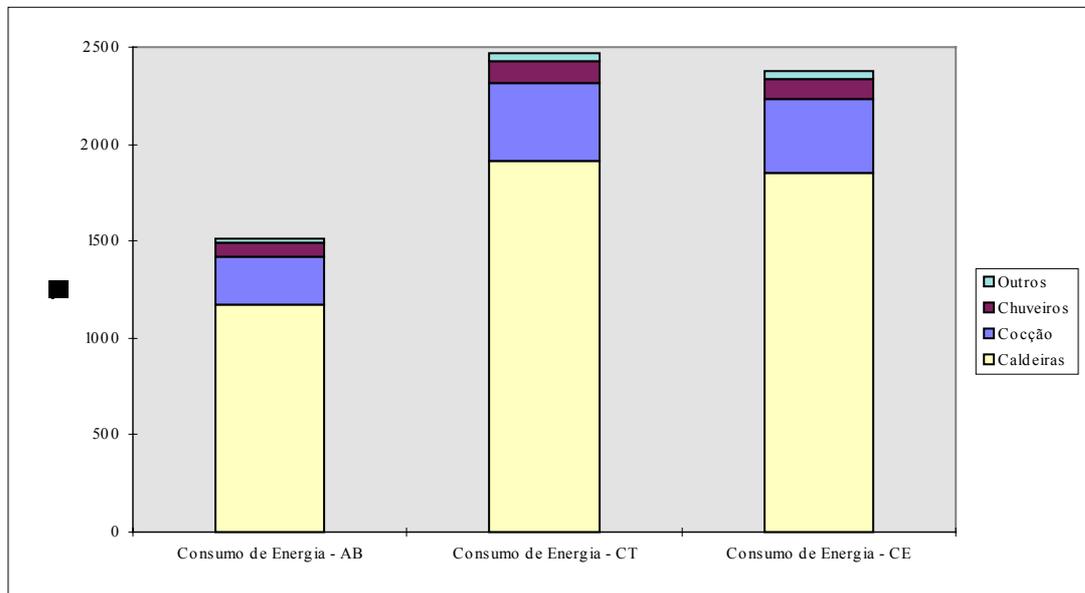
(21%) desagregado nos mesmos usos finais, respectivamente correspondendo a 67% e 26%. As lojas também têm um elevado potencial de conservação (18%), praticamente todo na iluminação (89%). Outros estabelecimentos que também merecem destaque são o comércio de alimentos (17%) e o serviço de alimentos (13%), cujas reduções concentram-se principalmente na refrigeração e iluminação.

5.2.2. Derivados de Petróleo

O consumo de derivados de petróleo (óleo Diesel e GLP) do setor comercial cresceu de 1.540 TJ no ano base para 2.464 TJ no cenário tendencial e no eficiente⁶⁷, 2.375 TJ, implicando em uma redução de 89 TJ e investimentos de US\$ 84 milhões.

Nota-se no gráfico 5.14 que o uso final que mais demanda derivados de petróleo são as caldeiras, representando, tanto no ano base quanto no cenário cerca de 77%, a cocção, 17% e os chuveiros, quase 5%.

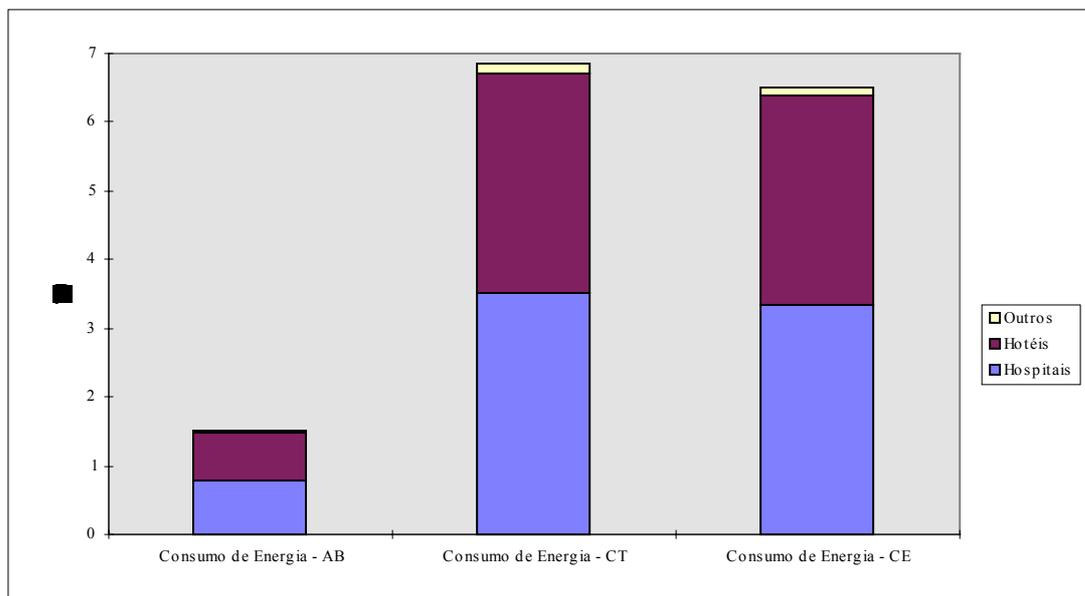
Gráfico 5. N: Consumo de Derivados de Petróleo por Usos Finais no Setor Comercial da RAC



⁶⁷ O Anexo 12 traz os resultados da projeção do consumo de derivados de petróleo e dos custos em ambos cenários do setor comercial desagregados em seus subsectores e usos finais.

O consumo de derivados de petróleo por estabelecimento do setor comercial é dado no gráfico 5.15, onde se nota que a participação de hotéis é um pouco inferior ao dos hospitais, respectivamente de 47% e 51% tanto no ano base quanto nos cenários tendencial e eficiente.

Gráfico 5. O: Consumo de Derivados de Petróleo por Estabelecimento no Setor Comercial da RAC



5.3 Setor Industrial

O potencial total de conservação de energia no setor industrial no ano de projeção é de 8.203 TJ/ano, sendo 54% na eletricidade, 11% devido às reduções no consumo de biomassa e 21% nos derivados de petróleo.

5.3.1. Eletricidade

Região altamente industrializada, o consumo de energia elétrica no cenário tendencial é de 10.814 GWh e, através das medidas de conservação propostas para o cenário eficiente, há uma redução de cerca de 25%, o que implica num consumo de 9.587 GWh e custos evitados da ordem de US\$ 32 milhões⁶⁸. Já a potência evitada, de 1.278 MW no cenário tendencial

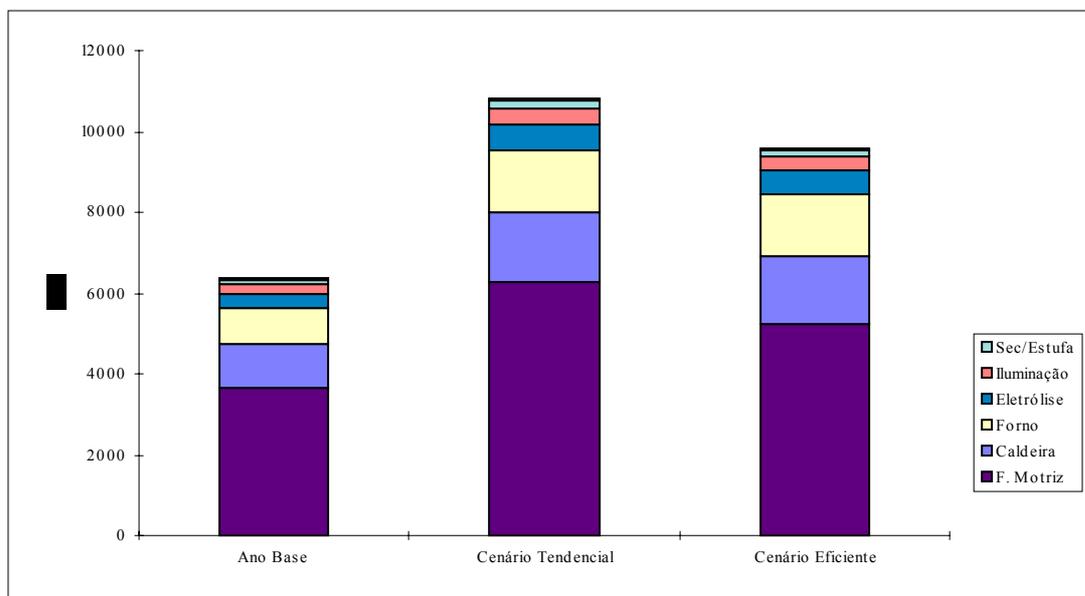
⁶⁸Ver no Anexo 13 os resultados do ano base e dos cenários para o consumo de eletricidade e a demanda do setor industrial desagregados em seus subsetores e usos finais.

para 1.132 MW no cenário eficiente o que implica em custos evitados de cerca de US\$ 371 milhões.

Nos gráficos 5.16 e 5.17 pode-se observar o consumo de energia e a potência instalada desagregados por usos finais, com destaque para os motores e, em menor escala, as caldeiras.

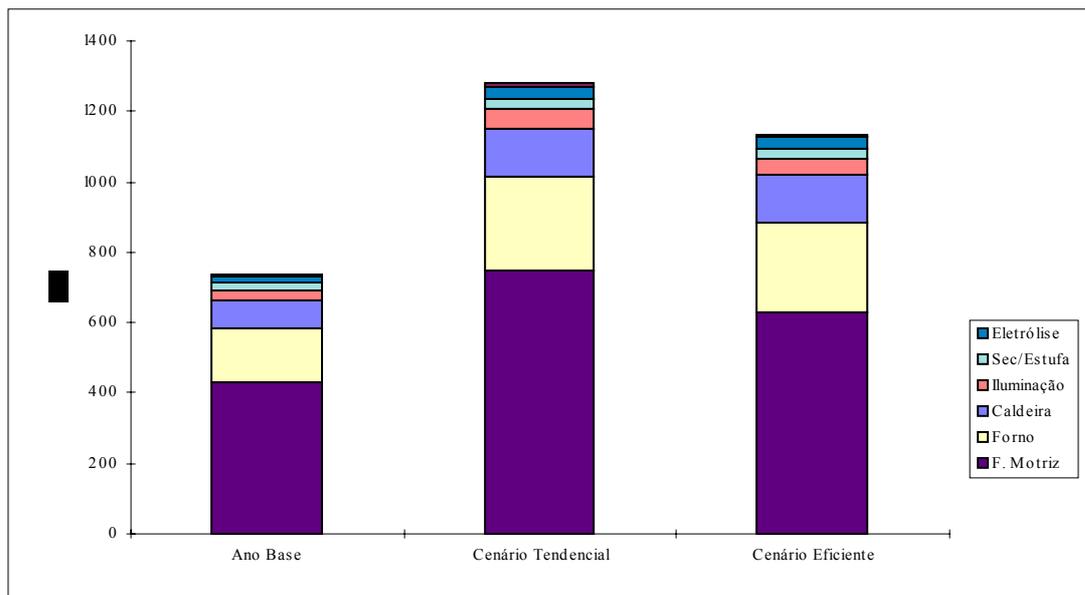
Houve uma pequena alteração na participação de cada um dos usos finais no consumo de energia, sendo que os motores representam 58% do consumo no cenário tendencial e 55% no cenário eficiente. Essa diferença foi direcionada para os demais equipamentos, em especial para os fornos que aumentaram de 14% para 16% e as caldeiras (16% para 17%). A mudança da participação se deve apenas pela redução do consumo diferenciada entre os diversos usos finais.

Gráfico 5. P: Consumo de Energia Elétrica por Usos Finais no Setor Industrial da RAC



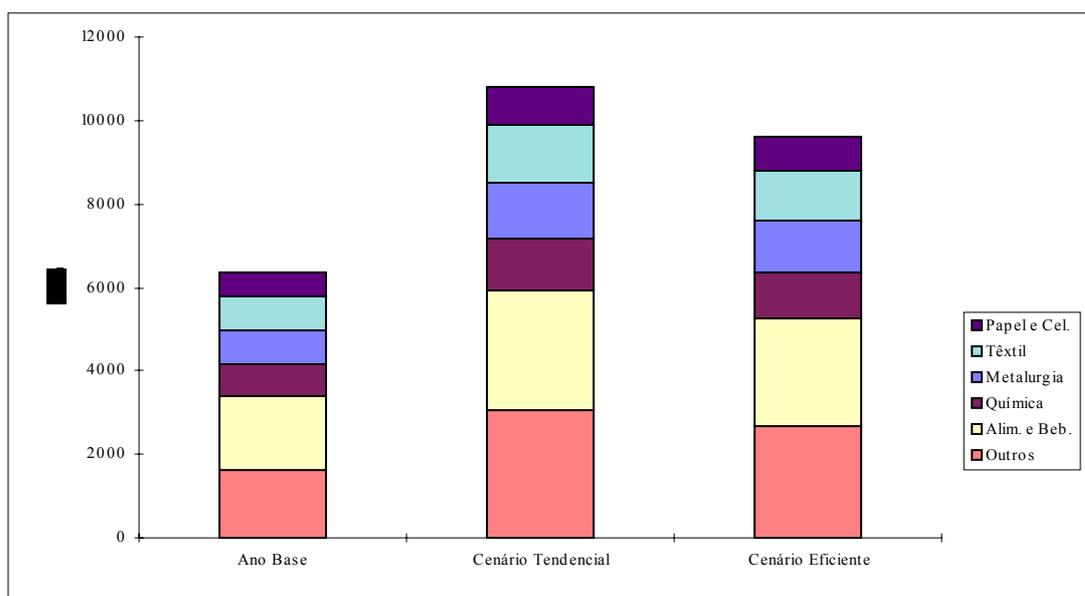
A conservação se deu basicamente na força motriz (82%), iluminação (6%), caldeiras (5%) e fornos (4%), que embora sejam a quarta melhor opção em reduzir o consumo de energia elétrica, o seu elevado fator de coincidência de pico faz com que haja alta conservação de potência (9%), atrás apenas dos motores (80%).

Gráfico 5. Q: Potência Instalada por Usos Finais no Setor Industrial da RAC



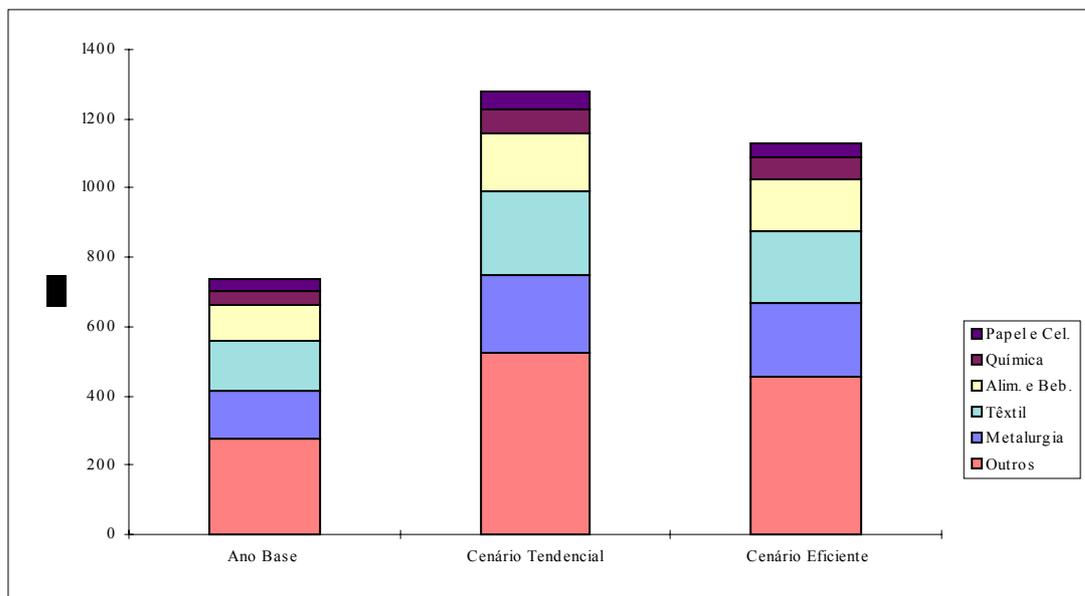
Os dados relativos ao consumo de energia e à potência instalada desagregados nos vários ramos industriais podem ser vistos nos gráficos 5.18 e 5.19, onde se nota o intenso consumo especialmente nas indústrias de alimentos e bebidas (27% nos cenários), seguidas do ramo têxtil (13%), mesmo tendo ocorrido um maior potencial de conservação de eletricidade nessas indústrias (24% e 16% respectivamente). No ramo alimentício destaca-se a redução do consumo em motores (79%), caldeiras (13%) e na iluminação (5%). No subsetor têxtil a conservação se dá quase que totalmente em motores (90%).

Gráfico 5. R: Consumo de Energia por Subsetores no Setor Industrial da RAC



Contudo, para o caso de conservação da potência, o maior potencial encontra-se nas indústrias têxteis (30%), devido ao seu elevado fator de coincidência com o pico e também no ramo metalúrgico (16%).

Gráfico 5. S: Potência de Energia por subsetores no Setor Industrial da RAC



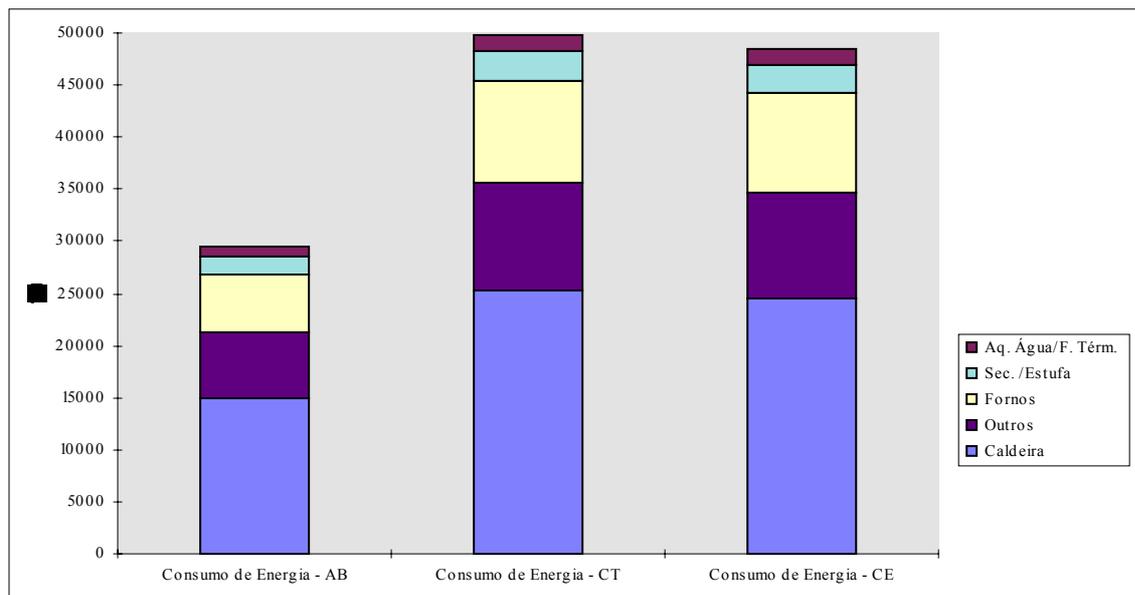
5.3.2. Derivados de Petróleo

O consumo de derivados de petróleo no setor industrial sofre um grande crescimento, apesar das taxas inferiores ao da eletricidade e da biomassa, conforme se pode observar no gráfico 5.20. No cenário tendencial registra-se 49.796 TJ enquanto no eficiente, 48.086 TJ, com investimentos evitados de US\$ 479 milhões⁶⁹.

Para os derivados de petróleo, o maior potencial de conservação de energia em usos finais está nas caldeiras (44%), fornos (17%) e secadores e estufas (11%).

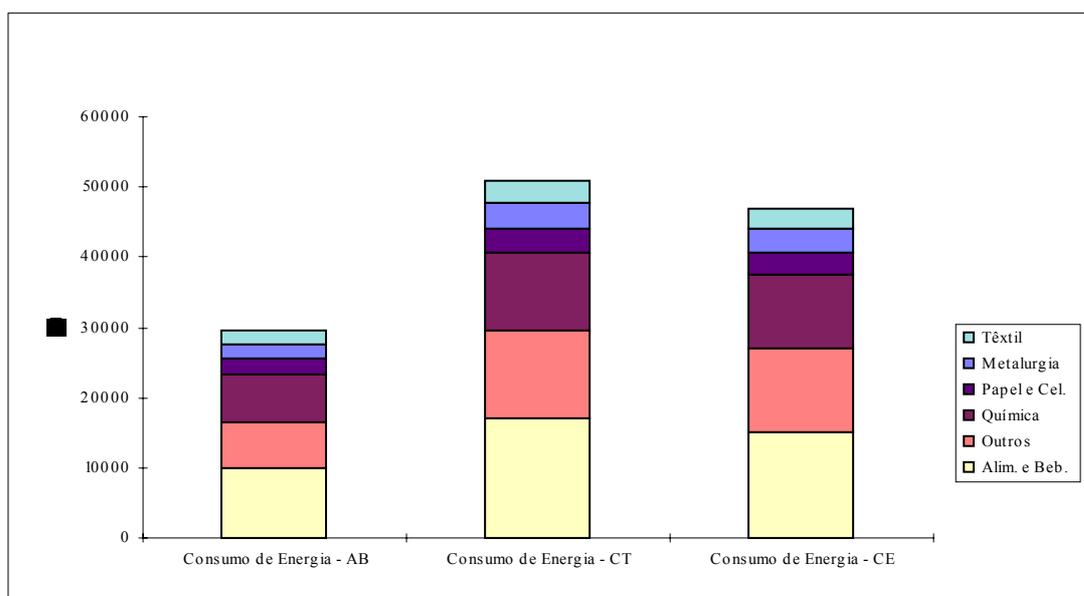
⁶⁹ No Anexo 14 estão apresentados os resultados da projeção de derivados de petróleo e os custos do fornecimento e de conservação do setor industrial desagregados em seus subsectores e usos finais.

Gráfico 5. T: Consumo de Derivados de Petróleo por Usos Finais no Setor Industrial da RAC



Já o gráfico 5.21 apresenta o consumo de energia desagregado nos vários ramos industriais, de onde se observa a importância do subsetor de alimentos e bebidas (aproximadamente 32% em ambos os cenários), seguido do ramo químico (22%), mas registrando o crescimento das outras indústrias entre o ano base (23%) e o ano de projeção (25%), o que é de se esperar, já que se estabeleceu taxas elevadas para esse subsetor.

Gráfico 5. U: Consumo de Derivados de Petróleo por Subsetores no Setor Industrial da RAC



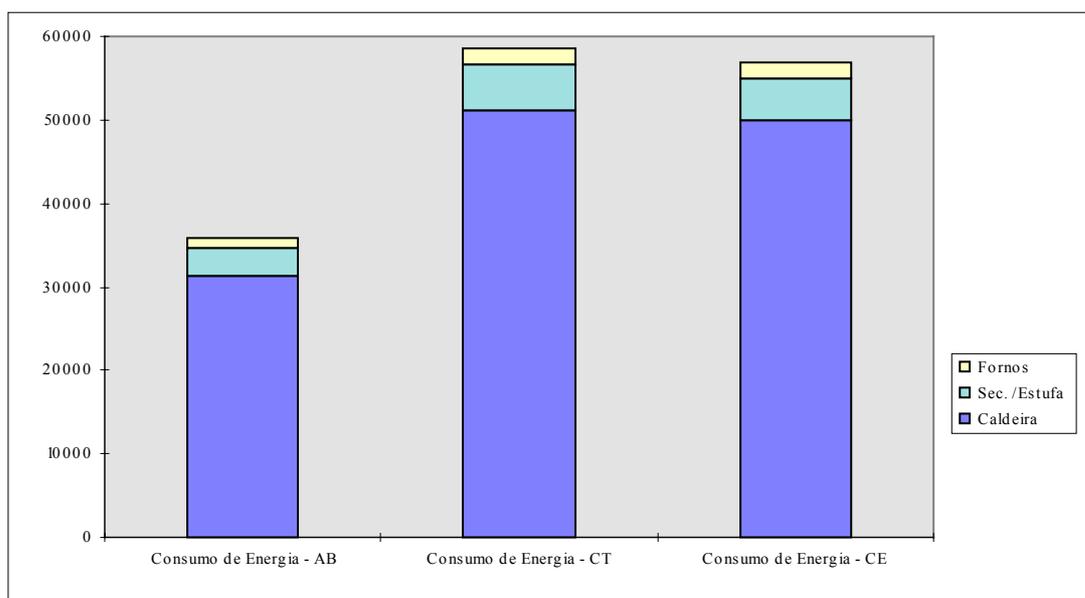
No ramo de alimentos e bebidas destaca-se a conservação em secadores e estufas (22%) e caldeiras (21%). Já nas indústrias químicas o uso final com maior potencial de redução é a caldeira (85%) seguida pelos fornos (7%) e os secadores e estufas (5%).

5.3.3. Biomassa

O consumo de biomassa continua a ser muito importante na RAC sendo no cenário tendencial de 58.882 TJ e no eficiente, 56.806 TJ, também bem acentuado, registrando, contudo, conservação de 2.076 TJ e custos evitados da ordem de US\$ 456 milhões⁷⁰.

Como se pode observar nos gráficos 5.22 e 5.23, nos cenários, a caldeira mantém-se como maior consumidora de biomassa (cerca de 80%), os secadores e estufas participam com 9% e os fornos, 3%.

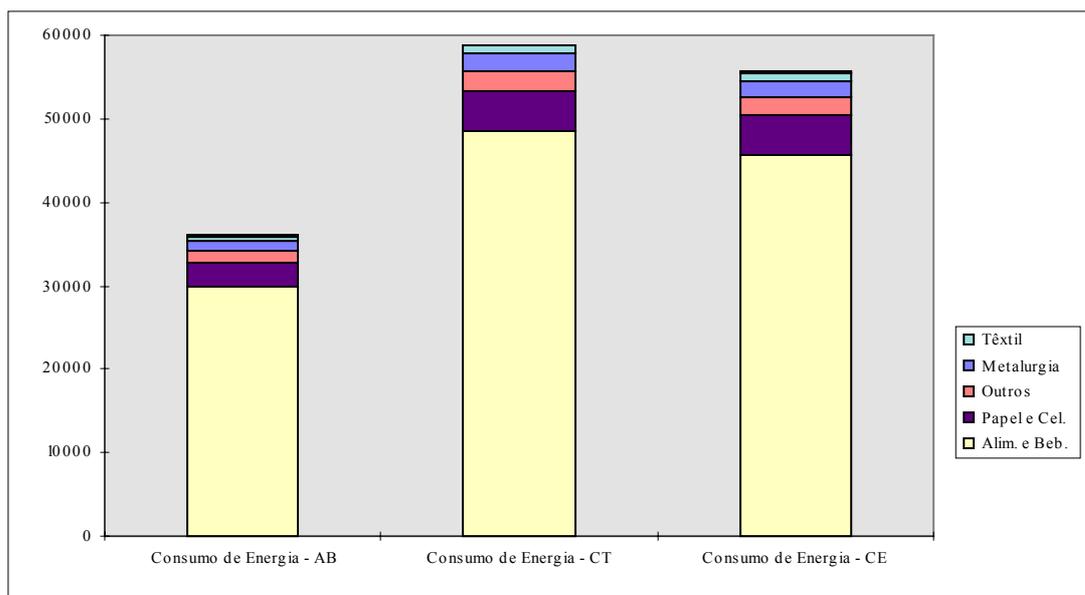
Gráfico 5. V: Consumo de Biomassa por Usos Finais no Setor Industrial da RAC [PJ]



No gráfico 5.23 observa-se a grande participação do ramo de alimentos e bebidas (cerca de 82% nos dois cenários). O maior potencial de conservação de biomassa é também apresentado nesse subsetor (84%), especialmente em caldeiras (78%) e secadoras e estufas (22%).

Gráfico 5. W: Consumo de Biomassa por Subsetores no Setor Industrial da RAC

⁷⁰ Ver no Anexo 15 os resultados do setor industrial para a biomassa desagregados em seus subsectores e usos finais.



5.4 Custos Marginais

Os custos marginais do fornecimento de energia e do atendimento da capacidade instalada nos cenários tendencial e eficiente são dados na tabela 5.2. Como se pode observar, no cenário eficiente, em qualquer um dos casos, os custos marginais são menores no cenário eficiente. No caso dos derivados de petróleo, recomenda-se inicialmente políticas de conservação de energia no setor industrial, onde se tem os menores custos (*US\$ 2,75/GJ*). Já para a eletricidade, as medidas de maior impacto são nos setores comercial e industrial tanto em relação aos custos marginais de fornecimento de energia quanto aos da capacidade adicionada.

Tabela 5. B: Custos Marginais do Fornecimento de Energia e da Capacidade Adicionada

Fonte Setores	Cenário Tendencial		Cenário Eficiente	
Biomassa	US\$/GJ		US\$/GJ	
Industrial	1,22		1,21	
Derivados de Petróleo	US\$/GJ		US\$/GJ	
Residencial	2,78		2,77	
Comercial	2,78		2,77	
Industrial	2,78		2,75	
Eletricidade	US\$/MWh	US\$/kW	US\$/MWh	US\$/kW
Residencial	43	2.738	41	2.125
Comercial	43	2.738	40	2.054
Industrial	43	2.738	38	1.361

No gráfico 5.24 pode-se observar a curva custo-suprimento/conservação de eletricidade. Por fins práticos, decidiu-se colocar na abscissa o potencial de redução do consumo de energia referente a cada medida de conservação. Como se pode observar, a maioria das alternativas têm o custo marginal inferior à expansão do parque gerador, cujo valor é de *US\$ 43/MWh*. A opção de menor investimento é a substituição de lâmpadas incandescentes pelas fluorescentes no setor comercial cujo custo marginal é de *US\$ 35/MWh* conservando cerca de 318 GWh. A segunda melhor alternativa é o uso de ar condicionado mais eficiente nesse mesmo setor (*US\$ 36/MWh*) economizando 96 GWh. Destaca-se ainda a conservação proporcionada pela redução das perdas dos motores no setor industrial contribuindo para atender 775 GWh com custo marginal de *US\$ 39/MWh*. Dentro das alternativas propostas, apenas o rádio, televisão, ferro e outros no setor residencial, a refrigeração no setor comercial e a iluminação no setor industrial estão além dos custos marginais de expansão do parque gerador, o que implica em 136 GWh (490 TJ) a menos do potencial considerado inicialmente (tabela 5.1).

Para a eletricidade também foram avaliados os custos marginais da capacidade instalada mostrados no gráfico 5.25. Conforme se percebe, como no caso do custo marginal de fornecimento de eletricidade, a maioria das medidas de conservação da potência tem custo inferior ao da expansão do sistema. Destaca-se o setor comercial com as medidas de conservação de menor custo de *US\$ -2.157/kW⁷¹* e *US\$ 2.425/kW* seguido pelo setor residencial em seguida, com custos marginais de expansão variando entre *US\$ 2.035/kW* e *US\$ 2.625/kW*. As medidas do setor industrial entram a partir de custos marginais da ordem de *US\$ 3.300/kW* e do setor comercial após *US\$ 3.400/kW*. A redução da potência através de ações no setor industrial para os fornos no setor comercial para a iluminação têm custos marginais equivalentes ao da capacidade adicionada. Em suma, nenhuma das alternativas de conservação aqui admitidas têm custos marginais superiores aos custos de expansão do parque gerador.

⁷¹ Os valores negativos apresentados pela cocção e outros equipamentos deve-se à redução da potência instalada necessária para atender à demanda desses equipamentos.

Gráfico 5. X: Curva Custo-Suprimento/Conservação de Energia Elétrica

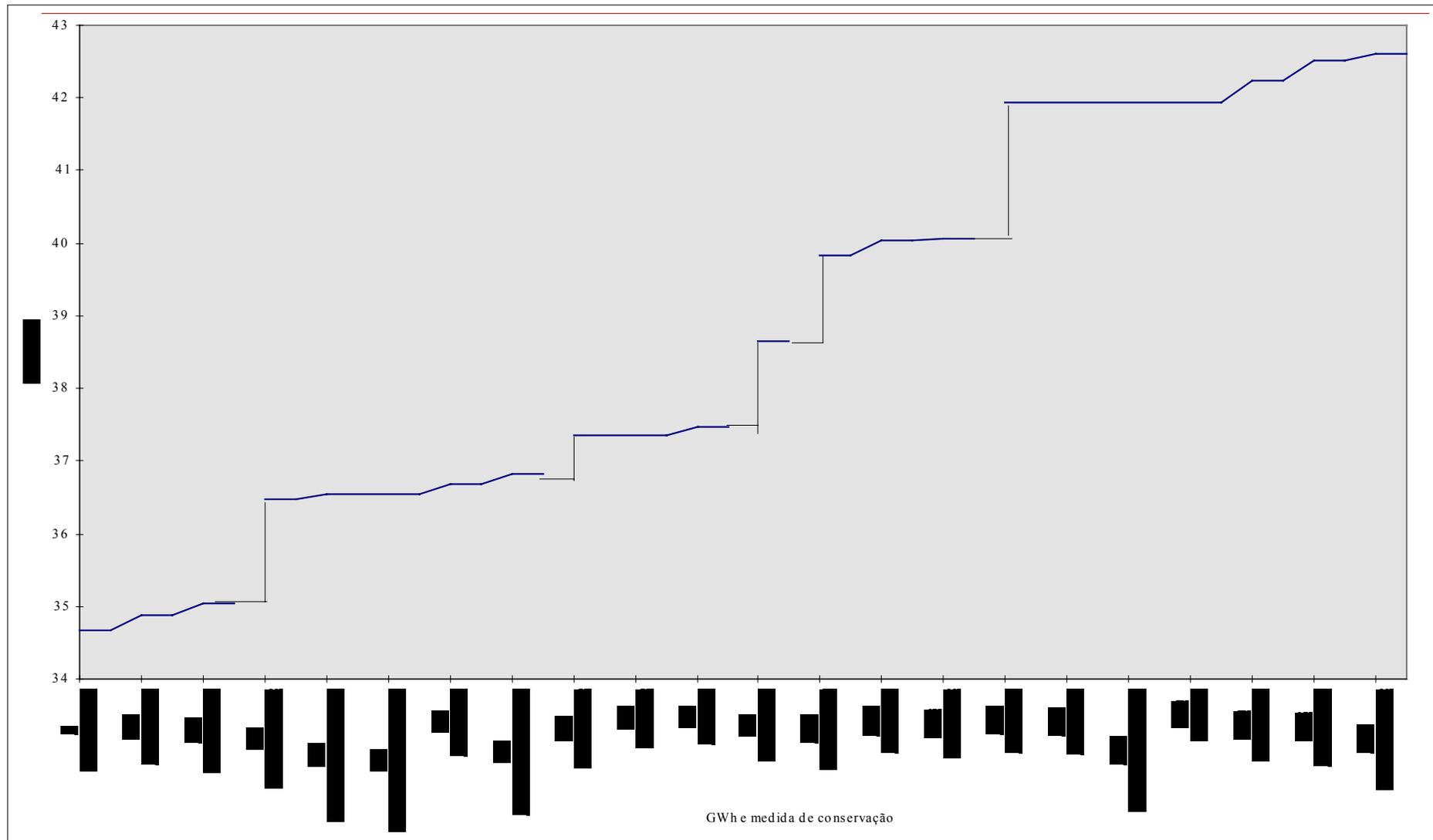
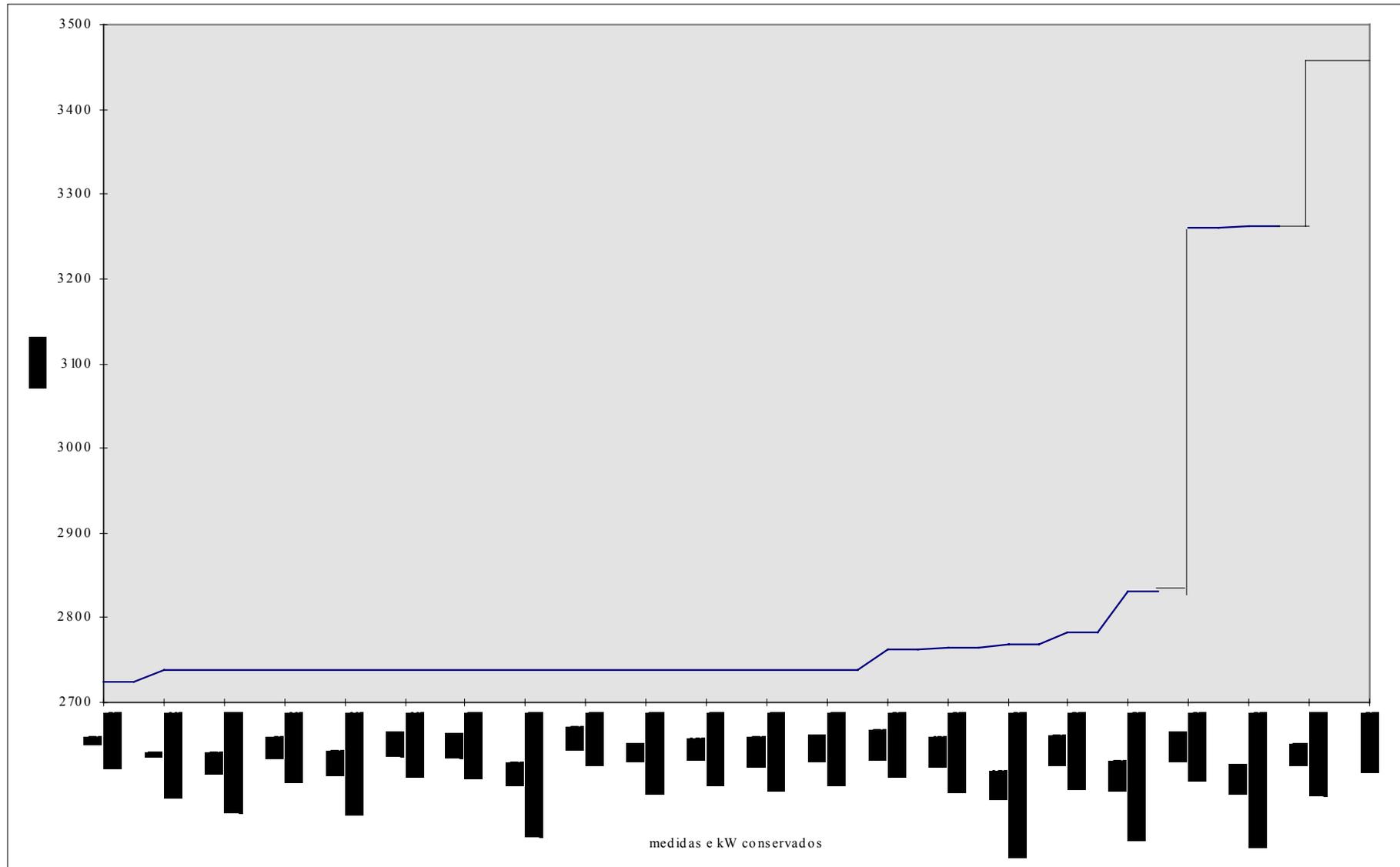
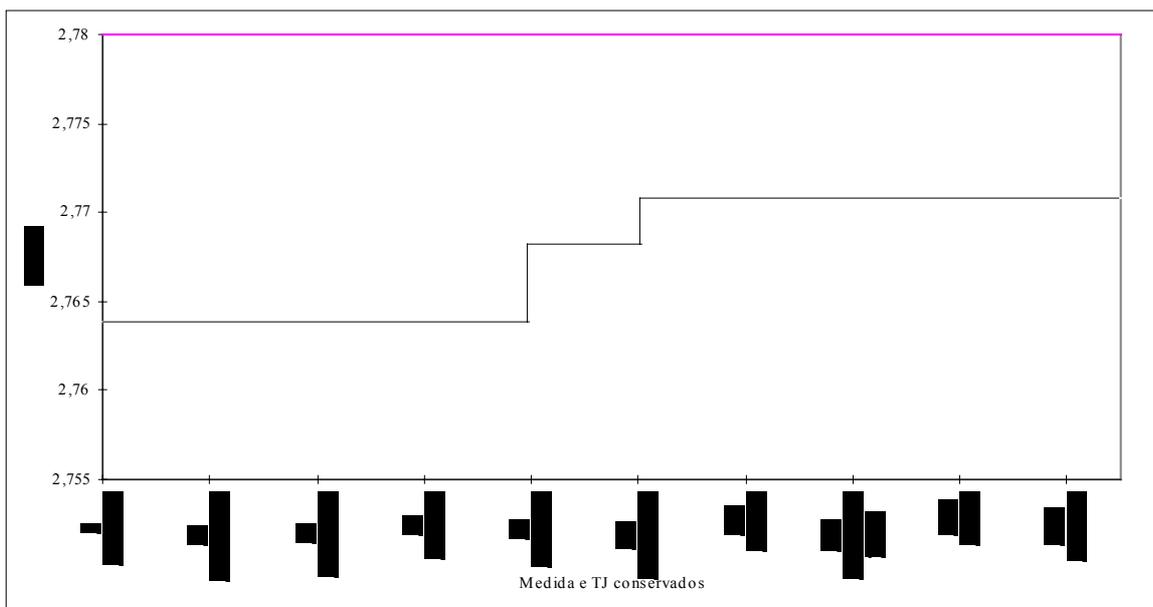


Gráfico 5. Y: Curva Custo-Suprimento/Conservação de Potência Elétrica



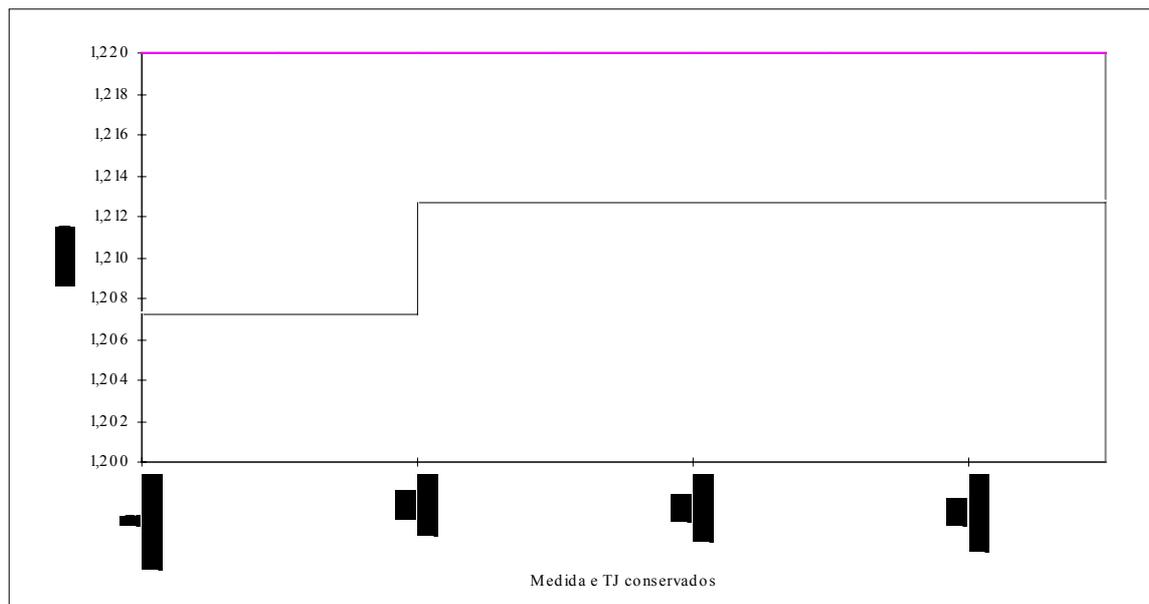
Os custos marginais das alternativas de conservação de derivados de petróleo estão mostrados no gráfico 5.26. As medidas de redução do consumo dessa fonte têm o custo marginal inferior ao das de expansão ($US\$ 2,78/GJ$), resultado do critério adotado na estimativa dos custos de conservação de energia no capítulo 4. Como já referido, especialmente nos casos dos derivados de petróleo e da biomassa, os números obtidos constam apenas de um exercício de utilização da metodologia e do modelo computacional desenvolvido. De acordo com as considerações realizadas nos capítulos 3 e 4 deste estudo, pode-se perceber no gráfico 5.26 que as medidas de menor custo marginal ($US\$ 2,764/GJ$) são no setor comercial, economizando 89 TJ. O setor residencial e industrial destacam-se especialmente pelo elevado potencial de conservação, respectivamente de 597 TJ e 1.710 TJ e custos de $US\$ 2,768/GJ$ e $US\$ 2,77/GJ$.

Gráfico 5. Z: Curva Custo-Suprimento/Conservação de Derivados de Petróleo



As alternativas de conservação de biomassa e o custo de expansão da produção dessa fonte são apresentados no gráfico 5.27. A medida de menor custo é a conservação em secadores e estufas ($US\$ 1,207/MWh$) o que implica em 309 TJ conservados. As demais opções (fornos, caldeiras e outros usos no setor industrial) têm custo marginal de $US\$ 1,213/MWh$ com potencial de redução de 1.767 TJ.

Gráfico 5. AA: Curva Custo-Suprimento/Conservação de Biomassa



5.5 Comparações com Outros Estudos

Na tabela 5.3 observa-se os consumos de energia do ano base e as projeções de alguns estudos realizados no campo energético para os Estados de Minas Gerais e de São Paulo, bem como as taxas de crescimento até o cenário tendencial e o potencial de conservação no cenário eficiente. Os resultados para Minas Gerais se referem ao cenário baixo (taxa de crescimento do PIB de 5% a.a.) entre os anos de 1988 e 2000. Como se pode notar, o potencial de conservação de biomassa nesse trabalho (26,8%) é bem superior ao obtido por este estudo (3,5%). Se considerarmos apenas o setor industrial, essa diferença aumenta ainda mais, já que se obteve naquela projeção 31,2% de redução do consumo. A explicação para esse fato pode ser dada pelas baixas perspectivas de conservação consideradas neste estudo devido aos custos de conservar energia no capítulo anterior. O potencial de redução do consumo de energia hidráulica e da potência instalada no setor industrial são próximos (em torno de 10%), no entanto os resultados obtidos pela CEMIG (1994) para o setor residencial é bem inferior em virtude das baixas estimativas realizadas frente a esse estudo. Para os derivados de petróleo, percebe-se taxas de crescimento do setor industrial mais elevadas para a RAC, no entanto com potencial de conservação bem menor quando comparado ao estudo em Minas Gerais, em função das baixas expectativas supostas no capítulo 4. No caso do setor residencial, o crescimento do consumo no cenário eficiente face ao tendencial daquele

trabalho se deve à substituição da lenha para cocção pelo GLP e a entrada de gás natural.

Tabela 5. C: Projeção do Consumo de Energia de Minas Gerais, São Paulo e RAC.

Estado Fonte Setor	Ano Base	Cenário Tendencial	Cenário Eficiente	Taxa de Crescimento [%] (AB ao CT)	Potencial de Conservação [%]
Minas Gerais ⁽¹⁾	[1000 tEP]	[1000 tEP]	[1000 tEP]		
Biomassa	11.301	12.697	9.299	1,4	26,8
Industrial	8.914	10.858	7.471	2,4	31,2
Residencial	2.387	1.839	1.828	-3,1	0,6
Hidráulica	7.041	10.311	9.215	4,7	10,6
Industrial	5.964	8.150	7.261	3,8	10,9
Residencial	1.077	2.161	1.954	8,7	9,6
Der. de Petróleo	2.024	2.826	2.443	4,1	13,6
Industrial	1.547	2.154	1.764	4,1	18,1
Residencial	477	672	679	4,2	-1,0
São Paulo ⁽²⁾					
Eletricidade	[TWh (GW)]	[TWh (GW)]	[TWh (GW)]		
Industrial	36,8 (4,4)	60,6 (7,6)	47,1 (5,9)	5,1 (5,6)	22 (22)
Residencial	15,4 (4,3)	27,3 (8,4)	17,4 (6,1)	5,9 (7,0)	36 (27)
Comercial	9,1 (3,1)	13,5 (4,6)	10,8 (3,6)	4,0 (4,0)	20 (22)
RAC (Este Estudo)	[TJ]	[TJ]	[TJ]		
Biomassa	36.052	58.882	56.806	5,0	3,5
Der. de Petróleo	[TJ]	[TJ]	[TJ]		
Industrial	29.489	49.796	48.086	5,4	3,4
Residencial	7.838	12.921	12.378	5,1	4,2
Comercial	1.513	2.464	2.375	5,0	3,6
Eletricidade	GWh (MW)	GWh (MW)	GWh (MW)		
Industrial	6.364 (736)	10.814 (1.278)	9.587 (1132)	5,4 (5,7)	11,3 (11,4)
Residencial	2.360 (428)	3.977 (753)	3.280 (672)	5,4 (5,8)	17,5 (10,8)
Comercial	890 (530)	1.499 (870)	1.172 (674)	5,4 (5,1)	21,8 (22,5)

⁽¹⁾ CEMIG, 1994.

⁽²⁾ Jannuzzi et alli, 1993.

Também se observa na tabela os resultados da projeção do consumo de eletricidade nos setores residencial, comercial e industrial entre os anos de 1990 e 2000 para o estado de São Paulo obtidos no estudo de Jannuzzi et alli (1993). A taxa de crescimento total do consumo foi de 5,2% a.a., um pouco menor que a taxa aqui obtida (5,4% a.a.). Apenas o potencial de conservação (tanto do consumo de energia quanto da potência) do setor comercial são bem semelhantes entre os dois estudos. No setor industrial, a diferença se deveu à saturação de tecnologias, uma vez que nesse trabalho foi considerado apenas o potencial técnico. Já no setor residencial há uma diferença na combinação do potencial de conservação e da saturação que implicaram nos distintos resultados apresentados.

Capítulo 6

Conclusões e Recomendações

Através da análise realizada para a Região Administrativa de Campinas, pode-se perceber a importância do Planejamento Integrado de Recursos energéticos, onde se vislumbra tanto as ações de oferta quanto da demanda de energia. Esse tipo de análise procura otimizar alguma variável e neste estudo consiste em minimizar os custos segundo a ótica do fornecedor de energia.

Durante o desenvolvimento deste trabalho para obtenção dos dados do ano base (capítulo 3) percebe-se a grande dificuldade de se adquirir informações do consumo de energia desagregadas por subsetores e usos finais, ainda que o estudo não tenha procurado estabelecer dados exatos sob as condições do ano base e sim, mostrar o procedimento a ser executado na aplicação da metodologia descrita no capítulo 2. Ainda assim, para estudos futuros deve-se permitir um melhor entendimento das condições atuantes no ano base, sendo sugerido aqui duas linhas de ação: i) uma, a curto prazo, que permita uma desagregação mais rápida dos dados do ano base e, ii) outra, a longo prazo, o desenvolvimento de um banco de dados do consumo de energia por usos finais que seja confiável e contínuo.

Apenas para a eletricidade, ocasionalmente, há levantamentos de dados por usos finais. No caso do setor residencial há maior disponibilidade de informações, em especial devido ao estudo realizado pelo PROCEL (1989). É lamentável que tal iniciativa tenha se limitado a um ano de informação. Para o setor industrial, destaca-se o trabalho da AAE (1989 e 1990), no entanto, como no setor residencial, limitado a informações de períodos curtos.

No quarto capítulo nota-se a falta de informação dos custos marginais de

conservação de derivados de petróleo e biomassa, sendo sugerido que em trabalhos futuros esses bancos de dados sejam levantados, como já realizado no caso da energia elétrica por Geller (1991). No entanto, esses tipos de informações devem se tornar uma prática constante, para que se possa verificar a evolução dos diversos parâmetros.

Após a simulação executada no modelo computacional desenvolvido (Anexo 1), obteve-se os resultados expressos no capítulo 5, dentre os quais pode-se resumir algumas informações como na tabela 6.1, onde se enumera as medidas de conservação de energia elétrica que resultam 1.762 GWh evitados. Nota-se também que a maioria das medidas tem custo marginal inferior à expansão do parque gerador (*US\$ 37/MWh*), exceto a redução do consumo através da melhoria de eficiência do rádio, televisão, ferro e outros no setor residencial, a refrigeração no setor comercial e a iluminação no setor industrial, o que permite, em uma primeira análise, mostrar os benefícios advindos da conservação. Além disso, como salientado na seção 1.3.1, o uso de equipamentos mais eficientes contribui para redução dos impactos ambientais.

Tabela 6. A: Conservação e Custos Marginais do Cenário Eficiente de Energia Elétrica

Setor	Uso Final	GWh	US\$/MWh
Comercial	Iluminação	318	31,3
	Ar condicion	96	32,1
Industrial	F. Motriz	775	34,0
Residencial	Lâmpadas	202	34,7
Industrial	Sec/Estufa	14	34,8
Residencial	Chuveiro	90	34,9
Comercial	Cocção	14	35,0
Residencial	Geladeira - 1 porta	53	36,5
	Geladeira - 2 portas	36	36,5
Industrial	Forno	40	36,6
	Caldeira	45	36,6
Residencial	Aq. Água/F. Térm	1	36,6
	Freezer	26	36,7
Residencial	Ar Condicionado	18	36,8
	Eletrólise	15	36,9
Comercial	Outros	17	36,9
Residencial	Televisão	31	37,4
	Rádio	4	37,4
	Ferro	2	37,5
Comercial	Refrigeração	38	37,8
Industrial	Iluminação	54	37,9
Residencial	Outros	7	40,0

Como já referido, especialmente nos casos dos derivados de petróleo e da biomassa, os números obtidos constam apenas de um exercício de utilização da metodologia e do modelo

computacional desenvolvido. No caso dos derivados de petróleo, as medidas em questão têm o custo marginal inferior ao das de expansão, como se pode observar na tabela 6.2, totalizando 2.397 TJ evitados.

Tabela 6. B: Conservação e Custos Marginais do Cenário Eficiente dos Derivados de Petróleo

Derivados de Petróleo		TJ	US\$/MJ
Comercial	Cocção	24	2,764
	Chuveiros	5	2,764
	Caldeiras	60	2,764
	Outros	1	2,764
Residencial		597	2,768
Industrial	Sec/Estufa	158	2,771
	Outros	342	2,771
	Aq. Água/F. Térm	52	2,771
	Forno	327	2,771
	Caldeira	832	2,771
	Total	2.397	

O potencial de conservação e os custos marginais no cenário eficiente da biomassa são apresentados na tabela 6.3, evitando 2.076 TJ por ano de consumo no ano de projeção através das medidas de conservação no setor industrial da RAC.

Tabela 6. C: Conservação e Custos Marginais do Cenário Eficiente de Biomassa

Setor	Uso Final	TJ	US\$/MJ
Industrial	Sec/Estufa	309	1,207
	Forno	64	1,213
	Outros	12	1,213
	Caldeira	1.690	1,213
Total		2.076	

Os resultados obtidos permitem afirmar que, em termos de custos, do ponto de vista das empresas fornecedoras de energia, a conservação é competitiva à expansão do sistema energético. Estudos posteriores devem se aprofundar procurando investigar as medidas de oferta e demanda sob a ótica do consumidor e, principalmente, da sociedade.

Como se pôde observar através do planejamento integrado de recursos energéticos para a RAC, ainda que os dados tenham sido preliminares, que as medidas de conservação de energia contribuem para o bom investimento realizado por uma empresa energética, confirmando os resultados de trabalhos realizados nessa área citados previamente no capítulo 1. Algumas iniciativas de administração da demanda devem ainda ser destacadas em algumas cidades do interior de São Paulo realizadas pela CPFL e pela CESP. Uma pesquisa preliminar, realizada pela CPFL e pela UNICAMP, na cidade de Cosmópolis, constatou que

em 88% das residências poderia-se substituir uma lâmpada incandescente por uma fluorescente em cozinhas, o que extrapolando para o estado de São Paulo significa 150 MW conservados (Fugiwara et al, 1993). Ainda no mesmo estudo, demonstrou-se que mesmo arcando com 100% do preço da lâmpada mais eficiente, há vantagens econômicas para o setor elétrico.

Finalmente, como última recomendação, as questões ambientais devem ser incluídas em trabalhos futuros, fator cada dia mais em voga e que merece destaque quando se procura metas que tragam benefícios não só à sociedade, mas a todo meio ambiente que a envolve. É importante ressaltar que a obtenção de usos finais mais eficientes deve ser encarada como um benefício ambiental, já que reduz a necessidade de oferta e conseqüentemente, de todos os impactos que trazidos pela expansão do setor energético.

Referência Bibliográfica

- AAE (Agência para Aplicação de Energia), *Consumo de Energia nas Indústrias do Estado de São Paulo*, Série Divulgação e informação 041, Relatório final, São Paulo, 1989, 45p.
- AAE (Agência para Aplicação de Energia), *Uso Final de energia nas indústrias do Estado de São Paulo por Região Administrativa - 1986/1989*, SICEN, 1990, QAP/QAPI.
- Almeida, P. E. F, P. C. T. Bechtluft, M. E. A. Araújo, M. A. G. Monteiro, E. C. Vasconcelos e H. B. de Las Casas, *Projeção do Consumo Final de Energia para o Estado de Minas Gerais*, Anais do I Congresso Brasileiro de planejamento Energético, vol. 4, pp. 487-500, 1989.
- Asian Development Bank, *Energy End Use: an environmentally sound development pathway*, 199?, 244 p.
- Barreiro, C. J., J. L. Atmann, *Metodologia de Previsão da Demanda Através da Análise de Mercado de Energia Elétrica e Curvas de Carga*, anais do I Congresso Brasileiro de Planejamento Energético, vol. 3, 1989, pp. 299-314.
- Battaglini, F. e R. Oliveira, *Proposta de Otimização do Aquecimento de Água para uso Doméstico*, Anais do V Congresso Brasileiro de Energia, col. 2, Coppe/UFRJ, Rio de Janeiro, nov. 1990, pp. 672-681.
- Bohi, D. R., *Analysing Demand Behavior: a study of energy elasticities*, 1981.
- British Standard BS 7750 (ver c/ a Valéria)
- Canavarros, O. B. *O Consumo e o Potencial de Energia da Região Administrativa de Campinas: possibilidades de substituição de energéticos*, Tese de Mestrado, Unicamp/FEM, Campinas, 1994, 93 p.
- Carvalho Jr., A. V. e S. C. Wille, *Técnicas de Construção de Cenários Aplicadas ao Planejamento de Expansão de Geração de Sistemas Elétricos*, Anais do I CBPE, vol. 2, 1989, pp.247-261.

- Cavanagh, R., *Least-Cost Planning Imperatives for Electric Utilities and Their Regulators*, The Harvard Environmental Law Review, vol.10, n.2, 1986.
- CEMIG (Companhia Energética de Minas Gerais), *Cenário de Conservação de Energia em Minas Gerais 1988/2000/2010*, Divisão de Estudos de Demanda de Energia, B. H., Agosto, 1994.
- CESP (Companhia Energética de São Paulo), *Anuário Estatístico de Energia Elétrica: Consumo por Município do Estado de São Paulo*, São Paulo, 1980 a 1992.
- CESP, *Balço Energético do Estado de São Paulo - 1993*, São Paulo, 1994.
- CESP, *Usinas Hidroelétricas do Estado de São Paulo: mapa de localização dos aproveitamentos hidroelétricos*, São Paulo, 1993.
- Chateau, B. e B. Lapillone, *Energy Demand Facts and Trends*, Topics in Energy, Springer-Verag, 1982, 280p.
- Cicco, F. de, *ISO 14000 - A Nova Norma de Gerenciamento e Certificação Ambiental*, Revista de Administração de Empresas, São Paulo, v. 34, n. 5, set./out. 1994, pp. 80-84.
- CNE (Comissão Nacional de Energia) in *A Oferta de Energia Elétrica*, Plano 2015 - projeto 4, Eletrobrás, dez. 1993.
- CNE (Comissão Nacional de Energia), *Indústria de Intenso Consumo de Energia Ferroligas*, Brasília, Assessoria Técnica, set. 1988.
- Copersucar, Eletrobrás, Cesp, Cpfl, Eletropaulo e BNDES, *Geração de Energia Elétrica em Usinas e Destilarias - Estudo da Usina São Francisco*, nov. 1991.
- CPFL (Companhia Paulista de Força e Luz), *Taxa de Penetração - Consumidor Comercial*, Campinas, 1985, 47p.
- De Moraes, C., G. Gambirasio e L. Lima, *Conservação de Energia Elétrica - Motores Elétricos e Sistemas de Acionamento*, São Paulo: fundação para o desenvolvimento tecnológico de engenharia, 1985.
- Detroit Edison, *Integrated Resource Plan 1992-2006*, Detroit, Mi. May 1992.
- Duke Power Company, *Least Cost Integrated Resource Planning*, Charlotte, N.C., USA, 1989.
- Eletrobrás, *Metodologia e Processo de Planejamento da Expansão do Setor Elétrico Brasileiro*, Plano 2015 - projeto 1, março 1993a.
- Eletrobrás, (Fortunato, L. A. M. et al), *Introdução ao Planejamento da Expansão e Operação de Sistemas de Produção de Energia Elétrica*, EDUFF - Editora Universitária, Niterói, R.J., 1990, 232 p.

- Eletrobrás, *A Oferta de Energia Elétrica*, Plano 2015 - projeto 4, dez. 1993b.
- Eletrobrás, *A Questão Ambiental e o Setor Elétrico*, Plano 2015, projeto 7, 1993c.
- Eletrobrás, *Eficiência Energética Global*, Plano 2015 - vol. 5, projeto 14, dez. 1993d.
- Eletrobrás, *Estratégia de Expansão do Sistema - Oferta e Demanda*, Plano 2015 - vol. 5, projeto 12, dez. 1993e.
- Eletrobrás, GCOI, *Plano de Operação para 1995, Sistemas Interligados S/SE-N/NE*, Relatório SCEN/GTPL - SE/S-02/94, dez. 1994a.
- Eletrobrás, *Plano Decenal de Expansão 1995/2004*, GCPS, Rio de Janeiro, dez. 1994b, 170 p.
- Eletrobrás, *Revisão das Metas de Conservação de Energia Elétrica*, Departamento de Utilização de Energia, Rio de Janeiro, 1989.
- Ferreira, W., Divisão de Aplicação e Conservação de Energia, São Paulo, CESP in Geller, 1991.
- Fugiwara et al, Experiência com Substituição de Lâmpadas Incandescentes por Fluorescentes no Setor Residencial in Anais do VI Congresso Brasileiro de Energia, vol. III, Rio de Janeiro, 1993. pp. 817-822.
- Gangi, R. Di, J. L. Atmann, *Previsão de Demanda: Metodologia Aplicada no Caso de Consumidores de Energia Elétrica para Irrigação*, Anais do I Congresso Brasileiro de Planejamento Energético, vol. 3, 1989, pp. 283-298.
- Geller, H. S., *Uso Eficiente de Eletricidade: uma estratégia de desenvolvimento para o Brasil*, Washington D. C., 1991, 226 p.
- Gellings, C. W., A. Faruqui e K. Seiden, *Potential Energy Savings from Efficient Electric Technologies*, Energy Policy, abril 1991, pp. 217-230.
- Goldemberg, J, T. B. Johansson, A. K. N. Reddy, R. H. Williams, *Energia para o Desenvolvimento*, vol. 6, Editor T. A. Queiroz Ltda., 1988, 99 p.
- Graça, 1989 in *Uso Eficiente de Eletricidade: uma estratégia de desenvolvimento para o Brasil*, Geller, H. S., Washington D. C., 1991, 226 p.
- Groszevicz, R. C., H. D. O. Fill, A. Haag Filho, A. C. L. Santos e N. Strapasson, *MOFE: um Modelo de Oferta Energética*, Anais do I CBPE, vol. 2, 1989, pp. 263-276.
- Hill, L. J., E. Hirst e M. Schweitzer, *The Process of Integrating DSM and Supply Resources in Electric Utility Planning*, Utilities Policy, vol. 2, n. 2, Butterworth-Heinemann Ltd. April 1992, pp. 100-107.

- Hirst, E. e C. Goldaman, *Review of Demand-Side Data Needs for Least-Cost utility Planning*, Energy, vol. 15, n. 5, GB, 1990. pp. 403-411.
- Hirst, E., *A Good Integrated Resource Plan: Guidelines for Electric Utilities and Regulator*, U.S. Department of Energy, dez. 1992.
- Hirst, E., C. Goldman e M. E. Hopkins, *Integrated Resource Planning Electric and Gas Utilities in the USA*, Utilities Policy, vol. 1, n. 2, UK, jan. 1991, pp. 172-186
- Hirst, E., *Meeting Future Electricity Needs*, Forum for Applied Research and Public Policy, vol. 3, n. 3, Fall 1988.
- IBGE, *Anuário Estatístico do Brasil*, 1980 a 1994.
- J.W.C.A. (Jorge Wilhelm Consultores Associados), *Pesquisa sobre Utilização de Energia no Setor de Serviços*, São Paulo, abril 1989.
- Jannuzzi, G. M., E. P. da Silva, O. B. Canavarros, F. J. Pedroso Jr. e C. M. L. Ugaya, *O Planejamento Energético Regional como Promotor do Desenvolvimento Municipal*, Anais do VI Congresso Brasileiro de Energia, vol. I, Rio de Janeiro, 1993. pp. 55-60.
- Jannuzzi, G. M., G. P. Mammana, G. Queiroz, J. L. Siqueira, V. Harris, E. R. da Silva, J. L. Silveira, C. M. L. Ugaya, *Estimativas do Consumo de Eletricidade para o ano 2000 para o Estado de São Paulo e Região de Campinas considerando Possíveis Modificações no Estoque de Tecnologias*, Relatório de projeto financiado pela The Althon F. Jones Foundation e The Tides Foundation, 1993.
- Jannuzzi, G.M., *Uso de lenhas em áreas urbanas*, Ciência e Cultura, vol. 40, n. 3, março de 1988, pp. 289-291.
- Kwasigroch, D. Carrier Corporation, Syracuse, New York in Geller, 1991.
- La Rovere E., L. P. Rosa, A. P. Rodrigues, *Economia e Tecnologia da Energia*, Ed. Marco Zero/Finep, 1985, pp. 588.
- LCRA (Lower Colorado River Authority), *1992 Integrated Electric Resource Plan*, Austin, TX, October, 1992.
- Leite, R. C. Proálcool: a única alternativa para o futuro, 1990.
- Lins, M. P. E. e A. C. C. Pinhel, *Planejamento do Uso Final para Conservação de Energia Elétrica*, Revista Brasileira de Energia, vol. 1, n. 3, 1990. pp. 58-67.
- Lobosco, O., *Estado da Arte de Motores Elétricos no Brasil e no Mundo*, Anais do I Seminário de Motores Elétricos, São Paulo, ABINEE, março 1989.
- Madureira, R., *Desenvolvimento e Avaliação Econômica da Tecnologia Solar para Conservação de Energia Elétrica em Aquecimento de Água no Setor Residencial: uma*

proposta de administração da demanda através de “pré-aquecedor solar de água para chuveiros elétricos de potência reduzida”. Tese de Mestrado, Unicamp/FEM, Campinas, 1995.

- Magalhães, J. P., N. Kuperman e R. C. Machado, *Proálcool: uma Avaliação Global*, 1991.
- Magalhães, L., *Conservação em Refrigeradores*, Gazeta Mercantil, Caderno Especial sobre Conservação de Energia, 2/Maio/1995.
- Maimon, D. *Eco-estratégia nas Empresas Brasileiras: Realidade ou Discurso*, Revista de Administração de Empresas, vol. 34, n. 4, jul./ago. 1994, pp. 119-130.
- Maimon, D., *Empresa e Meio Ambiente*, Tempo e Presença, n. 24, ano 14, CEDI, jan./fev. 1992, pp. 49-51.
- Mammanna, G. P. Tese de Mestrado.
- Mammanna, G. P., *O Financiamento do Setor Elétrico e as Políticas de Meio Ambiente e de Conservação de Energia no Brasil*, Tese de Mestrado, Unicamp/FEM, Campinas, 1994.
- Mascarini, A., Gerente WEG Motores Ltda. São Paulo in Geller, julho de 1990.
- Meier, A., J. Wright, A. H. Rosenfeld, *Supplying Energy through Greater Efficiency: the Potential for Conservation in California's Residential Sector*, 1990.
- Miguez, J. O. G. e N. Paciornik, *Utilização de Modelo de Oferta no Planejamento Energético*, Anais do I CBPE, vol. 2, 1989, pp. 277-288.
- Miller, P. M., H. S. Geller, A. T. de Almeida, *Energy*, The International Journal, vol.17, n.10, outubro 1992.
- Miller, P., J. Eto e H. Geller, *The Potential for Electricity Conservation in New York State*, Washington, D.C.: American Council for an Energy Efficient Economy, 1989.
- MME, Ministério das Minas e Energia, *Balanço Energético Nacional*, 1995.
- NARUC (National Association of Regulatory Utility Commissioners), *Least-Cost Utility Planning: a Handbook for Utility Commissioners*, Washington, D.C., 1988.
- NEES (New England Electric System), *Integrated Least-Cost Resource Plan for Fifteen Years Period 1990-2004*, Westborough, MA, USA, 1st, May 1990.
- Niagara Mohawk Power Corporation, *1991 Integrated Electric Resource Plan*, Syracuse, New York, September 1991.

- Norgard, J., *Low Electricity Appliance Options for the Future*, in *Electricity-Efficient End-Use and New Generation Technologies and Their Planning Implication*. T. Johansson, B. Bodland e R. Williams, Eds. Lund, Sweden: Lund University Press, 1989.
- Oliveira, A., *Reassessing the Brazilian Alcohol Programme*, *Energy Policy*, vol. 19, n. 1., 1989.
- Orans, R., C. K. Woo, J. N. Swisher, B. Wiersma e B. Hori, *Targeting DSM for Transmission and Distribution Benefits: a Case Study of PG&E's Delta District*, EPRI TR-100487, Energy and Environmental Economics and Pacific Gas and Electric Company, prepared for the Electric Power Research Institute, Palo Alto, Ca, May 1992.
- Petrobrás, *Constituições Estaduais: capítulo do meio ambiente*, 1992, 88p.
- Petrobrás, *Planejamento do Setor Petróleo*, 1993, 246p.
- PMC (Prefeitura Municipal de Campinas, Secretaria de Planejamento), *População Região de Campinas: Sumário de Dados*, n. 1, jul. 1993, 54p.
- PROCEL, *Pesquisa de Posse de Eletrodomésticos e Hábitos de Consumo*, vol. 1, 2 e 3, 1989.
- Reddy, A. K. N., G. D. Sumithra, P. Balachandra, A. d'Sa, *A Development End-Use Oriented Energy Scenario for Karnataka: part 2 - Electricity*, Department of Management Studies, Indian Institute of Science, Bangalore, India, 1988, 117 p. (checar ano)
- Romariz, J., Diretor, Divisão de Ar Condicionado - Central, São Paulo, Springer Carrier do Brasil in Geller, 1990.
- Rosa, L. P., *Tendência Mundial do consumo, Produção e Conservação de Energia - o meio ambiente e os avanços tecnológicos*, *Revista Brasileira de Energia*, vol. 1, n. 3, 1990.
- Rosa, L.P., *Energia e Crise*, Editora Vozes Ltda., 1984, 196p.
- Sathaye, J. e A. Gadgil, *Aggressive Cost-Effective Electricity Conservation: novel approaches*, *Energy Policy*, Special Issue: Energy and the Third World, vol. 20, n. 2, fev. 1992, pp.163-172.
- SEADE *Anuário Estatístico do Estado de São Paulo*, São Paulo, 1993.
- SEADE, *Anuário Estatístico do Estado de São Paulo*, São Paulo, 1980 a 1994.
- SEADE, *O Novo Retrato de São Paulo: avaliação do Censo Demográfico de 1991*, São Paulo-SP, 1992.
- SEADE, *Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios*, São Paulo, 1980 a 1990.

- SEE (Secretaria de Estado de Energia), *Balanço Energético do Estado de São Paulo*, Ed. CESP, 1996, 208 p..
- Souza, M. T. S., *Rumo à Prática Empresarial Sustentável*, Revista Brasileira de Energia, vol. 33, n. 4, jul./ago. 1993, pp.40-52.
- Vries, B. *Energy and Environmental Consequences and Prospects: Taiwan's miracle*, Energy Policy, vol. 18, n. 10, Ed. Butterworth-Heinemann, dez. 1990, pp. 949-961
- Walter, A. C. S, *Viabilidade e Perspectivas da Cogeração e da Geração Termoelétrica junto ao Setor Sucro-Alcooleiro*, tese de doutorado, Unicamp, 1995.
- WEPCO (Wisconsin Electric Power Company), *Integrated Resource Plan in Support of the Concord Generating Station*, Milwaukee, WI, USA, May 1989.
- Witte, L. C., P. S. Schmidt e D. R. Brown, *Industrial Energy Management and Utilization*, Springer-Verlag, Hemisphere Publishing Corporation, 1988, 666p.
- Yergin, D., *O Petróleo: uma História de Ganância, Dinheiro e Poder*, 1993, 832p.

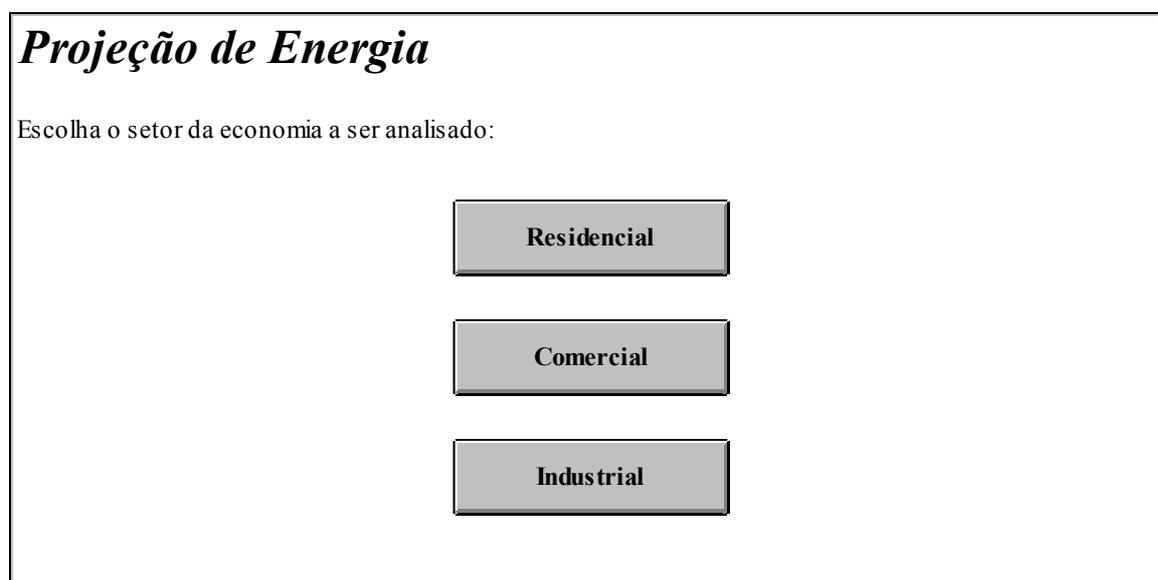
Anexo 1: Manual de Utilização dos Módulos de Projeção da Demanda de Energia

O modelo descrito no capítulo 2 foi desenvolvido em Macros na linguagem Visual Basic do Excel 5.0 da Microsoft e consiste da projeção da demanda de energia e nos cálculos dos custos em três setores da economia (residencial, comercial e industrial) desagregados, de acordo com a necessidade do usuário, em diversos subsetores e usos finais.

Ao abrir o módulo de projeção da demanda de energia dentro do Excel 5.0 ou superior, o usuário deve ter certificado que os objetos .OLE estejam devidamente instalados. O módulo denomina-se PROJ.XLS e para acessá-lo procede-se de maneira equivalente a qualquer outro arquivo do EXCEL.

Ao chamar o arquivo PROJ.XLS, o usuário estará a frente do Menu 1, dado na figura A1 abaixo, onde através do mouse, escolhe-se qual o setor da economia que será estudado (residencial, comercial ou industrial).

Figura A A: Menu de Abertura do Módulo de Projeção da Demanda de Energia de Proj.xls



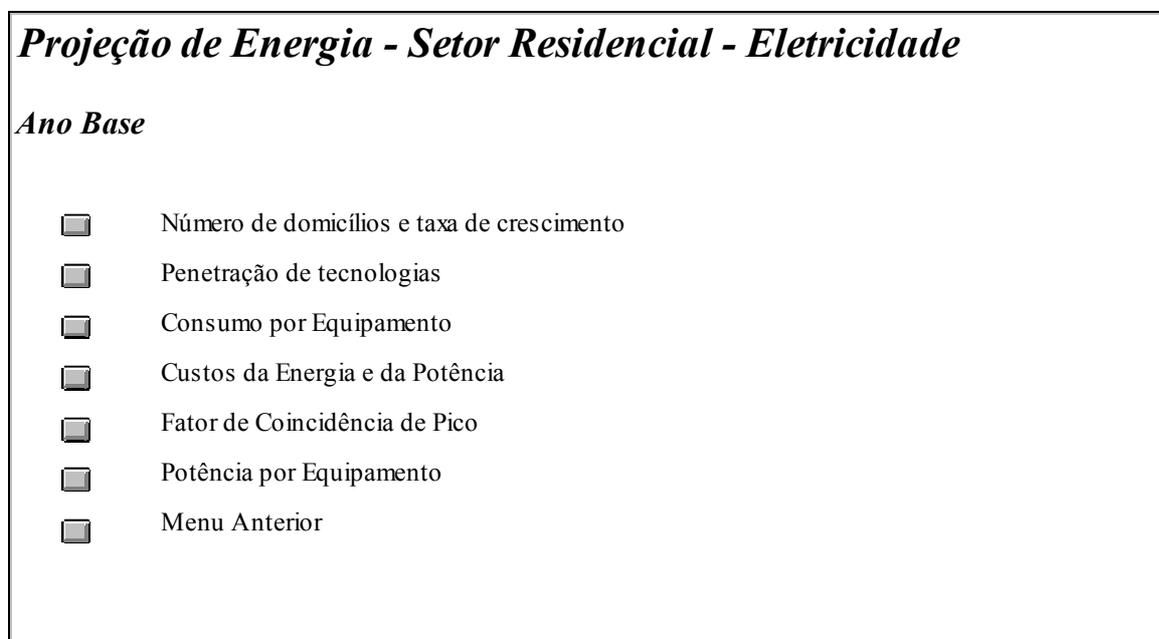
Após teclar qual o setor da economia a ser estudado (por exemplo, neste caso, o setor residencial), surge o segundo menu, dado na figura A2 onde o usuário deve optar por uma das fontes energéticas. É importante apenas lembrar que a diferença se dá basicamente entre a eletricidade e outras energias, já que no primeiro caso é calculado, além do consumo de energia, a demanda.

Figura A B: Menu de Escolha da Fonte de Energia a ser Estudada em Proj.xls

Caso o botão teclado seja o do ano base, surge a figura A6 e, como se trata do setor residencial neste exemplo, aparecem as seguintes opções: número e taxa de crescimento de domicílios, penetração de tecnologias, consumo específico, custos, fator de coincidência de pico e potência específica. Esses dois últimos só aparecem no caso da fonte energética escolhida inicialmente ser a eletricidade.

No caso do setor industrial ao invés do número e taxa de crescimento de domicílios, tem-se o PIB, a taxa de crescimento e elasticidade PIB/Energia e; para o setor comercial, a área e a taxa de crescimento da mesma.

Figura A F: Menu de Escolha de Inserção/Alteração dos Dados/Estimativas do Ano Base para o Setor Residencial - Eletricidade



No caso do cenário tendencial, há algumas possibilidades de alteração na estrutura do consumo do setor residencial através de mudanças nos valores da penetração de tecnologias e, no caso da energia elétrica, também do fator de coincidência de pico, como se pode observar na figura A7.

Figura A G: Menu de Escolha de Inserção/Alteração dos Dados/Estimativas do Cenário Tendencial para o Setor Residencial - Eletricidade

Projeção de Energia - Setor Residencial - Eletricidade

Cenário Tendencial

- Penetração de tecnologias
- Fator de Coincidência de Pico
- Menu Anterior

Para o cenário eficiente, como descrito no capítulo 2, além das alternativas existentes no cenário tendencial, existe ainda a melhoria de eficiência, retratada pelas reduções do consumo e da potência, os custos inerentes à essa conservação e a saturação de tecnologias (figura A8).

Figura A H: Menu de Escolha de Inserção/Alteração dos Dados/Estimativas do Cenário Eficiente para o Setor Residencial - Eletricidade

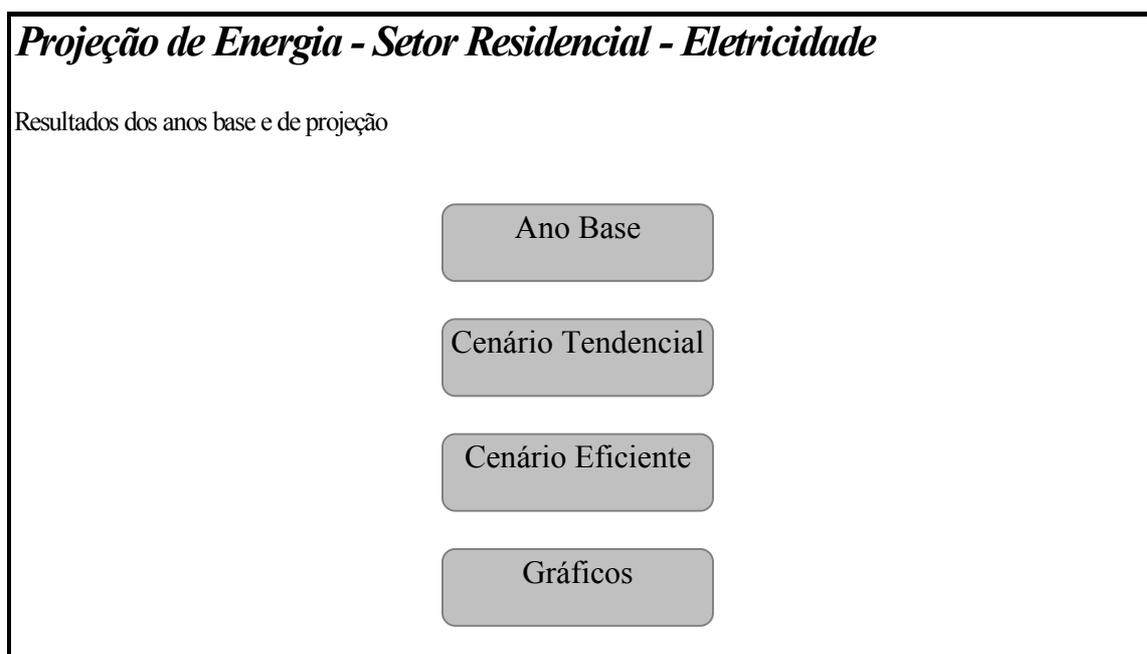
Projeção de Energia - Setor Residencial - Eletricidade

Cenário Eficiente

- Penetração de tecnologias
- Fator de Coincidência de Pico
- Redução do Consumo por Equipamento [%]
- Redução da Potência por Equipamento [%]
- Saturação dos Equipamentos
- Custo de Conservar Energia
- Custo de Conservar Potência
- Menu Anterior

Tão logo esses dados sejam registrados, os resultados são imediatos, surgindo a tela mostrada na figura A9, onde aparecem as opções de observação dos cálculos realizados para o ano base e os cenários tendencial e eficiente e a possibilidade de verificar os mesmos por usos finais ou subsetores nos gráficos conforme mostrado no capítulo 5.

Figura A I: Menu de Escolha de Resultados



Se solicitado os resultados do cenário eficiente, surge o menu dado na figura A10. A diferenciação entre esse cenário e o tendencial e o ano base consistem na energia e potência conservada, bem como seus custos. Esse menu é o mesmo para qualquer um dos setores da economia, variando somente caso as fontes energéticas escolhidas sejam o derivado de petróleo ou a biomassa já que não se efetua o cálculo da potência instalada para os mesmos.

Figura A J: Menu de Escolha dos Resultados do Cenário Eficiente

Projeção de Energia - Setor Residencial - Eletricidade

Resultados do Cenário Eficiente

Consumo de Energia
Demanda de Energia
Custo do Consumo de Energia
Custo da Demanda de Energia
Energia Conservada
Potência Conservada
Custo de Conservar Energia
Custo de Conservar Potência
Menu Anterior

Os resultados obtidos através desse menu são apresentados como nas tabelas dos anexos 9 a 15.

Anexo 2: Posse de Eletrodomésticos

Tabela A2. A: Posse de eletrodomésticos - faixa de renda (até 2 PNS)

	Brasil	CESP	CPFL	Eletropaulo
Ferro	70%	77%	94%	94%
Televisão	78%	82%	89%	91%
Geladeira - 1 porta	63%	67%	78%	81%
Chuveiro	55%	73%	95%	96%
Ventilador / Circulador	30%	30%	39%	23%
Rádio	35%	24%	47%	50%
Geladeira - 2 portas	5%	3%	4%	9%
Freezer	3%	2%	2%	2%
Secadora de Roupa	2%	1%	0%	3%
Ar Condicionado	2%	1%	0%	1%
Máq. L.L	1%	0%	1%	2%
Lav Roupa	15%	15%	29%	36%
Cocção Elétrica	5%	3%	5%	9%
Aquecedor	2%	1%	1%	2%
Outros	18%	14%	26%	28%

fonte: PROCEL, 1989

Tabela A2. B: Posse de eletrodomésticos - faixa de renda (2 a 5 PNS)

	Brasil	CESP	CPFL	Eletropaulo
Ferro	81%	88%	96%	96%
Televisão	90%	90%	92%	94%
Geladeira - 1 porta	77%	78%	78%	81%
Chuveiro	70%	84%	96%	97%
Ventilador / Circulador	42%	41%	47%	28%
Rádio	40%	26%	53%	53%
Geladeira - 2 portas	10%	7%	13%	13%
Freezer	8%	7%	9%	5%
Secadora de Roupa	3%	1%	1%	5%
Ar Condicionado	4%	2%	2%	2%
Máq. L.L	1%	1%	2%	2%
Lav Roupa	27%	26%	43%	46%
Cocção Elétrica	10%	7%	10%	15%
Aquecedor	3%	2%	2%	3%
Outros	27%	22%	36%	33%

fonte: PROCEL, 1989

Tabela A2. C: Posse de eletrodomésticos - faixa de renda (mais de 5 PNS)

	Brasil	CESP	CPFL	Eletropaulo
Ferro	91%	95%	99%	97%
Televisão	95%	97%	98%	97%
Geladeira - 1 porta	77%	83%	78%	81%
Chuveiro	78%	93%	98%	97%
Ventilador / Circulador	52%	55%	62%	32%
Rádio	43%	28%	54%	56%
Geladeira - 2 portas	19%	16%	27%	18%
Freezer	17%	18%	24%	9%
Secadora de Roupa	6%	4%	3%	7%
Ar Condicionado	11%	7%	6%	2%
Máq. L.L	3%	3%	6%	3%
Lav Roupa	41%	45%	62%	54%
Cocção Elétrica	19%	17%	23%	20%
Aquecedor	4%	6%	3%	4%
Outros	36%	33%	49%	37%

fonte: PROCEL, 1989

Anexo 3: Etapas de estudo de um aproveitamento hidrelétrico*

Etapa 1: Estimativa - representa uma análise preliminar das características das bacias hidrográficas, especialmente quanto aos aspectos topográficos, hidrográficos e geológicos, a partir de avaliações de escritório. Define uma primeira estimativa do potencial hidrelétrico, do número de locais barráveis, dos custos de desenvolvimento dos empreendimentos, dos custos dos estudos de inventário das bacias envolvidas e seus prazos de execução.

Etapa 2: Inventário - representa a definição do potencial hidrelétrico de uma bacia hidrográfica, o estudo da divisão de queda e a estimativa do custo de cada aproveitamento hidrelétrico em nível de orçamentos-padrão. Tem por objetivo a escolha dos aproveitamentos que, no conjunto, propiciam um máximo de energia ao menor custo e com um mínimo de efeitos sobre o meio ambiente.

Etapa 3: Viabilidade - consiste na definição da concepção global de um determinado aproveitamento da alternativa de divisão de queda escolhida na etapa de inventário. Leva-se em consideração sua otimização técnico-econômica-ambiental, seu dimensionamento final, a definição do melhor eixo de barramento, arranjo geral, níveis d'água operativos, quedas, volume do reservatório, potência a ser instalada, número e tipo de unidades, além de benefícios e custos associados.

Etapa 4: Projeto Básico - consiste no detalhamento do aproveitamento, de acordo com sua concepção na etapa de viabilidade, com a elaboração do seu orçamento final e a definição das obras civis e dos equipamentos permanentes visando as respectivas licitações, adjudicações e a construção da usina.

Etapa 5: Projeto Executivo - detalhamento do projeto básico em nível construtivo, com a elaboração dos desenhos, detalhamento das obras civis e dos equipamentos eletromecânicos necessários à execução da obra e montagem dos equipamentos.

* retirado na íntegra de Fortunato et alli, 1990.

Anexo 4: Cálculo dos custos médios de fornecimento de energia elétrica e potência

O custo médio de expansão do fornecimento de energia elétrica é obtido através da média ponderada entre os custos de cada alternativa de expansão e a potência instalada, como dado na equação 1, onde P é a potência [MW] de cada alternativa h e cC é o custo marginal, dado em $US\$/MWh$.

Equação A4. A: Custo Marginal de Expansão do Fornecimento de Energia Elétrica

$$cC = \frac{\sum_h (P_h \times cC_h)}{\sum_h P_h}$$

Por exemplo, para as alternativas hidroelétricas dadas na tabela 3.4, obtemos os valores da potência e dos custos marginais, o que resulta:

$$cC = \frac{P_H \times cC_H + P_{BC} \times cC_{BC} + P_{ES} \times cC_{ES} + P_{EE} \times cC_{EE} + P_L \times cC_L + P_{PP} \times cC_{PP} + P_{GN} \times cC_{GN}}{P_H + P_{BC} + P_{ES} + P_{EE} + P_L + P_{PP} + P_{GN}}$$

isto é,

$$cC = \frac{175 \times 34 + 83 \times 42 + 56 \times 25 + 25 \times 50 + 14 \times 42 + 204 \times 42 + 717 \times 30}{175 + 83 + 56 + 25 + 14 + 204 + 717} = 34 US\$/MWh$$

Através dos valores dos custos marginais de fornecimento de energia e de potência, que somados aos custos de expansão da geração, transmissão e distribuição e, ainda, os custos de operação nos fornece o custo marginal, cC total de fornecimento e da potência instalada, como nas equações 2 e 3:

Equação A4. B: Custo Marginal Total do Fornecimento de Energia Elétrica

$$cC = c_e + c_t + c_d$$

Equação A4. C: Custo Marginal Total da Potência Atendida

$$cP = c_e + c_t + c_d$$

onde c_e é o custo marginal de expansão do sistema, c_t é o custo marginal de transmissão e c_d é o custo marginal de distribuição.

De onde, temos, para o custo de fornecimento de energia

$$cC = 34 + 0,6 + 0,3 = 34,9 US\$/MWh$$

E para o custo de expansão da capacidade instalada:

$$cP = 3.517 + 32,2 + 64,4 = 3.613,6 US\$/kW$$

Anexo 5: Participação dos Usos Finais no Consumo de Energia Elétrica do Setor Residencial

1 - Lâmpadas

Tipo	potência [W]	penetração de tecnologias		Número de equipamentos (penetração x número de domicílios)		
		urbana	rural	urbana	rural	total
incandescente	60 W	7,8	7,1	9,4 milhões	978 mil	10,4 milhões
fluorescente	20 W	1,1	0,8	1,3 milhões	115 mil	1,4 milhões

Admitindo que as lâmpadas incandescentes e fluorescentes sejam utilizadas de forma semelhante, temos que a potência demandada, caso todos os equipamentos estejam ligados ao mesmo tempo:

Tipo	Potência demandada (Número de equipamentos x potência)	Porcentagem da potência
incandescente	7,77 milhões	95,7 %
fluorescente	3,50 milhões	14,3 %

2 - Geladeiras

Admitindo que geladeiras de 1 e 2 portas sejam utilizadas de forma semelhante, temos que a potência demandada, caso todos os equipamentos estejam ligados ao mesmo tempo:

Geladeiras	potência [W]	Porcentagem de Equipamentos	Potência x Número de Equipamentos	
1 porta	150 W	86%	129	77%
2 portas	270 W	14%	37,8	23%

3 - Freezers

Supondo que a utilização dos freezers seja a mesma das geladeiras, a relação entre a potência dos freezers e das geladeiras de uma porta, admitindo-se que na média a potência dos primeiro seja de 200 W, é de 1,33 e, de acordo com a tabela 3.15, a relação da penetração desses dois usos finais é de 0,2. Ponderando esses valores e a participação das geladeiras de 1 porta, que é de 25,5% do consumo diário no Brasil, estimamos que a participação dos freezers seja de 6,6%.

Comparando os freezers e as geladeiras de 1 porta, temos:

Tipo	potência [W]	penetração de tecnologias		Número de Equipamentos		
		urbana	rural	urbana	rural	total
Geladeira	150 W	82%	17%	985 mil	89 mil	1,1 milhão
Freezers	200 W	65%	1%	203 mil	14 mil	217 mil

Assumindo o mesmo uso:

Tipo	Potência demandada (Número de equipamentos x potência)	Porcentagem do consumo total dos equipamentos	Porcentagem do consumo total
Geladeira	1,6 milhões	78,8 %	26,2%
Freezers	433 mil	21,2 %	7%

Anexo 6: Metodologia de Cálculo da Penetração de Tecnologias do Setor Residencial no Ano Base

Com o objetivo de clarear a metodologia utilizada, citaremos o exemplo do ferro de passar roupa nos domicílios de faixa de renda até 2 salários mínimos: esse uso final, teve como resultado da equação 3.2, posse na RAC correspondente a 88,9%. Assumimos, como já dito, que na zona urbana se tenha 1% a mais de ferro por residência que a média, o que nos forneceu a penetração de 89,8%. Isso implica em 87 mil domicílios com esse uso final. Uma vez que a posse média é de 88,9%, a posse da área rural é dada pela equação abaixo, onde o índice f indica a variável do uso final, nesse caso, o ferro de passar roupa, N é o número de domicílios, t representa o total, r , rural e u , urbano:

$$N_t^f = N_u^f + N_r^f$$

isto é:

$$N_t^f = 87 + N_r^f$$

Mas:

$$posse = \frac{N^f}{N^t} = 88,9\%$$

$$\Rightarrow N^t = 88,9\% \times (97 + 29) = 88,9\% \times 126 = 111$$

$$\therefore N_r^f = 111 - 87 = 24$$

então, temos:

$$posse_r^f = \frac{N_r^f}{N_r} = 86\%$$

Anexo 7: Cálculo da Potência no Setor Industrial

Seja, por exemplo, uma indústria 1 que possua uma lâmpada de 20W e funcione 24 horas por dia. Logo, o consumo diário de eletricidade desse uso final corresponde a 480 Wh, conforme abaixo:

$$C_1 = P_1(20W) \times H_1(24h)$$

Como o $FCP=1$, temos que a capacidade instalada necessária para atender à demanda de eletricidade requerida pela lâmpada da indústria 1 é de 20W. No entanto, se inserirmos no exemplo uma indústria 2 funcionando das 8:00 às 18:00, isto é, 11 horas por dia, a lâmpada de 20 W da mesma tem $FCP=0,33$. Isso é, durante uma hora de ponta (das 17:00 às 18:00), além da lâmpada da indústria 1, está também acesa a lâmpada da indústria 2. Sendo assim, a capacidade instalada necessária para atender à segunda é apenas 1/3 da potência da mesma, isto é, 6,66, consumindo 240 Wh. Assim, para atender às duas lâmpadas, é necessário 26,66W.

Através da equação 2.20, temos:

$$P_{O_1} = \frac{480 \times 1}{24} + \frac{240 \times 0,33}{12} = 26,66$$

Anexo 8: Correspondência entre a vida útil dos usos finais e a saturação

Considera-se que os equipamentos sejam substituídos quando a vida útil (n) expira e ainda, que tenham sido comprados em cada ano $1/n$ usos finais. Admite-se ainda que 50% dos novos aparelhos mantenha a eficiência do ano base e os demais consumam menor quantidade de energia, segundo os potenciais de conservação do capítulo 4. Assim, nos dez anos do período de projeção, são substituídos $10/(n \times 2)$ usos finais, onde o fator (1/2) se deve pela consideração de que entre os novos equipamentos adquiridos, apenas 50% tenha a tecnologia mais eficiente. No caso daqueles cuja vida útil é de 12 anos, tem-se a troca de 42% e de 15 anos, 33%. Como no horizonte de projeção adotado há possibilidades de substituição de todas as lâmpadas incandescentes pelas fluorescentes, assumiu-se apenas 50% de saturação.