

# Coleção UAB–UFSCar

Engenharia Ambiental

Planejamento e Gestão de Recursos Energéticos

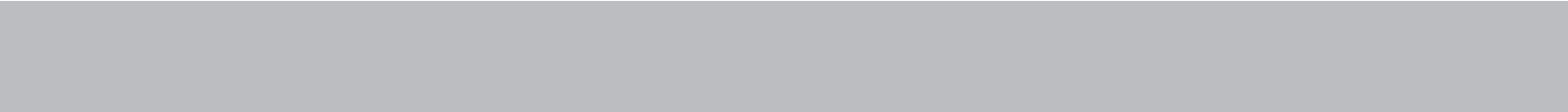
Douglas Barreto  
Adriana Cristina Boni  
Rafael Pazeto Alvarenga  
Renato Billia de Miranda

## Planejamento e Gestão de Recursos Energéticos





# **Planejamento e Gestão de Recursos Energéticos**





**Reitor**

Targino de Araújo Filho

**Vice-Reitor**

Adilson Jesus Aparecido de Oliveira

**Pró-Reitora de Graduação**

Claudia Raimundo Reyes



**Secretária de Educação a Distância - SEaD**

Aline M. de M. R. Reali

**Coordenação UAB-UFSCar**

Daniel Mill

Denise Abreu-e-Lima

**Coordenação SEaD-UFSCar**

Daniel Mill

Denise Abreu-e-Lima

Joice Otsuka

Marcia Rozenfeld G. de Oliveira

Sandra Abib

Vânia Paula de Almeida Neris

**Coordenador do Curso de Engenharia Ambiental**

Luiz Márcio Poiani

UAB-UFSCar

Universidade Federal de São Carlos

Rodovia Washington Luís, km 235

13565-905 - São Carlos, SP, Brasil

Telefax (16) 3351-8420

[www.uab.ufscar.br](http://www.uab.ufscar.br)

[uab@ufscar.br](mailto:uab@ufscar.br)

**Douglas Barreto  
Adriana Cristina Boni  
Rafael Pazeto Alvarenga  
Renato Billia de Miranda**

# **Planejamento e Gestão de Recursos Energéticos**

© 2013, Douglas Barreto, Adriana Cristina Boni, Rafael Pazeto Alvarenga, Renato Billia de Miranda

### **Concepção Pedagógica**

Daniel Mill

### **Supervisão**

Douglas Henrique Perez Pino

### **Equipe de Revisão Linguística**

Clarissa Galvão Bengtson

Daniel William Ferreira de Camargo

Daniela Silva Guanais Costa

Gabriela Aniceto

Letícia Moreira Clares

Luciana Rugoni Sousa

Paula Sayuri Yanagiwara

Sara Naime Vidal Vital

### **Equipe de Editoração Eletrônica**

Izís Cavalcanti

### **Equipe de Ilustração**

Maria Julia Barbieri Mantoanelli

### **Capa e Projeto Gráfico**

Luís Gustavo Sousa Sguissardi

# SUMÁRIO

|                           |    |
|---------------------------|----|
| <b>APRESENTAÇÃO</b> ..... | 23 |
|---------------------------|----|

## **UNIDADE 1: Energia nas atividades humanas**

|  |    |
|--|----|
| 1.1 Primeiras palavras .....             | 29 |
| 1.2 Problematizando o tema .....         | 29 |
| 1.3 A energia na evolução do homem ..... | 30 |
| 1.4 Referências .....                    | 32 |

## **UNIDADE 2: Conceitos de energia**

|  |    |
|--|----|
| 2.1 Primeiras palavras .....                           | 35 |
| 2.2 Problematizando o tema .....                       | 36 |
| 2.3 Energias: primária, secundária, final e útil ..... | 37 |
| 2.4 Princípios básicos da conversão de energia .....   | 38 |
| 2.5 Rendimento das conversões energéticas .....        | 39 |
| 2.6 Unidades de energia .....                          | 40 |
| 2.7 Referências .....                                  | 43 |

## **UNIDADE 3: Tipos e fontes de energia**

|                              |    |
|------------------------------|----|
| 3.1 Primeiras palavras ..... | 47 |
|------------------------------|----|

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 3.2   | Problematizando o tema .....                       | 47 |
| 3.3   | Classificação dos tipos de fontes de energia ..... | 48 |
| 3.4   | Fontes renováveis .....                            | 49 |
| 3.4.1 | Hidráulica .....                                   | 49 |
| 3.4.2 | Biomassa .....                                     | 57 |
| 3.4.3 | Eólica .....                                       | 60 |
| 3.4.4 | Solar .....  | 67 |
| 3.4.5 | Biogás .....                                       | 73 |
| 3.4.6 | Geotérmica .....                                   | 79 |
| 3.4.7 | Maremotriz .....                                   | 81 |
| 3.5   | Fontes não renováveis .....                        | 85 |
| 3.5.1 | Gás natural .....                                  | 85 |
| 3.5.2 | Petróleo .....                                     | 87 |
| 3.5.3 | Nuclear .....                                      | 92 |
| 3.5.4 | Carvão mineral .....                               | 95 |
| 3.6   | Estudos complementares .....                       | 97 |
| 3.7   | Referências .....                                  | 97 |

## **UNIDADE 4: Consumo de Energia e Desenvolvimento**

|     |  |     |
|-----|--|-----|
| 4.1 | Primeiras palavras .....                   | 103 |
| 4.2 | Problematizando o tema .....               | 103 |
| 4.3 | Oferta e consumo de energia no mundo ..... | 107 |
| 4.4 | Balanço Energético Nacional – BEN .....    | 108 |
| 4.5 | Oferta e demanda de energia .....          | 110 |

|      |  |     |
|------|--|-----|
| 4.6  | Consumo de energia por setor.....              | 112 |
| 4.7  | Recursos e reservas energéticas no Brasil..... | 116 |
| 4.8  | Matriz energética nacional.....                | 120 |
| 4.9  | Estudos complementares.....                    | 121 |
| 4.10 | Referências.....                               | 122 |

## **UNIDADE 5: Política energética brasileira**

|         |  |     |
|---------|--|-----|
| 5.1     | Primeiras palavras.....                          | 125 |
| 5.2     | Problematizando o tema.....                      | 125 |
| 5.3     | Histórico da política energética brasileira..... | 125 |
| 5.4     | Política setorial energética.....                | 129 |
| 5.5     | Modelo do setor elétrico.....                    | 133 |
| 5.6     | Sistema tarifário do setor elétrico.....         | 139 |
| 5.6.1   | Cobrança.....                                    | 140 |
| 5.6.2   | Classificação dos consumidores.....              | 141 |
| 5.6.3   | Modalidades tarifárias e tarifação.....          | 142 |
| 5.6.3.1 | A tarifação convencional.....                    | 142 |
| 5.6.3.2 | A tarifação horossazonal verde.....              | 143 |
| 5.6.3.3 | A tarifação horossazonal azul.....               | 143 |
| 5.6.4   | A energia reativa e o fator de potência.....     | 144 |
| 5.7     | Diretrizes da política energética.....           | 144 |
| 5.7.1   | Oferta de energia e políticas públicas.....      | 145 |
| 5.7.1.1 | Energias renováveis.....                         | 145 |

|  |     |
|--|-----|
| 5.7.1.2 Energias não renováveis . . . . .                | 147 |
| 5.7.2 Consumo de energia e políticas públicas . . . . .  | 148 |
| 5.7.2.1 Eficiência energética . . . . .                  | 148 |
| 5.7.2.2 Programas de P&D . . . . .                       | 149 |
| 5.7.2.3 Políticas de preços e questões sociais . . . . . | 150 |
| 5.7.3 Pesquisa e desenvolvimento tecnológico . . . . .   | 151 |
| 5.7.4 Energia e meio ambiente . . . . .                  | 153 |
| 5.8 Estudos complementares . . . . .                     | 154 |
| 5.9 Referências . . . . .                                | 154 |

## **UNIDADE 6: Programas de Conservação e Eficiência Energética**

|  |     |
|--|-----|
| 6.1 Primeiras palavras . . . . .   | 161 |
| 6.2 Problematizando o tema . . . . .   | 161 |
| 6.3 Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – Procel . . . . .                                  | 161 |
| 6.3.1 Etiqueta nacional de conservação de energia . . . . .  | 164 |
| 6.3.2 O programa brasileiro de etiquetagem . . . . .   | 165 |
| 6.3.3 Selo Procel de eficiência energética . . . . .   | 168 |
| 6.4 Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural – Conpet . . . . . | 170 |
| 6.4.1 Conpet no transporte . . . . .   | 172 |
| 6.4.2 Eficiência energética de equipamentos . . . . .  | 172 |
| 6.4.2.1 Etiquetagem veicular . . . . .   | 173 |
| 6.4.2.2 Etiquetagem de aparelhos domésticos e a gás . . . . .  | 174 |
| 6.4.2.3 Etiquetagem de pneus . . . . .   | 177 |
| 6.4.3 Selo Conpet de eficiência energética . . . . .   | 177 |
| 6.5 Referências . . . . .  | 179 |

## **UNIDADE 7: Planejamento Energético**

|         |   |     |
|---------|---|-----|
| 7.1     | Primeiras palavras .....  | 183 |
| 7.2     | Problematizando o tema .....  | 183 |
| 7.3     | Aspectos metodológicos .....  | 184 |
| 7.3.1   | Modelo de desenvolvimento vigente .....                                 | 184 |
| 7.3.2   | As relações entre energia e economia .....                              | 185 |
| 7.3.3   | Políticas energéticas adotadas .....                                    | 185 |
| 7.3.4   | Instrumentos utilizados para implementar as políticas energéticas ..... | 186 |
| 7.3.5   | Ferramentas metodológicas-modelo .....                                  | 186 |
| 7.3.6   | Análise dos resultados obtidos .....                                    | 187 |
| 7.4     | Planejamento Integrado de Recursos – PIR .....                          | 188 |
| 7.4.1   | Tipos de modelos de projeção .....                                      | 191 |
| 7.4.1.1 | Modelos “Bottom-Up” .....   | 191 |
| 7.4.1.2 | Modelos “Top-Down” .....  | 192 |
| 7.4.1.3 | Aplicação dos modelos de projeção .....                                 | 192 |
| 7.4.2   | Análise prospectiva de cenários .....                                   | 193 |
| 7.4.3   | Identificação das opções .....  | 194 |
| 7.4.4   | Gerenciamento pelo Lado da Demanda (GLD) .....                          | 194 |
| 7.4.5   | Opções de oferta .....  | 197 |
| 7.4.6   | PIR regional .....  | 200 |
| 7.5     | Estudos complementares .....  | 201 |
| 7.6     | Referências .....   | 202 |

## **UNIDADE 8: Gestão municipal de energia**

|     |                              |     |
|-----|------------------------------|-----|
| 8.1 | Primeiras palavras .....     | 207 |
| 8.2 | Problematizando o tema ..... | 207 |

|       |  |     |
|-------|--|-----|
| 8.3   | Funções do município na área de energia elétrica.....                      | 209 |
| 8.4   | Etapas para a implementação da Gestão Energética Municipal (GEM) .....     | 211 |
| 8.4.1 | Unidade de Gestão Energética Municipal – Ugem.....                         | 212 |
| 8.4.2 | Capacitação da Ugem.....   | 215 |
| 8.4.3 | Sistema de Informação Energética Municipal – Siem.....                     | 215 |
| 8.4.4 | Elaboração do Plano Municipal de Gestão da Energia Elétrica – Plamge ..... | 216 |
| 8.4.5 | Marcos legais .....  | 217 |
| 8.5   | Experiência da GEM em dez municípios pilotos.....                          | 219 |
| 8.6   | Referências.....   | 219 |

## **UNIDADE 9: Impactos ambientais do uso da energia**

|       |   |     |
|-------|---|-----|
| 9.1   | Primeiras palavras .....                                      | 223 |
| 9.2   | Problematizando o tema .....                                  | 223 |
| 9.3   | Abrangência e causas dos impactos ambientais .....            | 224 |
| 9.4   | Impactos por fonte de energia.....                            | 227 |
| 9.4.1 | Gás natural .....   | 227 |
| 9.4.2 | Hidroenergia.....   | 228 |
| 9.4.3 | Termoeletricidade .....                                       | 229 |
| 9.4.4 | Nuclear .....   | 230 |
| 9.4.5 | Solar.....  | 230 |
| 9.4.6 | Eólica .....  | 231 |
| 9.4.7 | Geotérmica.....   | 231 |
| 9.5   | Algumas ações para um futuro sustentável .....                | 232 |
| 9.5.1 | Mercado de carbono e mecanismos de desenvolvimento limpo..... | 234 |

|       |   |     |
|-------|---|-----|
| 9.6   | Implantação de empreendimento do setor elétrico .....         | 237 |
| 9.6.1 | Etapas de implantação de um empreendimento hidrelétrico. .... | 238 |
| 9.7   | Estudos complementares .....                                  | 242 |
| 9.8   | Referências.....  | 243 |



# LISTA DE ABREVIATURAS

|               |   |
|---------------|---|
| Abilux        | Associação Brasileira da Indústria de Iluminação                                      |
| Abinee        | Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica                              |
| Abrava        | Associação Brasileira de Refrigeração, Ar-condicionado, Ventilação e Aquecimento      |
| Amforp        | American & Foreign Power Co.  |
| Aneel         | Agência Nacional de Energia Elétrica  |
| ANP           | Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis                           |
| Awwa          | American Water Works Association  |
| BEN           | Balanco Energético Nacional   |
| BNDES         | Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico   |
| CCEE          | Câmara de Comercialização de Energia Elétrica   |
| CGIEE         | Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética                        |
| CGTEE         | Companhia de Geração Térmica de Energia Elétrica                                      |
| Chesf         | Companhia Hidrelétrica do São Francisco   |
| CMSE          | Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico   |
| CNAEE         | Conselho Nacional de Água e Energia Elétrica  |
| CNPE          | Conselho Nacional de Políticas Energéticas  |
| Conama        | Conselho Nacional do Meio Ambiente  |
| Conpet        | Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural |
| CPRM          | Serviço Geológico do Brasil   |
| CPST          | Contrato de Prestação de Serviços de Transmissão                                      |
| Dnaee         | Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica                                     |
| DNPM          | Departamento Nacional de Produção Mineral   |
| Eletrobrás    | Centrais Elétricas Brasileiras S.A.   |
| Eletronorte   | Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A.  |
| Eletronuclear | Eletrobrás Termonuclear S.A.  |
| Eletros       | Associação Nacional de Fabricantes de Produtos Eletroeletrônicos                      |
| Eletrosul     | Eletrosul Centrais Elétricas S.A.   |
| Ence          | Etiqueta Nacional de Conservação de Energia   |
| EPE           | Empresa de Pesquisa Energética  |
| EPP           | Eficiência nos Prédios Públicos   |
| FFE           | Fundo Federal de Eletrificação  |
| GEM           | Gestão Energética Municipal   |

|           |   |
|-----------|---|
| Gemat     | Grupo de Estudos de Metodologias de Acesso à Transmissão                  |
| GLD       | Gerenciamento pelo lado da demanda  |
| GLP       | Gás Liquefeito de Petróleo  |
| GNV       | Gás Natural Veicular  |
| Ibam      | Instituto Brasileiro de Administração Municipal                           |
| Idec      | Instituto de Defesa do Contribuinte                                       |
| Inmetro   | Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial     |
| Iuee      | Imposto Único sobre Energia Elétrica                                      |
| Light     | Light Serviços de Eletricidade S.A.                                       |
| MAE       | Mercado Atacadista de Energia   |
| MCidades  | Ministério das Cidades  |
| Mdic      | Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio                       |
| MME       | Ministério de Minas e Energia   |
| ONS       | Operador Nacional do Sistema Elétrico                                     |
| PBE       | Programa Brasileiro de Etiquetagem  |
| PCHs      | Pequenas Centrais Hidrelétricas   |
| PIR       | Planejamento Integrado de Recursos  |
| Plamge    | Plano Municipal de Gestão da Energia Elétrica                             |
| Pmss      | Programa de Modernização no Setor de Saneamento                           |
| PNCDA     | Plano Nacional de Combate ao Desperdício de Água                          |
| PND       | Programa Nacional de Desestatização                                       |
| PróAlcool | Programa Nacional do Alcool   |
| Procel    | Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica                      |
| Qualisol  | Programa de Qualificação de Fornecedores de Sistemas de Aquecimento Solar |
| Re-seb    | Reestruturação do Setor Elétrico Brasileiro                               |
| RGR       | Reserva Global de Reversão  |
| Siem      | Sistema de Informação Energética Municipal                                |
| Sintrel   | Sistema Nacional de Transmissão de Energia Elétrica                       |
| SNSA      | Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental                               |
| Ugem      | Unidade de Gestão Energética Municipal                                    |
| Usaid     | United States Agency for International Development                        |

# LISTA DE QUADROS

|            |  |     |
|------------|--|-----|
| Quadro 1.1 | Energia necessária em algumas atividades humanas . . . . .   | 30  |
| Quadro 3.1 | Classificação dos tipos de energia. . . . .  | 48  |
| Quadro 3.2 | Distribuição do potencial mundial e produção de energia hidrelétrica. . . . .                      | 50  |
| Quadro 3.3 | Aproveitamento do potencial hidrelétrico. . . . .  | 51  |
| Quadro 3.4 | Classificação da altura de queda. . . . .  | 51  |
| Quadro 3.5 | Sistemas eólicos e suas principais aplicações . . . . .  | 66  |
| Quadro 3.6 | Tipos de tecnologia de aproveitamento das marés . . . . .  | 82  |
| Quadro 3.7 | Plataformas e respectivas profundidades das camadas de exploração . . . . .                        | 89  |
| Quadro 3.8 | Elementos da cadeia de hidrocarbonetos derivados do petróleo . . . . .                             | 90  |
| Quadro 4.1 | Setores de atividades considerados no Balanço Energético Nacional. . . . .                         | 113 |
| Quadro 5.1 | Tipos de consumidores e suas principais características. . . . .                                   | 140 |
| Quadro 5.2 | Conceitos e definições relacionados à energia elétrica . . . . .                                   | 141 |
| Quadro 5.3 | Classificação dos consumidores do Grupo A. . . . .   | 142 |
| Quadro 5.4 | Diretrizes para as principais fontes de energia renováveis . . . . .                               | 146 |
| Quadro 5.5 | Diretrizes para as principais fontes de energia não renováveis. . . . .                            | 147 |
| Quadro 5.6 | Etapas da evolução da tecnologia inovadora . . . . .   | 151 |
| Quadro 5.7 | Etapas possivelmente priorizadas pelo setor produtivo. . . . .                                     | 151 |
| Quadro 5.8 | Áreas prioritárias e tecnologias a serem desenvolvidas no subsetor de combustíveis . . . . .       | 152 |
| Quadro 5.9 | Áreas prioritárias e tecnologias a serem desenvolvidas no subsetor de energia. . . . .             | 152 |
| Quadro 6.1 | Subprogramas do Procel. . . . .  | 162 |
| Quadro 6.2 | Subprogramas que visam à promoção de tecnologias eficientes e disseminação da informação . . . . . | 163 |
| Quadro 6.3 | Lista dos produtos avaliados no Programa Brasileiro de Etiquetagem. . . . .                        | 168 |
| Quadro 6.4 | Ações e projetos do Conpet . . . . .   | 171 |
| Quadro 6.5 | Dados do selo Conpet para aquecedores de passagem a gás no ano de 2009. . . . .                    | 178 |

|            |  |     |
|------------|--|-----|
| Quadro 6.6 | Dados do Selo Conpet para fogões e fornos a gás no ano de 2009 . . . . .                   | 179 |
| Quadro 7.1 | Medidas para o GLD por setores. . . . .  | 196 |
| Quadro 7.2 | Critérios e medidas para determinação de um plano de ação. . . . .                         | 199 |
| Quadro 8.1 | Definições dos princípios básicos que norteiam a GEM. . . . .                              | 209 |
| Quadro 8.2 | As cinco funções da Ugem. . . . .  | 213 |
| Quadro 8.3 | Grupos complementares da Ugem. . . . .   | 214 |
| Quadro 9.1 | Principais impactos ambientais decorrentes do uso e transporte<br>de combustíveis. . . . . | 224 |
| Quadro 9.2 | Emissões de CO2 de diferentes fontes de geração de energia . . . . .                       | 226 |

# LISTA DE FIGURAS

|             |  |    |
|-------------|--|----|
| Figura 1.1  | Estágio de desenvolvimento e consumo de energia por atividade. . . . .                         | 31 |
| Figura 2.1  | Exemplo de cadeia energética para o carvão mineral. . . . .                                    | 38 |
| Figura 2.2  | Processo esquemático de conversão da energia. . . . .  | 40 |
| Figura 3.1  | Participação das fontes primárias na geração de eletricidade<br>(secundária). . . . .          | 49 |
| Figura 3.2  | Componentes básicos de uma central hidrelétrica. . . . .                                       | 52 |
| Figura 3.3  | Barragem de gravidade. . . . .   | 53 |
| Figura 3.4  | Imagem de uma barragem em arco. . . . .  | 53 |
| Figura 3.5  | Turbina tipo Pelton. . . . .   | 54 |
| Figura 3.6  | Turbina tipo Turgo. . . . .  | 55 |
| Figura 3.7  | Turbina tipo <i>Crossflow</i> . . . . .  | 56 |
| Figura 3.8  | Turbina tipo Kaplan ( <i>Hélice</i> ). . . . .   | 56 |
| Figura 3.9  | Turbina tipo <i>Francis</i> . . . . .  | 57 |
| Figura 3.10 | Ciclo do carbono. . . . .  | 59 |
| Figura 3.11 | Movimento da massa de ar na superfície da Terra. . . . .                                       | 61 |
| Figura 3.12 | Comportamento do vento na superfície terrestre. . . . .  | 61 |
| Figura 3.13 | Aerogerador de eixo horizontal. . . . .  | 63 |
| Figura 3.14 | Aerogerador de eixo vertical. . . . .  | 63 |
| Figura 3.15 | Componentes de um aerogerador de eixo horizontal. . . . .                                      | 64 |
| Figura 3.16 | Vista interior da Nacele com seus componentes internos. . . . .                                | 65 |
| Figura 3.17 | Coletor solar plano em esquema termosifão. . . . .   | 69 |
| Figura 3.18 | Coletor solar plano em esquema de circulação forçada. . . . .                                  | 70 |
| Figura 3.19 | Exemplo de um coletor solar plano. . . . .   | 70 |
| Figura 3.20 | Formação do elétron (corrente elétrica). . . . .   | 71 |
| Figura 3.21 | Painéis fotovoltaicos. . . . .   | 73 |
| Figura 3.22 | Representação esquemática da digestão anaeróbia em três etapas. . . . .                        | 75 |
| Figura 3.23 | Reator anaeróbio de Fluxo Ascendente. . . . .  | 76 |
| Figura 3.24 | Digestor anaeróbio de contato. . . . .   | 77 |
| Figura 3.25 | Filtro anaeróbio de fluxo ascendente. . . . .  | 77 |
| Figura 3.26 | Reator de leito fluidizado. . . . .  | 78 |
| Figura 3.27 | Perfil esquemático do processo de produção de energia elétrica<br>a partir do biogás . . . . . | 79 |

|             |   |     |
|-------------|---|-----|
| Figura 3.28 | Esquema de usina geotérmica. . . . .  | 80  |
| Figura 3.29 | Componentes da central. . . . .   | 83  |
| Figura 3.30 | Esquema interno da central. . . . .   | 84  |
| Figura 3.31 | Imagem da Central de Pico – Açores. . . . .   | 84  |
| Figura 3.32 | Formação de reservatório de gás natural associado ao petróleo. . . . .                                    | 85  |
| Figura 3.33 | Ilustração de uma jazida de petróleo e gás no subsolo ( <i>onshore</i> ). . . . .                         | 88  |
| Figura 3.34 | Denominação, ano de início e profundidades das plataformas<br>marinhas de exploração de petróleo. . . . . | 89  |
| Figura 3.35 | Torre de fracionamento do petróleo. . . . .   | 91  |
| Figura 3.36 | Ciclo do combustível nuclear. . . . .   | 93  |
| Figura 3.37 | Processo de enriquecimento do urânio. . . . .   | 94  |
| Figura 3.38 | Central térmica nuclear. . . . .  | 94  |
| Figura 3.39 | Composição química dos carvões minerais. . . . .  | 95  |
| Figura 3.40 | Tipos de carvões minerais e principais usos. . . . .  | 96  |
| Figura 4.1  | Gráfico da evolução do PIB e consumo de energia de 2003 a 2007. . . . .                                   | 103 |
| Figura 4.2  | Relação entre o crescimento populacional e a demanda de energia. . . . .                                  | 105 |
| Figura 4.3  | Consumo de eletricidade e renda <i>per capita</i> . . . . .   | 105 |
| Figura 4.4  | Distribuição da oferta de energia por fonte em 2007. . . . .  | 107 |
| Figura 4.5  | Consumo de energia por fonte em 2007. . . . .   | 107 |
| Figura 4.6  | Produção de energia por fonte em 2007. . . . .  | 108 |
| Figura 4.7  | Matriz de relações para obtenção do Balanço Energético Nacional. . . . .                                  | 109 |
| Figura 4.8  | Evolução do consumo e produção das fontes primárias de energia. . . . .                                   | 111 |
| Figura 4.9  | Evolução do consumo e produção das fontes secundárias<br>de energia. . . . .                              | 112 |
| Figura 4.10 | Participação dos setores de atividades no consumo global<br>de energia. . . . .                           | 116 |
| Figura 4.11 | Gráfico da evolução das reservas de petróleo de 1975 a 2009. . . . .                                      | 118 |
| Figura 4.12 | Gráfico da evolução das reservas de gás natural de 1975 a 2009. . . . .                                   | 118 |
| Figura 4.13 | Gráfico da evolução do potencial hidrelétrico de 1970 a 2009. . . . .                                     | 119 |
| Figura 4.14 | Gráfico da evolução das reservas de carvão mineral de 1974 a 2009. . . . .                                | 119 |
| Figura 4.15 | Gráfico da evolução das reservas urânio ( $U_3O_8$ ) de 1973 a 2009. . . . .                              | 119 |
| Figura 5.1  | Estrutura organizacional do MME. . . . .  | 128 |
| Figura 5.2  | Cronologia dos principais eventos referentes ao modelo setorial<br>de eletricidade. . . . .               | 132 |
| Figura 5.3  | Estrutura institucional do setor elétrico brasileiro. . . . .   | 133 |
| Figura 6.1  | Exemplo de uma etiqueta representativa da eficiência energética<br>de um refrigerador . . . . .           | 164 |

|            |   |     |
|------------|---|-----|
| Figura 6.2 | Etiqueta de eficiência energética afixada em um refrigerador . . . . .            | 165 |
| Figura 6.3 | Selo Procel de Eficiência Energética . . . . .                                    | 170 |
| Figura 6.4 | Etiqueta para veículos automotores . . . . .                                      | 173 |
| Figura 6.5 | Exemplo de uma etiqueta do PBE para fogão a gás . . . . .                         | 175 |
| Figura 6.6 | Etiqueta do PBE para aquecedor a gás . . . . .                                    | 176 |
| Figura 6.7 | Modelo de um Selo Conpet para aparelhos domésticos a gás . . . . .                | 178 |
| Figura 7.1 | Etapas previstas no desenvolvimento de um PIR . . . . .                           | 189 |
| Figura 7.2 | Estratégias de gerenciamento das curvas de carga . . . . .                        | 195 |
| Figura 8.1 | Princípios básicos que norteiam a GEM . . . . .                                   | 208 |
| Figura 8.2 | Etapas da GEM . . . . .   | 212 |
| Figura 9.1 | Projeção das emissões de GEE para o setor elétrico . . . . .                      | 233 |
| Figura 9.2 | Atividades para a implantação de um empreendimento<br>no setor elétrico . . . . . | 238 |



# LISTA DE TABELAS

|             |   |     |
|-------------|---|-----|
| Tabela 1.1  | Consumo de energia por estágio de desenvolvimento humano.....                 | 32  |
| Tabela 2.1  | Múltiplos das unidades de energia. ....                                       | 41  |
| Tabela 2.2  | Fatores de conversão entre unidades de energia .....                          | 42  |
| Tabela 4.1  | Consumo mundial de energia por tipo de combustível em 2007.....               | 106 |
| Tabela 4.2  | Tipos de combustíveis mais consumidos no Brasil.....                          | 106 |
| Tabela 4.3  | Balanço das fontes primárias – 10 <sup>3</sup> tep (toe).....                 | 111 |
| Tabela 4.4  | Balanço das fontes secundárias – 10 <sup>3</sup> tep (toe).....               | 111 |
| Tabela 4.5  | Consumo do setor industrial – 10 <sup>3</sup> tep (toe). ....                 | 113 |
| Tabela 4.6  | Consumo do setor de transportes – 10 <sup>3</sup> tep (toe). ....             | 114 |
| Tabela 4.7  | Consumo do setor energético – 10 <sup>3</sup> tep (toe). ....                 | 114 |
| Tabela 4.8  | Consumo do setor residencial – 10 <sup>3</sup> tep (toe). ....                | 114 |
| Tabela 4.9  | Consumo do setor agropecuário – 10 <sup>3</sup> tep (toe). ....               | 115 |
| Tabela 4.10 | Consumo do setor comercial – 10 <sup>3</sup> tep (toe).....                   | 115 |
| Tabela 4.11 | Consumo do setor público – 10 <sup>3</sup> tep (toe).....                     | 115 |
| Tabela 4.12 | Reservas das fontes primárias no ano de 2009.....                             | 117 |
| Tabela 4.13 | Oferta interna de energia em 2010.....  | 120 |
| Tabela 4.14 | Produção dos principais energéticos.....                                      | 121 |
| Tabela 8.1  | Síntese dos resultados obtidos na implementação do GEM. ....                  | 219 |
| Tabela 9.1  | Quantidade de gases de efeito estufa emitida<br>pelo sistema Eletrobrás. .... | 227 |



## APRESENTAÇÃO

*“Em toda obra humana, ou não humana, procuramos só duas coisas: Força e equilíbrio da Força - Energia e harmonia”*

Álvaro de Campos

(Heterônimo de Fernando Pessoa, poeta português (1888 – 1935))

Conhecer, identificar e tratar as questões sobre o Planejamento e Gestão de Recursos Energéticos faz parte das atribuições do Engenheiro Ambiental, e este livro tem como objetivo fornecer os fundamentos necessários para que o Engenheiro Ambiental possa atuar de forma consciente e ética no campo dos recursos energéticos que impulsionam o país em rumo ao desenvolvimento sustentável.

Não se pretende esgotar o assunto com o presente trabalho. Ao contrário, o conteúdo aqui apresentado converge para as diversas questões relacionadas ao Planejamento e Gestão de Recursos Energéticos. Neste contexto, são destacadas as inter-relações dos principais temas, bem como as especificidades das ações que devem ser conhecidas e aplicadas em busca do uso apropriado dos atuais recursos energéticos disponíveis, de modo que seja possível o desenvolvimento sustentável respeitando as questões ambientais.

Este livro está dividido em nove unidades temáticas, iniciando-se com o tema de “Energia nas Atividades Humanas” (Unidade 1) onde se discorre sobre a presença da energia nas diversas etapas da evolução humana.

Como fundamentos básicos, são apresentados os “Conceitos de Energia” (Unidade 2), com a caracterização dos tipos de energias primária, secundária, final e útil. Os princípios básicos da conversão de energia e seus rendimentos, além das principais unidades de energia.

Em seguida são explorados os “Tipos e Fontes de Energia” (Unidade 3). Com os tipos de fontes renováveis e não renováveis, suas características de obtenção e os mecanismos para a transformação dessas fontes em energia útil. As fontes renováveis de energia abordadas são: hidráulica, biomassa, eólica, solar, biogás, geotérmica e maremotriz. Já as fontes não renováveis de energia compreendem o gás natural, o petróleo, a energia nuclear e o carvão mineral.

Conhecidos e descritos os tipos de fontes de energia disponíveis para uso nos diversos setores de atividades, exploram-se as questões relativas ao “Consumo de Energia e Desenvolvimento” (Unidade 4), onde são abordadas as relações entre: o consumo de energia e o PIB, e o consumo de energia e o crescimento da população. Isso porque essas duas variáveis influenciam o consumo de energia, indicando a necessidade de ações de planejamento e gestão, pois

se deve prever a instalação de novas usinas de geração de energia de diversas fontes. Discorre-se sobre o panorama da oferta e consumo de energia no mundo, o balanço energético nacional, com sua composição por fontes. Também são apresentadas a oferta e demanda de energia no Brasil; o consumo de energia por setor de atividade; os recursos e reservas energéticas no Brasil; a matriz energética nacional; e um histórico do setor elétrico brasileiro, compondo quadro sobre o consumo e desenvolvimento.

Na sequência são abordadas as questões de destaque da “Política Energética Brasileira” (Unidade 5), como por exemplo, os principais marcos que delinearão o histórico da política energética até a atual estrutura. Destacam-se as políticas setoriais em geral e do setor de eletricidade em particular, e seu sistema tarifário. Apresentam-se, ainda, as diversas diretrizes energéticas para os próximos 20 anos.

Em seguida são abordados os “Programas de conservação e eficiência energética” (Unidade 6), que são: o Programa Brasileiro de Conservação de Energia Elétrica (Procel) e seus subprogramas, com destaque ao Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), e o Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural (Conpet). Também são abordados os programas Selo Procel e Selo Conpet, cuja contribuição principal é a conservação de energia por meio da identificação e premiação dos aparelhos e equipamentos que consomem menos energia.

No que se relaciona ao “Planejamento Energético” (Unidade 7) são detalhados os aspectos metodológicos relativos aos modelos energéticos nacionais, as relações entre energia e economia e as políticas energéticas e os instrumentos e as ferramentas de implementação. Destacam-se as características do Planejamento Integrado de Recursos nos âmbitos geral e regional, com os modelos de análise e projeção de cenários.

Um aspecto importante do Planejamento Energético é a “Gestão Municipal de Energia” (Unidade 8), onde ser abordada o modelo introduzido pela Eletrobrás, que visa implantar as Unidades de Gestão Energética Municipais, subsidiando o poder local com ações de estratégia, gestão, planejamento, técnica e de marketing para a conservação e o uso racional da energia no âmbito das atividades municipais. São descritos os meios para a formação das unidades municipais e os instrumentos de implantação que permitem o município uma gestão eficiente dos recursos energéticos.

Na unidade final (Unidade 9) destacam-se os “Impactos ambientais e Ações para um Futuro Sustentável”, onde se descrevem os impactos e suas consequências no meio ambiente, evidenciando-se os impactos ambientais na geração de energia de algumas fontes. Abordam-se a emissão dos Gases de

Efeito Estufa – GEE, e os protocolos de controle ambiental, como o de Quioto, e os mecanismos de mitigação como o Mercado de Carbono e Mecanismos de Desenvolvimento Limpo.

Por fim, este texto, percorrendo os assuntos relativos ao Planejamento e Gestão dos Recursos Energéticos, no âmbito da Engenharia Ambiental, torna-se um referencial básico, subsidiando os estudos, e transmitindo as questões que permitem relacionar “Energia e Harmonia”, onde a cada ação humana sempre se procura força e energia, acrescentando que essa busca seja em harmonia com o meio ambiente, fazendo com que a geração atual planeje o uso e gestão dos recursos energéticos para que as gerações futuras possam usufruir dos benefícios advindos do uso da energia.



# **UNIDADE 1**

Energia nas atividades humanas



## 1.1 Primeiras palavras

É importante que sejam conhecidas as diversas formas de energias nas atividades humanas, desde os períodos pré-históricos até os dias atuais, visto que na história do Homem, ele sempre lidou com a energia para viver, e principalmente, sobreviver.

A energia sempre esteve presente na evolução humana e sempre foi uma aliada no desenvolvimento das sociedades primitivas. O homem dessa época correu vários riscos para dominar a primeira forma de energia, o fogo. Dominada esta forma de energia, o homem então passou a usufruir de uma vantagem competitiva para a sua sobrevivência e enfim para a sua evolução.

A partir de então, observamos que o Homem sempre esteve envolvido em descobrir novas formas de energia para utilizar em suas atividades. Num passado bem recente, pode-se citar o domínio da energia nuclear, como uma nova façanha humana, porém, há sempre os riscos associados, e novamente o Homem vai atrás de novas formas de energia, como a energia fotovoltaica e células de hidrogênio.

A energia é um insumo básico, praticamente utilizado em todas as atividades das sociedades modernas, produzindo bens e serviços, substituindo o trabalho humano ou fornecendo conforto.

Em suma, o conhecimento e o domínio das diversas formas de energia estão e sempre estarão no cotidiano das atividades humanas, impulsionando o desenvolvimento das sociedades, sempre em busca do uso para tornar as atividades humanas mais fáceis e mais rápidas.

## 1.2 Problematizando o tema

No campo da Engenharia Ambiental destacam-se as questões do uso da energia pelo homem em suas atividades. Poluição, desmatamento, inundação de áreas produtivas entre outros efeitos danosos ao meio ambiente têm origem na geração ou uso da energia nas atividades da sociedade.

Entender as origens da necessidade do uso de energia para tarefas simples como caminhar, até as mais ativas, como correr; ou mesmo a energia necessária para se deslocar de casa ao trabalho, faz parte do conjunto de conhecimento básico para que se possa identificar as ações que possam ser adotadas a fim de aumentar a eficiência no uso da energia nas atividades humanas.

### 1.3 A energia na evolução do homem

Segundo Goldenberg (2010) a menor quantidade de energia para um ser humano sobreviver é de 1.000 kcal por dia, sendo necessários 2.000 kcal por dia para atividades cotidianas normais e cerca de 4.000 kcal por dia para se realizar tarefas mais exigentes do ponto de vista físico.

Para efeito de cômputo de gasto de energia pelo homem em suas atividades, o Quadro 1.1 apresenta as necessidades energéticas humanas em função do grau de esforço e do tipo de atividade exercida pelo homem.

**Quadro 1.1** Energia necessária em algumas atividades humanas.

| Grau de esforço | Tipo de atividade  | Energia (kcal/hora) |
|-----------------|--------------------|---------------------|
| Leve            | Escrever           | 20                  |
|                 | Tocar violino      | 20 – 40             |
|                 | Passar roupa       | 60                  |
| Moderada        | Carpintaria        | 150 – 180           |
|                 | Caminhar           | 130 – 240           |
| Pesada          | Marchar            | 280                 |
|                 | Andar de bicicleta | 180 – 600           |
|                 | Remar              | 120 – 600           |
|                 | Nadar              | 200 – 700           |
| Muito pesada    | Quebrar pedras     | 350                 |
|                 | Correr             | 800 – 1.000         |
|                 | Escalar montanhas  | 400 – 900           |
|                 | Subir escadas      | 1.000               |

Fonte: adaptado de Goldenberg (2010).

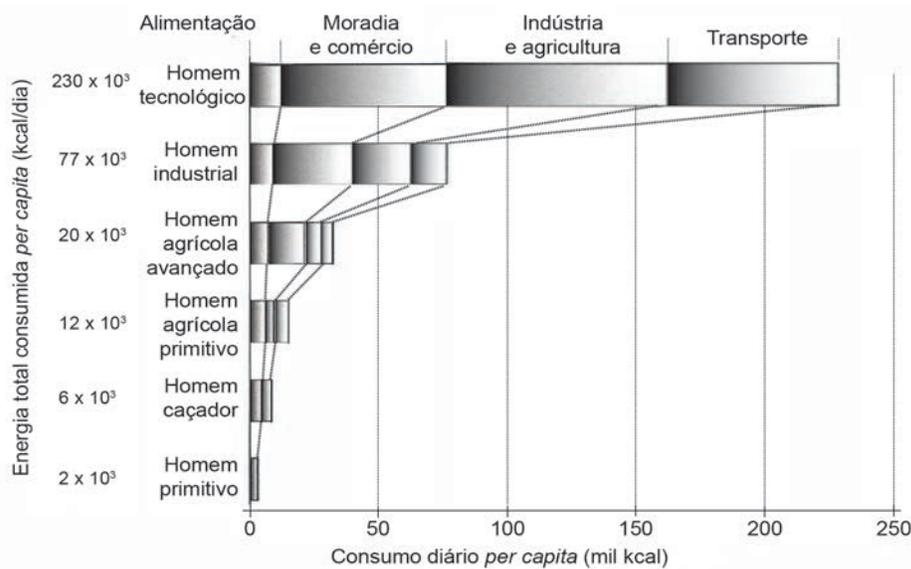
Segundo Earl & Cook (1976) citados por Goldenberg (2010), na evolução da espécie humana, em termos de uso e manejo de energia, observam-se seis estágios de desenvolvimento, quais sejam:

- homem primitivo – Leste da África, um milhão de anos atrás (sem uso do fogo); consumia apenas energia dos alimentos (aproximadamente 2.000 kcal/dia);
- homem caçador – Europa, menos de um milhão de anos atrás; consumia mais alimentos e utilizava lenha para obtenção de calor e cozer alimentos;
- homem agrícola primitivo – Mesopotâmia, cinco mil anos antes de Cristo; incorporou a energia de animais para tração, além da energia de alimentos e de queima de lenha para obtenção de calor;

- homem agrícola avançado – Noroeste da Europa, mil e quatrocentos anos depois de Cristo; usou o carvão para aquecimento, além do uso da água e vento (moinhos) e transporte animal (cavalos e carroças);
- homem industrial – Inglaterra 1875; dispunha da máquina à vapor, carvão e eletricidade;
- homem tecnológico – EUA 1970; dispunha de máquinas, equipamentos e outros movidos por combustíveis fósseis (carros, termelétricas e outros) e consumia, em termos globais,  $230 \times 10^3$  kcal/dia.

Assim, na evolução humana a energia constitui-se num elemento importante e está associada à capacidade de transformação do meio ambiente em favor das atividades humanas, uma vez que a energia é subtraída de fontes existentes na natureza.

A Figura 1.1 apresenta um gráfico que contém o consumo diário de energia por atividade em função do estágio de desenvolvimento do homem.



**Figura 1.1** Estágio de desenvolvimento e consumo de energia por atividade.

Fonte: adaptada de Goldenberg (2010).

A Tabela 1.1 apresenta o consumo total de energia por estágio de desenvolvimento.

**Tabela 1.1** Consumo de energia por estágio de desenvolvimento humano.

| Estágio de desenvolvimento                     | Ano        | População                  | Consumo diário per capita | Consumo              |
|--|------------|----------------------------|---------------------------|----------------------|
|  |            | 10 <sup>6</sup> Habitantes | 10 <sup>3</sup> kcal      | 10 <sup>6</sup> kcal |
| <i>Primitivo, Caçador e Agrícola primitivo</i> | SD         | SD                         | SD                        | SD                   |
| Agrícola avançado                              | 4.000 a.C. | 80                         | 12                        | 960                  |
|  | 0 a.C.     | 130                        |                           |                      |
|  | 1.500 d.C. | 450                        | 20                        | 9.000                |
|  | 1.800 d.C. | 900                        |                           |                      |
| Industrial                                     | 1.950 d.C. | 2.600                      | 77                        | 200.200              |
| Tecnológico                                    | 2.000 d.C. | 6.000                      | 230                       | 1.380.000            |

\*Nota: valores estimativos. (SD – Sem dados).

Fonte: adaptada de Earl & Cook (1976 apud GOLDENBERG, 2010).

Por meio da Figura 1.1 e da Tabela 1.1 observa-se que nos diversos estágios de desenvolvimento humano a energia sempre esteve presente, sendo cada vez mais consumida. Por exemplo, no gráfico da Figura 1.1, no estágio do homem tecnológico, pode-se verificar que aproximadamente 90% da energia consumida devem-se ao transporte, agricultura e indústria, e morada e comércio, restando 10% para alimentação.

Esse consumo de energia apresenta uma evolução em saltos, como pode ser observado na Figura 1.1 e nos dados da Tabela 1.1. A população humana aumentou de meio milhão (há um milhão de anos atrás) para 6.000 milhões de pessoas (até os anos 1980). Isto representa um crescimento de cerca de 10.000 vezes, ao passo que no mesmo período, o consumo total de energia saltou de  $1 \times 10^9$  kcal para  $1.380.00 \times 10^9$  kcal, ou seja, mais de um milhão de vezes.

Atualmente, o homem tecnológico vem causando preocupação quanto ao consumo de energia, visto que as fontes de energia estão se tornando escassas. Existe a necessidade do emprego de outras formas de energia, bem como, de se reduzir ou manter o atual consumo, sem que haja, porém, um impedimento no estágio de desenvolvimento do homem.

## 1.4 Referências

GOLDENBERG, J. *Série sustentabilidade: energia e desenvolvimento sustentável*. v. 4. São Paulo: Edgard Blucher, 2010. 94 p.

# **UNIDADE 2**

Conceitos de energia



## 2.1 Primeiras palavras

A energia é um insumo básico, praticamente utilizado em todas as atividades das sociedades modernas, produzindo bens e serviços, e substituindo o trabalho humano ou fornecendo conforto.

Existem diversas definições para a energia, podendo ser citadas: “capacidade de produzir trabalho”, “capacidade de um sistema produzir ações externas” ou “propriedade da matéria que se move”. Uma definição bastante completa, segundo Radovic (2005 apud PEREIRA et al., 2005), é considerar a energia como “uma propriedade da matéria que pode ser convertida em trabalho, calor ou radiação” (RADOVIC, 2005 apud PEREIRA et al., 2005, p. 2).

Hoje, a eletricidade é utilizada em um grande número de aplicações, sendo esperado que sua participação no total da energia final consumida seja crescente. É cada vez maior a variedade de equipamentos elétricos à disposição dos consumidores e mesmo os aparelhos já existentes, em alguns casos, apresentam potências cada vez maiores. No setor residencial, por exemplo, são lançados modelos de televisores e de refrigeradores com dimensões cada vez mais elevadas, assim como o número de eletrodomésticos à disposição dos consumidores é crescente.

A energia provém de diversas fontes e se manifesta sob diferentes formas, sendo essas energias denominadas: química, mecânica, térmica, eletromagnética, nuclear e elétrica. Segundo Pereira et al. (2005) as diferentes formas de energia são as seguintes:

- *energia química* pode ser definida como a energia de coesão dos átomos nas moléculas de material combustível, ou seja, é a energia existente nas ligações químicas. As ligações químicas formam-se ou se desfazem durante as reações químicas. Apesar de a realização de algumas reações químicas exigirem a absorção de energia do exterior, normalmente acontece o contrário: cada vez que se verifica uma reação química ocorre liberação de energia. No caso das reações de combustão, como a queima de carvão, libera-se esta energia sob a forma de calor. No caso de uma reação eletroquímica, como a que ocorre em uma pilha comum, esta energia é liberada sob a forma de corrente elétrica;
- *energia mecânica* pode ser subdividida em energia cinética e energia potencial;
- *energia cinética* é a forma da energia mecânica associada ao movimento. Um corpo em movimento, ou seja, dotado de velocidade, como o êmbolo de um motor de combustão, por exemplo, possui energia cinética;

- *energia potencial* é a forma da energia mecânica associada à posição em que um corpo se encontra. A energia existente em um peso preso a uma mola deformada é um exemplo de um corpo com energia potencial (potencial elástica), assim como um corpo à determinada altura do solo (potencial gravitacional);
- *energia térmica* surge devido ao movimento caótico dos átomos e moléculas de um gás ou corpo aquecido. Normalmente surge como resultado de transformações de outras formas de energia como, por exemplo, a partir de uma reação química;
- *energia eletromagnética*, forma de energia associada às ondas eletromagnéticas. O principal exemplo de energia eletromagnética é a forma como parte da energia proveniente do Sol atinge a Terra; a partir desta derivam diversas outras formas de energia, entre as quais, a energia química dos combustíveis;
- *energia nuclear* surge devido à coesão dos prótons e nêutrons dentro dos núcleos atômicos. As reações nucleares como a fusão, que ocorre na superfície do Sol, e a fissão, usada nos reatores nucleares, podem liberar uma quantidade de energia, por unidade de massa, incomparavelmente superior à liberada em reações químicas;
- *energia elétrica*, forma de energia associada ao movimento dos elétrons. A energia elétrica talvez seja, dentre todas as formas de energia, a mais preciosa devido à facilidade com que pode ser transformada em trabalho útil e, principalmente, devido aos altos rendimentos associados à conversão. As diversas facilidades que esta forma de energia apresenta e o fato de poder ser eficientemente convertida em outras formas de energia tornaram seu uso bastante difundido em muitas das nossas atividades diárias.

## 2.2 Problematizando o tema

Apesar da multiplicidade de formas com que a energia se apresenta, acredita-se que todas elas se originam de apenas três tipos de interações fundamentais da natureza, são elas: a gravitacional, a eletromagnética e a nuclear (PEREIRA et al., 2005).

A interação gravitacional apresenta uma magnitude proporcional às massas envolvidas, não sendo significativa no mundo subatômico, mas em uma escala proporcional ao domínio do sistema solar, sem dúvida, é a força dominante. A

força gravitacional é uma importante fonte de energia diretamente utilizável como, por exemplo, a energia hidráulica e a energia das marés (PEREIRA et al., 2005).

As interações eletromagnéticas e nucleares ocorrem em níveis subatômico e subnuclear. São interações entre elétrons, entre elétrons e núcleos, e entre os próprios constituintes dos núcleos atômicos. Essas interações geram, direta ou indiretamente, a maior parte das formas de energia (PEREIRA et al., 2005).

A seguir apresentam-se os conceitos básicos de energia, com sua classificação, tipos principais de unidades utilizadas na mensuração e determinação das quantidades de energias geradas, consumidas e dissipadas nas diversas formas (calor, atrito etc.).

### **2.3 Energias: primária, secundária, final e útil**

As fontes de energia se caracterizam por apresentar uma disponibilidade natural de energia, mas que em raras situações se apresentam diretamente na forma como pode ser utilizada. Em geral, no uso da energia, são necessárias transformações ou conversões de uma forma de energia em outra (PEREIRA et al., 2005).

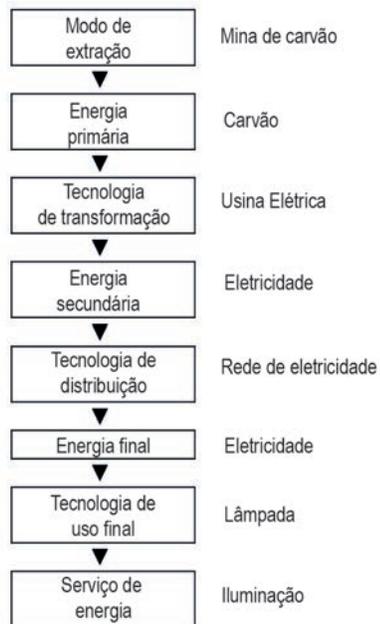
A energia, na forma direta como é provida pela natureza, é definida como *energia primária*. As principais fontes de energia primária são hidrelétricas, o petróleo, o gás natural, o carvão mineral, o minério de urânio, os resíduos (vegetais e animais), a energia eólica e a energia solar. A maioria das fontes de energia primária não é consumida diretamente, sendo transformada em outra forma de energia (PEREIRA et al., 2005).

Define-se *energia secundária* como a resultante dos diferentes centros de transformação, tendo como destino os diversos setores de consumo ou, eventualmente, outro centro de transformação.

A *energia final*, por sua vez, é definida como a energia na forma como é recebida pelo usuário nos diferentes setores, seja na forma primária, seja na forma secundária.

A energia final apenas representa a forma em que a energia é comercializada. Nos setores de consumo ainda é necessário converter a energia final para o atendimento das necessidades de iluminação, força motriz, calor de processo etc. A energia na forma em que é demandada pelos consumidores recebe o nome de energia útil (PEREIRA et al., 2005).

Saidel & Fadigas (2005 apud PEREIRA et al., 2005) exemplificam os conceitos de transformação para um processo de geração de energia elétrica a partir da queima de carvão mineral e posterior utilização final sob a forma de iluminação. A Figura 2.1 ilustra o processo.



**Figura 2.1** Exemplo de cadeia energética para o carvão mineral.

Fonte: adaptada de Saidel & Fadigas (2005 apud PEREIRA et al., 2005, p. 4).

## 2.4 Princípios básicos da conversão de energia

Em geral, nas conversões da energia, entre as diversas formas possíveis de seu estado inicial encontrado na natureza para formas mais apropriadas ao atendimento das necessidades dos consumidores, normalmente perde-se parte de seu possível aproveitamento (PEREIRA et al., 2005).

As conversões de energia são regidas pelos princípios básicos da termodinâmica. O primeiro princípio, conhecido como Princípio da Conservação da Energia ou Primeira Lei da Termodinâmica estabelece que a quantidade de energia de um sistema isolado, isto é, um sistema que não troca nem matéria nem energia com o ambiente, permanece constante (PEREIRA et al., 2005). Assim, em um sistema isolado a quantidade de energia total permanece inalterada, embora as formas em que a energia se apresenta possam mudar. Logo, a energia não pode ser criada ou destruída, apenas convertida de uma forma para outra.

Durante uma interação de um sistema e o exterior, a quantidade de energia obtida pelo sistema é exatamente igual à quantidade de energia perdida para o exterior. Em termos de balanço energético é representado pela Equação 2.1:

$$E_{\text{entrada}} - E_{\text{saída}} = \Delta E_{\text{sistema}} \quad (\text{Eq. 2.1})$$

É interessante observar que uma importante consequência do Princípio da Conservação da Energia, segundo Radovic (2005), é que o fornecimento de calor ou a realização de trabalho modificam de forma equivalente, em termos quantitativos, a energia de um sistema. Assim, o Primeiro Princípio não fornece uma distinção qualitativa entre calor e trabalho, ou entre outras formas de energia (PEREIRA et al., 2005).

A Energia pode ser transferida para um sistema sob três formas:

- Calor;
- Trabalho;
- Massa.

A forma geral da Primeira Lei para um sistema fechado pode ser exemplificada pela Equação 2.2:

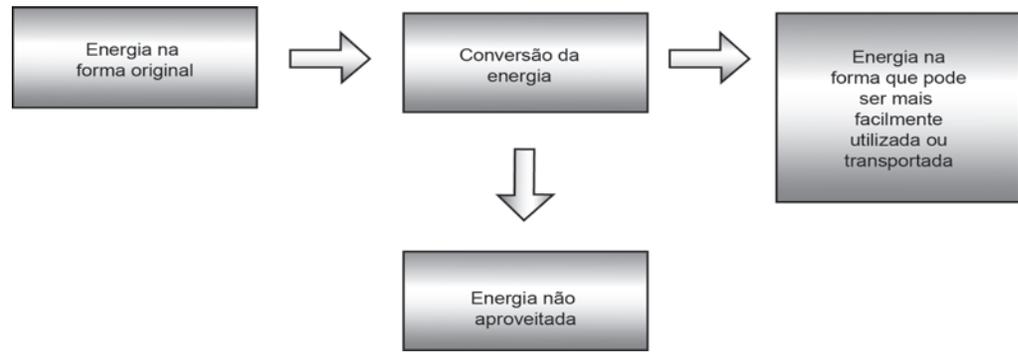
$$\Delta E = Q - W \quad (\text{Eq. 2.2})$$

onde  $\Delta E$  é a variação da energia interna,  $Q$  é o calor transferido para o sistema e  $W$  é o trabalho realizado pelo sistema.

Já o Segundo Princípio da Termodinâmica estabelece que a energia vá perdendo a sua “qualidade” ao longo da cadeia energética, sendo esta “qualidade” explicitada pela capacidade de realizar trabalho. Desta forma, a quantidade total da energia em um sistema isolado permanece sempre constante, de acordo com o Primeiro Princípio, entretanto, a quantidade de energia disponível pode diminuir (PEREIRA et al., 2005).

## 2.5 Rendimento das conversões energéticas

A partir da Segunda Lei da Termodinâmica é possível compreender que ao longo das possíveis conversões da energia, objetivando tanto o transporte quanto a utilização pelos usuários finais, parte da energia inicialmente disponível pode não ser mais aproveitada. A Figura 2.2 ilustra o processo (PEREIRA et al., 2005).



**Figura 2.2** Processo esquemático de conversão da energia.

Fonte: adaptada de Pereira et al. (2005).

O conceito de rendimento energético busca mensurar o quanto da energia ainda pode ser aproveitada após um processo de conversão e qual a parcela que se transforma em outra forma com menor possibilidade de utilização como, por exemplo, calor. Quanto maior o rendimento da conversão, menores as perdas existentes, sendo essas perdas entendidas como a impossibilidade de utilização de uma parcela da energia inicial na entrada do processo de conversão, conforme apresentado na Equação 2.3 (PEREIRA et al., 2005):

$$\text{Rendimento} = \frac{\text{Energia na forma mais utilizada ou transportada}}{\text{Energia na forma original}} \quad (\text{Eq. 2.3})$$

O rendimento de um processo de conversão de energia sempre será inferior ou, no máximo, igual a 1. Quanto menos eficiente for o processo de conversão, menor será o rendimento e, conseqüentemente, menor será a parcela da energia que poderá ser aproveitada.

O conceito de “uso eficiente da energia” engloba uma série de práticas e conhecimentos que visam minimizar as perdas na conversão e no uso da energia. Implica na busca dos mesmos padrões de conforto, da mesma quantidade de bens produzidos e da mesma qualidade nos serviços prestados, mas com um menor consumo de energia, via redução das perdas e dos desperdícios (PEREIRA et al., 2005).

## 2.6 Unidades de energia

A seguir, algumas unidades de energia:

- *British Thermal Unit (Btu)*: unidade de energia. Quantidade de energia necessária para elevar a temperatura de uma libra (unidade inglesa de massa) de água em um grau Fahrenheit (1 °F) sob pressão atmosférica normal.

- *Caloria (cal)*: unidade de energia. Quantidade de energia necessária para elevar a temperatura de um grama de água em 1 °C, de 14,5 °C a 15,5 °C, sob pressão atmosférica normal.
- *Joule (J)*: unidade de trabalho, energia e quantidade de calor. O joule é o trabalho produzido por uma força de 1 newton que leva o ponto de aplicação dessa força a deslocar-se por uma distância de 1 metro na direção da força.
- *Tonelada equivalente de petróleo (tep)*: unidade de energia. A tep é utilizada na comparação do poder calorífero de diferentes formas de energia com o petróleo. Uma tep corresponde à energia que se pode obter a partir de uma tonelada de petróleo padrão.
- *Watt (W)*: unidade de potência. O watt é a potência de um sistema energético no qual é transferida, contínua e uniformemente, a energia de 1 joule por segundo.
- *Watt-hora (Wh)*: unidade de energia. Energia transferida uniformemente por um sistema de potência igual a 1 watt durante uma hora.

As tabelas 2.1 e 2.2 apresentam múltiplos das unidades de energia mais usuais e respectivos fatores de conversão.

**Tabela 2.1** Múltiplos das unidades de energia.

| Múltiplos de unidades de energia       |               |               |               |                  |                  |                  |
|--|---------------|---------------|---------------|------------------|------------------|------------------|
|  | $\times 10^3$ | $\times 10^6$ | $\times 10^9$ | $\times 10^{12}$ | $\times 10^{15}$ | $\times 10^{18}$ |
| Joule                                  | KJ            | MJ            | GJ            | TJ               | PJ               | EJ               |
| British Thermal Unit (Btu)             | KBtu          | MBtu          | GBtu          | TBtu             | PBtu             | EBtu             |
| Caloria (cal)                          | Kcal          | Mcal          | Gcal          | Tcal             | Pcal             | Ecal             |
| Tonelada equivalente de petróleo (tep) | Ktep          | Mtep          | Gtep          | Ttep             | Ptep             | Etep             |
| Watt-hora (Wh)                         | KWh           | MWh           | GWh           | TWh              | PWh              | EWh              |

Fonte: adaptada de Agência Nacional de Energia Elétrica (2008).

**Tabela 2.2** Fatores de conversão entre unidades de energia.

| Fatores de conversão para energia      |                       |                         |                       |                         |                         |
|--|-----------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|
| de »» para                             | Multiplicar por:      |                         |                       |                         |                         |
|  | J                     | Btu                     | cal                   | KWh                     | tep                     |
| Joule (J)                              | 1,0                   | 947,8x10 <sup>6</sup>   | 0,23884               | 277,7x10 <sup>-9</sup>  | 2,388x10 <sup>-11</sup> |
| British Thermal Unit (Btu)             | 1,055x10 <sup>3</sup> | 1,0                     | 252,0                 | 293,07x10 <sup>-6</sup> | 2,52x10 <sup>-8</sup>   |
| Caloria (cal)                          | 4,1868                | 3,968x 10 <sup>-3</sup> | 1,0                   | 1,163x10 <sup>-6</sup>  | 10 <sup>-10</sup>       |
| Quilowatt-hora (KWh)                   | 3,6x10 <sup>6</sup>   | 3.412,0                 | 860,0x10 <sup>3</sup> | 1,0                     | 8,6x10 <sup>-5</sup>    |
| Tonelada equivalente de petróleo (tep) | 41,87x10 <sup>9</sup> | 39,68x10 <sup>6</sup>   | 10,0x10 <sup>9</sup>  | 11,63x10 <sup>3</sup>   | 1,0                     |

\*Exemplo de utilização: 1 J=277,7 x 10<sup>-9</sup> KWh.

Fonte: adaptada de Agência Nacional de Energia Elétrica (2008).

Para quantificar e poder comparar as diversas formas de energia, define-se que a energia que é cedida ou recebida por um sistema, em cada unidade de tempo, denomina-se potência. A potência é expressa pela Equação 2.4:

$$\text{Potência} = \frac{\text{Energia}}{\text{Tempo}} \quad (\text{Eq. 2.4})$$

sendo:

P expresso em Watt [W];

E expresso em Joule [J];

T expresso em segundos [s].

Tendo-se como exemplo a energia elétrica, onde se utiliza a unidade de quilowatt-hora (kWh), pode-se quantificar a energia consumida por um sistema por meio da Equação 2.5:

$$E = P \times t \quad (\text{Eq. 2.5})$$

onde:

E é a energia em kWh;

P representa a potência em Watts (W); e

t é o tempo em horas (h).

Assim, um quilowatt-hora representa que foram consumidos 3.600.000 Joules (1 kWh = 1000 W x 3.600 s = 3.600.00).

## 2.7 Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Aneel). *Atlas de energia elétrica do Brasil*. 3. ed. Brasília: 2008. 236 p.

PEREIRA, A.; MARRECO, J.; ALMEIDA, M.; CORREA NETO, V. *Aspectos fundamentais de planejamento energético*. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética (EPE), 2005. 32 p.



# **UNIDADE 3**

Tipos e fontes de energia



### 3.1 Primeiras palavras

Algumas formas de energia podem ser repostas em períodos relativamente curtos ou seu uso pelo homem não implica necessariamente na sua exaustão. O álcool proveniente da cana-de-açúcar, por exemplo, pode ser obtido continuamente em sucessivas safras, desde que haja uma utilização racional do solo, não provocando uma degradação do mesmo.

A geração hidráulica também pode ser considerada uma forma renovável de energia, pois seu uso não implica na exaustão da água ou qualquer outro recurso. Outros exemplos de formas de energias que podem ser consideradas renováveis são as energias obtidas a partir de células fotovoltaicas (energia solar), a energia eólica, a energia das marés ou mesmo a energia obtida a partir de óleos vegetais. Estes últimos exemplos podem ser utilizados como combustíveis em motores especiais ou adicionados ao óleo diesel e utilizados em veículos movidos a biodiesel.

Estas formas de energia podem ser classificadas como renováveis, pois suas fontes estão ou podem ser constantemente renovadas, respeitando-se o seu ciclo natural de recomposição da natureza. Portanto, são fontes de energia que devem compor a matriz energética do país em busca de um equilíbrio sustentável dos recursos energéticos.

Por outro lado, no caso de algumas formas de energia, suas reposições naturais podem levar períodos de tempo muito elevados e suas reposições artificiais são impraticáveis (JANUZZI & SWISHER, 1997).

### 3.2 Problematizando o tema

Combustíveis fósseis, tais como o petróleo, o gás natural e o carvão mineral, por exemplo, são produzidos na natureza sob condições bastante específicas, em processos naturais que levam milhares de anos. A utilização destes energéticos, dados os ritmos atuais de consumo, em algum momento implicará na exaustão dos mesmos ou na impossibilidade econômica de seu uso, dado o aumento de preço resultante da sua escassez.

Assim, essas fontes de energia que são as “tradicional”, podem ser classificadas como não renováveis, visto que seu uso esgota a fonte provedora. Isto exige que os equipamentos tenham melhor desempenho (menor consumo com mais eficiência) de modo que se estenda a vida útil das reservas. Porém, deve-se ter a consciência de que o recurso é finito exigindo-se que haja uma mudança nos meios tecnológicos para que outra fonte de energia (alternativa) seja a substituta quando o recurso se exaurir.

### 3.3 Classificação dos tipos de fonte de energia

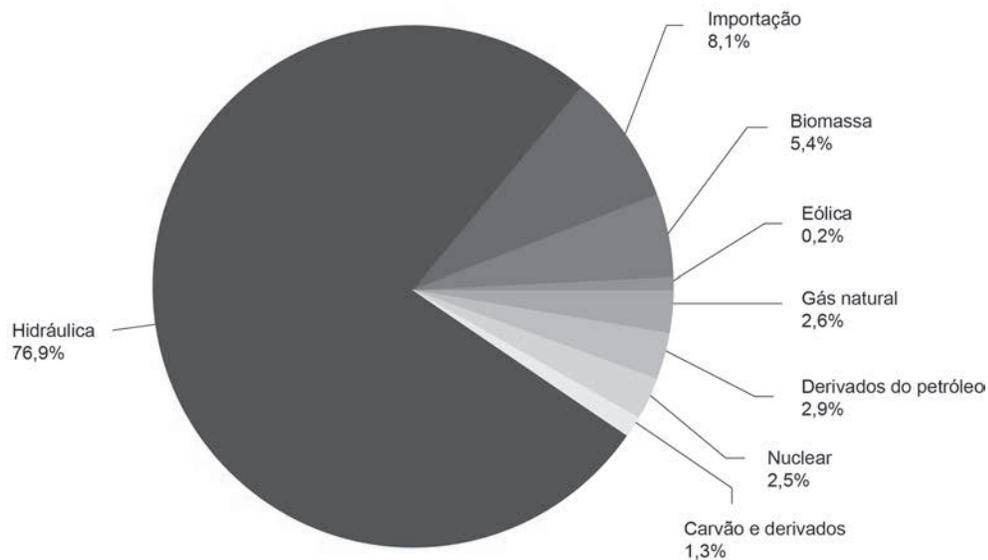
Para efeito de apresentação desses tipos de fontes de energia adotou-se a mesma forma de divisão empregada pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) no Atlas de Energia Elétrica do Brasil (ANEEL, 2008) e pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) no Balanço Energético Nacional (EPE, 2010) apresentada no Quadro 3.1.

**Quadro 3.1** Classificação dos tipos de energia.

| Tipo          | Fonte                |
|---------------|----------------------|
| Não renovável | Petróleo             |
|               | Gás Natural          |
|               | Carvão (vapor)       |
|               | Carvão (metalúrgico) |
|               | Urânio ( $U_3O_8$ )  |
| Renovável     | Hidráulica           |
|               | Biomassa             |
|               | Eólica               |
|               | Solar                |
|               | Maremotriz           |
|               | Geotérmica           |

Fonte: adaptado de Empresa de Pesquisa Energética (2010).

Ressalta-se que as fontes apontadas no Quadro 3.1, em sua grande maioria (primárias) são destinadas à geração de eletricidade (secundária), pois é a forma de energia mais consumida nas atividades industriais, comerciais, urbanas e domésticas no país, como apresentado na Figura 3.1.



**Figura 3.1** Participação das fontes primárias na geração de eletricidade (secundária).

Fonte: adaptada de Empresa de Pesquisa Energética (2010).

A energia elétrica é a forma de energia predominante nas conversões de energia no país. Assim, em face desta característica, são apresentadas a seguir, as formas de obtenção da energia elétrica (secundária) por meio das conversões (primárias) de fontes renováveis e não renováveis.

### 3.4 Fontes renováveis

#### 3.4.1 Hidráulica

No ciclo da água na natureza, a precipitação sobre as montanhas cria escoamentos convergentes nos vales, os rios. Nesses escoamentos existe um grande potencial energético: energia hidrelétrica.

Esta energia pode ser transformada em eletricidade e estima-se, segundo Energias Renováveis (2012a), que o potencial de conversão seja cerca de 40.000 TWh/ano (cerca de 15 vezes a produção hidrelétrica mundial). Tendo em vista a viabilidade deste recurso, estima-se que o potencial gira em torno de 16.000 TWh/ano. O Quadro 3.2 apresenta a distribuição mundial do potencial e da produção de energia hidrelétrica.

**Quadro 3.2** Distribuição do potencial mundial e produção de energia hidrelétrica.

| Região                     | Potencial teórico hidrelétrico (TWh/ano) | Potencial Técnico (TWh/ano) | Potencial Economicamente Viável (TWh/ano) | Capacidade instalada (MW) | Produção em 2008 (GWh) |
|----------------------------|--|-----------------------------|---|---------------------------|------------------------|
| África                     | >2.385                                   | >1.161                      | >773                                      | 22.304                    | 102.107                |
| Ásia                       | >16.990                                  | 5.785                       | 3.553                                     | 299.182                   | 1.107.055              |
| Austrália/Oceania          | 654                                      | 185                         | 88,7                                      | 13.626                    | 41.886                 |
| Europa                     | 5.380                                    | 2.885                       | 1.772                                     | 246.491                   | 771.408                |
| América do Norte e Central | >7.417                                   | 1.979                       | 1.024                                     | 167.105                   | 688.873                |
| América do Sul             | >5.778                                   | 2.606                       | 1.558                                     | >138.644                  | 641.216                |
| <b>Total</b>               | <b>&gt;38.606</b>                        | <b>&gt;14.604</b>           | <b>&gt;8.771</b>                          | <b>&gt;887.352</b>        | <b>3.352.546</b>       |

Fonte: adaptado de WEC (2009 apud ENERGIAS RENOVÁVEIS, 2012a).

A energia disponível resulta da transformação da energia potencial de uma massa de água em energia cinética, deslocando-se de uma cota superior para uma inferior. Isto pode ser traduzido pela Equação 3.1.

$$P = \eta \cdot \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \quad (\text{Eq. 3.1})$$

em que:

P = potência mecânica produzida no veio da turbina [Watts];

$\eta$  = eficiência hidráulica da turbina;

$\rho$  = densidade da água [kg/m<sup>3</sup>];

g = aceleração da gravidade [m/s<sup>2</sup>];

Q = vazão de água que passa pela turbina [m<sup>3</sup>/s];

H = diferença de cotas, tendo em conta o atrito nos condutores (tubos e túneis com cerca de 20% de perdas) ou altura de queda disponível.

Para a conversão em energia elétrica, o processo hidrelétrico consiste na conversão da energia cinética da água em energia cinética de rotação da turbina hidráulica. E esta energia mecânica da turbina, finalmente em energia elétrica, pois nos rotores das turbinas existem as bobinas que induzem a corrente elétrica por meio da variação do campo magnético. A cada processo estará associado um rendimento na ordem de 80% a 90%, dependendo da tecnologia utilizada.

Os aproveitamentos hidrelétricos são classificados com base na sua potência instalada, conforme apresentado no Quadro 3.3.

**Quadro 3.3** Aproveitamento do potencial hidrelétrico.

| Classificação          | Potência       |
|------------------------|----------------|
| Grandes hidrelétricas  | >10 MW         |
| Pequenas hidrelétricas | 500 kW a 10 MW |
| Mini-hidrelétricas     | 100 kW a 50 KW |
| Micro-hidrelétricas    | <100 kW        |

Fonte: adaptado de Energias Renováveis (2012a).

No que diz respeito à altura de queda (H), o Quadro 3.4 apresenta a classificação adotada.

**Quadro 3.4** Classificação da altura de queda.

| Classificação | H [m]    |
|---------------|----------|
| Queda baixa   | 2 - 20   |
| Queda média   | 20 - 150 |
| Queda alta    | >150     |

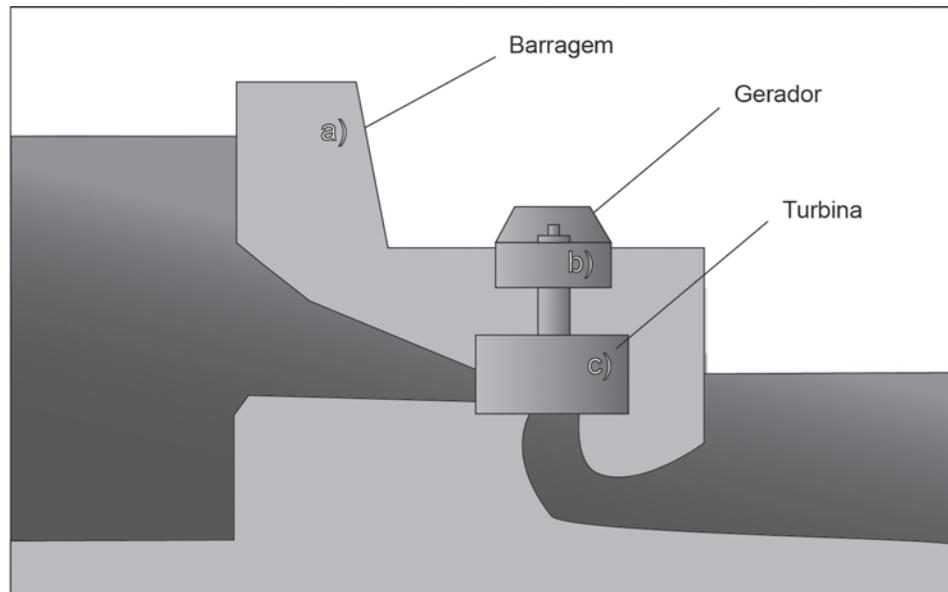
Fonte: adaptado de Energias Renováveis (2012a).

A maior parte das hidrelétricas utiliza barragens num curso d'água (rio) para armazenar água em um reservatório. Este armazenamento é feito em forma de energia potencial, que é transformada em energia cinética quando a água é liberada do reservatório, fluindo através da turbina para a produção de energia elétrica.

Nem sempre é necessária a utilização de grandes barragens para a geração hidrelétrica. Diversos aproveitamentos utilizam tubos que canalizam a água do rio por meio da turbina, o que acontece normalmente em pequenas aplicações (Pequenas Centrais Hidrelétricas).

A disponibilidade anual da hidroeletricidade depende da quantidade de água disponível, sendo fatores determinantes: a pluviosidade, o regime de funcionamento da central hidrelétrica (com ou sem armazenamento) e a bacia hidrográfica, entre outros.

Os principais componentes de uma central hidrelétrica são: (a) a barragem, (b) o gerador e (c) a turbina, conforme ilustrado na Figura 3.2.



**Figura 3.2** Componentes básicos de uma central hidrelétrica.

Fonte: adaptada de Energias Renováveis (2012a).

A seguir, estão descritos com mais detalhes os principais componentes que formam uma central hidrelétrica.

### **Barragem**

É uma estrutura maciça ou oca normalmente de concreto ou com enchimento de terra ou enrocamento, que represa a água. O topo da barragem designada como crista, pode suportar uma via de acesso para pedestre ou para veículos (ENERGIAS RENOVAVEIS, 2012a).

A barragem possui uma fundação no fundo do rio e apoios na margem para resistir aos esforços horizontais. Normalmente, existe um descarregador na crista ou na estrutura da barragem. As principais barragens são classificadas em:

- De gravidade:

Construídas em betão ou terra/enrocamento que resiste pelo próprio peso à pressão da água e transmite os esforços à fundação. A utilização de contrafortes a jusante permite ancorar o paredão da barragem. A Figura 3.3 apresenta uma ilustração deste tipo de barragem.

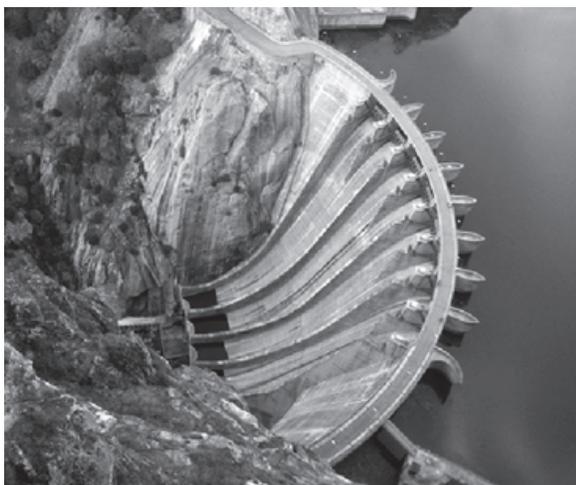


**Figura 3.3** Barragem de gravidade.

Fonte: adaptada de Estilos de vida (2012).

- De arco ou abobadada (simples ou dupla curvatura):

Construídas em concreto, sendo que a sua forma em curva faz com que as pressões sejam transferidas para as ombreiras. A barragem em arco é construída em vales estreitos, o que resulta em uma altura maior do que a sua largura. A Figura 3.4 ilustra este tipo de barragem.



**Figura 3.4** Imagem de uma barragem em arco.

Fonte: adaptada de Delgado (2010).

### **Gerador**

Para a conversão da energia mecânica gerada na turbina em energia elétrica são utilizados geradores que possuem uma série de ímãs no interior, que giram entre enrolamentos de cobre (bobinas) produzindo energia elétrica. A maior parte dos geradores é trifásica de corrente alternada.

## Turbina

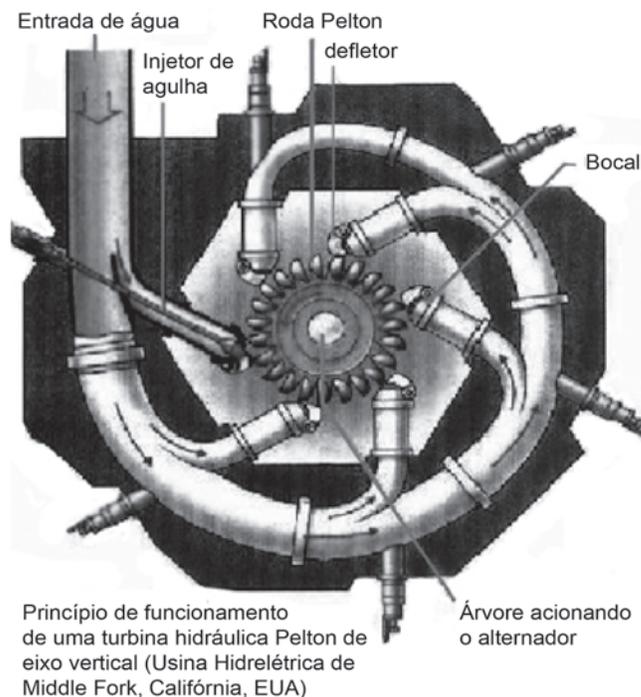
A turbina hidráulica é o principal componente de uma central hidrelétrica, pois converte a energia da queda de água em energia mecânica. A seleção da turbina depende essencialmente de três fatores: a altura da queda, a vazão e a velocidade de rotação.

As turbinas podem ser classificadas de acordo com o seu princípio de operação: turbinas de ação e turbinas de reação.

- Turbinas de ação:

Estes tipos de turbinas funcionam à pressão atmosférica, sendo que as mesmas são impulsionadas por jatos de água que atingem as pás da turbina. A seguir, estão descritos alguns tipos de turbinas de ação.

- *Pelton* – consiste em um círculo (roda) com uma série de conchas ao longo da sua borda, conforme ilustra a Figura 3.5. Um ou mais jatos de alta velocidade são direcionados tangencialmente contra a roda. O jato atinge a concha dividindo-se em dois, movimentando a roda. A água que não atinge as conchas acaba por cair num canal de descarga.



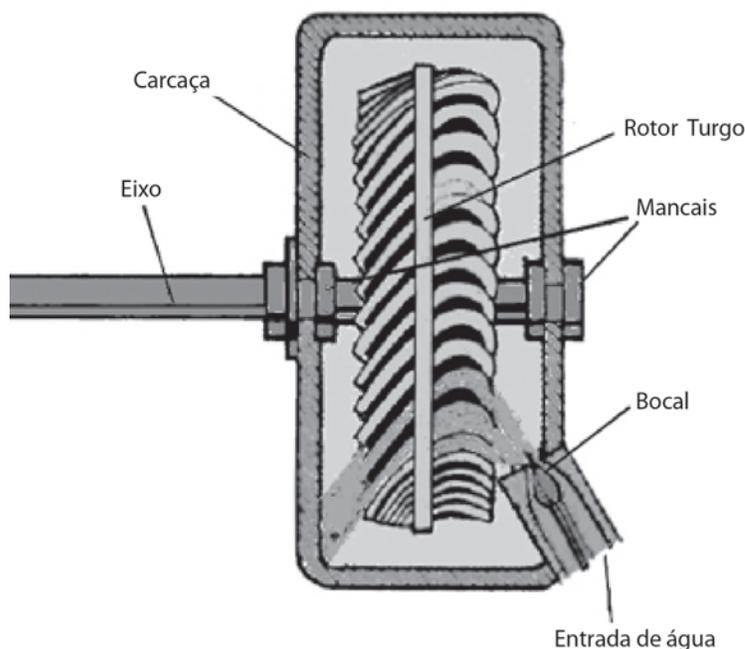
**Figura 3.5** Turbina tipo Pelton.

Fonte: adaptada de Centro de Ensino e Pesquisa Aplicada (2012a).

Esse tipo de turbina é adequado para locais com altas quedas e pequena vazão, e apresenta bons rendimentos onde há grande variação

de carga (H), podendo ser operadas entre 10% a 100% de sua potência máxima (Energias Renováveis, 2012a).

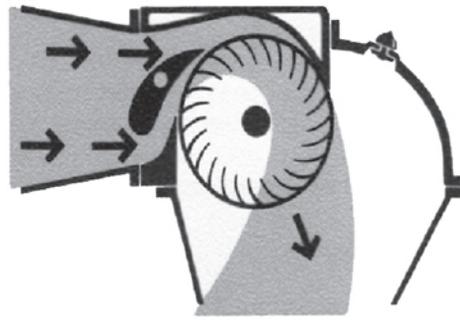
- *Turgo* – é semelhante à turbina Pelton, no entanto, o jato atinge a roda com um ângulo de  $20^\circ$ , em vez de tangencial. Desta forma, a água entra por um lado da roda e sai pelo outro, e o fluxo de vazão é independente da descarga do fluido, originando turbinas com menor diâmetro para a mesma potência em comparação com as turbinas Pelton. A Figura 3.6 ilustra este tipo de turbina (Energias Renováveis, 2012a).



**Figura 3.6** Turbina tipo Turgo.

Fonte: adaptada de Agência Jr. De Comunicação Mackenzie (2012).

- *Crossflow (Banki)* – este tipo de turbina consiste num rotor com forma de tambor com um disco sólido em cada extremidade e pás dispostas radialmente, sendo unidas pelos discos. O jato de água entra na parte superior do rotor por meio das pás curvas emergindo na outra extremidade do rotor, passando assim duas vezes pelas pás. A Figura 3.7 ilustra este tipo de turbina. O rendimento destas turbinas é inferior aos das demais, mas se mantém num valor elevado ao longo de uma extensa gama de vazões. O seu campo de aplicação atende quedas de 3 a 100 metros, vazões de 0,02 a 2,0 m<sup>3</sup>/s e potência de 1 a 100 kW (ENERGIAS RENOVÁVEIS, 2012a).



**Figura 3.7** Turbina tipo *Crossflow*.

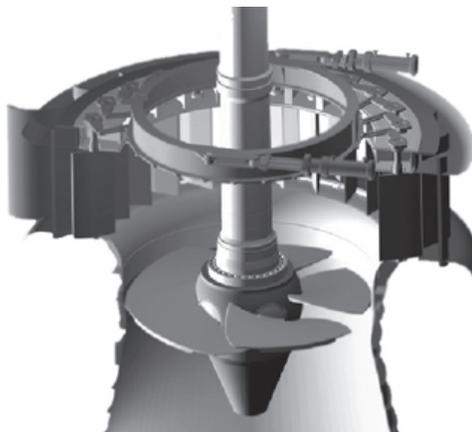
Fonte: adaptada de International Engineering & Services (2012).

Em geral, as turbinas de ação são mais flexíveis às variações de vazão, além dos valores nominais de projeto, no entanto, normalmente necessitam de diferenças de cotas superiores a 10 m e idealmente acima dos 50 m (ENERGIAS RENOVAVEIS, 2012a).

- Turbinas de reação:

Neste tipo de turbina o rotor é submerso totalmente na água e enclausurado numa câmara de pressão. As pás da turbina são perfiladas, e devido à diferença de pressão nas superfícies da pá, origina-se uma força de sustentação (como nas asas dos aviões), o que provoca a sua rotação. Devido à maior complexidade na fabricação deste tipo de turbinas, elas são habitualmente mais caras do que as turbinas de ação. A seguir, apresentam-se dois tipos de turbinas de reação.

- *Hélice (Kaplan)* – o princípio é semelhante ao da hélice de um barco, mas funciona de forma inversa. Neste tipo de turbina uma das características básicas para aumentar a sua eficiência é originar a rotação no fluido antes de entrar na turbina por meio de guias fixas ou variáveis. A Figura 3.8 ilustra este tipo de turbina.

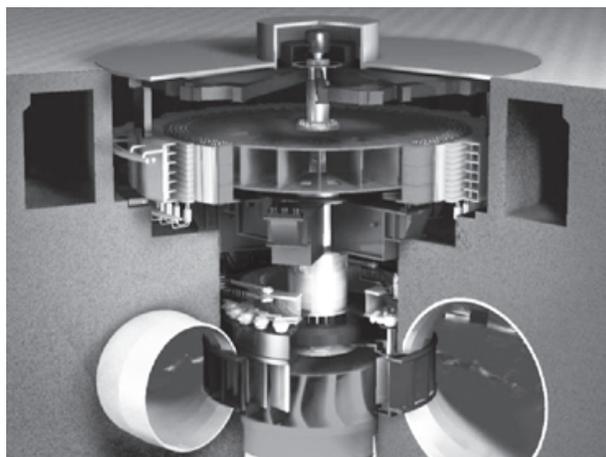


**Figura 3.8** Turbina tipo Kaplan (*Hélice*).

Fonte: adaptada de Tecnoloxia (2012).

As turbinas de hélice não são reguláveis, este tipo de turbinas permite pouca variação na vazão (apenas controlado pelo distribuidor). São usadas para grandes vazões e pequenas quedas. Existem diversas configurações, sendo a principal a Kaplan, onde as pás podem ser ajustadas para permitir aumento da eficiência para maiores faixas de vazões.

- *Francis* – este tipo de turbina é uma modificação das turbinas de reação, onde a água flui radialmente acionando o rotor que se situa axialmente. O rotor é montado normalmente em caixa em espiral com pás para orientação do fluxo de água. A Figura 3.9 ilustra este tipo de turbina.



**Figura 3.9** Turbina tipo *Francis*.

Fonte: adaptada de Vivendo eletricidade (2010).

Estes tipos de turbinas são adequadas para operação em condições intermediárias de queda e de vazão, apresentando um alto rendimento (80% a 90%). As turbinas de reação em geral, são menos flexíveis as variações de vazões, sendo que o máximo de eficiência é sempre próximo do valor de vazão de projeto, no entanto, podem operar com alturas abaixo dos 10 metros (ENERGIAS RENOVAVEIS, 2012a).

### 3.4.2 Biomassa

A biomassa é uma forma de armazenamento de energia solar. As plantas capturam energia do Sol com uma eficiência de cerca de 0,1%, transformando-a em energia química, que é armazenada na sua estrutura celular – tronco, raízes, folhas etc. (ENERGIAS RENOVAVEIS, 2012c).

Por definição, a biomassa consiste na “fração biodegradável de produtos e resíduos provenientes da agricultura (incluindo substâncias vegetais e animais),

da silvicultura e das indústrias conexas, bem como a fração biodegradável de resíduos industriais e urbanos” (ENERGIAS RENOVAVEIS, 2012c).

A fotossíntese é o processo por meio do qual as plantas e os organismos autotróficos transformam energia luminosa em energia química, processando o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) juntamente com a água ( $\text{H}_2\text{O}$ ) e minerais que, no caso das plantas, são normalmente retirados do solo por meio das raízes. Este processo produz assim compostos orgânicos (glicose e amido) e oxigênio gasoso ( $\text{O}_2$ ).

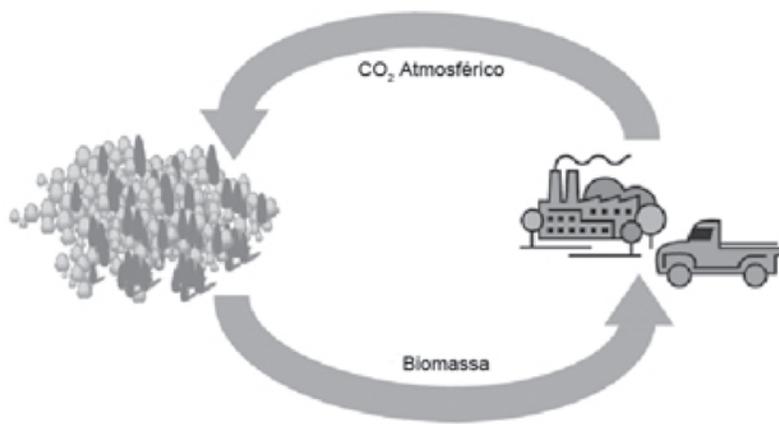
A equação química simplificada deste processo é apresentada na Equação 3.2 (ENERGIAS RENOVAVEIS, 2012c).



Do processo anterior resulta a criação de várias cadeias de carbono (hidratos de carbono). Algumas espécies de crescimento rápido, quando jovens podem alcançar eficiências de conversão da energia solar em energia química de até 2%. É importante destacar também que a fotossíntese é o único processo na Terra que fornece oxigênio aos organismos vivos.

O processo da fotossíntese permite à planta acumular energia a partir da luz para usar no seu metabolismo, formando a Adenosina-tri-fosfato (ATP), uma forma de armazenamento de energia química em organismos vivos (ENERGIAS RENOVAVEIS, 2012c).

As plantas e árvores absorvem o  $\text{CO}_2$  da atmosfera, armazenando-o na sua estrutura celular. A queima da biomassa devolve à atmosfera o  $\text{CO}_2$  armazenado. Com o crescimento de novas plantas e árvores este  $\text{CO}_2$  libertado é novamente capturado, mantendo assim o ciclo do carbono atmosférico em equilíbrio. Desde que a biomassa seja regenerada e recolhida para utilização, o ciclo pode ser mantido em equilíbrio indefinidamente. Uma gestão sustentável das florestas e pastos é imprescindível para que o ciclo do carbono não seja alterado. A Figura 3.10 apresenta o ciclo de carbono nas atividades humanas.



**Figura 3.10** Ciclo do carbono.

Fonte: adaptada de Wbcds (2012 apud ENERGIAS RENOVAVEIS, 2012c).

As fontes orgânicas, biomassa, podem produzir energias derivadas, como por exemplo:

- *Energia Calorífica* – o calor é normalmente produzido em sistemas de combustão. Em pequena escala o calor pode ser usado em uma habitação (fogões, aquecedores etc.) e em grande escala para produzir calor em centrais, por meio de redes térmicas. No que diz respeito à biomassa, cuja única função seja a produção de calor, predominam os combustíveis sólidos para os sistemas de combustão estacionários. Como resíduo ou matéria-prima, a madeira pode ser usada para a geração de calor, com baixos custos de processamento, de trituração ou secagem.
- *Energia mecânica* – a energia mecânica é produzida por meio de geradores de calor e energia, como as máquinas a vapor ou motores de combustão interna. Nestas, o combustível líquido ou gasoso é inflamado nos cilindros de um motor de combustão. A expansão da mistura combustível/ar, causada pela combustão é então convertida em energia. O calor produzido por este processo tem de ser dissipado para o ambiente por meio de um sistema de arrefecimento. Como exemplo, tem-se a utilização do biodiesel ou do etanol no setor dos transportes.
- *Energia Elétrica* – os sistemas que produzem energia mecânica, em motores de combustão ou em turbinas de combustão direta e indireta, são acoplados a geradores elétricos, que convertem a energia mecânica em energia elétrica. A utilização de energia mecânica para a produção de energia elétrica gera aproximadamente dois terços de calor, para um terço de eletricidade, o que demonstra o aumento da eficiência econômica da cogeração (produção simultânea de calor e eletricidade) em aplicações estacionárias (ENERGIAS RENOVAVEIS, 2012c).

### 3.4.3 Eólica

A energia eólica é a energia obtida pelo movimento do ar (vento). É uma fonte de energia renovável, limpa e disponível em todos os lugares.

Desde a antiguidade a força dos ventos é utilizada pelo homem. Os moinhos de vento foram inventados na Pérsia para bombear água para irrigação. Os mecanismos básicos de um moinho de vento não mudaram desde então: o vento atinge uma hélice que ao movimentar-se gira um eixo que impulsiona uma bomba.

O primeiro registro histórico da utilização da energia eólica para bombeamento de água e moagem de grãos por meio de cata-ventos é proveniente da Pérsia, por volta de 200 a.C. Esse tipo de moinho de eixo vertical veio a se espalhar pelo mundo islâmico sendo utilizado por vários séculos. Acredita-se que antes da invenção dos cata-ventos na Pérsia, a China (por volta de 2000 a.C.) e o Império Babilônico (por volta 1700 a.C) também utilizava cata-ventos rústicos para irrigação (SHEPHERD, 1994 apud CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO, 2012b).

Os ventos são gerados pela diferença de temperatura da terra e das águas, das planícies e das montanhas, das regiões equatoriais e dos polos do planeta Terra.

A quantidade de energia disponível no vento varia de acordo com as estações do ano e as horas do dia. A topografia e a rugosidade do solo também têm grande influência na distribuição de frequência de ocorrência dos ventos e de sua velocidade em um local (CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO, 2012b).

A energia eólica pode ser considerada como uma das formas em que se manifesta a energia proveniente do Sol, isto porque os ventos são causados pelo aquecimento diferenciado da atmosfera. A não uniformidade no aquecimento da atmosfera deve-se, entre outros fatores, à orientação dos raios solares e aos movimentos da Terra (CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO, 2012b).

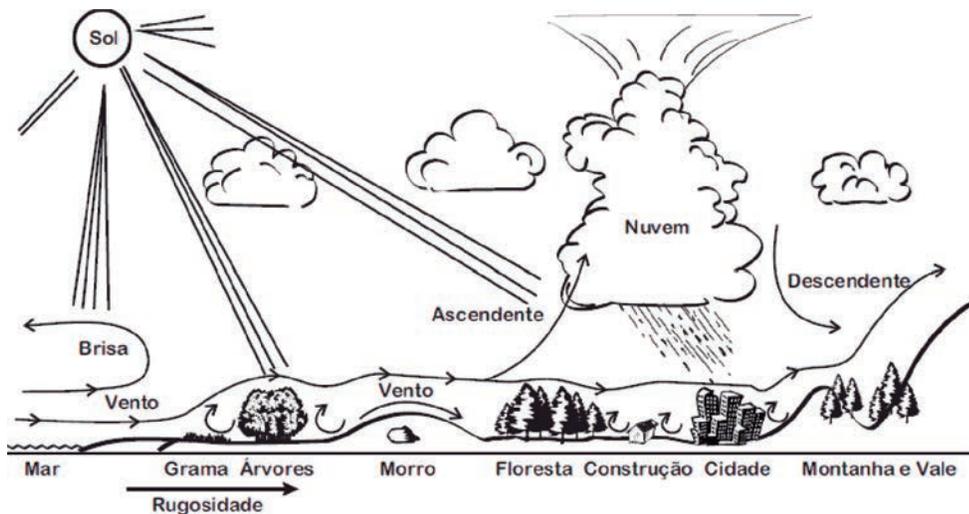
As regiões tropicais, que recebem os raios solares quase que perpendicularmente, são mais aquecidas do que as regiões polares. Consequentemente, o ar quente que se encontra nas baixas altitudes das regiões tropicais tende a subir, sendo substituído por uma massa de ar mais frio que se desloca das regiões polares. O deslocamento de massas de ar determina a formação dos ventos. A Figura 3.11 ilustra esse movimento de massa de ar (CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO, 2012b).



**Figura 3.11** Movimento da massa de ar na superfície da Terra.

Fonte: adaptada de Atlas Eólico do Brasil (1998 apud CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO, 2012b).

A movimentação da massa de ar faz com que em certos locais do globo terrestre os ventos jamais cessam, pois os mecanismos que os produzem (aquecimento nos locais próximos a linha do Equador e resfriamento nos polos) estão sempre presentes na natureza. A Figura 3.12 ilustra o movimento do ar junto à superfície terrestre.



**Figura 3.12** Comportamento do vento na superfície terrestre.

Fonte: adaptada de Atlas Eólico do Brasil (1998 apud CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO, 2012b).

Os ventos planetários ou constantes podem ser classificados em:

- Alísios: ventos que sopram dos trópicos para o Equador, em baixas altitudes;

- Contra-Alísios: ventos que sopram do Equador para os polos, em altas altitudes;
- Ventos do Oeste: ventos que sopram dos trópicos para os polos;
- Polares: ventos frios que sopram dos polos para as zonas temperadas.

A energia cinética resultante dos deslocamentos de massas de ar pode ser transformada em: energia mecânica (por meio de aeromotores) ou energia elétrica (por meio de turbinas eólicas ou aerogeradores).

A potência mecânica disponível (P) em uma turbina depende da velocidade do ar que passa através dela, o que faz com que o rendimento varie com a intensidade e a direção do vento. A potência do vento que passa perpendicularmente através de uma área circular em termos simplificados pode ser expressa pela Equação 3.3 (CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO, 2012b).

$$P = \frac{1}{2} \rho \cdot v^3 \cdot \pi \cdot r^2 \quad (\text{Eq. 3.3})$$

em que:

P = potência média do vento [Watts];

$\rho$  = densidade do ar seco (1,225 kg/m<sup>3</sup> – pressão e temperatura normais);

v = velocidade média do vento [m/s];

$\pi$  = 3,1415926535;

r = raio do rotor [metros].

Existem dois tipos de turbinas eólicas: eixo horizontal e vertical.

- **Turbina Eólica de Eixo Horizontal** (*Horizontal Axis Wind Turbines – HAWT's*) – é o tipo de turbina mais comum, de acionamento por forças sustentadoras e são aplicadas na maior parte dos parques de produção de energia elétrica. Atualmente, são constituídas com três pás, conforme ilustrado na Figura 3.13.



**Figura 3.13** Aerogerador de eixo horizontal.

Fonte: adaptada de Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito (2012b).

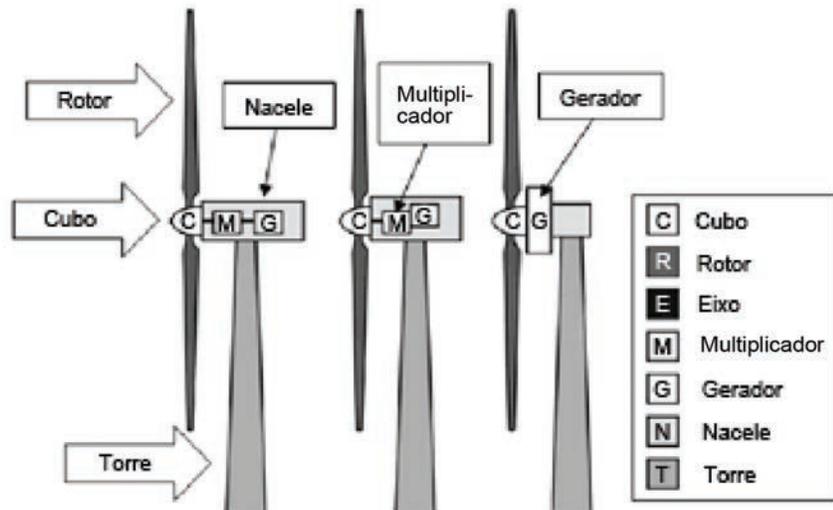
- **Turbina Eólica de Eixo vertical** (*Vertical Axis Wind Turbines – VAWT's*) - em geral, os rotores de eixo vertical têm a vantagem de não necessitarem de mecanismos de acompanhamento para variações da direção do vento, o que reduz a complexidade do projeto e os esforços devido às Forças de Coriolis. Os principais tipos de rotores de eixo vertical são Darrieus, Savonius e turbinas com torre de vórtices. Os rotores do tipo Darrieus são movidos por forças de sustentação e constituem-se de lâminas curvas (duas ou três) de perfil aerodinâmico, atadas pelas duas pontas ao eixo vertical (CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO, 2012b). A Figura 3.14 ilustra esse tipo de turbina.



**Figura 3.14** Aerogerador de eixo vertical.

Fonte: Sandia (2006 apud CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO, 2012b).

As principais configurações de um aerogerador de eixo horizontal podem ser vistas na Figura 3.15. Geralmente, os aerogeradores são diferenciados pelo tamanho e formato da nacele (onde se localiza os mecanismos da turbina), pela presença ou não de uma caixa multiplicadora e pelo tipo de gerador utilizado (convencional ou multipolos).



**Figura 3.15** Componentes de um aerogerador de eixo horizontal.

Fonte: adaptada de Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito (2012b).

A seguir, são apresentados os principais componentes do aerogerador que são de forma geral, a torre, a nacele e o rotor (pás).

- **Nacele:** é a carcaça montada sobre a torre, onde se situam o gerador, a caixa de engrenagens (quando utilizada), todo o sistema de controle, medição do vento e motores para rotação do sistema visando o melhor posicionamento em relação ao vento. A Figura 3.16 ilustra uma nacele com seus componentes internos.



**Figura 3.16** Vista interior da Nacela com seus componentes internos.

Fonte: adaptada de Enercon (2006 apud CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO, 2012b).

Na Figura 3.16 cada componente indicado significa:

1. Apoio principal da nacela;
2. Motores de orientação da nacela;
3. Gerador em anel (multipolos);
4. Fixador das pás ao eixo;
5. Cubo do rotor;
6. Pás;
7. Sensores de direção e velocidade do vento.

- **Rotor** (Pás, cubo e eixo): as pás são perfis aerodinâmicos responsáveis pela interação com o vento, convertendo parte de sua energia cinética em trabalho mecânico.

Inicialmente fabricadas em alumínio, atualmente são fabricadas em fibras de vidro reforçadas com epóxi. As pás são fixadas por meio de flanges em uma estrutura metálica a frente do aerogerador denominada cubo. Essa estrutura é construída em aço ou liga de alta resistência. O eixo é o responsável pelo acoplamento do cubo ao gerador, fazendo a transferência da energia mecânica da turbina. O mesmo é construído em aço ou liga metálica de alta resistência (CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO, 2012b).

- **Torres:** são necessárias para sustentar e posicionar o rotor a uma altura conveniente para o seu funcionamento. É um item estrutural de grande porte e de elevada contribuição no custo do sistema. Inicialmente, as turbinas utilizavam torres de metal treliçado. Com o uso de geradores com potências cada vez maiores, as naceles passaram a sustentar um peso muito elevado tanto do gerador quanto das pás. Desta forma, para dar maior mobilidade e segurança para sustentar toda a nacele em alturas cada vez maiores, tem-se utilizado torres de metal tubular ou de concreto que podem ser sustentadas ou não por cabos tensores (CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO, 2012b).

O sistema eólico de geração de eletricidade pode ser utilizado em três aplicações distintas: sistemas isolados, sistemas híbridos e sistemas interligados à rede. Além disso, os sistemas distinguem-se pela capacidade de potência gerada, conforme indicado no Quadro 3.5.

**Quadro 3.5** Sistemas eólicos e suas principais aplicações.

| Tamanho       | Potência  | Principais aplicações                            |
|---------------|---|--|
| Pequeno       | até 10 kW   | Residências;<br>Fazendas;<br>Aplicações remotas. |
| Intermediário | de 10 - 250 kW                                    | Geração distribuída;<br>Sistemas híbridos.       |
| Grande        | de 250 kW - 2 MW ou mais<br>(dependendo do local) | Fazendas eólicas;<br>Geração distribuída.        |

Fonte: adaptado de Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito (2012b).

No que se refere às aplicações dos sistemas, a seguir, apresenta-se uma descrição sucinta de cada um, inclusive a do sistema *off-shore*, que é uma nova modalidade de aplicação dos parques eólicos (CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO, 2012b).

- **Sistemas Isolados:** em geral, utilizam alguma forma de armazenamento de energia. Este armazenamento pode ser feito por meio de baterias, com o objetivo de utilizar aparelhos elétricos, ou na forma de energia gravitacional, com a finalidade de armazenar a água bombeada em reservatórios para posterior utilização. Alguns sistemas isolados não necessitam de armazenamento, como no caso dos sistemas para irrigação onde toda a água bombeada é diretamente consumida.
- **Sistemas Híbridos:** são aqueles que, desconectados da rede convencional, apresentam várias fontes de geração de energia, como por

exemplo: turbinas eólicas, geração diesel, módulos fotovoltaicos, entre outras. A utilização de várias formas de geração de energia elétrica aumenta a complexidade do sistema e exige a otimização do uso de cada uma das fontes. Nesses casos, é necessário realizar um controle de todas as fontes para que haja máxima eficiência na entrega da energia para o usuário.

- **Sistemas Interligados à Rede:** utilizam um grande número de aerogeradores e não necessitam de sistemas de armazenamento de energia, pois toda a geração é entregue diretamente à rede elétrica. O total de potência instalada no mundo de sistemas eólicos interligados à rede soma aproximadamente 120 GW (WWEA, 2009).
- **Sistemas Off-Shore:** representam a nova fronteira da utilização da energia eólica. Embora representem instalações de maior custo de transporte, instalação e manutenção, as instalações *off-shore* têm crescido a cada ano principalmente com o esgotamento de áreas de grande potencial eólico em terra.

### 3.4.4 Solar

O sol é uma fonte de energia renovável, o aproveitamento desta energia tanto como fonte de calor quanto de luz, é uma das alternativas energéticas mais promissoras para enfrentar os desafios do século XXI.

A energia solar é abundante e permanente, renovável, não polui e nem prejudica o ecossistema. A energia solar é uma solução para áreas afastadas e ainda não eletrificadas, especialmente em países com grandes dimensões, como o Brasil.

A energia solar resulta de fenômenos que ocorrem no centro do Sol, onde os núcleos de átomos de hidrogênio se fundem originando núcleos de hélio. Nesta fusão a superfície solar atinge uma temperatura de cerca de 6.000 K, e a energia resultante desta reação é radiada para o espaço. Parte desta energia atinge a atmosfera terrestre com uma intensidade de cerca de 1.373 W/m<sup>2</sup> (ENERGIAS RENOVAVEIS, 2012b).

Uma vez que parte da energia inicial é refletida ou absorvida pela atmosfera, num dia de céu claro é possível medir junto à superfície terrestre num plano perpendicular, cerca de 1.000 W/m<sup>2</sup>. Esta radiação incidente na superfície terrestre divide-se em três componentes (ENERGIAS RENOVAVEIS, 2012b):

- Direta: a que vem “diretamente” desde o Sol;
- Difusa: a proveniente de todo o céu, das nuvens, gotas de água etc.;
- Refletida: proveniente da reflexão no chão e dos objetos circundantes.

A soma das três componentes é denominada como radiação global.

O aproveitamento da radiação solar é feito de duas maneiras: fototérmica e fotovoltaica.

- **Energia Fototérmica**

A energia fototérmica está diretamente associada à quantidade de energia que um determinado corpo é capaz de absorver, sob a forma de calor, a partir da radiação solar incidente no mesmo.

Para o aproveitamento da energia solar, o princípio básico é que qualquer objeto exposto à incidência da radiação solar aquece, ou seja, recebe uma quantidade de energia “Q”, devido à radiação incidente. Simultaneamente, ocorrem perdas por condução, convecção e também por radiação do calor no objeto.

Em um determinado momento as perdas térmicas ( $Q_p$ ) se igualam aos ganhos devido ao fluxo energético incidente, atingindo-se a temperatura de equilíbrio ( $t_c$ ). Assim, no equilíbrio tem-se (Equação 3.4):

$$Q = Q_p \quad (\text{Eq. 3.4})$$

Ao se extrair continuamente uma parte do calor produzido (Q) mudam-se as condições de equilíbrio, conforme Equação 3.5.

$$Q = Q_p + Q_u \quad (\text{Eq. 3.5})$$

em que:

$Q_u$  = energia extraída do corpo ou energia útil devido à variação de  $t_c$ .

A utilização dessa forma de energia implica na captação e armazenamento. Os coletores solares são equipamentos que têm como objetivo específico utilizar a energia solar fototérmica.

Os coletores solares são aquecedores de fluidos (líquidos ou gasosos) e são classificados em coletores concentradores e coletores planos em função da existência ou não de dispositivos de concentração da radiação solar. O fluido

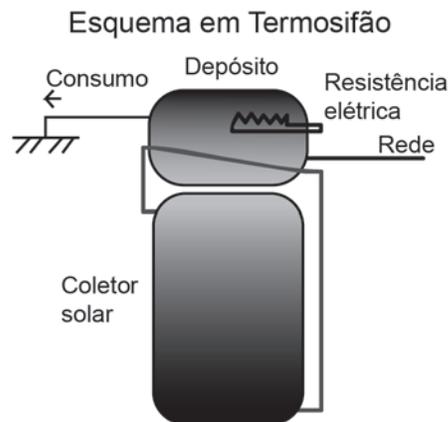
aquecido é mantido em reservatórios termicamente isolados até o seu uso final (água aquecida para banho, ar quente para secagem de grãos, gases para acionamento de turbinas etc.) (CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO, 2012a).

Os coletores solares planos são utilizados para aquecimento de água em residências, hospitais, hotéis etc.

O sistema solar para aquecimento de água constitui-se de coletores, reservatórios e acessórios e funcionam, basicamente por: termosifão ou circulação forçada.

No caso de funcionamento por termosifão, um fluido submetido a temperaturas diferentes, apresenta também, densidades diferentes, no caso da água, quanto maior é a temperatura menor a sua densidade. Por isso, quando se aquece um fluido, em um recipiente, ocorre a estratificação, ficando a parte mais quente do fluido na zona superior do recipiente, por variar a densidade. A parte mais densa (menos quente) fica no fundo (SANTOS, 2010).

No sistema de termosifão a água aquecida pelo Sol no coletor sobe «empurrando» a água mais fria do depósito, forçando-a a tomar o seu lugar, para subir novamente quando, por sua vez, for aquecida. A Figura 3.17 apresenta o esquema em termosifão e ilustra o fenômeno descrito.



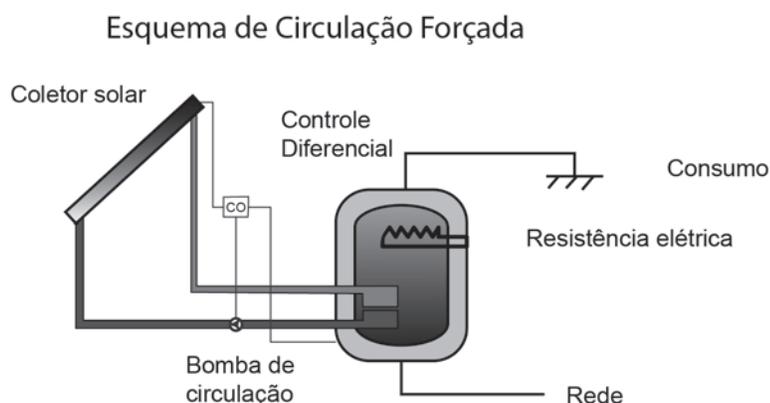
**Figura 3.17** Coletor solar plano em esquema termosifão.

Fonte: adaptada de Santos (2010).

No esquema de circulação forçada, que normalmente é necessário nas situações em que não é viável a colocação do reservatório acima dos coletores, bem como para os grandes sistemas de aquecimento de água, em geral, é necessário usar bombas de circulação para movimentar o fluido térmico. A bomba é comandada por um sistema de controle automático (comando diferencial).

O sistema de controle (comando diferencial) está regulado de modo a pôr a bomba em funcionamento logo que a diferença de temperatura ( $T_{\text{saída}} - T_{\text{R.térmico}}$ ) da água nos coletores e no reservatório térmico, esteja dentro de uma faixa pré-ajustada, como por exemplo, 5 °C.

Esses sistemas são compostos de coletor solar, reservatório térmico, bomba de circulação, controlador diferencial, purgador, vaso de expansão e outros pequenos acessórios. A Figura 3.18 apresenta o esquema de circulação forçada.



**Figura 3.18** Coletor solar plano em esquema de circulação forçada.

Fonte: adaptada de Santos (2010).

A Figura 3.19 apresenta um coletor solar plano utilizado para o aquecimento de fluidos (água) nas edificações (residências, comércio e indústria).



**Figura 3.19** Exemplo de um coletor solar plano.

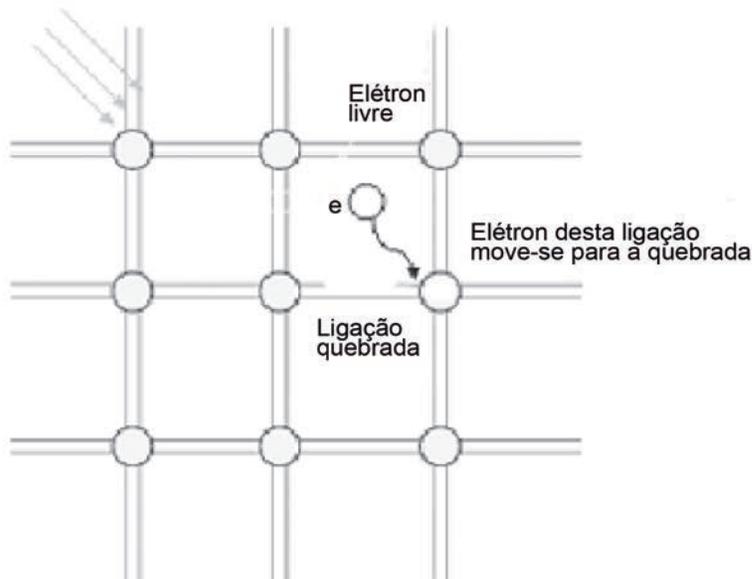
Fonte: adaptada de Girassol (2012).

- **Energia Fotovoltaica**

A energia fotovoltaica é a energia da conversão direta da luz em eletricidade (Efeito Fotovoltaico). O efeito fotovoltaico é o aparecimento de uma diferença de potencial nos extremos de uma estrutura de um material semiconductor, produzida pela absorção da luz. A célula fotovoltaica é a unidade fundamental do processo de conversão (CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA; CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO; GRUPO DE TRABALHO DE ENERGIA SOLAR, 2012).

A conversão direta da energia solar em energia elétrica envolve a transferência dos fótons da radiação incidente para os elétrons da estrutura atômica do material.

Nos materiais semicondutores sob o efeito de uma radiação luminosa, a energia dos fótons incidentes é diretamente transferida para o sistema eletrônico do material, excitando os elétrons da banda de valência para a banda de condução e dando origem à criação de pares de elétrons - lacunas. Para obter a corrente elétrica, é criada uma estrutura de separação dos portadores de carga foto gerados por ação do campo elétrico interno, antes de se recombinarem. Segue-se logo a extração das cargas em corrente contínua para utilização. A este efeito dá-se o nome de Efeito Fotovoltaico (CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA; CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO; GRUPO DE TRABALHO DE ENERGIA SOLAR, 2012). A Figura 3.20 ilustra o fenômeno da ocorrência do elétron-lacuna, gerando a corrente de elétrons.



**Figura 3.20** Formação do elétron (corrente elétrica).

Fonte: adaptada de Centro de Pesquisas de Energia Elétrica; Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito & Grupo de Trabalho de Energia Solar (2012).

Atualmente, o custo das células solares é um grande desafio para a indústria e o principal empecilho para a difusão dos sistemas fotovoltaicos em larga escala. No entanto, a tecnologia fotovoltaica está se tornando cada vez mais competitiva, tanto porque seus custos estão decrescendo, quanto devido à avaliação dos custos das outras formas de geração está se tornando mais real.

A energia fotovoltaica pode ser produzida de várias formas, com grandes variações de eficiência e custos. Podem-se dividir em dois grupos básicos de tecnologia: células discretas e película fina integrada.

As células com tecnologia de células discretas são as seguintes (ENERGIAS RENOVAVEIS, 2012b):

- Silício monocristalino: fatias de blocos monocristais de silício crescente. Atualmente, as células chegam a ter uma espessura de 2.000 microns. As células de investigação chegam aos 24% de eficiência e as comerciais perto de 16%.
- Silício policristalino: fatias obtidas a partir de blocos de silício de pureza intermediária. Estas células são menos caras de fabricar e menos eficientes. As células de investigação têm cerca de 18% e as comerciais aproximam-se de 14%.
- Malha dendrítica: filme de silício monocristalino vazado de um cadinho de silício fundido, em uma malha dendrítica.
- Galio Arsenio (GaAs): material semiconductor em que são feitas as células de alta eficiência, usado especialmente na tecnologia espacial. Multiconjunções de células de GaAs podem chegar aos 30% de eficiência.

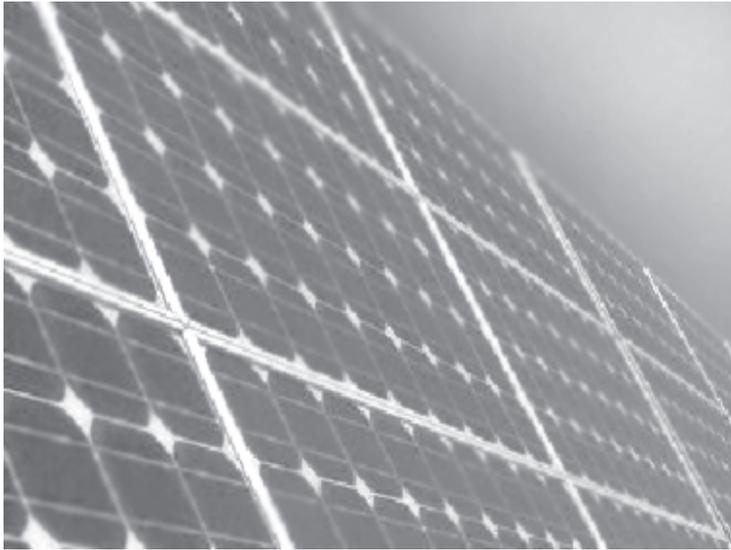
As células com tecnologia de película fina integrada são as seguintes (ENERGIAS RENOVAVEIS, 2012b):

- Cobre Índio Desilênio ( $\text{CuInSe}_2$ , ou CIS): um filme fino de material policristalino, que experimentalmente chega a 17% de eficiência. Módulos de grandes dimensões atingem 11%.
- Silício amorfo (a-Si): usado na sua maioria em produtos de consumo como relógios e calculadoras. A tecnologia a-Si é também usada em sistemas de edificações integradas, trocando o vidro de cor por módulos semitransparentes.

Os painéis, atualmente mais comercializados, são compostos de conjuntos de células de silício monocristalino ou policristalino, ligadas em paralelo ou em série, e com rendimentos que variam entre 10% e 13%. A potência destes

painéis depende do tipo de ligação feita entre as diversas células (em série ou paralelo). Esta potência pode variar desde poucos Watts até 200 Watts (valores de equipamento comercializado) (ENERGIAS RENOVAVEIS, 2012b).

A Figura 3.21 apresenta um conjunto de painéis fotovoltaicos utilizados para gerar energia elétrica local.



**Figura 3.21** Painéis fotovoltaicos.

Fonte: adaptada de Presente para homem (2012).

### 3.4.5 Biogás

O biogás é um dos produtos da decomposição anaeróbia (ausência de oxigênio gasoso) da matéria orgânica, que se dá por meio da ação de determinadas espécies de bactérias. O biogás é composto principalmente de metano ( $\text{CH}_4$ ) e gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ) (COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL, 2012a).

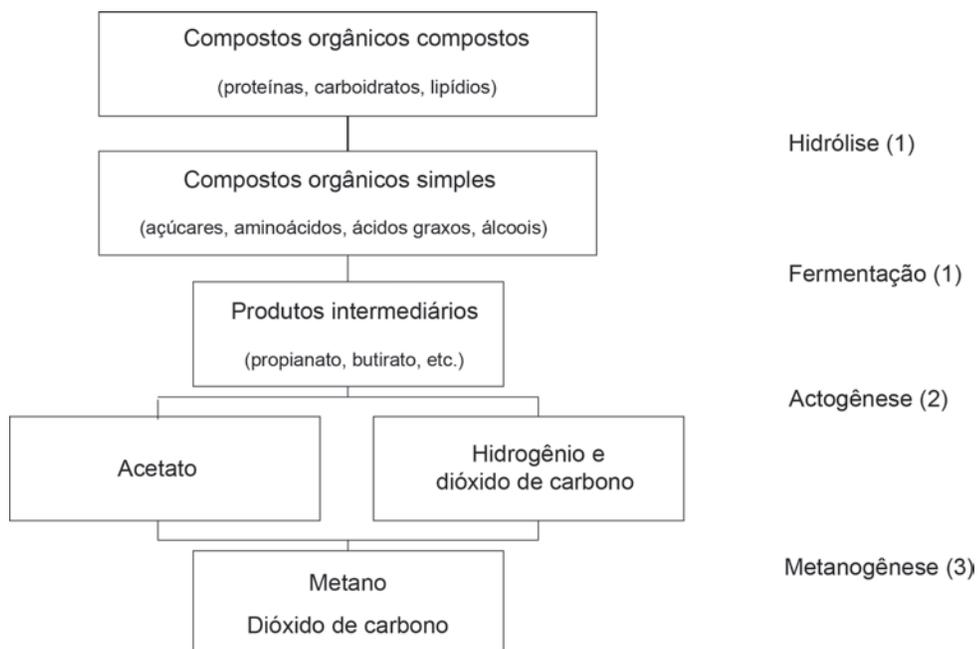
Atualmente, o processo de obtenção do biogás vem se difundindo como uma forma de tratamento de resíduos por vários países. A recuperação de energia gerada pelos processos anaeróbios teve grande impulso com a crise do petróleo onde diversos países buscaram alternativas para a sua substituição (COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL, 2012a).

Inicialmente, o termo biogás estava associado aos diversos nomes atribuídos a ele, como: gás dos pântanos, gás de aterro, gás de digestor e gás da fermentação, entre outros. Hoje em dia, o termo refere-se ao gás formado a partir da degradação anaeróbia da matéria orgânica (COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL, 2012a).

Na digestão anaeróbia, a energia química presente na composição orgânica é conservada, principalmente, como metano. A composição do biogás é difícil de ser definida, pois depende do material orgânico utilizado e do tipo de tratamento anaeróbio que sofre, no entanto, em linhas gerais, o biogás é uma mistura gasosa composta principalmente de (COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL, 2012a):

- Metano ( $\text{CH}_4$ ): 50% – 70% do volume de gás produzido;
- Dióxido de carbono (gás carbônico,  $\text{CO}_2$ ): 25% – 50% do volume de gás produzido;
- Hidrogênio ( $\text{H}_2$ ): 0% – 1% do volume;
- Gás sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ): 0% – 3% do volume;
- Oxigênio ( $\text{O}_2$ ): 0% – 2% do volume;
- Amoníaco ( $\text{NH}_3$ ): 0% – 1% do volume;
- Nitrogênio ( $\text{N}_2$ ): 0% - 7% do volume.

A digestão anaeróbia é um processo fermentativo em que matéria orgânica complexa é degradada a compostos mais simples. A degradação ocorre por meio da ação de diversos grupos de microorganismos que interagem simultaneamente até a formação dos produtos finais, metano e gás carbônico. Na ausência de oxigênio ou de agentes oxidantes fortes, como o sulfato, nitrato e enxofre, a degradação anaeróbia da matéria orgânica até a formação de metano, envolve três etapas: hidrólise e fermentação, acetogênese e metanogênese (COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL, 2012b). A Figura 3.22 apresenta o fluxograma do processo de obtenção do biogás.



**Figura 3.22** Representação esquemática da digestão anaeróbia em três etapas.

Fonte: adaptada de Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (2012b).

Na primeira etapa, a matéria orgânica complexa como polícarboidratos, proteínas e lipídeos é hidrolisada e fermentada por bactérias hidrolíticas fermentativas a compostos orgânicos simples como aminoácidos, açúcares, ácidos graxos e álcoois (COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL, 2012b).

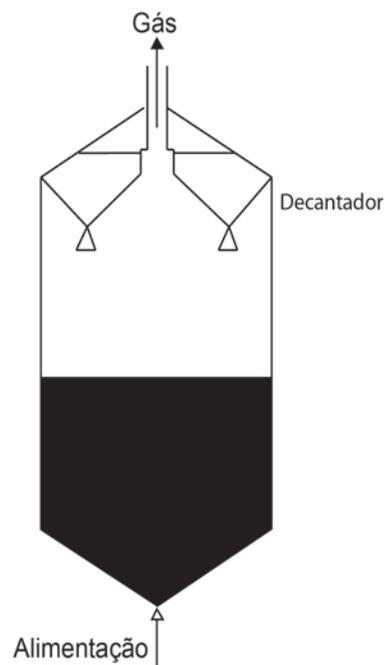
Na segunda etapa, os produtos metabólicos do primeiro grupo são então convertidos a acetato e hidrogênio pelas bactérias acetogênicas sintróficas associadas às bactérias utilizadoras de hidrogênio (COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL, 2012b).

Na terceira etapa, bactérias metanogênicas convertem acetato, formiato, hidrogênio etc., a metano e dióxido de carbono. O passo limitante do processo é a metanogênese, pois as bactérias responsáveis por essa etapa são as mais lentas e mais sensíveis às variações do meio. O bom desempenho do processo depende da manutenção do equilíbrio entre as populações microbianas envolvidas (COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL, 2012b).

Em termos de equipamentos para obtenção do biogás empregam-se alguns tipos de reatores anaeróbios: de baixa e alta taxa de conversão. Inicialmente os reatores anaeróbios foram concebidos para tratar resíduos semissólidos como estrume de animais, lixo doméstico e para a estabilização de lodos provenientes dos tratamentos primários e secundário de efluentes. Os reatores de baixa taxa se constituem de tanques simples, sem recirculação de lodo com ou sem agitação. Seus tempos de retenção variam de 15 a 60 dias (COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL, 2012c).

Após a década de 1970, nasceu uma concepção nova de reatores anaeróbios para tratamento de efluentes líquidos baseados no princípio de acúmulo de biomassa dentro do reator, pela sua retenção ou recirculação. Desse modo, o tempo de retenção do líquido é diferente e independente do tempo de retenção do lodo, possibilitando o tratamento de efluentes a tempos de retenção hidráulica reduzidos (3 horas a 5 dias). São os reatores de alta taxa (COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL, 2012c).

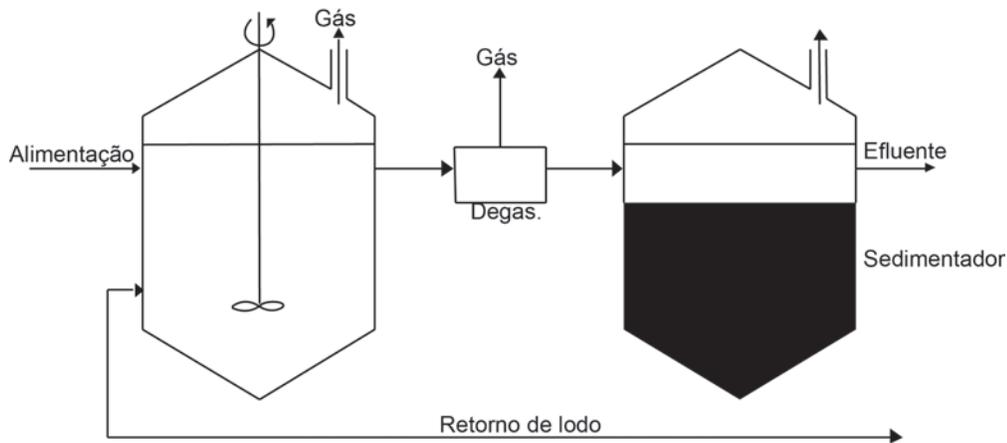
Segundo a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (2012c), o reator anaeróbio de fluxo ascendente e o manto de lodo retêm biomassa por meio de um decantador localizado no topo do reator e os gases são separados por defletores localizados na base dos decantadores, sendo atualmente um dos reatores mais utilizados. Este tipo de reator se destaca pela sua simplicidade e a não necessidade de material de enchimento. Foi um dos primeiros reatores a atingir altas taxas de aplicação de matéria orgânica. A Figura 3.23 apresenta um esquema desse tipo de reator.



**Figura 3.23** Reator anaeróbio de Fluxo Ascendente.

Fonte: adaptada de Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (2012c).

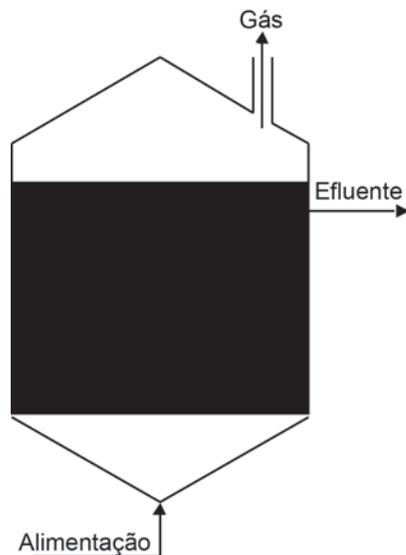
No caso dos reatores anaeróbios de contato, eles retêm biomassa por meio de sedimentação. Para conseguir a sedimentação dos sólidos é necessário um decantador e desgasificador (COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL, 2012c). A Figura 3.24 apresenta um esquema desse tipo de reator.



**Figura 3.24** Digestor anaeróbio de contato.

Fonte: adaptada de Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (2012c).

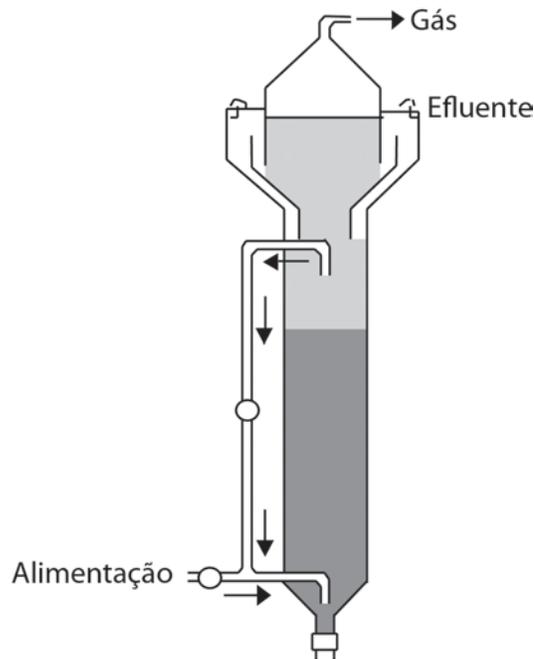
Já os filtros anaeróbios de fluxo ascendente possibilitam o acúmulo de biomassa, por meio de um leito fixo e o material de enchimento é o responsável pela retenção do lodo por agregação e também por sedimentação. A maior parte desses filtros tem fluxo ascendente (Figura 3.25), mas também existem filtros anaeróbios de fluxo descendente.



**Figura 3.25** Filtro anaeróbio de fluxo ascendente.

Fonte: adaptada de Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (2012c).

Os reatores de leitos fluidizados utilizam materiais de enchimento inerte, como areia que agrega biomassa. Esta se mantém fluidizada por meio da velocidade ascensional do líquido. Os reatores deste tipo requerem um bom controle operacional. A Figura 3.26 apresenta um esquema desse tipo de reator.



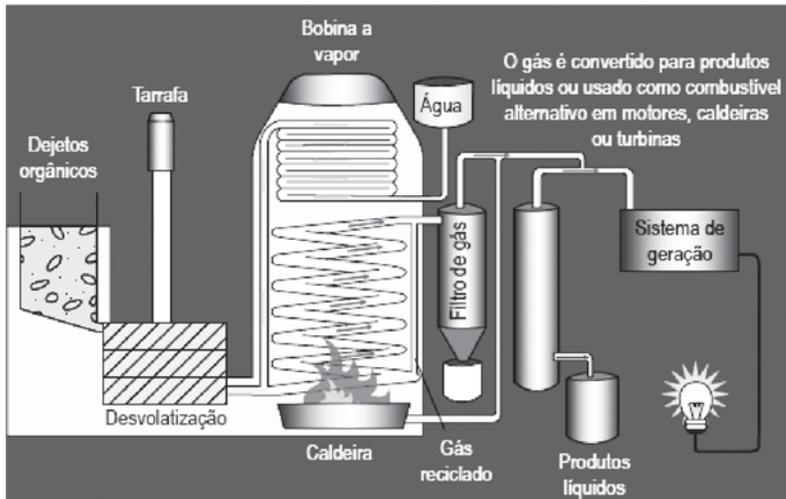
**Figura 3.26** Reator de leito fluidizado.

Fonte: adaptada de Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (2012c).

Em termos de aplicação de biodigestores no Rio de Janeiro (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2008) está em operação desde 2004 uma Usina “Verde”, que se caracteriza por vender créditos de carbono no mercado internacional. Construída pela iniciativa privada com parte da tecnologia desenvolvida pela Coppe da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), a usina obtém eletricidade a partir da incineração do lixo urbano.

A usina é considerada “limpa” porque destrói termicamente os gases poluentes produzidos no processo, são liberados na atmosfera sem causar danos ambientais, pois se constituem apenas de vapor de água e  $\text{CO}_2$ . Além disso, utiliza-se como matéria-prima a biomassa em substituição aos combustíveis fósseis (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2008).

A Usina “Verde” recebe diariamente cerca de 30 toneladas de resíduos sólidos pré-tratados provenientes de aterro sanitário. O calor proporcionado pela incineração da matéria orgânica é aproveitado para a geração térmica de eletricidade. A potência é de 0,7 MW. A Figura 3.27 apresenta o esquema da Usina “Verde” (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2008).



**Figura 3.27** Perfil esquemático do processo de produção de energia elétrica a partir do biogás.

Fonte: adaptada de Agência Nacional de Energia Elétrica (2008).

### 3.4.6 Geotérmica

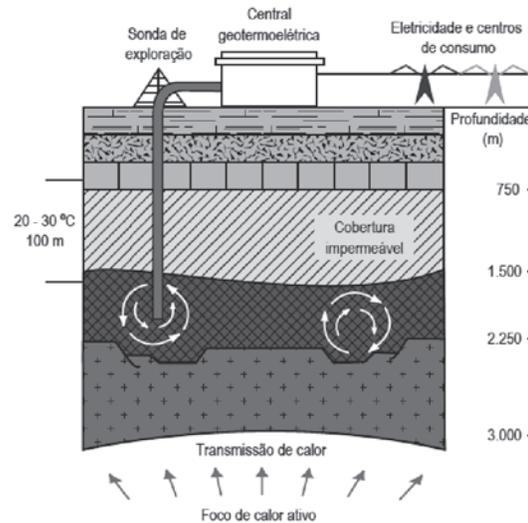
A energia geotérmica existe desde que o nosso planeta foi criado. O termo “Geo” significa terra e térmica está ligada a quantidade de calor. Abaixo da crosta terrestre constitui-se uma rocha líquida, o magma. A crosta terrestre flutua nesse magma, que por vezes atinge a superfície por meio de um vulcão ou de uma fenda.

Os vulcões, as fontes termais e as fumaças são manifestações conhecidas desta fonte de energia. O calor da terra pode ser aproveitado para usos diretos, como o aquecimento de edifícios e estufas ou para a produção de eletricidade em centrais geotérmicas.

A água contida nos reservatórios subterrâneos pode aquecer ou mesmo ferver quando em contato com o magma. Existe locais onde a água quente sobe até a superfície terrestre, formando pequenos lagos. A água é utilizada para aquecer prédios, casas e piscinas, no inverno, e até para produzir eletricidade. Em alguns lugares do planeta, existem tanto vapor e água quente que é possível produzir energia elétrica. A temperatura da água alcança valores da ordem de 2.000 °C.

Cavam-se orifícios fundos no solo até se alcançar os reservatórios de água e vapor em camadas interiores. A água e o vapor são drenados até a superfície por meio de tubulações apropriadas. Por meio desses tubos o vapor é conduzido até a central elétrica geotérmica. Tal como uma central elétrica normal, o vapor faz girar as lâminas da turbina como uma ventoinha.

A energia mecânica da turbina é transformada em energia elétrica por meio de um gerador. A diferença dessas centrais elétricas é que não é necessário queimar um combustível para produzir eletricidade. Após passar pela turbina, o vapor é conduzido para um tanque onde será resfriado. A água que se forma é novamente canalizada para o reservatório onde será naturalmente aquecida pelas rochas quentes. A Figura 3.28 apresenta um esquema de uma usina geotérmica.



**Figura 3.28** Esquema de usina geotérmica.

Fonte: adaptada de Educar (2008 apud Agência Nacional de Energia Elétrica, 2008).

Em Portugal, na parte continental, existem essencialmente aproveitamentos de baixa temperatura ou termais que podem ser divididos em (APROVEITAR ENERGIA, 2012):

- aproveitamento de polos termais existentes (temperaturas entre 20° e 76 °C): como exemplos, temos os aproveitamentos em Chaves e São Pedro do Sul com cerca de 3 MWt a temperaturas de cerca de 75 °C que funcionam desde a década de 1980.
- aproveitamento de aquíferos profundos das bacias sedimentares: caso do projeto geotérmico do Hospital da Força Aérea do Lumiar (Lisboa), obtida a partir de um furo com 1.500 m de profundidade com temperaturas superiores a 50 °C, que funcionam desde 1992.

Os aproveitamentos mais interessantes na área da geotermia são os realizados nas ilhas dos Açores a temperaturas elevadas (>140 °C). Em São Miguel, as centrais geotérmicas de Ribeira Grande produz 13 MWe e Pico Vermelho 3 MWe. A energia produzida por estas fontes representou em 2003 cerca de 25%

da eletricidade consumida na Ilha, contribuindo a Central Geotérmica da Ribeira Grande com 85,4 GWh e a Central Geotérmica do Pico Vermelho com 3,5 GWh. A contribuição máxima registrada pela fonte geotérmica foi de 35% durante o ano 2001 (APROVEITAR ENERGIA, 2012).

### 3.4.7 Maremotriz

As ondas do mar possuem energia cinética devido ao movimento da água e energia potencial devido à sua altura. A energia elétrica pode ser obtida utilizando-se o movimento oscilatório das ondas. O aproveitamento é feito nos dois sentidos: na maré alta, a água enche o reservatório, passando através da turbina e produzindo energia elétrica, na maré baixa a água esvazia o reservatório, passando novamente através da turbina, agora em sentido contrário ao do enchimento e produzindo energia elétrica (AMBIENTE BRASIL, 2012a).

As marés são o resultado da combinação de forças produzidas pela atração do sol e da lua e do movimento de rotação da Terra que leva à subida e descida da água dos oceanos e mares: as marés. Os movimentos verticais da água dos oceanos, associados à subida e descida das marés é acompanhado num movimento horizontal, denominado por correntes das marés. Estas correntes têm uma periodicidade idêntica ao das oscilações verticais.

A conversão de energia a partir das ondas apresenta semelhanças com o processo da geração de energia eólica. Dado que as ondas são produzidas pela ação do vento, os dois recursos apresentam irregularidade e variação sazonal. Em ambos os casos, extrai-se energia de um meio fluido em movimento e de extensão praticamente ilimitada.

A natureza ondulatória do mar (em comparação com o simples movimento de velocidade mais ou menos constante do vento) está na origem da maior complexidade de concepção de sistemas de conversão. Em compensação, o recurso energético das ondas apresenta maior concentração espacial (numa camada de algumas dezenas de metros abaixo da superfície) do que a energia eólica (PORTAL SÃO FRANCISCO, 2012a).

A desvantagem de se utilizar este processo na obtenção de energia é que o fornecimento não é contínuo e apresenta baixo rendimento. As centrais são equipadas com conjuntos de turbinas bolbo, totalmente imersas na água. A água é turbinada durante os dois sentidos da maré, sendo de grande vantagem a posição variável das pás para este efeito (AMBIENTE BRASIL, 2012a).

As centrais de energia maremotriz requerem alguns cuidados especiais, como: as instalações não podem interferir com a navegação e têm que ser robustas para poderem resistir às tempestades, mas serem, ao mesmo tempo, suficientemente sensíveis para ser possível obter energia de ondas de amplitudes variáveis.

O aproveitamento energético das marés é obtido por meio de um reservatório formado junto ao mar, por meio da construção de uma barragem, contendo uma turbina e um gerador.

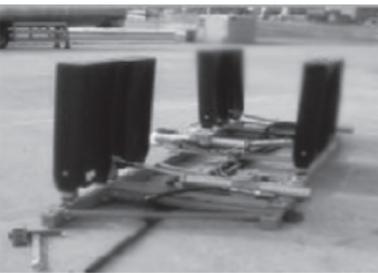
A maioria das instalações de centrais de energia das ondas existentes é de potência reduzida, situando-se no alto mar ou junto à costa, geralmente destinado ao fornecimento de energia elétrica a faróis isolados ou carregamento de baterias de boias de sinalização.

As instalações de centrais de potência média apenas têm interesse econômico em casos especiais de geometria da costa. O número de locais no mundo em que esta situação ocorre é reduzido (AMBIENTE BRASIL, 2012a).

Basicamente as centrais são posicionadas: (a) junto à costa (*onshore/shoreline*); (b) próximo da costa (*nearshore*) ou (c) afastado da costa (*off-shore*).

Em termos de tecnologia para aproveitamento das marés e conversão em energia elétrica, empregam-se os modelos apresentados no Quadro 3.6.

**Quadro 3.6** Tipos de tecnologia de aproveitamento das marés.

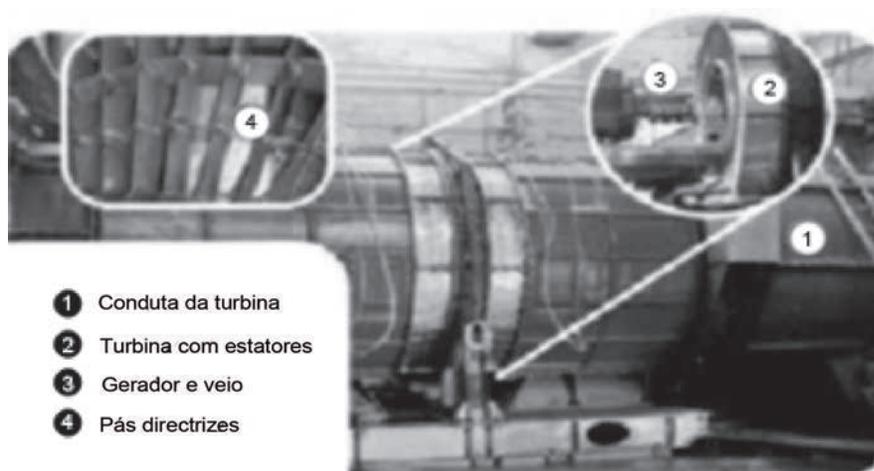
| Tipo de tecnologia                   | Princípio de Funcionamento   | Exemplo   |
|--------------------------------------|--|---|
| Atenuador/<br>Flutuante(a)           | <ul style="list-style-type: none"> <li>• corpo flutuante;</li> <li>• alinhado com a propagação da onda incidente.</li> </ul> |   |
| Ponto<br>Absorvente(b)               | <ul style="list-style-type: none"> <li>• estrutura flutuante;</li> <li>• absorve energia em todas as direções.</li> </ul>    |  |
| Corpo Oscilante(c)<br>Submerso – COS | <ul style="list-style-type: none"> <li>• estrutura submersa;</li> <li>• movimento pendular.</li> </ul>                       |  |

Continuação...

| Tipo de tecnologia                | Princípio de Funcionamento   | Exemplo  |
|-----------------------------------|--|--|
| Coluna de Água Oscilante – CAO(d) | <ul style="list-style-type: none"><li>• estrutura parcialmente submersa;</li><li>• câmara de ar.</li></ul> |  |

Fonte: adaptado dos sites: (a) <www.pelamiswave.com>; (b) <www.wavebob.com>; (c) <www.aw-energy.com>; e (d) <www.pico-owc.net>.

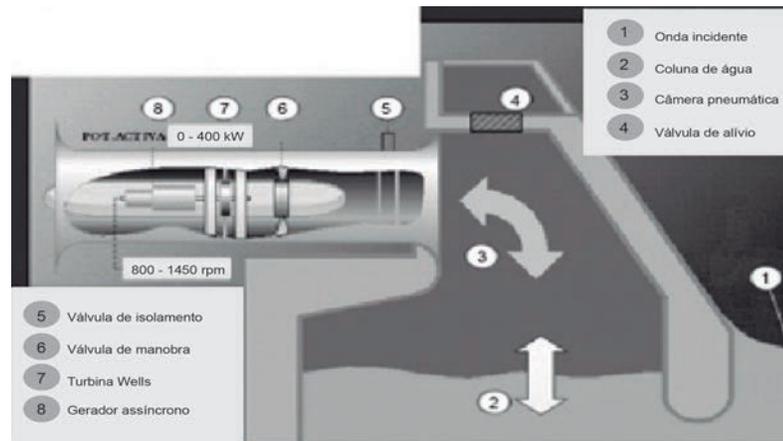
Um dos países que se destaca nestas pesquisas é Portugal, que tem uma central na ilha do Pico nos Açores. A central é do tipo de coluna de água oscilante - CAO, com uma turbina Wells de eixo horizontal que aciona um gerador elétrico de velocidade variável, com a potência de 400 kW. A central é constituída por uma estrutura oca em concreto, formando uma câmara pneumática sobre uma superfície livre interior. Esta se comunica com a atmosfera por meio de uma conduta (1), contendo uma turbina de ar (2 e 4) acoplada a um gerador elétrico (3) e com o mar por meio de uma abertura submersa existente na parede frontal da câmara. A Figura 3.29 apresenta uma ilustração desta central.



**Figura 3.29** Componentes da central.

Fonte: adaptada de Owc pico power plant (2012).

As ondas propagam-se para dentro da câmara através da abertura submersa, fazendo oscilar verticalmente a água no seu interior e, conseqüentemente, um fluxo de ar em sentidos alternados através do condutor que liga à atmosfera, acionando a turbina de ar e o gerador elétrico que lhe está acoplado. A Figura 3.30, apresenta o esquema interno da central.



**Figura 3.30** Esquema interno da central.

Fonte: adaptada de Owc pico power plant (2012).

A coluna de água oscilante (2) no interior da câmara pneumática aciona o movimento do ar, alternadamente do interior da câmara para a atmosfera e vice-versa (3) por meio de uma turbina Wells com pás simétricas (7). Para evitar sobrecargas na turbina e eventos de perda, existe uma válvula de alívio (4) cuja posição pode ser variada entre 0% e 100% abertura, conforme o estado do mar. O gerador ligado à turbina transforma a força rotativa em energia elétrica, que é enviada para a rede local por meio do conversor e de dois transformadores colocados em caixas a 100 m da central (OWC PICO POWER PLANT, 2012).

A energia elétrica é fornecida para a rede local. Nos testes iniciais (entre 2005 e 2006), a produção total de energia aproximou-se de 1 MWh, quase a mesma quantidade de energia produzida em um único teste de 48 horas em maio de 2009. A Figura 3.31 apresenta uma imagem da usina de Pico (OWC PICO POWER PLANT, 2012).



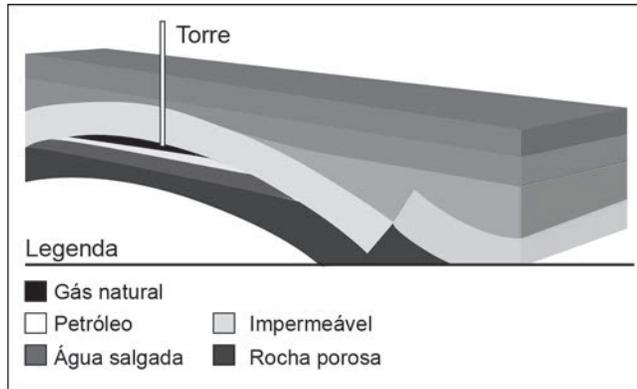
**Figura 3.31** Imagem da Central de Pico – Açores.

Fonte: adaptada de Owc pico power plant (2012).

## 3.5 Fontes não renováveis

### 3.5.1 Gás natural

O gás natural é de origem fóssil, resultado da decomposição da matéria orgânica fóssil no interior da Terra, encontrado acumulado em rochas porosas no subsolo. O gás natural é frequentemente associado ao petróleo. A Figura 3.32 apresenta a formação de um depósito de gás natural.



**Figura 3.32** Formação de reservatório de gás natural associado ao petróleo.

Fonte: adaptada do Portal São Francisco (2012b).

As reservas de gás natural são muito grandes e o combustível possui várias aplicações. A sua distribuição é feita por meio de uma rede de tubos do reservatório até o local de consumo, não necessitando de estocagem de combustível (UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MATO GROSSO DO SUL, 2012).

O gás natural é utilizado em indústrias, no comércio, em residências e em veículos (Gás Natural Veicular - GNV), cuja aplicação e consumo vêm aumentando na frota de veículos nacionais.

A composição do gás natural pode variar bastante, predominando o gás metano (principal componente), acompanhado do etano, propano, butano e outros gases em menores proporções. O gás natural apresenta baixos teores de dióxido de carbono, compostos de enxofre, água e contaminantes (como nitrogênio). A sua combustão é completa, liberando como produtos o dióxido de carbono e vapor de água, que são os dois componentes não tóxicos.

As especificações do gás para consumo estão especificadas na Portaria nº 41, de 15 de abril de 1998, da Agência Nacional do Petróleo (ANP), cujas especificações são (AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, 1998):

Poder calorífico superior – PCS (a 20 °C e 1 atm): 8.800 a 10.200 kcal/m<sup>3</sup>;

- Densidade relativa ao ar (a 20 °C): 0,55 a 0,69;
- Enxofre total: 80 mg/m<sup>3</sup> máximo;
- H<sub>2</sub>S: 20 mg/m<sup>3</sup> máximo;
- CO<sub>2</sub>: 2% em volume máximo;
- Inertes: 4% em volume máximo;
- O<sub>2</sub>: 0,5% em volume máximo;
- Ponto de orvalho da água (a 1 atm): -45 °C máximo.
- Como citado anteriormente, o gás natural, depois de tratado e processado é utilizado em residências, no comércio, em indústrias e em veículos. Nos países de clima frio, seu uso residencial e comercial é predominante para o aquecimento do ambiente. Já no Brasil, esse uso é quase exclusivo em cocção de alimentos e aquecimento de água.

Na indústria, o gás natural é utilizado como combustível para o fornecimento de calor, geração de eletricidade e de força motriz; como matéria-prima nos setores químico, petroquímico e de fertilizantes; e como redutor siderúrgico na fabricação de aço.

Na área de transportes, é utilizado em ônibus e automóveis, substituindo o óleo diesel, a gasolina e o álcool.

O gás natural apresenta riscos de asfixia, incêndio e explosão. Por outro lado, existem meios de controlar os riscos causados pelo uso deste gás. Por ser mais leve que o ar, o gás natural tende a se acumular nas partes mais elevadas em ambientes fechados. Para evitar risco de explosão, devem-se evitar nesses ambientes, equipamentos elétricos inadequados, superfícies superaquecidas ou qualquer outro tipo de fonte de ignição externa (PORTAL SÃO FRANCISCO, 2012b).

O meio empregado para transportar o gás é o “gasoduto”, que é uma rede de tubulações que leva o gás natural das fontes produtoras até os centros consumidores. Isto porque as reservas de gás natural se situam junto aos locais de extração de petróleo (mar) ou em outros locais distantes dos locais de consumo como, por exemplo, o gás vindo da Bolívia.

O gasoduto Bolívia-Brasil transporta o gás proveniente da Bolívia para atender os estados de Mato Grosso do Sul, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Esse gasoduto transporta grandes volumes de gás, possui tubulações de diâmetro elevado e opera em alta pressão (PORTAL SÃO FRANCISCO, 2012b).

O gás é comercializado por meio de contratos de fornecimento com as companhias distribuidoras de cada Estado, detentoras da concessão de distribuição.

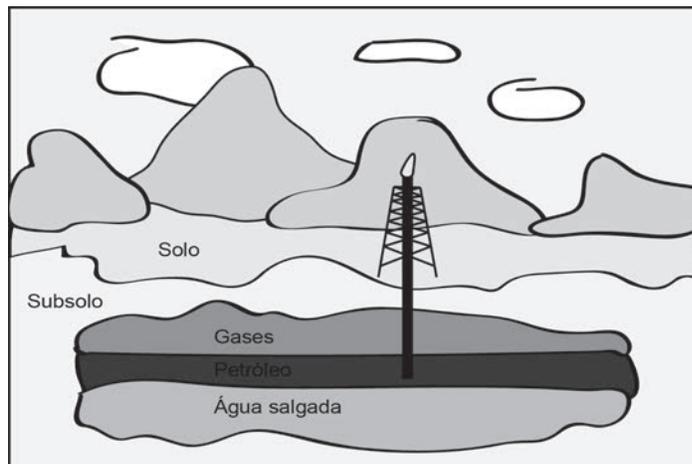
As redes de distribuição nas cidades transportam volumes menores de gás natural a menores pressões, com tubulações de diâmetros inferiores aos do gasoduto.

O gás natural é utilizado para obtenção de energia térmica por calor e vapor, sendo essa última a forma mais empregada para geração de energia elétrica por meio de termelétricas a gás natural.

### 3.5.2 Petróleo

O petróleo (óleo de pedra) é uma substância oleosa, inflamável, menos densa que a água, com um cheiro característico e de cor que varia entre o negro e o castanho escuro. As maiores jazidas petrolíferas conhecidas e exploradas localizam-se principalmente nos Estados Unidos, México, Venezuela, Rússia (Cálcaso), Malásia (Bornéu) e Oriente Médio (Arábia Saudita, Irã, Iraque, Kuwait). Constitui-se de um material de origem orgânica, sendo uma combinação de moléculas de carbono e hidrogênio ligados à decomposição dos seres que compõem o plâncton (organismos em suspensão nas águas doces ou salgadas, tais como: protozoários, celenterados e outros) causados pela pouca oxigenação e pela ação de bactérias. A decomposição dos seres e das suas matérias associadas foi ao longo de milhões de anos se acumulando no fundo dos mares e dos lagos, sendo pressionados pelos movimentos da crosta terrestre e transformaram-se na substância oleosa que é o petróleo. O petróleo não permanece na rocha que foi gerado (a rocha matriz), mas se desloca até encontrar locais para se concentrar, denominados de bacias sedimentares, formadas por camadas ou lençóis porosos de areia, arenitos ou calcários (CENTRO DE ENSINO E PESQUISA APLICADA, 2012).

O petróleo ocupa os poros rochosos formando lagos, ou jazidas (parte mais baixas), onde também há a possibilidade de ser encontrado o gás natural (na parte mais alta). A Figura 3.33, ilustra uma situação onde se encontra uma jazida de petróleo e gás natural.



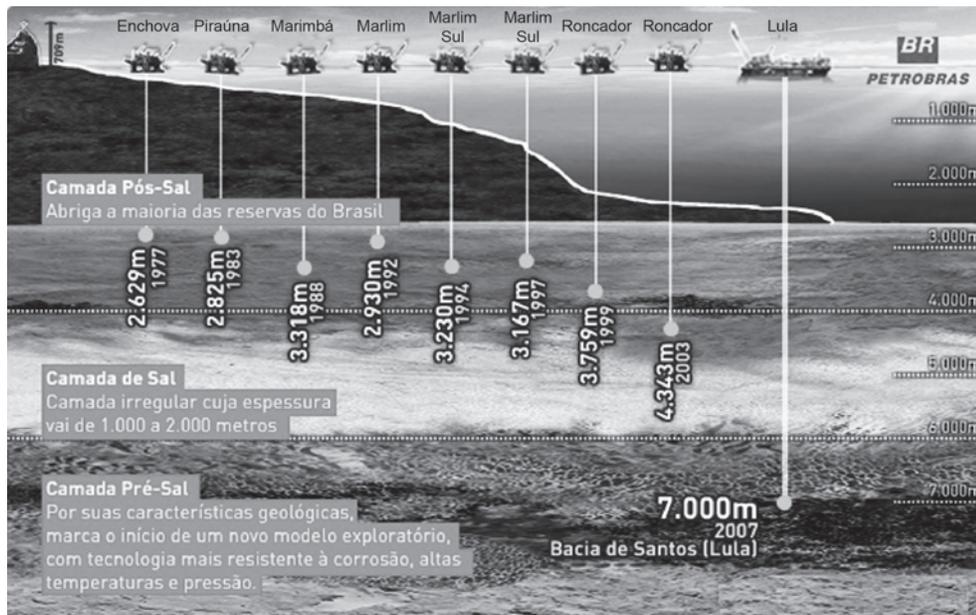
**Figura 3.33** Ilustração de uma jazida de petróleo e gás no subsolo (*onshore*).

Fonte: adaptada de Portal São Francisco (2012c).

Pelo fato dos campos petrolíferos não serem localizados, necessariamente, próximos dos terminais e refinarias de óleo e gás, é necessário o transporte da produção por meio de embarcações, caminhões, vagões, ou tubulações (oleodutos e gasodutos) (CENTRO DE ESTUDOS DE PETRÓLEO, 2012).

No País, a exploração do petróleo passou para monopólio estatal durante o Governo do Presidente Getúlio Vargas, que em 3 de outubro de 1953 promulgou a Lei nº 2.004, que criou a Petrobrás. Em 1997 a Lei nº 9.478, de 6 de agosto de 1997 (BRASIL, 2012) flexibilizou o monopólio do produto, passando a Agência Nacional do Petróleo (ANP) a exercer as atividades de exploração do petróleo no país.

A Petrobras tem cerca de 65% da área de seus blocos exploratórios *off-shore* em profundidades de água com mais de 400 m. Nos últimos anos, a empresa tem aumentado suas atividades de perfuração exploratória em águas cada vez mais profundas, chegando à camada do pré-sal. A Figura 3.34 e o Quadro 3.7 apresentam as denominações das plataformas e as respectivas profundidades das camadas de exploração.



**Figura 3.34** Denominação, ano de início e profundidades das plataformas marinhas de exploração de petróleo.

Fonte: adaptada de Petrobrás (2012).

**Quadro 3.7** Plataformas e respectivas profundidades das camadas de exploração.

| Plataforma                          | Ano  | Profundidade (m) | Observações  |
|-------------------------------------|------|------------------|--|
| Enchova                             | 1977 | 2.629            | <i>Camada Pós-Sal:</i><br>Abriga a maioria das reservas do Brasil.   |
| Piraúna                             | 1983 | 2.825            |  |
| Marimbá                             | 1988 | 3.318            |  |
| Marlim                              | 1992 | 2.930            |  |
| Marlim Sul                          | 1994 | 3.230            |  |
| Marlim Sul                          | 1997 | 3.167            |  |
| Roncador                            | 1999 | 3.759            | <i>Camada de Sal:</i><br>Camada irregular cuja espessura vai de 1.000 a 2.000 metros.  |
| Roncador                            | 2003 | 4.343            |  |
| Piraúna -<br>Bacia de Santos (Tupi) | 2007 | 7.000            | <i>Camada Pré-Sal:</i><br>Por suas características geológicas, marca o início de um novo modelo exploratório, com tecnologia mais resistente à corrosão, altas temperaturas e pressão. |

Fonte: adaptado de Petrobrás (2012).

O petróleo é uma mistura complexa de inúmeros compostos orgânicos, com predominância quase absoluta de hidrocarbonetos. A sua composição química varia de acordo com sua procedência e em termos elementares, o petróleo é composto essencialmente de: carbono (80% a 90% em peso); hidrogênio

(10% a 15%); enxofre (até 5%); oxigênio (até 4%); nitrogênio (até 2%) e traços de outros elementos (exemplo: níquel, vanádio etc.).

A composição do petróleo é geralmente descrita em termos da proporção de hidrocarbonetos saturados, hidrocarbonetos aromáticos e não hidrocarbonetos. Em termos moleculares do petróleo podem ser obtidos vários elementos da cadeia dos hidrocarbonetos, sendo alguns apresentados no Quadro 3.8.

**Quadro 3.8** Elementos da cadeia de hidrocarbonetos derivados do petróleo.

| Designação | Elementos                      | Formulação química   | Estrutura molecular |
|------------|--------------------------------|--|---------------------|
| Metano     | CH <sub>4</sub>                | $\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{H}-\text{C}-\text{H} \\   \\ \text{H} \end{array}$  |                     |
| Etano      | C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>  | $\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$   |                     |
| Propano    | C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>  | $\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \quad   \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\   \quad   \quad   \\ \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \end{array}$  |                     |
| Butano     | C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> | $\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \quad   \quad   \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\   \quad   \quad   \quad   \\ \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \end{array}$ |                     |

Fonte: adaptado de Citadino (2012).

O petróleo *in natura* é também chamado “óleo cru” para distinção do óleo refinado, produto comercial mais importante. O gás de petróleo (gás natural) é uma mistura de hidrocarbonetos leves, enquanto as formas semissólidas são compostas de hidrocarbonetos pesados.

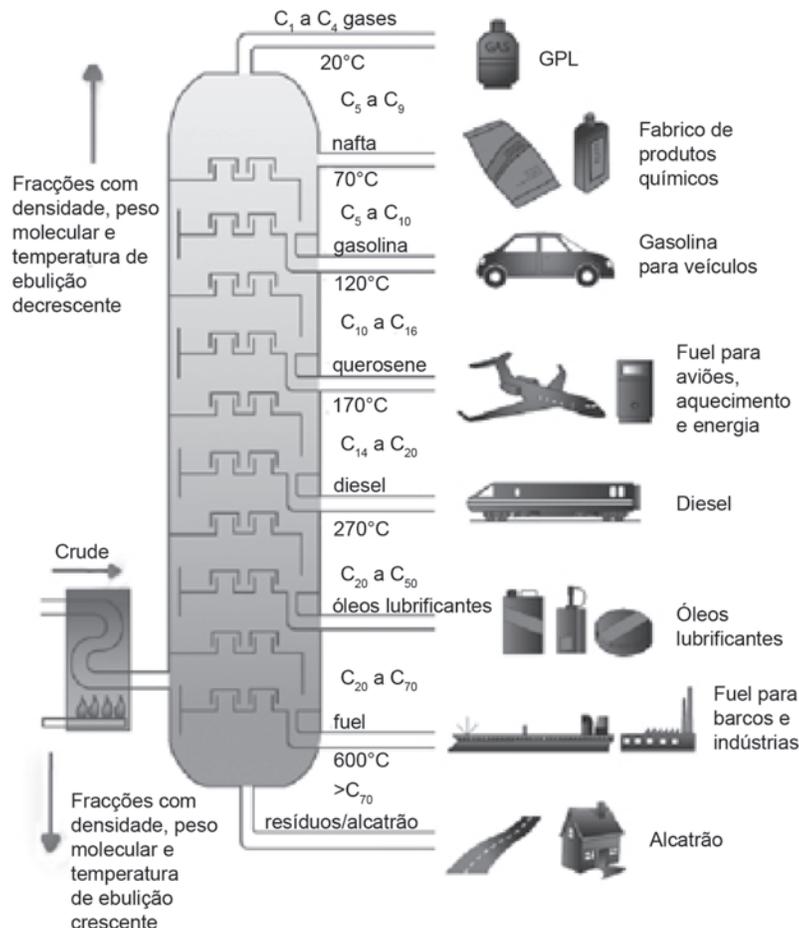
Embora de pouca utilização em estado natural, o petróleo, quando refinado, fornece combustíveis, lubrificantes, solventes, material de pavimentação e muitos outros produtos.

Os combustíveis derivados do petróleo respondem por mais da metade do suprimento total de energia do mundo, tanto pela combustão direta quanto pela geração de eletricidade.

Os subprodutos do petróleo são também utilizados para a fabricação de tecidos sintéticos, borracha sintética, sabão, detergente, tinta, plásticos, medicamentos, inseticidas, fertilizantes etc.

Assim, para obtenção dos produtos derivados do petróleo promove-se inicialmente a separação da água, óleo, gás e sólidos. Além disso, é necessário

o processamento e refino da mistura de hidrocarbonetos proveniente da jazida, cujos componentes resultantes são utilizados nas mais diversas aplicações (combustíveis, lubrificantes, plásticos, fertilizantes, medicamentos, tintas, tecidos etc.). A Figura 3.35 ilustra o processo de fracionamento do petróleo em outros subprodutos.



**Figura 3.35** Torre de fracionamento do petróleo.

Fonte: adaptada de Diário do Pré-Sal (2012).

Os produtos finais das estações e refinarias (gás natural, gás residual, GPL, gasolina, nafta, querosene, lubrificantes, resíduos pesados e outros destilados) são comercializados com as distribuidoras.

O petróleo e seus derivados constituem-se em uma energia do tipo primário e podem ser utilizados para gerar outras formas de energia, como mecânica (automóveis) e térmica (por calor e vapor), sendo esta última a forma mais empregada para geração de energia elétrica por meio de termelétricas.

### 3.5.3 Nuclear

A energia nuclear é a energia liberada em uma reação nuclear, ou seja, em processos de transformação de núcleos atômicos. Alguns isótopos de certos elementos apresentam a capacidade de se transformar em outros isótopos ou elementos por meio de reações nucleares, emitindo energia durante esse processo.

Esse processo tem como base o princípio da equivalência de energia e massa (observado por Albert Einstein). Quando este equilíbrio é quebrado por alguma razão como, por exemplo, a absorção de um nêutron, parte da energia contida no núcleo é liberada nas formas de energia cinética de fragmentos do núcleo, partículas nucleares como alfa e nêutrons e radiações beta, gama e neutrinos (DIVISÃO DE ENERGIA NUCLEAR, 2012). Nesse processo, parte da massa do núcleo é convertida em energia de acordo com a Equação 3.6.

$$E = mc^2 \quad (\text{Eq. 3.6})$$

em que:

E = energia;

m = massa;

c = velocidade da luz no vácuo.

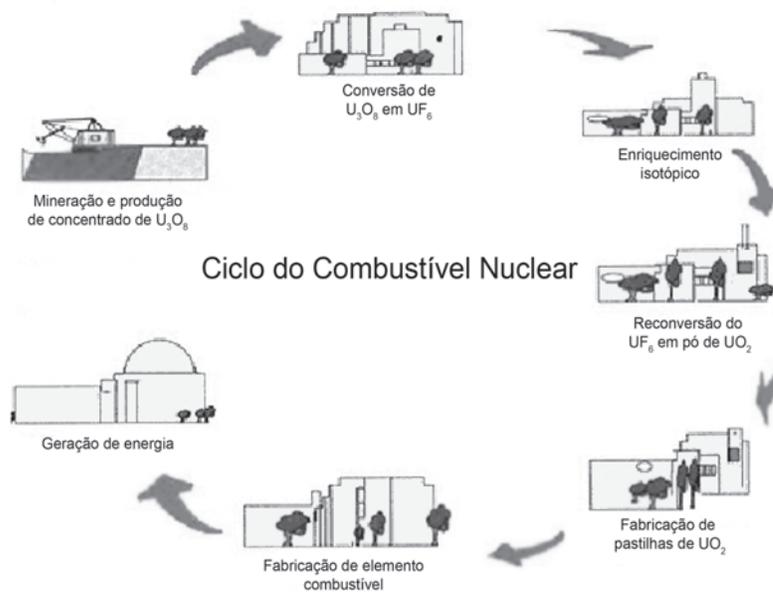
A tecnologia do uso desta energia tem como finalidade o aproveitamento da energia nuclear, convertendo o calor emitido na reação em outra forma de energia, por exemplo, elétrica.

O processo de conversão, de domínio seguro e aplicação comercial, é o da fissão em que, simplificada, ocorre a divisão do núcleo de um átomo pesado (por exemplo, do urânio-235), em dois menores, quando atingido por um nêutron. Este processo é denominado fissão nuclear, provocando uma reação de fissão nuclear que resulta, além dos núcleos menores, dois a três nêutrons, como consequência da absorção do nêutron que causou a fissão. Dessa maneira, é possível que esses nêutrons atinjam outros núcleos de urânio-235, sucessivamente, liberando muito calor. Tal processo é denominado reação de fissão nuclear em cadeia ou, simplesmente, reação em cadeia. A quantidade de urânio-235 na natureza é muito pequena: para cada 1.000 átomos de urânio, sete são de urânio-235 e 993 são de urânio-238 (a quantidade dos demais isótopos é desprezível) (CARDOSO, 2012).

O urânio extraído não chega à usina em estado puro, pelo contrário. Este produto passa por um processo bastante complexo de processamento que, em resumo, pode ser dividido em três etapas principais.

A primeira delas é a mineração e beneficiamento, na qual o minério é extraído da natureza e enviado a uma unidade de beneficiamento, onde é purificado e concentrado, dando origem a uma espécie de sal de cor amarela, conhecido como *yellowcake* e cuja fórmula química é  $U_3O_8$ . Na segunda etapa, o *yellowcake* é dissolvido, purificado e convertido para o estado gasoso (gás  $UF_6$  - hexafluoreto de urânio). A terceira fase, de enriquecimento, caracteriza-se pelo aumento da concentração de átomos de urânio 235 (dos naturais 0,7% para algo como 4%) (CARDOSO, 2012).

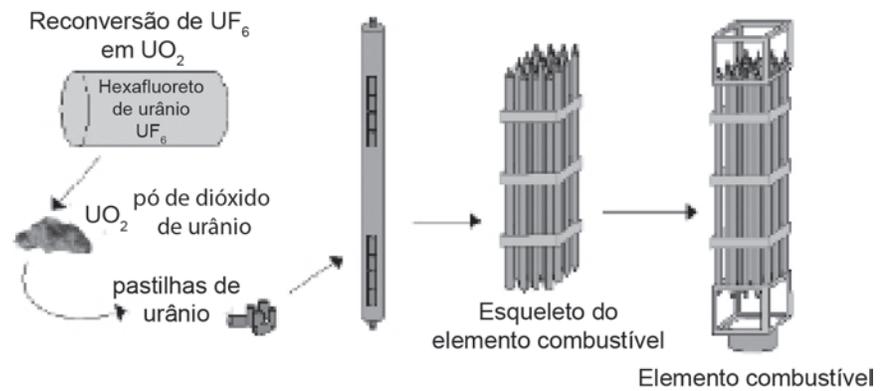
O urânio 235 é o combustível das usinas nucleares. Para obter-se um quilo deste produto são necessários cerca de oito quilos de *yellowcake*. A Figura 3.36 apresenta o ciclo do combustível nuclear para a geração de eletricidade.



**Figura 3.36** Ciclo do combustível nuclear.

Fonte: adaptada de Ambiente Brasil (2012b).

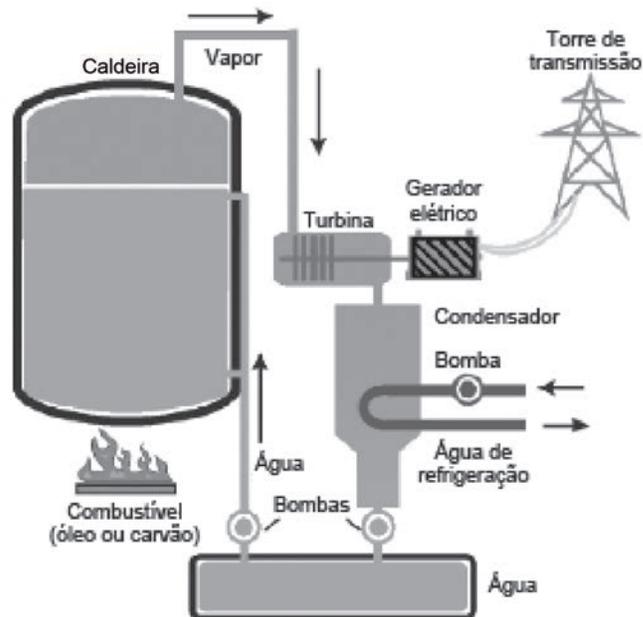
Para gerar o calor que a usina transforma em energia elétrica, o urânio após o enriquecimento é transformado em pó, a reconversão, e depois conformado em pastilhas. O urânio, enriquecido a cerca de 3,2% em urânio-235, é colocado, sob a forma de pastilhas de 1 cm de diâmetro, dentro de tubos (“varetas”) de 4 m de comprimento, feitos de uma liga especial de zircônio, denominada *zircalloy*. As pastilhas são colocadas nas varetas que vão formar o elemento combustível (CARDOSO, 2012). A Figura 3.37 ilustra o processo de enriquecimento até a configuração das varetas no elemento combustível.



**Figura 3.37** Processo de enriquecimento do urânio.

Fonte: adaptada de Cardoso (2012).

Um reator nuclear é um equipamento onde se processa uma reação de fissão nuclear, que gera energia elétrica por meio de geração de vapor, ou seja, uma central térmica, em que a fonte de calor é o urânio-235, em vez de óleo combustível, gás ou de carvão. Assim, uma usina nuclear é denominada Central Térmica Nuclear. Os reatores nucleares construídos em Angra 1 e Angra 2 são conhecidos como PWR (*Pressurized Water Reactor* – Reator a Água Pressurizada), porque contém água sob alta pressão. A Figura 3.38 apresenta um esquema desse tipo de reator.



**Figura 3.38** Central térmica nuclear.

Fonte: adaptada de Cardoso (2012).

### 3.5.4 Carvão mineral

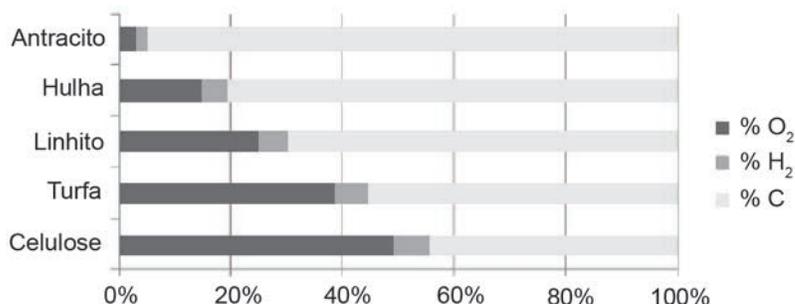
Os carvões minerais são formados a partir do soterramento e decomposição de restos de materiais de origem vegetal. Gradualmente, esses materiais ao sofrerem soterramento e compactação em bacias de deposição apresentam enriquecimento no teor de carbono.

O carvão mineral é uma rocha sedimentar, combustível, formada a partir da decomposição de vegetais que sofreram soterramento e se compactaram em bacias pouco profundas. Segundo Schumann (1985),

são de origem orgânica e, portanto, segundo definição geológica, não são rochas autênticas. Entretanto, como são componentes sólidos da crosta terrestre e estão tão alterados que não é possível reconhecer sua origem orgânica, são incluídos em rochas sedimentares (SCHUMANN, 1985, p. 134).

O carbono é o principal elemento presente no carvão mineral, embora sejam encontradas em sua composição outras substâncias, como o enxofre, nitrogênio, oxigênio e hidrogênio. O teor de carbono é importante, pois determina a maturidade geológica deste mineral, denominada *rank*, ou seja, o estágio de carbonificação atingido na sequência evolutiva. A umidade, o poder calorífico, os teores de carbono e hidrogênio ou a fluorescência, são propriedades que permitem estimar o *rank*, uma vez que a elevação da carbonificação aumenta o poder refletor e reduz o hidrogênio e as matérias voláteis (CANO, 2012).

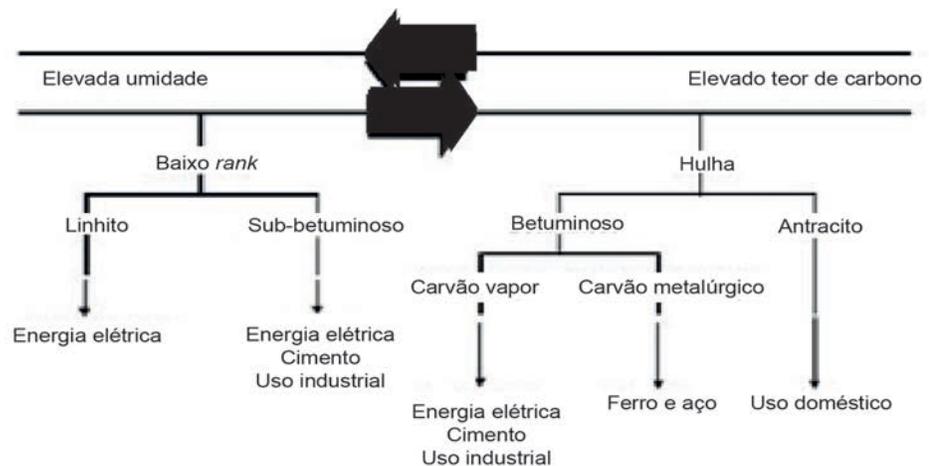
O desenvolvimento para obtenção do combustível caracteriza-se por quatro etapas distintas, nas quais, a turfa é a composição inicial (medida pelo reduzido teor de carbono), o linhito, a hulha e o antracito. O gráfico da Figura 3.39 apresenta as concentrações de oxigênio, hidrogênio e carbono nas etapas do carvão mineral.



**Figura 3.39** Composição química dos carvões minerais.

Fonte: adaptada de Mundo do químico (2011 apud CANO, 2012).

O uso do carvão mineral é vinculado às suas propriedades, como o alto poder calorífico por unidade de massa, pois o calor resultante da sua queima aquece caldeiras que geram vapor e que movimentam turbinas para geração da energia elétrica. O gás produzido pelo carvão pode resultar em fertilizantes, amônia, combustíveis líquidos, lubrificantes, combustível para aviação e isqueiros, diesel, metanol, entre outros. A Figura 3.40 apresenta os principais usos dos tipos de carvão mineral.



**Figura 3.40** Tipos de carvões minerais e principais usos.

Fonte: adaptada de World Coal Institute (2011 apud CANO, 2012).

O tipo de carvão de baixa *rank* (como o linhito) sofre rápido desgaste, tem baixo poder calorífico e pode abrasar espontaneamente. Este tipo de carvão é destinado à geração de eletricidade.

A hulha sub-betuminosa é utilizada na produção de cimento e na geração de calor para diversos usos industriais, como a secagem de cerâmicas e fabricação de vidros. A hulha betuminosa é a mais comum, sendo o principal combustível utilizado no alto forno para a fundição do minério de ferro. O minério de ferro é empregado na produção do ferro metálico e do aço, que são largamente utilizados na construção de pontes, edifícios, casas, carros, painéis, entre outros. O antracito normalmente é empregado no uso doméstico por causa da sua lenta combustão. Também é utilizado como elemento filtrante em estações de tratamento de água (CANO, 2012).

O carvão mineral e alguns de seus derivados constituem-se em energia do tipo primário e são predominantemente utilizados para a produção de energia térmica (por calor e vapor), sendo essa última a forma mais empregada na geração de energia elétrica por meio de termelétricas a carvão.

### 3.6 Estudos complementares

- Material sobre Energia Nuclear: COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. *Ensino*: apostilas. Disponível em: <<http://www.cnen.gov.br/ensino/apostilas.asp>>. Acesso em: 06 nov. 2012.
- Informações sobre fontes de energia (petróleo, gás natural, biocombustível etc.): PETROBRAS. *Energia e tecnologia*: fontes de energia. Disponível em: <<http://www.petrobras.com.br/pt/energia-e-tecnologia/fontes-de-energia/>>. Acesso em: 06 nov. 2012.
- Informações sobre diversas fontes de energia: PROGRAMA PRÓ CIÊNCIAS – USP. Energia: a essência dos fenômenos. Disponível em: <<http://cepa.if.usp.br/energia/energia1999/Default.htm>>. Acesso em: 06 nov. 2012.
- Materiais sobre energia eólica e solar: CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO. Publicações. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/index.php?task=livro>>. Acesso em: 06 nov. 2012.
- Diversas informações sobre as energias renováveis: PORTAL DAS ENERGIAS RENOVÁVEIS. Disponível em: <<http://www.energiasrenovaveis.com>>. Acesso em: 07 nov. 2012.
- Informações sobre energia, meio ambiente e sustentabilidade: AMBIENTE ENERGIA: meio ambiente, sustentabilidade e inovação. Disponível em: <<http://www.ambienteenergia.com.br/>>. Acesso em: 07 nov. 2012.
- Informações sobre energia solar: SOCIEDADE DO SOL. Disponível em: <<http://www.sociedadedosol.org.br/>>. Acesso em: 07 nov. 2012.
- Informações sobre biogás: COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). *Biogás*: projetos e pesquisas no Brasil. São Paulo: SMA, 2006. 184 p. Disponível em: <[http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/mudancasclimaticas/biogas/file/docs/livro\\_biogas/livrobiogas.pdf](http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/mudancasclimaticas/biogas/file/docs/livro_biogas/livrobiogas.pdf)>. Acesso em: 07 nov. 2012.

### 3.7 Referências

AGÊNCIA JÚNIOR DE COMUNICAÇÃO MACKENZIE. *Turbina Turgo*. (Capítulo 3: Tipos de turbinas hidráulicas aplicadas às pequenas, mini e microcentrais hidráulicas). Disponível em: <<http://meusite.mackenzie.com.br/mellojr/Turbinas%20Hid%E1ulicas/CAP%CDTULO%203REV.htm>>. Acesso em: 01 ago. 2012.

AMBIENTE BRASIL. *Energia Mareomotriz*. Disponível em: <[http://ambientes.ambientebrasil.com.br/energia/mareomotriz/energia\\_mareomotriz.html](http://ambientes.ambientebrasil.com.br/energia/mareomotriz/energia_mareomotriz.html)>. Acesso em: 08 ago. 2012a.

\_\_\_\_\_. *Energia Nuclear*: urânio. Disponível em: <[http://ambientes.ambientebrasil.com.br/energia/nuclear/energia\\_nuclear\\_-\\_uranio.html](http://ambientes.ambientebrasil.com.br/energia/nuclear/energia_nuclear_-_uranio.html)>. Acesso em: 14 ago. 2012b.

\_\_\_\_\_. Energia solar. Disponível em: <[http://ambientes.ambientebrasil.com.br/energia/energia\\_solar.html](http://ambientes.ambientebrasil.com.br/energia/energia_solar.html)>. Acesso em: 08 nov. 2012c.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil) - ANEEL. *Atlas de energia elétrica do Brasil*. 3. ed. Brasília, 2008. 236 p.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO (ANP). Portaria ANP nº 41, de 15 de abril de 1998.. Aprova o Regulamento Técnico ANP nº 001/98, anexo a esta Portaria, que estabelece normas para especificação do gás natural, de origem interna ou externa, a ser comercializado no País. Disponível em: <[http://nxt.anp.gov.br/nxt/gateway.dll/leg/folder\\_portarias\\_anp/portarias\\_anp\\_tec/1998/abril/panp%2041%20-%201998.xml](http://nxt.anp.gov.br/nxt/gateway.dll/leg/folder_portarias_anp/portarias_anp_tec/1998/abril/panp%2041%20-%201998.xml)>. Acesso em: 08 ago. 2012.

APROVEITAR ENERGIA. *Energia geotérmica em Portugal*. Disponível em: <<http://aproveitarenergia.no.sapo.pt/em%20portugal.htm>>. Acesso em: 01 ago. 2012.

BRASIL. Casa civil. Lei nº 9.478, de 6 de agosto de 1997. Dispõe sobre a política energética nacional, as atividades relativas ao monopólio do petróleo, institui o Conselho Nacional de Política Energética e a Agência Nacional do Petróleo e dá outras providências. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Poder Executivo, Brasília, 06 ago. 1997. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l9478.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9478.htm)>. Acesso em: 08 ago. 2012.

CANO, T. M. *Carvão Mineral*. Departamento Nacional da Produção Mineral - DNPM. Disponível em: <[http://ecologia.icb.ufmg.br/~rpcoelho/Congressos/CETEC\\_agosto2011/perfil\\_carvao.pdf](http://ecologia.icb.ufmg.br/~rpcoelho/Congressos/CETEC_agosto2011/perfil_carvao.pdf)>. Acesso em: 23 ago. 2012.

CARDOSO, E. M. *Energia nuclear*. Rio de Janeiro: CNEN, 2004. 29 p. (Apostila educativa). Disponível em: <<http://www.cnen.gov.br/ensino/apostilas/energia.pdf>>. Acesso em: 15 ago. 2012.

CENTRO DE ENSINO E PESQUISA APLICADA (CEPA). *Turbina Pelton*. (Imagem). Disponível em: <<http://www.cepa.if.usp.br/energia/energia1999/Grupo2B/Hidraulica/turbina3.htm>>. Acesso em: 01 ago. 2012a.

\_\_\_\_\_. *Energia: a Essência dos Fenômenos*. 2012. Disponível em: <<http://cepa.if.usp.br/energia/energia1999/Grupo1A/indice.html>>. Acesso em: 08 ago. 2012b.

CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA (CEPEL); CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO (CRESESB); GRUPO DE TRABALHO DE ENERGIA SOLAR (GTES). *Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos*. Rio de Janeiro: CRESESB, 2004. Disponível em: <[http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual\\_de\\_Engenharia\\_FV\\_2004.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2004.pdf)>. Acesso em: 01 ago. 2012.

CENTRO DE ESTUDOS DE PETRÓLEO (CEPETRO). *O que é o petróleo*. Disponível em: <<http://www.cepetro.unicamp.br>>. Acesso: 08 ago. 2012.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). *Biogás: definição*. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/mudancas-climaticas/biogas/Biog%C3%A1s/17-Defini%C3%A7%C3%A3o>>. Acesso em: 01 ago. 2012a.

\_\_\_\_\_. *Biogás: fundamentos*. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/mudancas-climaticas/biogas/Biog%C3%A1s/18-Fundamentos>>. Acesso em: 01 ago. 2012b.

\_\_\_\_\_. *Biogás: reatores*. 2012c. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/mudancas-climaticas/biogas/Biog%C3%A1s/20-Reatores>>. Acesso em: 01 ago. 2012c.

CITADINO. *O Mito dos combustíveis fósseis: ninguém até hoje sintetizou petróleo em laboratório com uma proveta de algas*. 07 jan. 2009. Disponível em: <<http://citadino.blogspot.com.br/2009/01/o-mito-dos-combustveis-fsseis-ningum-at.html>>. Acesso em: 10 ago. 2012.

CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO (CRESESB). *Energia Solar Princípios e Aplicações*. 2006. Disponível em: <[http://www.cresesb.cepel.br/tutorial/tutorial\\_solar\\_2006.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/tutorial/tutorial_solar_2006.pdf)>. Acesso em: 02 ago. 2012a.

\_\_\_\_\_. *Tipos de Aerogeradores para Geração de Energia Elétrica*. 2008. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/content.php?cid=231>>. Acesso em: 02 ago. 2012b.

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO (DEP). *Petróleo*. 2012. Disponível em: <<http://www.dep.fem.unicamp.br/pag/petroleo.html>>. Acesso em: 08 ago. 2012.

DIÁRIO DO PRÉ-SAL. *Torre de fracionamento de petróleo: refino de petróleo*. 2012. Disponível em: <<http://diariodopresal.wordpress.com/o-que-e-o-pre-sal/torre-de-fracionamento-de-petroleo-2/>>. Acesso em: 10 ago. 2012.

\_\_\_\_\_. *Solar*. Disponível em: <[http://www.energiasrenovaveis.com/DetailConceitos.asp?ID\\_conteudo=36&ID\\_area=8&ID\\_sub\\_area=26](http://www.energiasrenovaveis.com/DetailConceitos.asp?ID_conteudo=36&ID_area=8&ID_sub_area=26)>. Acesso em: 02 ago. 2012b.

\_\_\_\_\_. *Biomassa*. Disponível em: <[http://www.energiasrenovaveis.com/DetailConceitos.asp?ID\\_conteudo=1&ID\\_area=2&ID\\_sub\\_area=2](http://www.energiasrenovaveis.com/DetailConceitos.asp?ID_conteudo=1&ID_area=2&ID_sub_area=2)>. Acesso em: 02 ago. 2012c.

DELGADO, Raimundo Moreno. *Elementos Finitos no Dimensionamento de Barragens*. Engenharia civil, 27 ago. 2010. Disponível em: <<http://www.engenhariacivil.com/elementos-finitos-dimensionamento-barragens>>. Acesso em: 01 ago. 2012.

DIVISÃO DE ENERGIA NUCLEAR - ENU. *Fundamentos da Energia Nuclear*. Instituto de Estudos Avançados, 2012. Disponível em: <<http://www.ieav.cta.br/enu/yuji/nuclear.php>>. Acesso em: 10 ago. 2012.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (Brasil) - EPE. *Balanço Energético Nacional 2010: ano base 2009*. Rio de Janeiro, 2010. 276 p.

ESTILOS DE VIDA. *Barragem de Andorinhas*. (Imagem). Disponível em: <<http://estilos-devida.rtp.pt/rtp/barragem-de-andorinhas-locais-a-visitar-povoa-de-lanhoso-taide-taide-1.html&tab=fotos>>. Acesso em: 01 ago. 2012.

GIRASSOL. *Coletor solar plano*. 2012. Disponível em: <<http://www.girassolsolar.com.br/pictures/foto-coletor-solar.jpg>>. Acesso em: 01 ago. 2012.

INTERNATIONAL ENGINEERING & SERVICES - IES. *Turbina CrossFlow*. Disponível em: <[http://www.ies-bv.nl/hydro\\_tecn\\_cros\\_intro.htm](http://www.ies-bv.nl/hydro_tecn_cros_intro.htm)>. Acesso em: 01 ago. 2012.

JANUZZI, G. M.; SWISHER, J. N. P. *Planejamento Integrado de Recursos Energéticos: meio ambiente, conservação de energia e fontes renováveis*. Campinas: Editora Autores Associados, 1997.

OWC PICO POWER PLANT. *Imagem da Central de Pico*. Disponível em: <<http://www.pico-owc.net/>>. Acesso em: 06 ago. 2012.

PETROBRAS. *Exploração e Produção de Petróleo e Gás*. Disponível em: <<http://www.petrobras.com.br/pt/quem-somos/perfil/atividades/exploracao-producao-petroleo-gas/>>. Acesso em: 10 ago. 2012.

PORTAL DAS ENERGIAS RENOVÁVEIS. *Hídrica*. Disponível em: <[http://www.energias-renovaveis.com/DetalheConceitos.asp?ID\\_conteudo=23&ID\\_area=5&ID\\_sub\\_area=14](http://www.energias-renovaveis.com/DetalheConceitos.asp?ID_conteudo=23&ID_area=5&ID_sub_area=14)>. Acesso em: 01 ago. 2012a.

PORTAL SÃO FRANCISCO. *Energia das Ondas*. Disponível em: <<http://www.portalsao-francisco.com.br/alfa/energia-das-mares/energia-das-mares-6.php>>. Acesso em: 07 ago. 2012a.

\_\_\_\_\_. *Gás natural*. Disponível em: <<http://www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/gas-natural/gas-natural.php>>. Acesso em: 08 ago. 2012b.

\_\_\_\_\_. *Petróleo*. Disponível em: <<http://www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/petroleo/petroleo-2.php>>. Acesso em: 08 ago. 2012c.

PRESENTE PARA HOMEM. *Energias renováveis: o que é o painel fotovoltaico?* Disponível em: <<http://www.presenteparahomem.com.br/energias-renovaveis-o-que-e-o-painel-fotovoltaico/#axzz264pVKs2O>>. Acesso: 01 ago. 2012.

SANTOS, M. D. C. F. S. Reabilitação Energética de um Edifício Escolar – Tese (Doutorado em Engenharia). Universidade do Minho, Escola de Engenharia. 2010. Disponível em: <<http://193.136.14.130/lftc/prefab-retrofit/Publicacoes/251-Publica%C3%A7%C3%B5es/Reabilita%C3%A7%C3%A3o%20Energ%C3%A9tica%20de%20um%20Edif%C3%ADcio%20Escolar.pdf>>. Acesso em: 01 ago. 2012.

SCHUMAN, W. *Rochas e Minerais*. Tradução de Rui Franco Ribeiro e Mario Del Rey. Rio de Janeiro: Editora Ao Livro Técnico S/A, 1985.

SHEPHERD, D. G. Historical Development of the Windmill. In: *Wind Turbine Technology: fundamental concepts of Wind Turbine Engineering*, SPERA, S.A., 1 ed., New York, ASME Press, 1994. pp 01-46.

TECNOLOGIA. *Turbinas hidráulicas*. 07 nov. 2011. Disponível em: <<http://www.tecnologia.org/principal/?p=4691>>. Acesso em: 01 ago. 2012.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MATO GROSSO DO SUL (UEMS). *Gás natural*. Disponível em: <<http://www.uems.br/popciencia/gas.html>>. Acesso em: 08 ago. 2012.

VIVENDO ELETRICIDADE. *Gerador hidroelétrico*. Disponível em: <<http://vivendoeletricidade.blogspot.com.br/2010/06/esta-e-uma-turbina-tipo-franacis.html>>. Acesso em: 01 ago. 2012.

WORLD WIND ENERGY ASSOCIATION (WWEA). *Wind Energy International 2007-2008*. ISBN 81-7525-641-9 ed. WWEA, New Delhi, India. 2009.

# **UNIDADE 4**

Consumo de Energia e Desenvolvimento

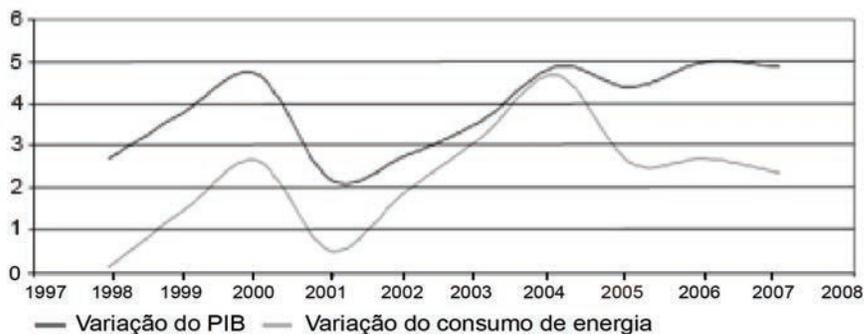


## 4.1 Primeiras palavras

O consumo de energia é um dos principais indicadores do desenvolvimento econômico e do nível de qualidade de vida de qualquer sociedade. Utiliza-se como indicador desse desenvolvimento a relação entre o PIB (Produto Interno Bruto) do país e o consumo de energia. Esse indicador reflete as relações entre o ritmo de atividade econômica dos setores industrial, comercial e de serviços. Reflete também a capacidade da população para adquirir bens e serviços que demandam alguma forma de energia, como automóveis (combustíveis), eletrodomésticos e eletroeletrônicos (eletricidade), e serviços em geral como bares, restaurantes, bancos, entre outros (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2008).

## 4.2 Problematizando o tema

A demanda da sociedade pela produção de bens e a prestação de serviços pressionam o consumo de vários tipos de energia, e essa inter-relação foi o principal motivo do acentuado crescimento no consumo mundial de energia verificado nos últimos anos no mundo em geral. A Figura 4.1 apresenta um gráfico que ilustra essa relação.



**Figura 4.1** Gráfico da evolução do PIB e consumo de energia de 2003 a 2007.

Fonte: adaptada de Agência Nacional de Energia Elétrica (2008).

Como se pode observar no gráfico da Figura 4.1, a economia mundial, pelo menos até 2008, apresentou um ciclo expansão, refletida pela variação crescente do PIB: 3,6% em 2003; 4,9% em 2004; 4,4% em 2005; 5% em 2006 e 4,9% em 2007, segundo série histórica produzida pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA (2008 apud AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2008). No mesmo período, a variação acumulada do consumo de energia foi de 13%, passando de 9.828 milhões de toneladas equivalentes de petróleo (tep)

em 2003 para 11.099 milhões de tep em 2007 *BP Statistical Review of World Energy* (2008 apud AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2008).

Segundo estudo da Empresa de Pesquisa Energética – EPE (2007), o uso de energia no Brasil começou a apresentar incrementos elevados a partir do término da 2ª Guerra Mundial, impulsionado pelo expressivo crescimento demográfico, por uma urbanização acelerada, pelo processo de industrialização e pela construção de uma infraestrutura de transporte rodoviário de característica “energo-intensiva”.

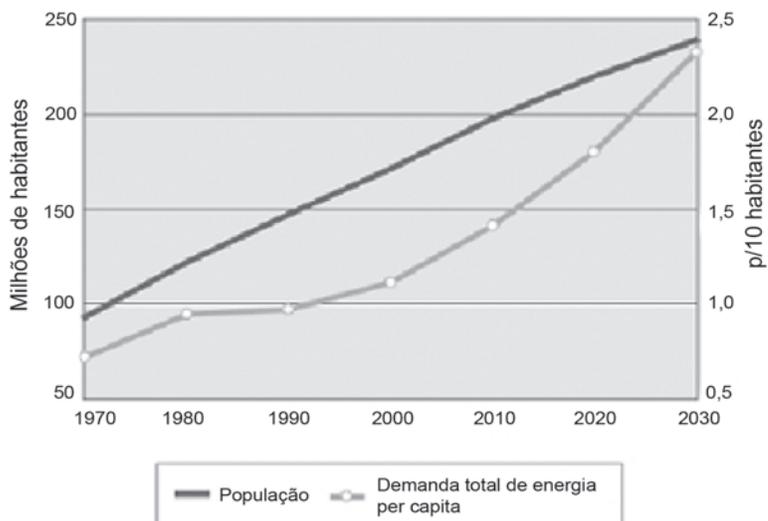
Ainda segundo o estudo, entre 1940 e 1950, para uma população de cerca de 41 milhões de habitantes, dos quais 69% se concentravam no meio rural, o consumo brasileiro de energia primária era de apenas 15 milhões de tep.

Trinta anos depois, em 1970, para uma população de mais de 93 milhões de habitantes, o consumo de energia primária já se aproximava de 70 milhões de tep, valor 4,7 vezes maior. Mais trinta anos passados, no ano 2000, a população era quase o dobro, ultrapassando 170 milhões de habitantes, e o consumo de energia se elevava a cerca de 190 milhões de tep, ou seja, um crescimento de quase três vezes.

Contudo, o consumo brasileiro de energia *per capita* ainda é muito baixo comparado com outros países.

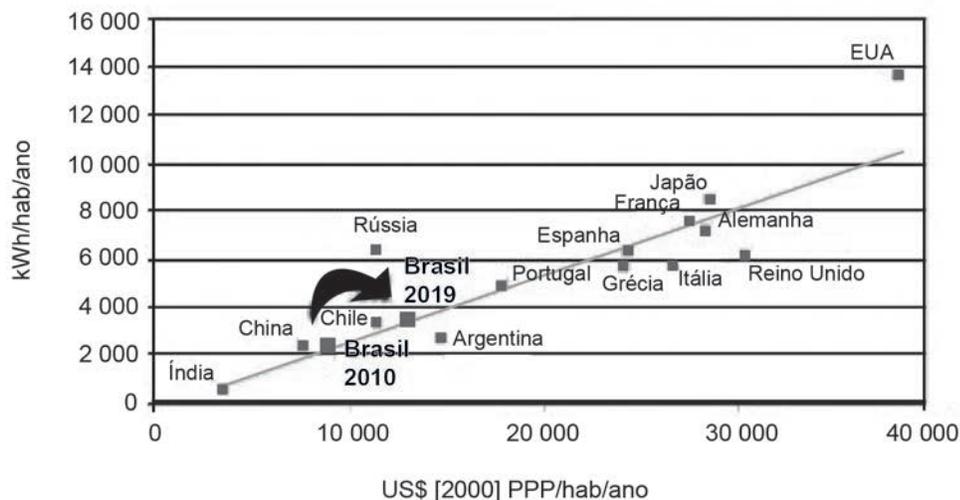
O estudo prevê um cenário estimativo para 2030, para uma população de mais de 238 milhões de habitantes, com uma demanda total de energia primária (oferta interna de energia) de cerca de 555 milhões de tep. A demanda *per capita* (tep/10<sup>6</sup> habitantes) evolui, nessas condições, de 1,19 (2005) para 2,33 (2030), como indicado na Figura 4.2. Mas, a respeito desse crescimento, deve-se reconhecer que o consumo brasileiro de energia *per capita* ainda se mostra reduzido, especialmente quando comparado a países desenvolvidos.

Para efeito comparativo, o gráfico da Figura 4.3 apresenta os dados relativos à renda *per capita* estão expressos em US\$ [2000] levando em consideração a paridade de poder de compra (*Power Purchase Parity – PPP*) entre países, o que torna a comparação inter-países mais consistente.



**Figura 4.2** Relação entre o crescimento populacional e a demanda de energia.

Fonte: adaptada de Agência Nacional de Energia Elétrica (2008).



**Figura 4.3** Consumo de eletricidade e renda *per capita*.

Fonte: adaptada de Empresa de Pesquisa Energética (2010).

Pode-se observar no gráfico da Figura 4.3, que o Brasil ainda ocupa um lugar muito inferior no ranking, estando em 2010, acima da Índia e China, porém muito abaixo de outros países industrializados como França, Itália, Japão e EUA.

Salienta-se que os tipos predominantes de energia que foram consumidos no mundo nos período de 1970 a 2007 foram os não renováveis, como petróleo, carvão, gás natural e nuclear. A Tabela 4.1 apresenta a configuração dos tipos de combustíveis mais consumidos em 2007.

**Tabela 4.1** Consumo mundial de energia por tipo de combustível em 2007.

| Combustível | Quantidade (ktep) |
|-------------|-------------------|
| Petróleo    | 3.952.800         |
| Gás Natural | 3.177.500         |
| Carvão      | 2.637.700         |
| Urânio      | 709.200           |
| Hidráulica  | 622.000           |
| Total       | 11.099.200        |

Fonte: adaptada de Agência Nacional de Energia Elétrica (2008).

Assim, observando-se os valores da Tabela 4.1, corroboram o uso, ainda extensivo, de recursos de fontes não renováveis da ordem de 94,4% contra 5,6% renováveis (hidráulica).

No Brasil, entretanto, essa relação é bem diferente. Segundo dados do Ministério de Minas e Energia (2010), a Tabela 4.2 apresenta a configuração dos combustíveis mais ofertados no País em 2009.

**Tabela 4.2** Tipos de combustíveis mais consumidos no Brasil.

| Combustível | Quantidade (ktep) |
|-------------|-------------------|
| Petróleo    | 92.422            |
| Gás Natural | 21.145            |
| Carvão      | 11.572            |
| Urânio      | 3.434             |
| Hidráulica  | 37.064            |
| Total       | 165.637           |

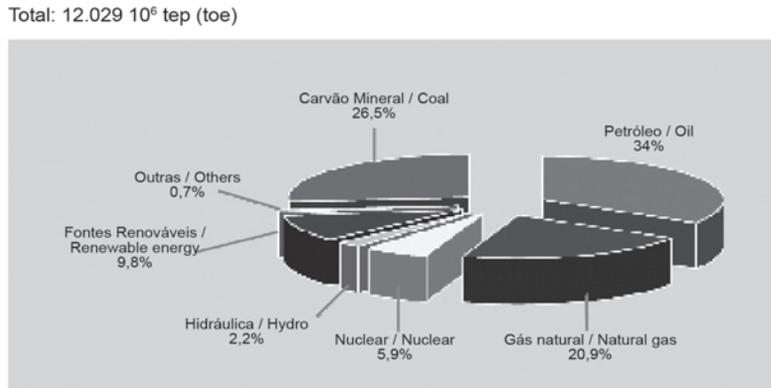
Fonte: adaptada de Empresa de Pesquisa Energética (2010).

Em termos relativos no Brasil a situação é de 78% de consumo de combustível não renovável e de 22% de renovável. Deve-se considerar que no cômputo não foram incluídos outros tipos de fontes renováveis, como biomassa e solar, o que eleva ainda mais a participação de fontes renováveis.

Pode-se verificar que o consumo de energia está vinculado ao estágio de desenvolvimento alcançado por um país. Como o Brasil suplantou os estágios iniciais de desenvolvimento e vem se firmando cada vez mais, como uma nação emergente, melhorando sua posição no cenário mundial, é fato que as questões energéticas venham ganhando cada vez mais importância. Portanto, o planejamento da oferta, do consumo, bem como dos recursos disponíveis estão cada vez mais presentes no cotidiano das ações governamentais, que regem a dinâmica de desenvolvimento, trazendo melhores condições de vida à população, por meio de emprego e renda, oriundos do desenvolvimento proporcionado pelo equilíbrio da matriz energética do País.

### 4.3 Oferta e consumo de energia no mundo

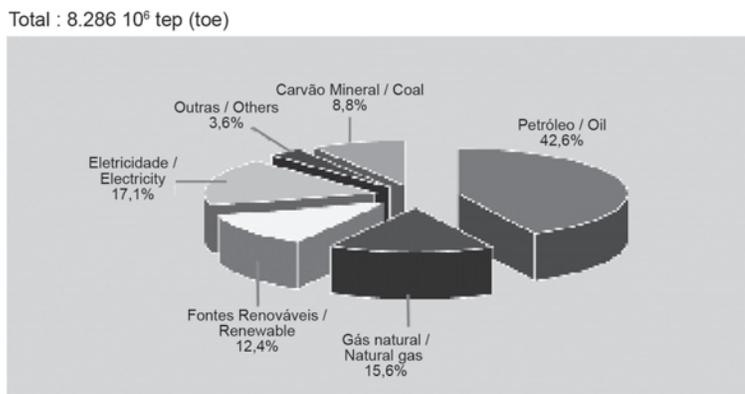
No mundo uma das questões mais importantes para garantir o desenvolvimento das nações é a sua capacidade de geração e do seu consumo de energia. São apresentados nas figuras 4.4, 4.5 e 4.6, alguns gráficos de oferta e geração no mundo (IEA, 2009).



**Figura 4.4** Distribuição da oferta de energia por fonte em 2007.

Fonte: adaptada de IEA (2009).

Na Figura 4.4 evidencia-se que em 2007 a oferta de energia usava recursos não renováveis, como o petróleo, gás natural, carvão mineral e nuclear, totalizando 87,3%. Os recursos renováveis têm a contribuição de 13,7% na oferta da energia mundial, incluindo 2,2% da energia hidráulica.



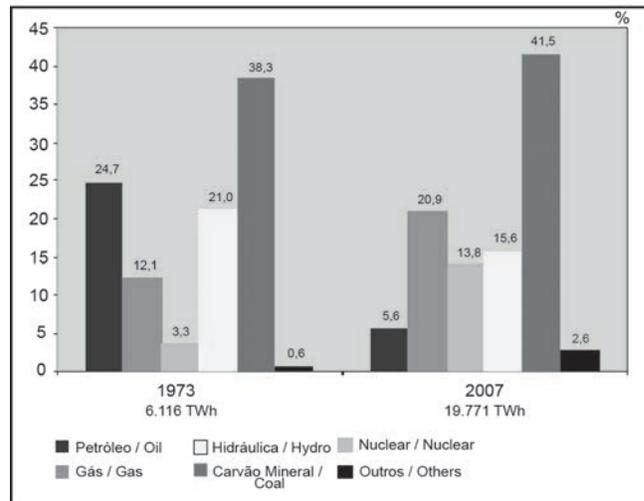
**Figura 4.5** Consumo de energia por fonte em 2007.

Fonte: adaptada de IEA (2009).

No que se refere ao consumo, observa-se que as fontes renováveis têm mais presença, atingindo a marca de 12,4%, ou seja, apesar da oferta ser menor (poucas fontes), o consumo é mais intenso (perdas menores) e com bom rendimento. No entanto, continua o alto consumo de fontes não renováveis, como:

petróleo, carvão e gás. O consumo de eletricidade se destaca, visto que se pode gerar eletricidade de várias fontes, renováveis ou não renováveis.

Pode-se dizer que fatos históricos influenciam o comportamento das nações no que diz respeito ao consumo de fontes energéticas, principalmente quando as reservas se situam em outras nações. Em 1973 houve o primeiro grande choque do petróleo. Este teve seu preço aumentado significativamente e muitos países tiveram problemas de abastecimento. O encarecimento abrupto do produto e a obrigação de manter os mercados internos funcionando, provocou um conjunto de reflexões e alterações de comportamento no consumo deste tipo de produto, que mudaram as posturas das nações quanto à exploração de recursos naturais sem a busca do aumento da eficiência e rendimentos máximos. A Figura 4.6 apresenta as fontes para a produção de energia em 1973 e 2007 (IEA, 2009).



**Figura 4.6** Produção de energia por fonte em 2007.

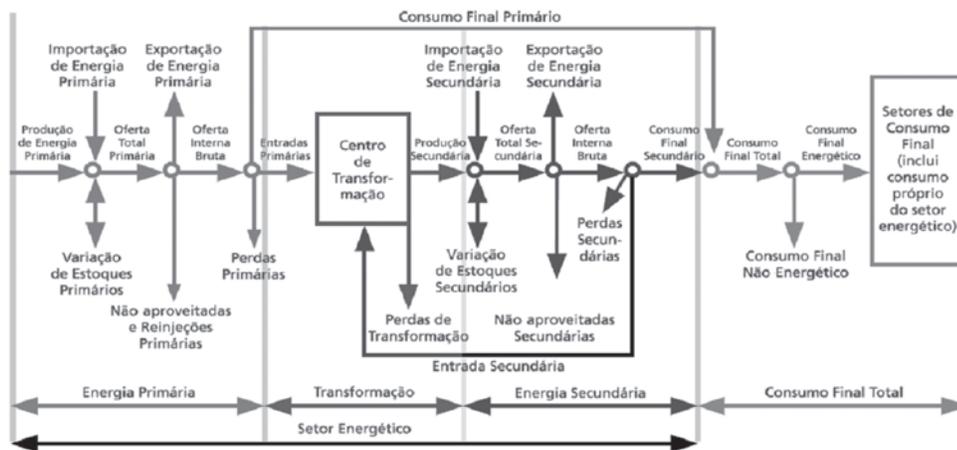
Fonte: adaptada de IEA (2009).

Como se pode observar na Figura 4.6, as fontes apresentavam-se desequilibradas, sendo o petróleo e o carvão as maiores fontes para a geração de energia. Já em 2007, observa-se uma queda significativa do petróleo e o aumento de outras fontes como gás, hidráulica, nuclear e outras (renováveis). O carvão mineral continua sendo uma fonte primária de destaque no cenário mundial, tanto em 1973 como 2007.

#### 4.4 Balanço Energético Nacional – BEN

O Balanço Energético Nacional (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2010) foi elaborado segundo a metodologia que propõe uma estrutura energética, suficientemente geral, de forma a permitir a obtenção da adequada configuração das variáveis físicas próprias do setor energético.

A matriz gerada pelo Balanço Energético Nacional (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2010), sintetizada na Figura 4.7, expressa o balanço das diversas etapas do processo energético: produção, transformação e consumo.



**Figura 4.7** Matriz de relações para obtenção do Balanço Energético Nacional.

Fonte: adaptada de Empresa de Pesquisa Energética (2010).

Para efeito de uniformização de entendimento, a Empresa de Pesquisa Energética (2010) adota as seguintes definições:

- *Energia Primária*: produtos energéticos providos pela natureza na sua forma direta, como petróleo, gás natural, carvão mineral, resíduos vegetais e animais, energia solar, eólica etc.
- *Energia Secundária*: produtos energéticos resultantes dos diferentes centros de transformação que têm como destino os diversos setores de consumo e eventualmente outro centro de transformação.
- *Oferta*: quantidade de energia que se coloca a disposição para ser transformada e/ou para consumo final.
- *Transformação*: o Setor “Transformação” agrupa todos os centros de transformação onde a energia que entra (primária e/ou secundária) se transforma em uma ou mais formas de energia secundária com suas correspondentes perdas na transformação.
- *Perdas*: ocorridas durante as atividades de produção, transporte, distribuição e armazenamento de energia. Como exemplos, pode-se destacar: perdas em gasodutos, oleodutos, linhas de transmissão de eletricidade, redes de distribuição elétrica, entre outros.
- *Consumo final*: nesta parte se detalham os diferentes setores da atividade socioeconômica do país, para onde convergem as energias, primária e secundária, configurando o “Consumo Final de Energia”.

A partir da compilação dos dados relativos aos energéticos, às fontes, à demanda, à oferta, ao consumo, entre outros, é que se pode realizar o Balanço Energético. Isto para que se possa efetivamente definir as ações de planejamento de modo organizado, prevendo os incentivos nas áreas prioritárias, bem como ações de conservação de energia no consumo para que haja uma compatibilidade entre o crescimento e desenvolvimento do país e suas reservas energéticas de modo sustentável.

## **4.5 Oferta e demanda de energia**

A oferta e demanda de energia são caracterizadas pela capacidade de geração (oferta) e a capacidade instalada que consome energia (demanda).

A demanda caracteriza-se como o potencial de consumo que um determinado processo operando em sua capacidade limite, ou seja, uma planta industrial tem capacidade de processar 1.000 t/mês para fabricar um determinado produto consumindo 1.000 kWh/t, o que configura uma demanda de 1 MWh. Se a planta industrial produzir as 1.000 t no mês, significa que o consumo mensal será de 1 MWh/mês. Assim, demanda é a potência total que uma instalação (planta industrial, comércio, residência, entre outros) está utilizando em um determinado momento. O consumo é a demanda (somatória das potências) multiplicada pelo tempo de utilização, ou seja, a soma das potências de todos os equipamentos ligados, vezes o número de horas que ficaram ligados. A oferta de energia no país deve acompanhar o ritmo da demanda por meio de uma matriz de energia que consiga ao longo do tempo atender ao crescimento do país. O planejamento energético é feito com base em levantamentos de oferta, demanda e consumo, bem como de reservas que permitam disponibilizar a sociedade a quantidade de energia que favoreça o crescimento e bem-estar.

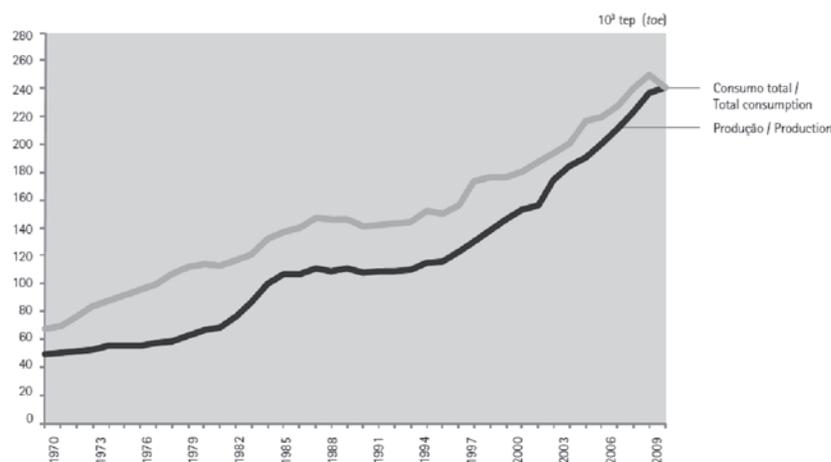
Segundo aponta a Nota Técnica da EPE (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2011) a demanda de energia elétrica no Brasil dessa década (2010-2020) deve crescer a uma taxa média de 4,8% ao ano, saindo de um patamar de consumo total de 456,5 mil Gigawatts-hora (GWh) no ano de 2010 para 730,1 mil GWh em 2020. Dessa maneira, é importante que haja o contínuo acompanhando dos resultados dos fluxos de energia (produção e consumo final) que são publicados anualmente pelo Ministério de Minas e Energia e empresas associadas.

Para efeito de conhecimento do montante de energia, primária e secundária, bem como das energias utilizadas pelos setores econômicos no país, as tabelas 4.3 e 4.4 e as figuras 4.8 e 4.9, apresentam um resumo da evolução das quantidades produzidas e consumidas de energia para os anos de 2000 a 2009.

**Tabela 4.3** Balanço das fontes primárias – 10<sup>3</sup> tep (toe).

| Fluxo                             | 2000    | 2001    | 2002    | 2003    | 2004    | 2005    | 2006    | 2007    | 2008    | 2009    |
|-----------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Produção                          | 153.334 | 156.386 | 174.418 | 184.097 | 190.238 | 200.522 | 211.802 | 222.747 | 238.553 | 241.100 |
| Importação                        | 32.894  | 36.872  | 37.648  | 34.316  | 41.301  | 40.884  | 37.798  | 44.113  | 41.376  | 36.291  |
| Exportação                        | -963    | -5.719  | -12.131 | -12.507 | -11.908 | -14.137 | -19.008 | -21.813 | -22.372 | -27.148 |
| Varição estimada perdas e ajustes | -5.095  | -563    | -6.259  | -5.036  | -3.377  | -7.229  | -2.685  | -5.444  | -6.018  | -9.237  |
| Consumo total                     | 180.169 | 186.976 | 193.677 | 200.869 | 216.253 | 220.041 | 227.907 | 239.603 | 249.589 | 241.007 |
| Transformação                     | 140.205 | 143.535 | 145.276 | 148.242 | 160.431 | 161.596 | 164.769 | 172.349 | 178.263 | 171.812 |
| Consumo final                     | 39.964  | 43.441  | 48.400  | 52.627  | 55.822  | 58.444  | 63.138  | 67.254  | 71.326  | 69.194  |
| Consumo final não energético      | 731     | 702     | 722     | 696     | 737     | 747     | 760     | 771     | 710     | 700     |
| Consumo final energético          | 39.233  | 42.739  | 47.678  | 51.931  | 55.084  | 57.697  | 62.378  | 66.483  | 70.616  | 68.495  |

Fonte: adaptada de Empresa de Pesquisa Energética (2010).

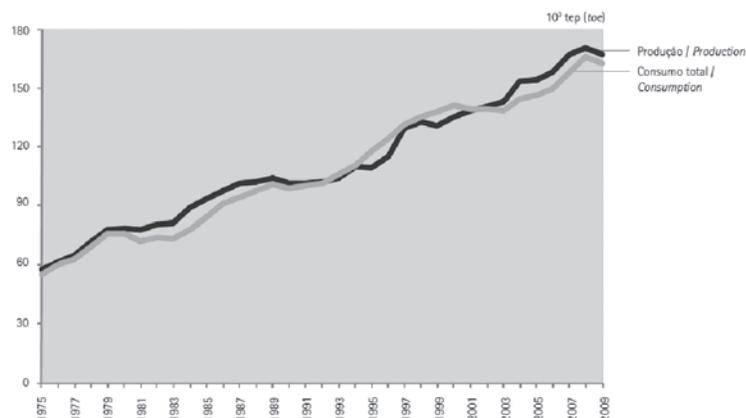
**Figura 4.8** Evolução do consumo e produção das fontes primárias de energia.

Fonte: adaptada de Empresa de Pesquisa Energética (2010).

**Tabela 4.4** Balanço das fontes secundárias – 10<sup>3</sup> tep (toe).

| Fluxo                             | 2000    | 2001    | 2002    | 2003    | 2004    | 2005    | 2006    | 2007    | 2008    | 2009    |
|-----------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Produção                          | 135.416 | 138.145 | 140.376 | 143.064 | 153.232 | 153.942 | 157.846 | 166.693 | 170.191 | 167.245 |
| Importação                        | 18.932  | 18.979  | 17.865  | 16.775  | 20.063  | 17.331  | 20.599  | 19.411  | 24.231  | 20.956  |
| Exportação                        | -8.741  | -11.336 | -12.558 | -13.393 | -15.058 | -14.941 | -16.147 | -16.834 | -17.014 | -15.036 |
| Varição estimada perdas e ajustes | -4.842  | -6.731  | -6.512  | -7.935  | -13.958 | -10.436 | -12.961 | -11.393 | -11.427 | -10.965 |
| Consumo total                     | 140.765 | 139.058 | 139.171 | 138.512 | 144.279 | 145.896 | 149.338 | 157.877 | 165.981 | 162.200 |
| Transformação                     | 8.780   | 10.313  | 9.411   | 9.024   | 8.904   | 8.431   | 9.577   | 9.637   | 10.914  | 10.060  |
| Consumo final                     | 131.985 | 128.745 | 129.760 | 129.487 | 135.375 | 137.464 | 139.760 | 148.239 | 155.067 | 152.140 |
| Consumo final não energético      | 13.562  | 12.842  | 11.895  | 11.796  | 12.238  | 12.475  | 13.564  | 13.384  | 13.966  | 14.271  |
| Consumo final energético          | 118.424 | 115.904 | 117.865 | 117.691 | 123.137 | 124.989 | 126.196 | 134.855 | 141.101 | 137.869 |

Fonte: adaptada de Empresa de Pesquisa Energética (2010).



**Figura 4.9** Evolução do consumo e produção das fontes secundárias de energia.

Fonte: adaptada de Empresa de Pesquisa Energética (2010).

Como se pode observar nas tabelas 4.3 e 4.4 e nas figuras 4.8 e 4.9, a produção de energias, primárias e secundárias, ao longo dos anos vêm apresentando um forte crescimento, de modo que a oferta se equipare ao consumo. Em alguns casos, observa-se a diminuição ou não alteração nos níveis de importação, ao contrário, ocorrendo com a exportação que vem sendo aumentada, reflexo do país suplantando a autossuficiência no campo do petróleo e passar a exportar esse bem. Também há outras fontes energéticas que são exportadas, em bruto (minério de carvão) ou transformadas (eletricidade e gás natural) (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2010).

No caso da eletricidade, além do projeto binacional de Itaipu, envolvendo Brasil e Paraguai, também existem as interligações do Brasil com Argentina, Uruguai e Venezuela. A possibilidade de ampliação dessas interligações ou o estabelecimento de novos pontos de interligação tem sido objeto de análises específicas no âmbito de acordos internacionais entre o governo brasileiro e os países limítrofes sul-americanos, visando à integração energética regional (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2010).

## 4.6 Consumo de energia por setor

O consumo de energia no País é identificado por setor econômico de atividade e a Empresa de Pesquisa Energética (2010), para efeito de uniformização de dados, estabelece os setores apresentados no Quadro 4.1.

**Quadro 4.1** Setores de atividades considerados no Balanço Energético Nacional.

|              |
|--------------|
| Setor        |
| Industrial   |
| Transportes  |
| Energético   |
| Residencial  |
| Agropecuário |
| Comercial    |
| Público      |

Fonte: adaptado de Empresa de Pesquisa Energética (2010).

Os consumos energéticos são contabilizados ano a ano, de modo que se possa acompanhar a evolução do consumo e comparar com os indexadores que estejam influenciando a variação positiva ou negativamente, de modo que o balanço energético subsidie a formulação de políticas e planejamento energéticos do país.

As tabelas 4.5 a 4.11 apresentam os consumos de energia ao longo dos últimos 10 anos (2000 a 2009) por setor econômico definido no Balanço Energético Nacional (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2010).

**Tabela 4.5** Consumo do setor industrial – 10<sup>3</sup> tep (toe).

| Fontes                             | 2000          | 2001          | 2002          | 2003          | 2004          | 2005          | 2006          | 2007          | 2008          | 2009          |
|------------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Gás natural                        | 3.867         | 4.569         | 5.580         | 5.859         | 6.663         | 7.224         | 7.563         | 8.051         | 8.453         | 7.161         |
| Carvão mineral                     | 2.841         | 2.759         | 3.016         | 3.294         | 3.594         | 3.519         | 3.496         | 3.727         | 3.840         | 2.949         |
| Lenha                              | 5.344         | 5.132         | 4.937         | 5.186         | 5.478         | 5.633         | 5.807         | 6.065         | 6.538         | 6.563         |
| Bagaço de cana                     | 7.858         | 9.841         | 11.102        | 11.981        | 12.812        | 13.083        | 15.259        | 16.152        | 15.390        | 16.292        |
| Outras fontes primárias renováveis | 3.000         | 3.055         | 3.352         | 3.880         | 4.018         | 4.249         | 4.636         | 5.015         | 5.280         | 5.571         |
| Óleo diesel                        | 524           | 491           | 572           | 644           | 706           | 666           | 667           | 725           | 750           | 707           |
| Óleo combustível                   | 7.077         | 6.033         | 5.872         | 5.069         | 4.426         | 4.412         | 4.039         | 4.199         | 3.981         | 3.727         |
| Gás liquefeito de petróleo         | 871           | 729           | 594           | 565           | 544           | 608           | 695           | 740           | 784           | 739           |
| Nafta                              | 0             | 0             | 0             | 0             | 0             | 0             | 0             | 0             | 0             | 3             |
| Querosene                          | 19            | 16            | 16            | 13            | 11            | 8             | 5             | 4             | 3             | 3             |
| Gás de coqueria                    | 932           | 891           | 879           | 972           | 1.037         | 1.016         | 980           | 1.039         | 1.065         | 1.011         |
| Gás canalizado                     | 1             | 0             | 0             | 0             | 0             | 0             | 0             | 0             | 0             | 0             |
| Coque de carvão mineral            | 6.506         | 6.327         | 6.673         | 6.688         | 6.817         | 6.420         | 6.137         | 6.716         | 6.704         | 5.309         |
| Eletricidade                       | 12.614        | 11.984        | 13.123        | 13.822        | 14.797        | 15.082        | 15.774        | 16.565        | 16.961        | 16.020        |
| Carvão vegetal                     | 4.337         | 3.925         | 4.117         | 4.871         | 5.778         | 5.657         | 5.508         | 5.649         | 5.593         | 3.301         |
| Outras secundárias de petróleo     | 5.337         | 5.693         | 5.462         | 5.485         | 5.487         | 5.883         | 6.144         | 7.152         | 6.949         | 7.288         |
| Outras secundárias - alcatrão      | 77            | 75            | 78            | 38            | 50            | 37            | 48            | 56            | 39            | 44            |
| <b>Total</b>                       | <b>61.204</b> | <b>61.521</b> | <b>65.373</b> | <b>68.397</b> | <b>72.217</b> | <b>73.496</b> | <b>76.757</b> | <b>81.856</b> | <b>82.327</b> | <b>76.686</b> |

Fonte: adaptada de Empresa de Pesquisa Energética (2010).

**Tabela 4.6** Consumo do setor de transportes – 10<sup>3</sup> tep (toe).

| Fontes                         | 2000          | 2001          | 2002          | 2003          | 2004          | 2005          | 2006          | 2007          | 2008          | 2009          |
|--------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Gás natural                    | 275           | 503           | 852           | 1.169         | 1.390         | 1.711         | 2.030         | 2.252         | 2.158         | 1.853         |
| Carvão vapor                   | 0             | 0             | 0             | 0             | 0             | 0             | 0             | 0             | 0             | 0             |
| Lenha                          | 0             | 0             | 0             | 0             | 0             | 0             | 0             | 0             | 0             | 0             |
| Óleo diesel                    | 24.090        | 24.840        | 25.834        | 25.058        | 26.810        | 26.685        | 27.112        | 28.731        | 30.701        | 30.369        |
| Óleo combustível               | 648           | 712           | 742           | 699           | 782           | 806           | 733           | 930           | 1.038         | 986           |
| Gasolina automotiva            | 13.261        | 12.995        | 12.426        | 13.115        | 13.560        | 13.595        | 14.440        | 14.287        | 14.538        | 14.674        |
| Gasolina de aviação            | 58            | 56            | 42            | 47            | 47            | 42            | 54            | 56            | 47            | 48            |
| Querosene                      | 3.124         | 3.215         | 3.092         | 2.194         | 2.345         | 2.553         | 22.381        | 2.618         | 2.811         | 2.828         |
| Eletricidade                   | 107           | 103           | 81            | 84            | 89            | 102           | 126           | 135           | 138           | 137           |
| Álcool etílico                 | 5.820         | 5.377         | 6.085         | 5.794         | 6.445         | 6.963         | 6.395         | 8.612         | 11.013        | 11.792        |
| Álcool etílico anidro          | 3.046         | 3.208         | 3.871         | 3.875         | 3.979         | 4.079         | 2.777         | 3.325         | 3.533         | 3.392         |
| Álcool etílico hidratado       | 2.774         | 2.170         | 2.214         | 1.919         | 2.466         | 2.885         | 3.618         | 5.287         | 7.480         | 8.400         |
| Outras secundárias de petróleo | 0             | 0             | 0             | 0             | 0             | 0             | 0             | 0             | 0             | 0             |
| <b>Total</b>                   | <b>47.385</b> | <b>47.802</b> | <b>49.163</b> | <b>48.160</b> | <b>51.469</b> | <b>52.459</b> | <b>53.270</b> | <b>57.621</b> | <b>62.444</b> | <b>62.687</b> |

**Tabela 4.7** Consumo do setor energético – 10<sup>3</sup> tep (toe).

| Fontes                               | 2000          | 2001          | 2002          | 2003          | 2004          | 2005          | 2006          | 2007          | 2008          | 2009          |
|--------------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Gás natural                          | 2.066         | 2.198         | 2.545         | 2.740         | 2.948         | 3.252         | 3.500         | 3.817         | 4.926         | 5.112         |
| Bagaço de cana                       | 5.523         | 5.834         | 6.393         | 7.374         | 7.461         | 8.064         | 8.949         | 10.594        | 13.305        | 12.546        |
| Óleo diesel                          | 253           | 258           | 89            | 153           | 148           | 158           | 93            | 132           | 152           | 166           |
| Óleo combustível                     | 1.080         | 1.039         | 981           | 1.126         | 1.040         | 1.116         | 1.123         | 1.058         | 980           | 995           |
| Gás liquefeito de petróleo           | 46            | 4             | 10            | 41            | 46            | 27            | 57            | 53            | 19            | 37            |
| Nafta                                | 4             | 4             | 4             | 0             | 0             | 0             | 0             | 0             | 0             | 0             |
| Querosene                            | 1             | 1             | 1             | 0             | 0             | 0             | 0             | 0             | 0             | 0             |
| Gás de coqueria                      | 315           | 328           | 299           | 288           | 304           | 312           | 309           | 348           | 0             | 188           |
| Gás canalizado                       | 4             | 0             | 0             | 0             | 0             | 0             | 0             | 0             | 0             | 0             |
| Coque de carvão mineral/<br>alcatrão | 0             | 0             | 0             | 0             | 0             | 0             | 0             | 0             | 0             | 0             |
| Eletricidade                         | 901           | 959           | 1.000         | 1.033         | 1.135         | 1.164         | 1.253         | 1.485         | 1.582         | 1.613         |
| Outras secundárias de petróleo       | 2.656         | 2.950         | 3.068         | 3.077         | 3.361         | 3.550         | 3.525         | 3.550         | 3.582         | 3.747         |
| <b>Total</b>                         | <b>12.847</b> | <b>13.575</b> | <b>14.391</b> | <b>15.832</b> | <b>16.442</b> | <b>17.643</b> | <b>18.810</b> | <b>21.036</b> | <b>24.546</b> | <b>24.405</b> |

**Tabela 4.8** Consumo do setor residencial – 10<sup>3</sup> tep (toe).

| Fontes                     | 2000          | 2001          | 2002          | 2003          | 2004          | 2005          | 2006          | 2007          | 2008          | 2009          |
|----------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Gás natural                | 100           | 123           | 135           | 172           | 181           | 191           | 207           | 221           | 229           | 238           |
| Lenha                      | 6.570         | 6.857         | 7.675         | 7.964         | 8.074         | 8.235         | 8.276         | 7.812         | 7.706         | 7.529         |
| Gás liquefeito de petróleo | 6.325         | 6.330         | 6.107         | 5.710         | 5.828         | 5.713         | 5.710         | 5.896         | 6.043         | 6.115         |
| Querosene                  | 36            | 53            | 53            | 14            | 13            | 17            | 15            | 9             | 9             | 8             |
| Gás canalizado             | 60            | 25            | 22            | 0             | 0             | 0             | 0             | 0             | 0             | 0             |
| Eletricidade               | 7.188         | 6.342         | 6.254         | 6.548         | 6.758         | 7.155         | 7.380         | 7.816         | 8.220         | 8.753         |
| Carvão vegetal             | 409           | 418           | 435           | 493           | 503           | 517           | 502           | 517           | 531           | 584           |
| <b>Total</b>               | <b>20.688</b> | <b>20.149</b> | <b>20.681</b> | <b>20.902</b> | <b>21.357</b> | <b>21.827</b> | <b>22.090</b> | <b>22.271</b> | <b>22.738</b> | <b>23.227</b> |

**Tabela 4.9** Consumo do setor agropecuário – 10<sup>3</sup> tep (toe).

| Fontes                     | 2000         | 2001         | 2002         | 2003         | 2004         | 2005         | 2006         | 2007         | 2008         | 2009         |
|----------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Lenha                      | 1.638        | 1.638        | 1.794        | 1.990        | 2.130        | 2.178        | 2.244        | 2.356        | 2.538        | 2.411        |
| Óleo diesel                | 4.452        | 4.855        | 4.775        | 4.825        | 4.767        | 4.734        | 4.799        | 5.099        | 5.685        | 5.515        |
| Óleo combustível           | 106          | 144          | 106          | 83           | 71           | 64           | 66           | 61           | 68           | 68           |
| Gás liquefeito de petróleo | 16           | 21           | 20           | 18           | 20           | 23           | 19           | 19           | 22           | 23           |
| Querosene                  | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            |
| Eletricidade               | 1.105        | 1.066        | 1.111        | 1.228        | 1.281        | 1.349        | 1.412        | 1.508        | 1.582        | 1.428        |
| Carvão vegetal             | 5            | 5            | 5            | 5            | 6            | 6            | 6            | 7            | 7            | 7            |
| <b>Total</b>               | <b>7.322</b> | <b>7.729</b> | <b>7.810</b> | <b>8.150</b> | <b>8.274</b> | <b>8.354</b> | <b>8.547</b> | <b>9.050</b> | <b>9.903</b> | <b>9.451</b> |

**Tabela 4.10** Consumo do setor comercial – 10<sup>3</sup> tep (toe).

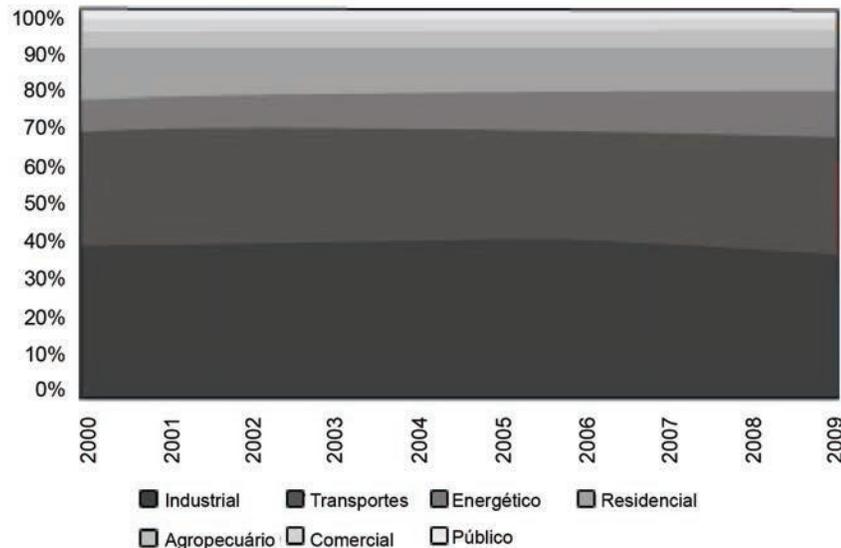
| Fontes                       | 2000         | 2001         | 2002         | 2003         | 2004         | 2005         | 2006         | 2007         | 2008         | 2009         |
|------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Gás natural                  | 69           | 141          | 182          | 206          | 216          | 233          | 266          | 275          | 171          | 176          |
| Lenha                        | 75           | 71           | 65           | 78           | 71           | 73           | 74           | 77           | 78           | 80           |
| Óleo diesel                  | 67           | 60           | 80           | 86           | 103          | 53           | 54           | 56           | 59           | 57           |
| Óleo combustível             | 354          | 312          | 378          | 129          | 142          | 115          | 110          | 116          | 122          | 122          |
| Gás liquefeito de petróleo   | 217          | 267          | 265          | 272          | 284          | 309          | 308          | 302          | 309          | 135          |
| Gás canalizado               | 18           | 8            | 4            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            |
| Eletricidade                 | 4.084        | 3.840        | 3.903        | 4.160        | 4.307        | 4.600        | 4.749        | 5.034        | 5.375        | 5.532        |
| Carvão vegetal               | 63           | 61           | 58           | 63           | 66           | 67           | 69           | 73           | 78           | 78           |
| Outros derivados de petróleo | 21           | 21           | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            |
| <b>Total</b>                 | <b>4.968</b> | <b>4.781</b> | <b>4.935</b> | <b>4.994</b> | <b>5.188</b> | <b>5.452</b> | <b>5.631</b> | <b>5.935</b> | <b>6.190</b> | <b>6.179</b> |

**Tabela 4.11** Consumo do setor público – 10<sup>3</sup> tep (toe).

| Fontes                       | 2000         | 2001         | 2002         | 2003         | 2004         | 2005         | 2006         | 2007         | 2008         | 2009         |
|------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Gás natural                  | 7            | 18           | 38           | 36           | 48           | 49           | 55           | 56           | 3            | 4            |
| Lenha                        | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            |
| Óleo diesel                  | 118          | 114          | 171          | 118          | 125          | 85           | 91           | 94           | 96           | 97           |
| Óleo combustível             | 234          | 230          | 159          | 116          | 53           | 61           | 55           | 85           | 87           | 87           |
| Gás liquefeito de petróleo   | 369          | 391          | 407          | 391          | 460          | 441          | 410          | 422          | 409          | 373          |
| Querosene                    | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            |
| Gás canalizado               | 3            | 2            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            |
| Eletricidade                 | 2.510        | 2.333        | 2.412        | 2.555        | 2.588        | 2.815        | 2.842        | 2.900        | 2.972        | 3.156        |
| Carvão vegetal               | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            |
| Outros derivados de petróleo | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 3.717        |
| <b>Total</b>                 | <b>3.242</b> | <b>3.086</b> | <b>3.187</b> | <b>3.216</b> | <b>3.273</b> | <b>3.451</b> | <b>3.453</b> | <b>3.557</b> | <b>3.567</b> | <b>3.717</b> |

Fonte das tabelas: adaptada de Empresa de Pesquisa Energética (2010).

Os consumos setoriais representam o montante de energia consumida no país, em decorrência do estágio de desenvolvimento da sociedade. O gráfico da Figura 4.10 sintetiza o perfil da participação dos setores de atividade no computo global de consumo de energia na última década.



**Figura 4.10** Participação dos setores de atividades no consumo global de energia.

Fonte: adaptada de Empresa de Pesquisa Energética (2010).

Pode-se observar que 70% do consumo são devidos aos setores de transportes e industrial. No caso do setor industrial, deve-se à produção de bens de consumo. No caso dos transportes, o consumo é devido à necessidade do transporte de bens, como as safras agrícolas, visto que o país é um grande exportador de *commodities* do setor agropecuário, que representa em torno de 10% do consumo nacional.

O consumo residencial é também significativo. Responde por cerca de 10% do consumo. Isso significa que a energia está alcançando as residências do país, onde o Governo Federal lançou em novembro de 2003, o desafio de acabar com a exclusão elétrica no país, por meio do Programa “Luz para todos”, coordenado pelo Ministério de Minas e Energia, operacionalizado pela Eletrobrás (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2012).

## 4.7 Recursos e reservas energéticas no Brasil

No país, os recursos e reservas energéticas contemplam os dados dos recursos e reserva das fontes primárias de energia, compreendendo, entre estas: o petróleo, o xisto, o carvão mineral, a hidroeletricidade e o urânio. Essas reservas se localizam nos limites geográficos do país e, portanto, devem ter seu uso planejado para que não sejam exauridas, ensejando a necessidade de importação

e dependência. Também, as contabilizações das reservas servem para incentivar o uso de outras fontes de energia, como as renováveis, ou mesmo incentivar ou equilibrar o uso de determinadas fontes na matriz energética brasileira.

O Ministério de Minas e Energia, como já comentado, prepara anualmente o Balanço Energético Nacional, no qual apresenta a situação das reservas de fontes primárias e para efeito de compatibilização, os conceitos básicos utilizados para o levantamento dos recursos e reservas de algumas fontes primárias de energia são os seguintes (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2010):

- *Petróleo e Gás Natural*: considera-se o volume de óleo e/ou gás, medido nas condições básicas, originado da multiplicação de fatores de recuperação (determinados em estudos de engenharia de reservatórios) pelo volume original provado de óleo e/ou gás, descontando-se o volume produzido até a data considerada.
- *Xisto*: segundo o Código de Mineração Brasileiro o recurso é considerado quando uma concentração de materiais sólidos, líquidos ou gasosos que ocorre naturalmente no interior ou na superfície da crosta terrestre de tal forma que a extração econômica e usual ou potencialmente viável.
- *Carvão Mineral*: as reservas de carvão são determinadas considerando-se uma espessura mínima de 0,5 a 1,0 m de carvão na camada.
- *Potencial Hidrelétrico*: é o potencial possível de ser técnica e economicamente aproveitado nas condições atuais de tecnologia.
- *Urânio*: as reservas de urânio seguem a classificação convencional de geologia, baseado no critério do “Código de Mineração Brasileiro”.

A Tabela 4.12 apresenta os dados das reservas nacionais contabilizados em 2009 e consolidados no Balanço Energético Nacional de 2010 (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2010), para algumas fontes primárias predominantes na matriz energética brasileira.

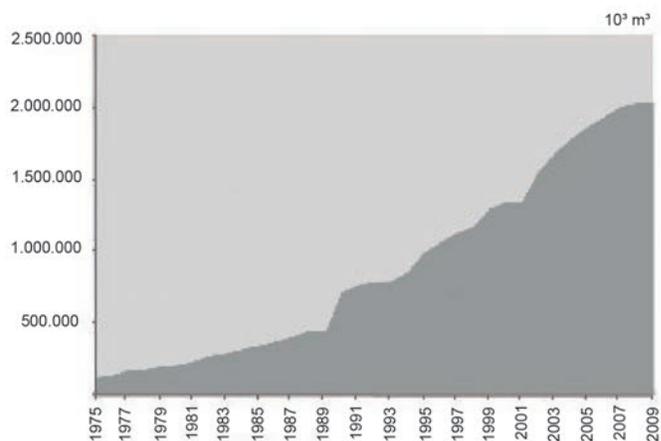
**Tabela 4.12** Reservas das fontes primárias no ano de 2009.

| Fonte           | Unidade                        | Quantidades constatadas <sup>(*)</sup> | Quantidades estimadas | Total     |
|-----------------|--------------------------------|--|-----------------------|-----------|
| Petróleo        | 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> | 2.044.091                              | 1.315.899             | 3.359.990 |
| Gás Natural     | 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> | 366.467                                | 233.839               | 600.306   |
| Carvão Mineral  | 10 <sup>6</sup> t              | 25.777                                 | 6.535                 | 32.312    |
| Hidráulica      | GW                             | 101,9                                  | 32,0                  | 133,8     |
| Energia Nuclear | tU <sub>3</sub> O <sub>8</sub> | 177.500                                | 131.870               | 309.370   |

\*Nota: as quantidades constatadas referem-se, segundo metodologia específica para cada fonte, às quantidades medidas, indicadas ou inventariadas no território nacional.

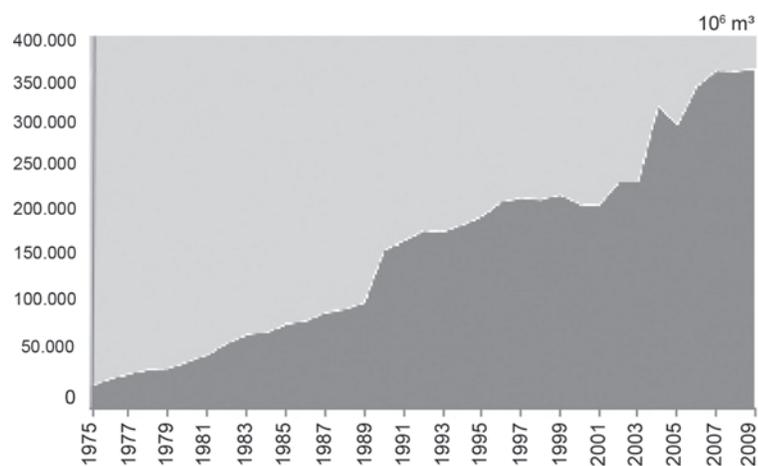
Fonte: adaptada de Empresa de Pesquisa Energética (2010).

Nesse computo não estão incluídas as demais fontes de energia renováveis, como por exemplo, solar e eólica, que tem potencial ilimitado conforme a tecnologia e aplicação disponíveis. As figuras 4.11 a 4.15 apresentam a evolução das reservas dessas fontes primárias ao longo dos últimos anos.



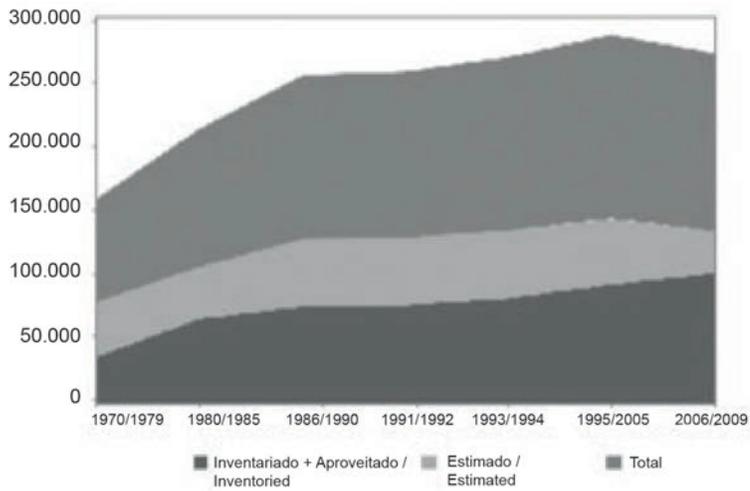
**Figura 4.11** Gráfico da evolução das reservas de petróleo de 1975 a 2009.

Fonte: adaptada de Empresa de Pesquisa Energética (2010).



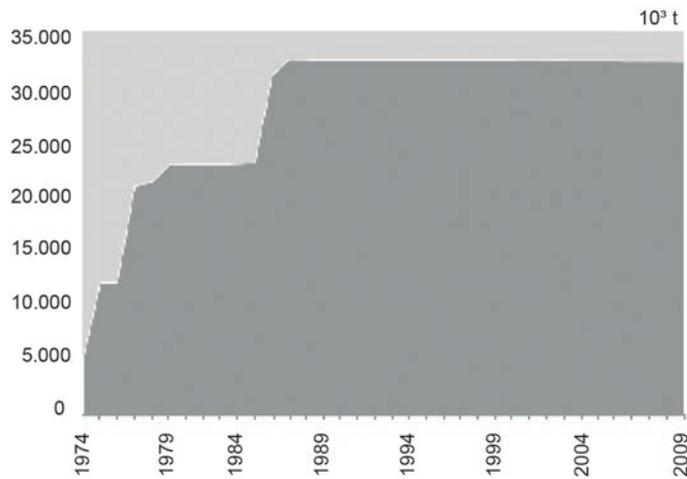
**Figura 4.12** Gráfico da evolução das reservas de gás natural de 1975 a 2009.

Fonte: adaptada de Empresa de Pesquisa Energética(2010).



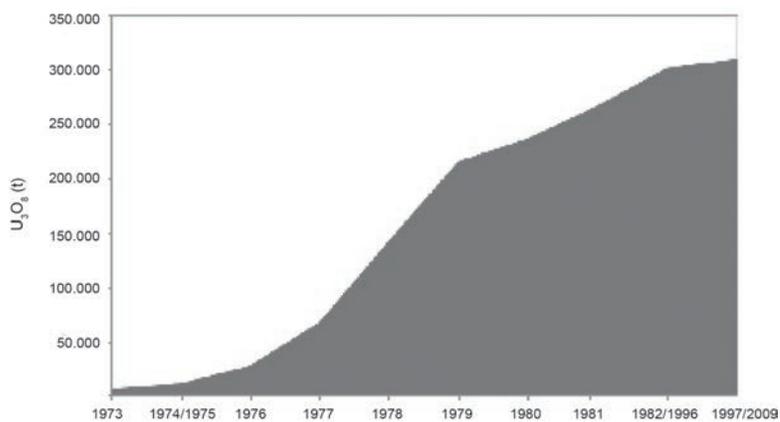
**Figura 4.13** Gráfico da evolução do potencial hidrelétrico de 1970 a 2009.

Fonte: adaptada de Empresa de Pesquisa Energética (2010).



**Figura 4.14** Gráfico da evolução das reservas de carvão mineral de 1974 a 2009.

Fonte: adaptada de Empresa de Pesquisa Energética (2010).



**Figura 4.15** Gráfico da evolução das reservas urânio ( $U_3O_8$ ) de 1973 a 2009.

Fonte: adaptada de Empresa de Pesquisa Energética (2010).

Como se pode observar nos gráficos das figuras anteriores, as reservas de petróleo, gás natural e urânio, cresceram significativamente a partir dos anos 1980 e 1990, significando um grande patrimônio para a oferta de energia.

No caso do carvão mineral, observa-se que as reservas permanecem constantes desde 1984, significando que as confirmações das jazidas se equivalem ao consumo, que também pode estar declinando.

Quanto ao potencial hidrelétrico, observa-se que apesar de crescente, quanto mais explorado for, mais decrescente será o potencial estimado. Isto devido ao número de grandes usinas que estão em construção ou em funcionamento, restando um potencial estimado menor, que pode estar na utilização de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs).

## 4.8 Matriz energética nacional

Segundo o Plano Decenal de Energia para 2010-2019 (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2010) a matriz energética nacional compõe-se de 51,7% de fontes não renováveis e 48,3% de fontes renováveis. A Tabela 4.13 apresenta a composição da oferta interna de energia.

**Tabela 4.13** Oferta interna de energia em 2010.

| Discriminação                                       | 2010                | Total        |
|---|---------------------|--------------|
|   | 10 <sup>3</sup> tep | %            |
| <b>Energia Não Renovável</b>                        | <b>138.213</b>      | <b>51,7</b>  |
| Petróleo e derivados                                | 93.556              | 35,0         |
| Gás natural   | 26.149              | 9,8          |
| Carvão mineral e derivados                          | 14.790              | 5,5          |
| Urânio (U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ) e derivados | 3.718               | 1,4          |
| <b>Energia Renovável</b>                            | <b>129.035</b>      | <b>48,3</b>  |
| Hidráulica e eletricidade                           | 37.386              | 14,0         |
| Lenha e carvão vegetal                              | 28.922              | 10,8         |
| Derivados da cana-de-açúcar                         | 54.196              | 20,3         |
| Outras renováveis                                   | 8.531               | 3,2          |
| <b>Total</b>  | <b>267.248</b>      | <b>100,0</b> |

Fonte: adaptada de Ministério de Minas e Energia (2010).

No mesmo Plano Decenal (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2010) estão identificadas as quantidades de produção dos principais energéticos incluídos na matriz energética nacional. A Tabela 4.14 apresenta os valores da produção nacional por fonte de energia.

**Tabela 4.14** Produção dos principais energéticos.

| Discriminação  | 2010    |
|--|---------|
| Petróleo (mil barris/dia)                                  | 2.259   |
| Gás Natural (mil m <sup>3</sup> /dia)                      | 69.201  |
| Carvão Mineral (mil t)                                     | 8.114   |
| Bagaço de Cana (mil t)                                     | 185.069 |
| Coque de Carvão Mineral (mil t)                            | 8.057   |
| Urânio – U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>                     | 480     |
| Eletricidade (GWh)   | 512.461 |
| Etanol (mil m <sup>3</sup> )                               | 33.731  |
| Lenha e Carvão Vegetal (mil t)                             | 102.070 |
| Subtotal Derivados de Petróleo (mil m <sup>3</sup> )       | 110.623 |
| Óleo Diesel (mil m <sup>3</sup> )                          | 32.881  |
| Óleo Combustível (mil m <sup>3</sup> )                     | 20.498  |
| Gasolina (mil m <sup>3</sup> )                             | 20.863  |
| Gás Liquefeito de Petróleo (mil m <sup>3</sup> )           | 12.109  |
| Nafta (mil m <sup>3</sup> )                                | 7.406   |
| Querosene (mil m <sup>3</sup> )                            | 2.230   |
| Outras Secundárias de Petróleo (mil m <sup>3</sup> )       | 9.394   |
| Produtos Não Energéticos de Petróleo (mil m <sup>3</sup> ) | 5.241   |

Fonte: adaptada de Ministério de Minas e Energia (2010).

## 4.9 Estudos complementares

- Informações sobre a geração de energia no Brasil: AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/15.htm>>. Acesso em: 07 nov. 2012.
- Informações atualizadas sobre a capacidade de geração de energia do Brasil: AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. *BIG - Banco de Informações de Geração*: capacidade de geração do Brasil. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.asp>>. Acesso em: 07 nov. 2012.
- Diversos materiais e informações sobre o setor energético brasileiro: MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). *Publicações*. Disponível em: <[http://www.mme.gov.br/mme/menu/todas\\_publicacoes.html](http://www.mme.gov.br/mme/menu/todas_publicacoes.html)>. Acesso em: 07 nov. 2012.
- Informações sobre o Programa Luz para Todos: MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). *Programa Luz para Todos*. Disponível em: <<http://luzparatodos.mme.gov.br/luzparatodos/asp/>>. Acesso em: 07 nov. 2012.

- Diversas informações sobre o setor energético nacional: EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/Paginas/default.aspx>>. Acesso em: 07 nov. 2012.
- Informações sobre a Agência Nacional de Energia Elétrica: AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/>>. Acesso em: 07 nov. 2012.
- Diversas informações sobre o setor elétrico: CANAL ENERGIA. Disponível em: <<http://www.canalenergia.com.br/zpublisher/secoes/home.asp>>. Acesso em: 07 nov. 2012.
- Informações sobre as companhias distribuidoras de energia elétrica: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE DISTRIBUIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA (ABRADEE). Disponível em: <<http://www.abradee.com.br/>>. Acesso em: 07 nov. 2012.

## 4.10 Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil). *Atlas de energia elétrica do Brasil*. 3. ed. Brasília, 2008. 236 p.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE (Brasil). *Balanço Energético Nacional 2010*: Ano base 2009. Rio de Janeiro, 2010. 276 p.

\_\_\_\_\_. Nota técnica DAE 3 novembro: projeção da demanda de energia elétrica para os próximos 10 anos (2011-2020). Rio de Janeiro, 2011.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA; EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. *Plano Decenal de Expansão de Energia Elétrica 2010/2019*. Brasília, 2010.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). *Programa Luz para Todos*: o programa. Disponível em: <[http://luzparatodos.mme.gov.br/luzparatodos/Asp/o\\_programa.asp](http://luzparatodos.mme.gov.br/luzparatodos/Asp/o_programa.asp)>. Acesso em: 03 ago. 2012.

# **UNIDADE 5**

Política energética brasileira



## 5.1 Primeiras palavras

Para entender a Política Energética Brasileira é necessário conhecer a história do setor elétrico, pois este foi um indutor da necessidade do estabelecimento de leis, decretos, normas, entre outros expedientes reguladores do setor no Brasil.

## 5.2 Problematizando o tema

A maior barreira do desenvolvimento de um país é a sua capacidade de prover energia para os setores produtivos, que alavancam seu crescimento econômico. Entender e compreender as políticas de geração, distribuição e de tarifação se torna importante para poder identificar os impactos gerados pelo uso da energia na sociedade.

## 5.3 Histórico da política energética brasileira

A política energética brasileira se confunde com o início do desenvolvimento do setor elétrico no Brasil, que constava da Constituição de 1891. Esta, extremamente descentralizada, possibilitou a entrada de grandes investidores estrangeiros, como a Light Serviços de Eletricidade S. A. (que iniciou as suas atividades no Brasil em 1897) e a *American & Foreign Power – AMFORP*, em 1927), em que os prazos de concessão duravam de 30 a 90 anos e as concessionárias corrigiam suas tarifas pela depreciação da moeda nacional. A partir de então, a questão da política energética brasileira passou por várias etapas até se constituir em um importante instrumento nacional de desenvolvimento sustentável. A seguir, comenta-se brevemente a evolução da política energética do século XIX ao XXI.

Em 1934, foi decretado o Código de Águas (BRASIL, 2012a), que outorgou a concessão elétrica ao governo Federal, pondo fim à regionalização do poder concedente.

No final da década de 1930, próximo ao início da 2ª Guerra Mundial, o abastecimento de energia foi penalizado pela falta de investimentos e de equipamentos para importar. Com a guerra e a crise energética de 1939, o Governo criou o Conselho Nacional de Água e Energia Elétrica – CNAEE para coordenar uma política de racionamento. Entre 1946 e 1951, cerca de 98% do abastecimento do serviço de energia elétrica estavam sob o comando de capital privado.

Em 1945, foi criada a Companhia Hidrelétrica do São Francisco – CHESF, no entanto, o início de seu funcionamento ocorreu em 1949. Em 1954, foi criado

o Imposto Único sobre Energia Elétrica – IUEE e o Fundo Federal de Eletrificação – FFE, gerido pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico – BNDES. Foram criadas em 1961, as Centrais Elétricas Brasileiras S.A. – Eletrobrás, alicerçada na CHESF e Furnas e a ela foi transferida a gestão do FFE que estava a cargo do BNDES.

Em 1964, a Eletrobrás comprou a Amforp, dada a persistente defasagem entre a capacidade de geração e o aumento da demanda. Em 1965, houve a reorganização do Ministério de Minas e Energia – MME. Nesta reformulação, extinguiu-se o CNAEE e atribuiu-se à Eletrobrás as funções de planejamento e coordenação. Entre 1967 e 1973, a União transferiu aos Estados os serviços de distribuição e sub transmissão. A geração e a transmissão ficaram a cargo da Eletrobrás. Em 1979, o governo comprou ações da Light, momento em que todas as concessionárias do setor elétrico possuíam capital nacional.

O Ministério de Minas e Energia (MME) foi criado em 1960, pela Lei nº 3.782, de 22 de julho de 1960 (BRASIL, 2012c), pois anteriormente, os assuntos referentes a este ministério eram de competência do Ministério da Agricultura. Em 1990, a partir da Lei nº 8.028, de 12 de abril de 1990 (BRASIL, 2012d) o MME foi extinto e transferiu suas atribuições ao Ministério da Infraestrutura (que foi criado pela mesma lei) e também passou a ser responsável pelos setores de transportes e comunicações (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2012).

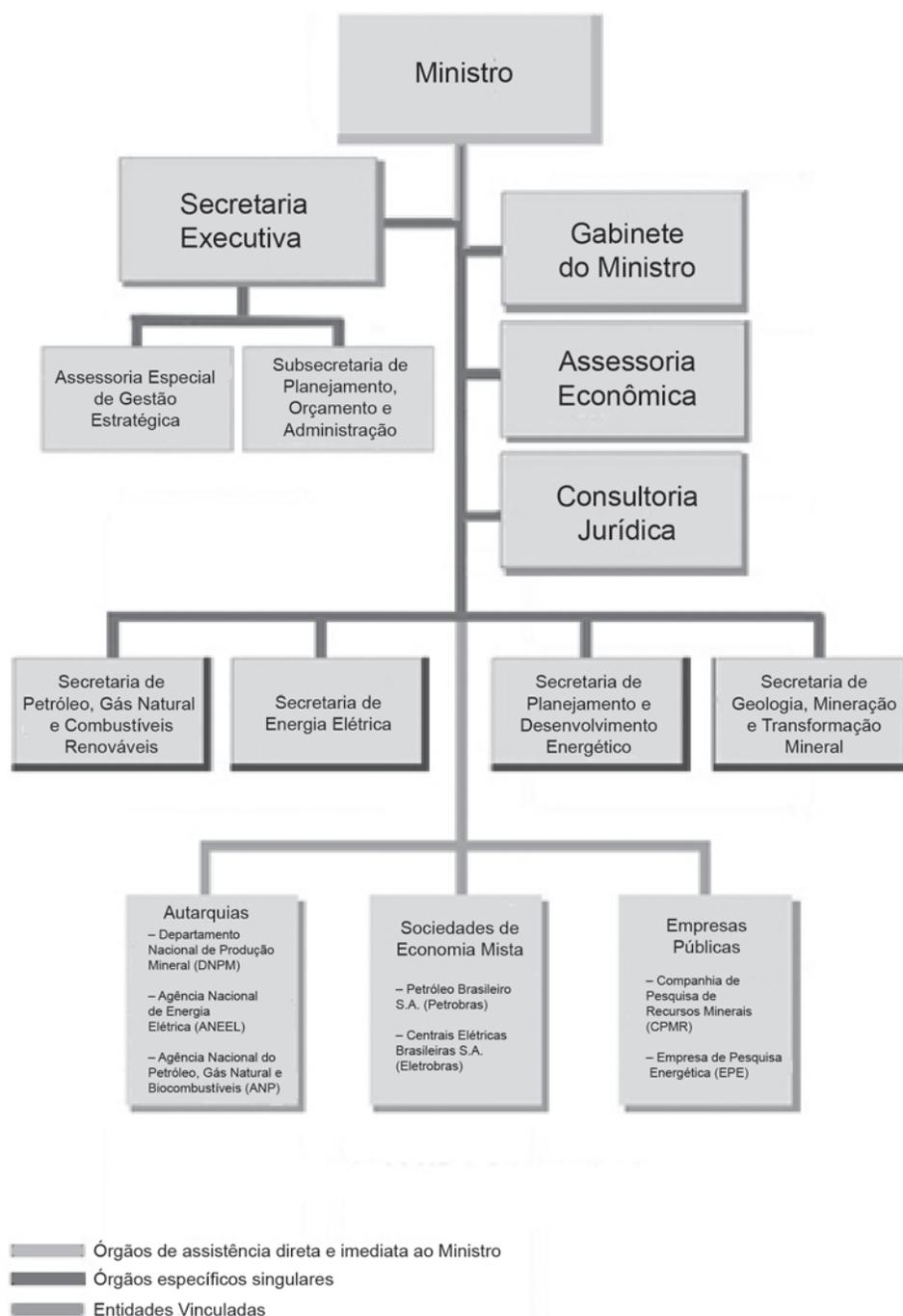
O MME voltou a ser criado em 1992 por meio da Lei nº 8.422, de 13 de maio de 1992 (BRASIL, 2012e). Em 6 de agosto de 1997, foi criado o Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), vinculado à Presidência da República, a partir da Lei nº 9.478, de 6 de agosto de 1997 (BRASIL, 2012g), com a responsabilidade de propor ao Presidente da República políticas nacionais e medidas para o setor energético (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2012).

A partir de 2003, a Lei nº 10.683, de 28 de maio de 2003 (BRASIL, 2012n) definiu como competências do MME as áreas de geologia, recursos minerais e energéticos; aproveitamento da energia hidráulica; mineração e metalurgia; e petróleo, combustível e energia elétrica, incluindo a nuclear (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2012).

Em 2004, foi criado o Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico (CMSE), a partir da Lei nº 10.848, de 15 de março de 2004 (BRASIL, 2012o), cuja função seria a de acompanhar e avaliar permanentemente a continuidade e a segurança do suprimento eletro energético em todo o País. Ainda em 2004, foi criada a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), por meio da Lei nº 10.847, de 15 de março de 2004 (BRASIL, 2012q). A EPE é vinculada ao MME e tem por finalidade prestar serviços na área de estudos e pesquisas destinadas a subsidiar o planejamento do setor energético (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2012).

É importante destacar também que o MME tem como empresas vinculadas a Eletrobrás e a Petrobras (empresas de economia mista). A Eletrobrás controla as empresas: Furnas Centrais Elétricas S.A., Companhia Hidro Elétrica do São Francisco (Chesf), Companhia de Geração Térmica de Energia Elétrica (CG-TEE), Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A. (Eletronorte), Eletrosul Centrais Elétricas S. A. (Eletrosul) e Eletrobrás Termonuclear S.A. (Eletronuclear) (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2012). Por fim, cabe destacar que entre as autarquias vinculadas ao MME estão: Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), Agência Nacional do Petróleo (ANP) e o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2012).

A Figura 5.1 apresenta o organograma do Ministério de Minas e Energia.



**Figura 5.1** Estrutura organizacional do MME.

Fonte: adaptada de Ministério de Minas e Energia (2012).

Como forma de orientar a política energética nacional o MME publica os Planos Nacionais de Energia (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2012) em consonância com as diretrizes do Conselho Nacional de Políticas Energéticas (CNPE).

## 5.4 Política setorial energética

Com a eletricidade tendo grande presença na matriz energética, as atenções dos governantes eram centradas na garantia de suprimento a mínimo custo para atender à crescente demanda. Segundo Codoni et al. (1985), isso resultou em uma coleção de planos desagregados de investimentos no setor elétrico com desvantagens que merecem destaque, tais como: conflitos de objetivos intersetoriais, sub otimização intersetorial (predominância de geração de eletricidade por combustíveis fósseis onde poderiam ser usados recursos renováveis) e ausência de mecanismos capazes de tratar as interfaces entre as questões ambientais e energéticas, por exemplo.

A política setorial energética da Eletrobrás foi definida em quatro itens (VIANA, 2004):

- Prioridade atribuída à opção hidrelétrica (em oposição à termoelétrica);
- Estratégia de construir grandes usinas geradoras de alcance regional em termos de mercado consumidor;
- Constituir-se em holding estatal;
- Elaborar um padrão de financiamento do setor elétrico nacional, conjugando recursos de diferentes fontes (tarifária, impostos, empréstimos compulsórios e empréstimos do sistema financeiro internacional).
- Viana (2004) cita que aliado a estes fatos, no decorrer da década de 1970, ocorreram mudanças significativas no setor elétrico e nas atividades de planejamento energético em todo o mundo, entre elas o choque mundial do petróleo em 1973, sendo que algumas dessas transformações causaram impactos diretos no País.

Ainda segundo a autora, o primeiro choque mundial do petróleo (em 1973) não comprometeu tão drasticamente a economia brasileira, em virtude do “milagre econômico”. Porém, o Brasil não escapou do segundo choque (em 1979), que causou reflexos importantes na economia nacional, como: a aceleração do processo inflacionário, a redução das taxas de crescimento do PIB, o desemprego e o desequilíbrio das contas públicas.

Por sua vez, a redução do crescimento econômico fez com que a demanda energética apresentasse taxas declinantes, o que gerou capacidade ociosa no setor elétrico nacional. Este fato provocou aumento dos prazos de amadurecimento do capital investido e diminuição da capacidade de autofinanciamento do setor. A partir do impacto da percepção mundial da dependência do petróleo, o

mundo começou a abordar o planejamento energético por uma ótica multissetorial, isto é, integrando o setor elétrico e de petróleo (VIANA, 2004).

Segundo Jannuzzi (1997) citado por Viana (2004):

o preço do petróleo durante os anos 1970 determinou maiores esforços do Brasil em termos da redução da dependência externa deste combustível, com a canalização de investimentos para exploração, produção nacional e maior uso de hidroeletricidade. Programas de substituição de combustíveis como o Programa Nacional do Álcool (PróAlcool), foram iniciados, com o objetivo de aumentar a produção doméstica de combustível como uma mercadoria estratégica (JANNUZZI, 1997 apud VIANA, 2004, p. 1).

Durante a vigência do modelo setorial estatal, de maneira geral a Eletrobrás e a Petrobras realizavam as tarefas para os setores elétricos e de petróleo e gás, respectivamente, restando ao MME o papel de homologá-las (VIANA, 2004).

A partir dos anos 1980, a preocupação ambiental passou a fazer parte da agenda do planejamento energético, sendo colocada em prática de forma corretiva e não preventiva. No final da década de 1980, a prática foi modificada e começou-se a trabalhar a preservação ambiental de maneira pró-ativa, ou seja, buscando empreendimentos de menor impacto ambiental. Ainda no mesmo período, com a queda dos preços do petróleo, houve uma diminuição no interesse pelas energias renováveis (VIANA, 2004).

Ainda segundo a autora, as soluções para os problemas enfrentados pelo setor elétrico (no final dos anos 1970 e durante a década de 1980), foram se delineando no sentido de mudar qualitativamente a atuação do Estado no setor. A nova estrutura estabelecida na metade dos anos 1980 tinha como propósito a diminuição da participação e intervenção direta do Estado, substituindo-a por uma função de agente regulador e financiador, o que culminaria futuramente no processo de privatização. Tendo em vista essas mudanças e a instituição de um aparato legal em prol da privatização, a década de 1990 foi marcada pela competição.

Durante este período, o Brasil passou por profundas transformações no setor elétrico.

No governo de Fernando Henrique Cardoso foi implantada a livre concorrência para promover a eficiência no setor. A expectativa era de privatizar praticamente todo o setor de distribuição de energia elétrica como condição necessária à alocação de recursos. Houve a criação de um programa de termelétricas (Programa Prioritário de Termelétricas), a implantação do Mercado Atacadista de Energia (MAE) e também foi criada a Agência Nacional de Energia Elétrica – Aneel (VIANA, 2004).

Essas mudanças motivaram o aparecimento de teorias e técnicas de planejamento que procuravam equacionar riscos e incertezas, pois como anteriormente, o setor era dominado por empresas estatais, partia-se do pressuposto de que o risco não era um grande problema porque os eventuais prejuízos eram socializados. Durante esse período, o governo afastou-se do planejamento energético, acreditando que o mercado poderia resolver tudo (VIANA, 2004).

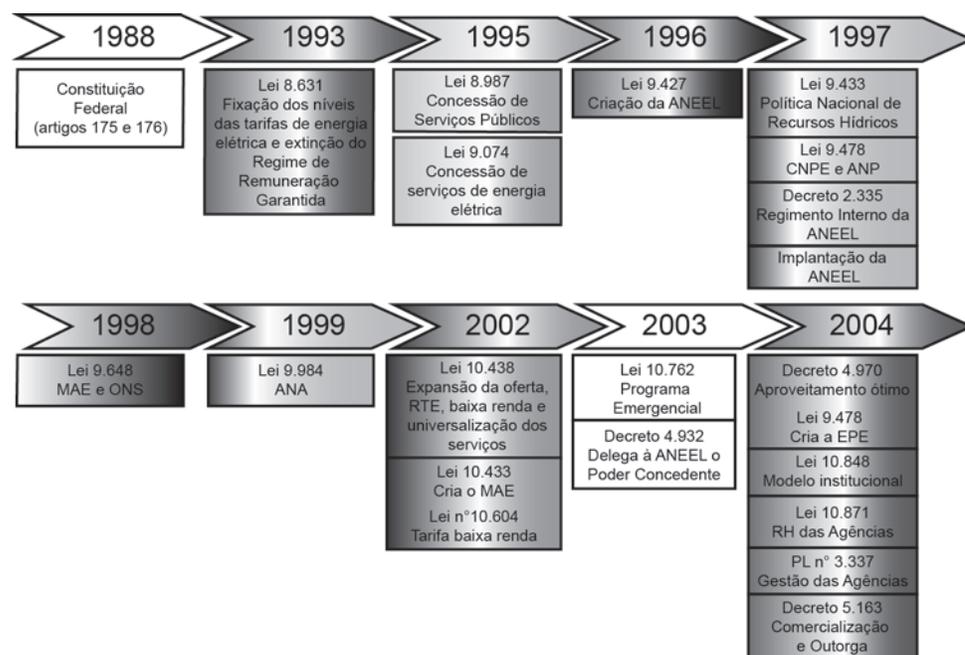
De acordo com Bajay & Walter (1989) citados por Viana (2004), houve uma maior preocupação com os impactos ambientais globais, visando reduzir a emissão dos gases de efeito estufa e o retorno de programas de conservação de energia.

Atualmente, o governo busca retomar o papel central das decisões no setor elétrico. Bajay & Walter (1989) citados por Viana (2004), apresentam que não se trata de uma volta ao passado, mas a busca da melhor forma de intervenção do Estado no setor por meio de políticas energéticas adequadas, regulação e planejamento. Na opinião dos pesquisadores, o Brasil mostra uma tendência de voltar a intervir na política energética como ocorre, em geral, em outros países.

Tendo em vista esse novo modelo do setor elétrico nacional (implementado pelo governo do presidente Luiz Inácio Lula da Silva), o MME passou a ser o poder concedente e centralizador das decisões no setor. Outra modificação implementada pelo governo é a prestação de serviços na área de estudos e pesquisas (destinadas a subsidiar o planejamento do setor) que passa a ser realizada pela EPE (VIANA, 2004).

Ao longo dos últimos anos o setor elétrico nacional passou por diversas mudanças estruturais em sua regulamentação, a exemplo do que ocorreu em diversos países, com o objetivo de estabelecer um modelo de máxima eficiência econômica, caracterizado pela existência de um ambiente competitivo, que viabilize investimentos em expansão e garanta o atendimento ao mercado consumidor, conforme os critérios de confiabilidade e qualidade estabelecidos pela ANEEL (PASCHOALINO; LOUREIRO, 2007).

A Figura 5.2 apresenta a cronologia dos principais acontecimentos que influenciaram a política energética do setor energético.



**Figura 5.2** Cronologia dos principais eventos referentes ao modelo setorial de eletricidade.

**Fonte:** adaptada de Agência Nacional de Energia Elétrica (2005a).

O processo de reforma setorial teve início na década de 1990, quando foram criados os primeiros grupos de trabalho com o objetivo de desenvolver modelos matemáticos e econômicos que agregassem valor aos serviços de transporte de energia elétrica. Ainda neste período, foi desenvolvido e implantado o plano de desverticalização e privatização de algumas concessionárias de energia elétrica (PASCHOALINO; LOUREIRO, 2007).

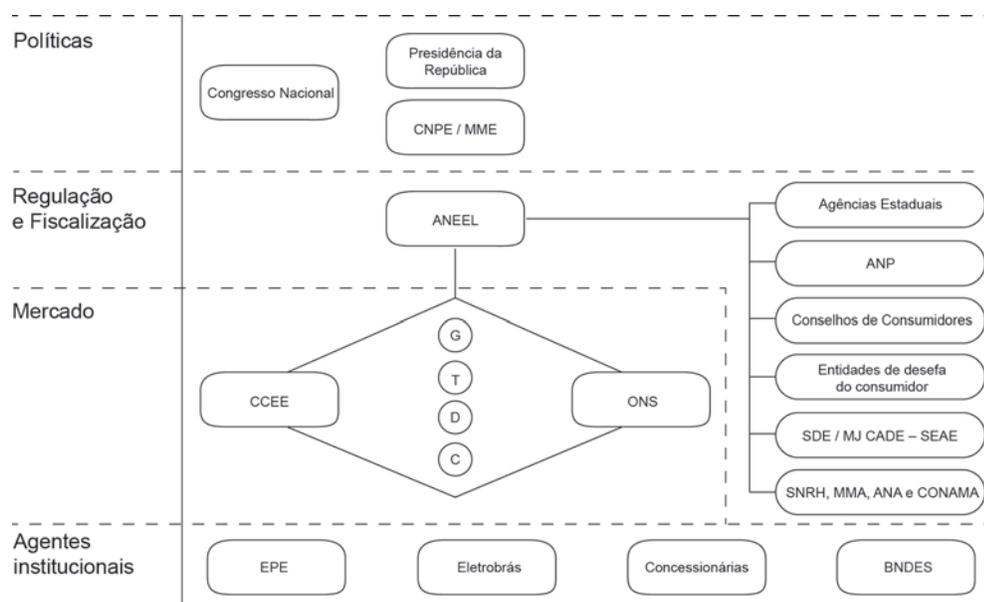
O primeiro grupo de trabalho constituído para elaborar possíveis alterações na estrutura do setor foi o Grupo de Estudos de Metodologias de Acesso à Transmissão (GEMAT), coordenado pela Eletrobrás. Esta força tarefa desenvolveu os primeiros modelos para acomodação de transações bilaterais de compra e venda de energia considerando a remuneração pelo uso das redes de transmissão envolvidas (pedágio). Tais modelos foram robustecidos e utilizados pelo Sistema Nacional de Transmissão de Energia Elétrica (SINTREL), criado em 1994 sob a coordenação da Eletrobras, para viabilizar as primeiras operações comerciais entre os agentes de produção e consumo com agregação de valor à atividade de transporte de energia (PASCHOALINO; LOUREIRO, 2007).

A evolução deste processo culminou com o desenvolvimento do projeto RE-SEB (Reestruturação do Setor Elétrico Brasileiro), que definiu os novos fundamentos setoriais, resultando na criação da ANEEL, do ONS e do Mercado Atacadista de Energia (MAE). Em 2004, o MAE foi sucedido pela Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), conforme Decreto nº 5.177, de 12 de agosto de 2004 (BRASIL, 2012r) (PASCHOALINO; LOUREIRO, 2007).

No período de 2002 a 2005 foram introduzidas novas e profundas alterações na estrutura regulatória do setor elétrico brasileiro que deram novo formato às atividades de compra e venda de energia, bem como às iniciativas de entrada de grandes consumidores no mercado livre. Observou-se também uma tendência ao fortalecimento do governo, no que tange às decisões estratégicas do setor, por meio das ações do MME e criação da EPE.

## 5.5 Modelo do setor elétrico

Atualmente, o Modelo Institucional do Setor Elétrico Brasileiro pode ser representado pelo diagrama da Figura 5.3.



**Figura 5.3** Estrutura institucional do setor elétrico brasileiro.

Fonte: adaptada de Agência Nacional de Energia Elétrica (2008).

As atribuições gerais de cada órgão estão apresentadas a seguir (CCEE, 2005):

- *CNPE - Conselho Nacional de Política Energética:* homologação da política energética, em articulação com as demais políticas públicas;
- *MME - Ministério de Minas e Energia:* formulação e implementação de políticas para o setor de energia, de acordo com as diretrizes do CNPE;
- *CMSE - Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico:* monitoração das condições de atendimento e recomendação de ações preventivas para garantir a segurança do suprimento;

- *EPE - Empresa de Pesquisa Energética*: execução de estudos para definição da matriz energética e planejamento da expansão do setor elétrico (geração e transmissão);
- *ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica*: regulação e fiscalização, zelando pela qualidade dos serviços prestados, universalização do atendimento e pelo estabelecimento de tarifas para consumidores finais, preservando a viabilidade econômica e financeira dos Agentes de Comercialização;
- *ONS - Operador Nacional do Sistema*: coordenação e controle da operação do SIN e administração da transmissão.
- *CCEE - Câmara de Comercialização de Energia Elétrica*: administração de contratos, liquidação do mercado de curto prazo e leilões de energia.
- No Modelo atual, as atividades ligadas à energia elétrica podem ser prestadas em regime de:
- Serviço público: quando a atividade vier a ser prestada por particulares, o título jurídico será a permissão ou concessão, obtida após licitação.
- Atividade comercial: a atividade será prestada por particulares autorizados, sem a necessidade de licitação.
- Uso exclusivo: também prestada por particulares autorizados, sem a necessidade de licitação.

Nas atividades envolvidas com o fornecimento de energia elétrica são prestadas em regime de competição, preferencialmente por particulares desvinculados da administração pública.

O setor elétrico está subdividido nas seguintes atividades, elementares e relacionadas entre si:

- Geração: “o serviço de produção de energia consiste na transformação em energia elétrica de qualquer outra forma de energia, seja qual for sua origem” (BRASIL, 2012b);
- Transmissão: “O serviço de transmissão de energia elétrica consiste no transporte dessa energia do sistema produtor às subestações distribuidoras, ou na interligação de dois ou mais sistemas geradores” (BRASIL, 2012b);
- Distribuição: “O serviço constitui-se na construção de redes de alta e baixa tensão, que, recebendo a energia das redes de transmissão – em altíssima tensão – disponibiliza-a ao consumidor, em tensão reduzida” (BRASIL, 2012b);

- Comercialização: consiste na venda da energia ao público consumidor.

Segundo Souto (1999), o setor elétrico é caracterizado como uma “indústria de rede”, que, por essa peculiaridade, obtém melhor aproveitamento quando algumas atividades são prestadas em regime competitivo e outras em caráter monopolista ou com competição diferenciada. A “indústria de energia” utiliza um meio físico (a rede) para fazer chegar o produto (energia elétrica) até o consumidor final.

A duplicação de redes de distribuição e transmissão é antieconômica, portanto, é interessante que as atividades de rede sejam exercidas apenas por um agente. Também não é economicamente viável, estabelecer dois agentes distribuidores ou transmissores com redes paralelas, construídas para abastecer um mesmo mercado (SOUTO, 1999).

As reformas setoriais ocorridas de forma paralela à privatização de ativos federais e estaduais (além da criação da Aneel) tinham como base três pilares (PIRES, 2000):

- introdução de competição nos setores de geração e comercialização de energia;
- concepção de instrumentos regulatórios para a defesa da concorrência nos segmentos competitivos, com destaque para a garantia do livre acesso aos sistemas de transporte;
- criação de mecanismos de regulação incentivada nos segmentos que permanecem como monopólio natural e mecanismos de regulação técnica no setor de transmissão.

Este modelo institucional foi introduzido pela Lei nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996 (BRASIL, 2012f) que instituiu a Agência Nacional de Energia Elétrica – Aneel, e pela Lei nº 9.648, de 27 de maio de 1998 (BRASIL, 2012i) que definiu as regras de entrada, tarifas e estrutura de mercado, entre outros. Nesse modelo salienta-se o papel do Estado como regulador, realizado pela Aneel. No que se refere ao segmento de geração, os ativos federais foram incluídos no Programa Nacional de Desestatização – PND (PIRES, 2000).

Segundo Pires (2000), na competição com relação à geração e a comercialização o governo vem empregando mecanismos de estímulo à entrada, na geração, e a livre escolha do fornecimento de energia por parte de grandes consumidores na comercialização.

Na geração, as alterações regulatórias no regime que remodelam os critérios de licitação para a construção de novas plantas, o estímulo à entrada de novos

agentes e no *status* dos operadores de plantas de geração a serem privatizadas estão estimulando a entrada de novos agentes e investidores (PIRES, 2000).

A Lei 9.648 (BRASIL, 2012f) estabeleceu que a licitação para a construção de novas plantas de geração pode ocorrer não somente pela escolha da menor tarifa do serviço a ser prestado, ou pelo de maior valor ofertado pela outorga, mas também pela combinação destes dois critérios; ou também pela combinação desses com o de melhor técnica. Isto propicia mais flexibilidade para os interessados em participar da licitação e para o setor público na seleção de projetos (PIRES, 2000).

A mudança do regime jurídico, de concessionária, para o de produtor independente proporciona maior incentivo à entrada no segmento de geração, tendo em vista o maior grau de liberdade do produtor independente no estabelecimento dos volumes e dos preços da energia comercializada (PIRES, 2000).

Ainda segundo Pires (2000), na comercialização de energia elétrica existe a opção de escolha do fornecimento de energia. Isto para os consumidores com carga igual ou superior a 10 MW, e que sejam atendidos em tensão igual ou superior a 69 KV, por meio de contratos financeiros de curto prazo (mercado *spot*) ou de longo prazo (contratos bilaterais), denominados contratos do Mercado Atacadista de Energia Elétrica – MAE.

A criação da Aneel foi um marco na reforma regulatória do setor elétrico brasileiro, pois a regulação das empresas de energia elétrica era exercida pelo Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE). Nessa configuração, as políticas setoriais estavam diretamente subordinadas ao Poder Executivo, muitas vezes contraditório (PIRES, 2000).

A Lei 9.427 (BRASIL, 2012f) que atribuiu as competências da Aneel qualificou sua natureza jurídica como autarquia especial, o que permite ao órgão usufruir relativa independência nos seguintes aspectos (PIRES, 2000):

- autonomia decisória e financeira;
- autonomia dos seus gestores (pois após assumirem os seus mandatos eles só podem ser afastados com base em critérios rígidos de demissão);
- delegação de competência normativa para regulamentar questões técnicas relacionadas ao setor;
- motivação técnica e não política de suas decisões.

A Aneel é responsável pela defesa da concorrência. Estabelece regras para coibir a concentração de mercado de forma articulada e a previsão da formação de convênios com agências estaduais, refletindo o caráter descentralizado do setor elétrico brasileiro. Suas principais tarefas são (FERREIRA, 2000):

- elaboração de parâmetros técnicos para garantir a qualidade dos serviços;
- solicitação de licitações para novas concessões de geração, transmissão e distribuição;
- garantia da operação do MAE de forma competitiva;
- estabelecimento de critérios para custos de transmissão;
- fixar a implementação de revisões das tarifas no varejo.

O Mercado Atacadista de Energia Elétrica (MAE) foi criado por meio da Lei 9.648 (BRASIL, 2012i) e regulamentado pelo Decreto nº 2.655, de 2 de julho de 1998 (BRASIL, 2012j). A função do MAE é a de intermediar todas as transações de compra e venda de energia elétrica de cada um dos sistemas elétricos interligados, e levou a criação de quatro “submercados” *spot* regionais: Norte, Nordeste, Sudeste e Sul-Centro-Oeste (PIRES, 2000).

Pelo Acordo de Mercado, de 18 de setembro de 1998, participam do MAE (PIRES, 2000):

- os geradores com capacidade igual ou superior a 50 MW;
- os varejistas, distribuidores e comercializadores de energia, com carga anual igual ou superior a 100 GWh;
- os grandes consumidores com demanda acima de 10 MW.

É importante destacar que o preço da energia comercializada neste mercado apresenta oscilações de acordo com o risco de *déficit* do sistema e com a capacidade de atendimento da demanda (PIRES, 2000).

Segundo o Ministério de Minas e Energia (1997), o mercado *spot* envolve tanto a oferta de sobras de energia quanto a demanda para complementar eventuais necessidades de energia para atender às exigências contratuais dos agentes do setor.

Visando contornar a volatilidade do mercado *spot*, estrategicamente são formalizados contratos bilaterais de longo prazo que, diferentemente da energia comprada no curto prazo, têm o preço da energia prefixado e, por isso, envolvem um grau bem menor de incerteza (PIRES, 2000).

Outro órgão criado pelo governo brasileiro é o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) que é uma entidade privada composta de representantes dos diversos agentes do setor, dos consumidores e do poder concedente, e tem a responsabilidade de controle operacional direto de todos os que compõem a

rede básica de transporte de energia elétrica, sejam eles de propriedade das empresas de geração, transmissão ou distribuição (PIRES, 2000).

As principais funções do ONS são (PIRES, 2000):

- garantir o livre acesso à rede de transmissão;
- promover a otimização da operação do sistema elétrico;
- incentivar a expansão do sistema com custo mínimo;
- administrar as redes básicas de transmissão.

O ONS tem sob seu comando todos os fluxos de energia negociados tanto no mercado bilateral como no mercado à vista, de maneira a otimizar a produção de geração das hidrelétricas e termelétricas. No caso de um racionamento de energia devido a uma estação excepcionalmente seca, o ONS define a distribuição de energia de todos os participantes do mercado, substituindo os termos dos contratos bilaterais e obrigando as empresas a compartilhar o ônus proporcional a seus contratos (FERREIRA, 2000).

O ONS opera o Sistema Interligado Nacional – SIN, formado pelas empresas das regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Nordeste e parte da região Norte. Apenas 3,4% da capacidade de produção de eletricidade do país, encontram-se fora do SIN, em pequenos sistemas isolados localizados principalmente na região amazônica (ONS, 2012).

A Empresa de Pesquisa Energética (EPE) foi criada pela Lei nº 10.847 (BRASIL, 2012q) e regulamentada pelo Decreto nº 5.184, de 16 de agosto de 2004 (BRASIL, 2012s). Vinculada ao Ministério de Minas e Energia, a EPE realiza estudos e pesquisas que subsidiam a formulação, o planejamento e a implementação de ações do Ministério de Minas e Energia, no âmbito da política energética nacional. As principais atribuições desta empresa são (BRASIL, 2012r):

- elaborar estudos e projeções da matriz energética brasileira;
- criar e publicar o Balanço Energético Nacional (BEN);
- identificar e quantificar os potenciais de recursos energéticos;
- dar suporte e participar das articulações relativas ao aproveitamento energético de rios compartilhados com países limítrofes;
- realizar estudos para a determinação dos aproveitamentos ótimos dos potenciais hidráulicos;
- obter a licença prévia ambiental e a declaração de disponibilidade hídrica necessárias às licitações envolvendo empreendimentos de geração hidrelétrica e de transmissão de energia elétrica, selecionados pela EPE;

- elaborar estudos necessários para o desenvolvimento dos planos de expansão da geração e transmissão de energia elétrica de curto, médio e longos prazos;
- gerar estudos para dar suporte ao gerenciamento da relação reserva e produção de hidrocarbonetos no Brasil, visando à autossuficiência sustentável;
- promover estudos de mercado visando definir cenários de demanda e oferta de petróleo, seus derivados e produtos petroquímicos;
- desenvolver estudos de impacto social, viabilidade técnico-econômica e socioambiental para os empreendimentos de energia elétrica e de fontes renováveis;
- efetuar o acompanhamento da execução de projetos e estudos de viabilidade realizados por agentes interessados e devidamente autorizados;
- elaborar estudos relativos ao plano diretor para o desenvolvimento da indústria de gás natural no Brasil;
- desenvolver estudos para avaliar e incrementar a utilização de energia proveniente de fontes renováveis;
- dar suporte e participar nas articulações visando à integração energética com outros países;
- promover estudos e produzir informações para subsidiar planos e programas de desenvolvimento energético ambientalmente sustentável, inclusive, de eficiência energética;
- promover planos de metas voltadas para a utilização racional e conservação de energia, podendo estabelecer parcerias de cooperação para este fim;
- promover estudos voltados para programas de apoio para a modernização e capacitação da indústria nacional, visando maximizar a participação desta no esforço de fornecimento dos bens e equipamentos necessários para a expansão do setor energético; e
- desenvolver estudos para incrementar a utilização de carvão mineral nacional.

## 5.6 Sistema tarifário do setor elétrico

As concessionárias de distribuição de energia identificam os seus consumidores por classes e subclasses de consumo, para definição e aplicação das

tarifas. O Quadro 5.1 apresenta as classificações dos consumidores e as suas principais características.

**Quadro 5.1** Tipos de consumidores e suas principais características.

| Consumidores                            | Principais características  |
|---|---|
| Residencial                             | Na qual se enquadram os consumidores residenciais de baixa renda, cuja tarifa é estabelecida de acordo com critérios específicos.   |
| Industrial                              | As unidades consumidoras que desenvolvem atividade industrial, inclusive o transporte de matéria-prima, insumo ou produto resultante do seu processamento.                      |
| Comercial, serviços e outras atividades | Os serviços de transporte, comunicação e telecomunicação e outros afins.  |
| Rural                                   | As atividades de agropecuária, cooperativa de eletrificação rural, indústria rural, coletividade rural e serviço público de irrigação rural.                                    |
| Poder Público                           | As atividades dos Poderes Públicos: Federal, Estadual ou Distrital e Municipal.   |
| Iluminação Pública                      | A iluminação de ruas, praças, jardins, estradas e outros logradouros de domínio público de uso comum e livre acesso, de responsabilidade de pessoa jurídica de direito público. |
| Serviço Público                         | Os serviços de água, esgoto e saneamento.   |
| Consumo Próprio                         | Que se refere ao fornecimento destinado ao consumo de energia elétrica da própria empresa de distribuição.  |

Fonte: adaptado de Agência Nacional de Energia Elétrica (2005b).

### 5.6.1 Cobrança

A compreensão de como é tarifada a energia elétrica e de como são determinados os valores apresentados nas contas de luz, é essencial para a tomada de decisão em relação aos projetos de eficiência energética, pois a conta de luz reflete o modo como a energia é utilizada e a sua análise, por um período de tempo adequado, permite estabelecer relações importantes entre os hábitos e consumo (PROCEL, 2001).

Conforme Procel (2001) apresenta, tendo em vista as diversas alternativas de enquadramento tarifário disponíveis para alguns consumidores, o conhecimento da composição da conta de energia e dos hábitos de consumo, permite escolher a forma de tarifação mais adequada resultando em menor custo com a energia elétrica. As regras sobre as formas de tarifação, baseadas na Resolução 456 da Agência Nacional de Energia Elétrica (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2000).

Para efeito de padronizar os conceitos aplicados no sistema de tarifação de energia elétrica, são adotadas as definições apresentadas no Quadro 5.2.

**Quadro 5.2** Conceitos e definições relacionados à energia elétrica.

| Conceitos            | Definições  |
|----------------------|---|
| Potência             | Pode ser definida como a capacidade de consumo de um aparelho elétrico.<br><br>A potência vem apresentada nos manuais dos aparelhos, sendo expressa em watts (W) ou quilowatts (kW).  |
| Energia              | Pode ser definida como a quantidade de eletricidade utilizada por um aparelho elétrico ao ficar ligado por certo tempo.<br><br>Tem como unidades mais usuais o quilo-watt-hora (kWh) e o mega-watt-hora (MWh).<br><br>Cabe destacar que para a tarifação de energia elétrica de pequenos consumidores, como as residências, cobram-se apenas a energia utilizada. Os médios e grandes consumidores pagam tanto pela energia quanto pela potência. |
| Horário de Ponta     | É o período de três horas consecutivas (exceto sábados, domingos e feriados nacionais) que é definido pela concessionária em função das características de seu sistema elétrico. Em algumas modalidades tarifárias, nesse horário a demanda e o consumo de energia elétrica têm preços mais elevados.<br><br>O horário fora de ponta corresponde às demais 21 horas do dia.   |
| Período seco e úmido | Para efeito de tarifação o ano é dividido em dois períodos. O período seco, que compreende os meses de maio a novembro (sete meses). E o período úmido, que compreende os meses de dezembro a abril (cinco meses). Em algumas modalidades tarifárias no período seco o consumo tem preços mais elevados.  |

Fonte: adaptado de Procel (2001).

### 5.6.2 Classificação dos consumidores

Conforme Procel (2001) apresenta, os consumidores são classificados pelo nível de tensão em que são atendidos. Consumidores atendidos em baixa tensão (em 127 Volts e/ou 220 Volts), como as residências, lojas, agências bancárias, pequenas oficinas, edifícios residenciais e a maioria dos edifícios comerciais e dos prédios públicos federais, são classificados no Grupo B. Este grupo é dividido em subgrupos, de acordo com a atividade do consumidor. Os consumidores residenciais, por exemplo, são classificados como B1, os rurais como B2 e assim sucessivamente.

No caso dos consumidores atendidos em alta tensão (acima de 2.300 Volts) como, por exemplo, indústrias, shopping centers e alguns edifícios comerciais, eles são classificados como Grupo A. Esse grupo é subdividido segundo a tensão de atendimento, como apresentado no Quadro 5.3 (PROCEL, 2001).

**Quadro 5.3** Classificação dos consumidores do Grupo A.

| Subgrupos | Tensão de fornecimento |
|-----------|------------------------|
| A1        | ≥ 230 kV               |
| A2        | 88 kV a 138 kV         |
| A3        | 69 kV                  |
| A3a       | 30 kV a 44 kV          |
| A4        | 2,3 kV a 25 kV         |
| AS        | Subterrâneo            |

Fonte: adaptado de Procel (2001).

Cabe destacar que os consumidores atendidos por redes elétricas subterrâneas são classificados no Grupo A, sub-grupo AS, mesmo que eles forem atendidos em baixa tensão (PROCEL, 2001).

### 5.6.3 Modalidades tarifárias e tarifação

São duas as modalidades tarifárias: Grupo A e Grupo B. Os consumidores do Grupo B (baixa tensão) têm tarifa monômio, ou seja, são cobrados exclusivamente pela energia que consomem. Já os consumidores do Grupo A têm tarifa binômio, isto é, são cobrados tanto pela demanda quanto pela energia que consomem. Estes tipos de consumidores podem ser enquadrados em uma das três alternativas tarifárias (PROCEL, 2001):

- tarifação convencional;
- tarifação horossazonal verde; ou
- tarifação horossazonal azul (compulsória para aqueles atendidos em tensão igual ou superior a 69 kV).

A seguir será explicado como funciona cada um deste tipo de tarifação.

#### 5.6.3.1 A tarifação convencional

O enquadramento neste tipo de tarifação exige um contrato específico com a concessionária no qual se acerta um único valor da demanda pretendida pelo consumidor (Demanda Contratada), independentemente da hora do dia (ponta ou fora de ponta) ou período do ano (seco ou úmido) (PROCEL, 2001).

A conta de energia elétrica desses consumidores é composta da soma das parcelas referentes ao consumo, demanda e ultrapassagem. Maiores informações sobre esta forma de tarifação podem ser obtidas em Procel (2001), Agência Nacional de Energia Elétrica (2012), entre outros.

### 5.6.3.2 A tarifação horossazonal verde

Esta modalidade tarifária exige um contrato específico com a concessionária no qual se pactua a demanda pretendida pelo consumidor (Demanda Contratada), independentemente da hora do dia (ponta ou fora de ponta). Embora não seja explícita, a Resolução 456 (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2000) permite que sejam contratados dois valores diferentes de demanda, um para o período seco e outro para o período úmido. O enquadramento na tarifa Verde dos consumidores do Grupo A, subgrupos A3a, A4 e AS, é opcional (PROCEL, 2001).

A conta de energia desses tipos de consumidores é composta da soma de parcelas referentes ao consumo (na ponta e fora dela), demanda e ultrapassagem. Maiores informações sobre a tarifação horossazonal verde podem ser obtidas em Procel (2001), Agência Nacional de Energia Elétrica (2012), entre outros.

### 5.6.3.3 A tarifação horossazonal azul

Esta modalidade tarifária exige um contrato específico com a concessionária. Neste documento são ajustados: (a) o valor da demanda pretendida pelo consumidor no horário de ponta (demanda contratada na ponta); e (b) o valor pretendido nas horas fora de ponta (demanda contratada fora de ponta). Embora não seja explícita, a Resolução 456 (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2000) permite que sejam contratados valores diferentes para o período seco e para o período úmido. O enquadramento dos consumidores do Grupo A na tarifação horossazonal azul é obrigatório para os consumidores dos subgrupos A1, A2 ou A3 (PROCEL, 2001).

A conta de energia elétrica deste tipo de consumidores é composta da soma de parcelas referentes ao consumo, demanda e ultrapassagem, sendo que em todas estas parcelas observa-se a diferenciação entre horas de ponta e horas fora de ponta. A tarifação de consumo na ponta e fora de ponta são diferenciadas por período do ano, sendo mais caras no período seco – maio a novembro. Já as tarifas de demanda não são diferenciadas por período do ano. E as tarifas de ultrapassagem são diferenciadas por horário, sendo mais caras nas horas de ponta (PROCEL, 2001).

Maiores informações sobre a tarifação horossazonal azul podem ser obtidas em Procel (2001), Agência Nacional de Energia Elétrica (2012), entre outros.

#### 5.6.4 A energia reativa e o fator de potência

Além da energia ativa, existe a energia elétrica denominada “energia reativa”. Esta forma de energia, embora não possa ser classificada como “inútil”, não realiza trabalho útil e produz perdas por provocar aquecimento nos condutores. A unidade mais usual deste tipo de energia é o VARh (ou kVARh = 1000 VARh) e da potência reativa é o VAR (ou kVAR = 1000 Var) (PROCEL, 2001).

Até determinado limite, as concessionárias não são autorizadas a cobrar essa energia e, em geral, é cobrada apenas dos consumidores do Grupo A. O limite é indicado de forma indireta, por meio de um parâmetro denominado fator de potência (que reflete a relação entre as energias ativa e reativa consumidas). Segundo a Resolução 456 (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2000), as instalações elétricas dos consumidores devem ter um fator de potência não inferior a 0,92 – reativo ou indutivo (PROCEL, 2001).

Os consumidores do Grupo A são cobrados pela energia reativa da mesma forma que a energia ativa, apenas mudam as medições e os nomes (PROCEL, 2001). Existem fórmulas próprias para o cálculo das parcelas da energia reativa, como se pode observar na Resolução 456 (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2000).

### 5.7 Diretrizes da política energética

O Ministério da Minas e Energia estabelece diretrizes de política energética que contemplam a análise de diversos cenários de evolução da economia e dos respectivos consumos de energia do País, com a avaliação dos principais usos dos energéticos e as perspectivas de sua priorização (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2007).

Conforme Ministério de Minas e Energia (2007) apresenta, um horizonte de longo prazo permite vislumbrar a segurança de suprimento energético, pois permite identificar gargalos e propor medidas duradouras que aproveitem as instalações que serão construídas, dentro de seus respectivos períodos de vida útil. Outro fato importante, é que a segurança de suprimento não está apenas relacionada à capacidade de fornecer o energético, como também de garantir o seu adequado transporte.

Desse modo, o Ministério de Minas e Energia (2007) apresenta as principais recomendações a serem observadas na política energética do país para compor uma matriz energética brasileira para o ano de 2030, as quais estão sinteticamente comentadas a seguir.

## 5.7.1 Oferta de energia e políticas públicas

A Matriz Energética do Brasil, sempre se distinguiu internacionalmente pela grande participação de fontes renováveis de energia, inicialmente devido aos empreendimentos hidrelétricos na geração de eletricidade e depois pela introdução do álcool de cana-de-açúcar como combustível para os automóveis (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2007).

Esses fatos proporcionaram ao Brasil uma matriz energética mais limpa em termos de poluição ambiental. Tendo em vista as atuais tendências mundiais de preocupação com o aquecimento global, é de grande interesse procurar ampliar essa participação. Com base nestes fatos, as diretrizes políticas do setor energético relativas à oferta de energia deveriam se centrar nos seguintes pontos Ministério de Minas e Energia (2007):

- garantir a segurança e a qualidade do abastecimento, incentivando a livre concorrência e atraindo investimentos;
- buscar manter a grande participação de energia renovável na matriz energética;
- fomentar a eficiência energética na produção de energia no Brasil;
- incrementar a participação dos biocombustíveis na matriz energética (tendo em vista aspectos econômicos, sociais e ambientais);
- valorizar os recursos energéticos e preservar o interesse nacional;
- buscar utilizar sempre tecnologia nacional no desenvolvimento das fontes competitivas;
- buscar sempre melhorar o transporte de energia elétrica entre os setores de geração e distribuição, reduzindo as perdas na transmissão.

Nesse sentido, a seguir são apresentadas as principais diretrizes para as energias renováveis e não renováveis.

### 5.7.1.1 Energias renováveis

O Quadro 5.4 apresenta algumas diretrizes para as principais fontes de energia renováveis utilizadas no Brasil.

**Quadro 5.4** Diretrizes para as principais fontes de energia renováveis.

| Fontes de energia  | Principais diretrizes e considerações   |
|--|---|
| Hidroeletricidade  | Na expansão energética estimada fica caracterizada a importância e a prioridade das grandes usinas hidrelétricas da Amazônia, para o atendimento do sistema após 2010. Como recomendação geral, a política do setor de energia no que concerne especificamente à hidroeletricidade deveria ser a de colaborar para que haja planejamento dos outros setores usuários da água com os mesmos critérios que vislumbram crescimento econômico e o atendimento das demandas.   |
| Pequenas Centrais Hidrelétricas, Geração a Biomassa e Energia Eólica | As usinas geradoras de energia elétrica que empregam fontes renováveis têm recebido incentivos financeiros em diversos países, pois estas usinas promovem a redução dos custos com a transmissão de energia elétrica e a dependência de fontes estrangeiras, além de benefícios ambientais. Os incentivos financeiros podem ser ortodoxos (como reduções de impostos e facilidades creditícias) ou heterodoxos (tais como: aquisições compulsórias pelos “custos evitados”; ou garantia de tarifas de compra acima dos valores de mercado, para a energia gerada por estas centrais). No Brasil, a Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002 (BRASIL, 2012) criou o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), compreendendo a energia eólica, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas. O esforço para manter a matriz energética nacional, convenientemente baseada em fontes renováveis, é essencial para considerá-las como parte das fontes que garantirão a oferta em longo prazo.           |
| Álcool Carburante a partir da cana-de-açúcar                         | A proposta para 2030 é programar melhorias significativas na produtividade tanto da cultura de cana-de-açúcar como na indústria produtora de etanol, que podem ser obtidas devido a uma combinação de fatores que incluem: a introdução de novas e melhores variedades de cana; economias de escala oriundas de novas unidades industriais, maiores e mais eficientes; melhorias tecnológicas e das medidas de conservação de energia em usinas antigas; e encontrar melhores finalidades para os subprodutos do açúcar e do álcool (como o bagaço, as folhas e pontas da cana e o vinhoto). Para 2030, as diretrizes políticas de governo para os combustíveis originados da cana-de-açúcar devem dar prioridade para as pesquisas citadas anteriormente, além de explorar as perspectivas para a geração de energia elétrica excedente nas plantas de cogeração localizadas nas usinas sucroalcooleiras.  |
| Bioenergia e o Biocombustível  | Um das principais diretrizes políticas para estas fontes está no sentido do Brasil procurar assumir a liderança internacional na formação de um mercado internacional de bioenergia. As demais diretrizes gerais da política de agroenergia podem ser resumidas nos seguintes pontos: buscar e encorajar o desenvolvimento tecnológico permanente da agroenergia; propiciar às comunidades isoladas a geração própria de energia; constituir-se em vetor de geração de emprego e renda para fixação do homem na terra; respeitar a sustentabilidade dos sistemas produtivos; incentivar a agroenergia (em locais onde há disponibilidade de solo, radiação solar e mão de obra; e segurança energética (com a diversificação). No caso específico do Biodiesel, é importante destacar que as diretrizes políticas são no sentido de garantir primeiramente o suprimento da demanda interna, favorecendo investimentos por parte da iniciativa privada e comprometer-se com a liberdade de formação de preços na cadeia produtiva. |

Fonte: adaptado de Ministério de Minas e Energia (2007).

Dessa forma, após a apresentação das principais diretrizes para algumas fontes de energia renováveis, parte-se para a menção das diretrizes mais importantes para algumas fontes não renováveis.

### 5.7.1.2 Energias não renováveis

O Quadro 5.5 apresenta algumas diretrizes para as principais fontes de energia não renováveis utilizadas no País.

**Quadro 5.5** Diretrizes para as principais fontes de energia não renováveis.

| Fontes de energia | Principais diretrizes e considerações  |
|-------------------|--|
| Carvão mineral    | Existe a necessidade de uma política específica para as energias não renováveis. Para o carvão mineral, por exemplo, existe a necessidade de melhorar a logística de transporte, favorecendo a localização das usinas que consomem carvão junto a portos. Além disso, deve-se aprofundar no conhecimento das tendências de geração limpa com o carvão mineral brasileiro pela perspectiva de ampliação da sua participação na matriz energética, particularmente no que concerne: o aumento da eficiência na utilização do carvão pulverizado com alto teor de cinzas; a tecnologia de gaseificação integrada (que é uma tecnologia nova na geração termelétrica e que tem apresentado grande aumento de eficiência); e a tecnologia de combustão em leito fluidizado (que tem se mostrado adequada para a utilização de carvões com altos teores de cinzas como os brasileiros). Assim, pode se afirmar que em todos os casos de termoeletricidade, a diretriz política deveria ser no sentido de encorajar a utilização da <i>clean-technology</i> .   |
| Nuclear           | Como proposta para 2030, recomenda-se a finalização da Usina Angra III e o início de novos projetos nesta área. Com relação aos aspectos tecnológicos, deve-se considerar que, embora a maioria dos reatores em operação (90%) utilize água leve (LWR) para refrigeração do núcleo e essa tecnologia deva se manter predominante ao longo da primeira metade deste século, existem outras tendências tecnológicas, atualmente em desenvolvimento, que devem ser levadas em consideração: Tecnologia de Geração III (dos denominados reatores avançados a água leve – ALWR) que começou a ser desenvolvida a partir dos anos 1990 e apresenta maior eficiência térmica e maior segurança operacional do que os reatores da geração anterior; Tecnologia de resfriamento a gás (GCL) que, embora não tenha tido ainda sucesso comercial, espera-se que versões avançadas voltem a estar disponíveis comercialmente a partir de 2015; e Tecnologia de reatores nucleares de Geração IV (GIV) utilizado para operação em temperaturas elevadas e que utiliza como refrigerante tanto metais líquidos como gases. Esta última tecnologia encontra-se em desenvolvimento e deverá estar disponível a partir de 2020. |
| Gás Natural       | O Plano Nacional de Energia – PNE 2030 apresenta a previsão de construção de mais centrais termoeletricas a gás, sendo que para estas espera-se que haja exigências contratuais do tipo <i>take or pay</i> e <i>ship or pay</i> que são mais flexíveis e permitem competir com os custos unitários de geração hidrelétrica. Ainda segundo o documento, não está previsto um grande programa de expansão da geração de eletricidade envolvendo usinas termelétricas a gás. Com relação às novas políticas energéticas, alguns incentivos podem ser criados para outros usos do gás, particularmente para plantas de cogeração nos setores industrial e de serviços.   |

Continuação...

| Fontes de energia                         | Principais diretrizes e considerações  |
|---|--|
| Petróleo e Gás Natural em Águas Profundas | Os programas chamados Procap (Programa de Capacitação Tecnológica da Petrobrás em Sistemas de Produção em Águas Profundas), permitiram a Petrobrás melhorar o conhecimento da empresa na produção de petróleo e gás sob lâminas de água de até 1000 m, além de consolidar o seu conceito de produção baseado em sistemas flutuantes. A política para 2030 busca o desenvolvimento de tecnologias que tornem técnica e economicamente factível a produção de petróleo e gás a essas grandes profundidades. A diretriz política governamental no caso da produção de petróleo e gás (a partir de campos <i>off-shore</i> com lâminas de água profundas) deverá apoiar integralmente os esforços da Petrobrás para aumentar substancialmente a sua produção, possibilitando que o Brasil mantenha a autossuficiência no seu suprimento de petróleo e possa também atingi-la no caso do gás natural. Já o Programa de Mobilização da Indústria Nacional do Petróleo (PROMINP), concebido pelo MME, tem por objetivo o fortalecimento da indústria nacional de bens e serviços e está centrado na área de petróleo e gás natural, gerando empregos e renda no Brasil, ao agregar valor na cadeia produtiva local. |

Fonte: adaptado de Ministério de Minas e Energia (2007).

## 5.7.2 Consumo de energia e políticas públicas

Na diretriz política geral do governo é previsto que, além de respeitar a questão socioambiental na produção e transporte inserindo fontes limpas, deve ser mantida a preocupação central com a atenção e a satisfação do consumidor, encorajando o uso eficiente da energia e de fontes que apresentam menor impacto ao meio ambiente (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2007).

### 5.7.2.1 Eficiência energética

Conforme apresentado por Ministério de Minas e Energia (2007), de uma maneira geral, recomenda-se que estratégias estruturantes e operacionais sejam adotadas para aumentar a eficiência energética.

A política nacional de eficiência energética (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2010) tem como objetivo geral orientar a ação, dos diferentes agentes governamentais e privados, no combate ao desperdício energético e na construção de uma sociedade energeticamente eficiente, sendo os seus objetivos (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2007):

- direcionar a aplicação dos recursos disponibilizados para a eficiência energética de acordo com as diretrizes e linhas de ação estabelecidas nesta política;
- determinar e alinhar os instrumentos de ação governamental com relação ao planejamento energético nacional;

- fomentar a mobilização permanente da sociedade no combate ao desperdício de energia e preservação dos recursos naturais;
- proporcionar a constituição de um mercado sustentável de eficiência energética.

A política proposta tem um papel estruturante e orientador da ação pública, e é complementada pela função disciplinadora da regulação, que visa uma transformação do mercado, ou seja, a remoção das imperfeições e barreiras que impedem o pleno estabelecimento dos princípios da sua eficiência energética. As diretrizes políticas estabelecidas para alcançar os objetivos propostos são (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2007):

- criar um ambiente sustentável para a indústria de eficiência energética;
- incentivar o aumento da eficiência energética de equipamentos, sistemas e processos produtivos;
- incorporar de forma sistematizada a eficiência energética no planejamento de curto, médio e longos prazos do setor energético;
- fomentar a substituição de fontes energéticas sempre que este fato representar ganhos sistêmicos de eficiência;
- direcionar as compras do governo para a aquisição de produtos e serviços eficientes (do ponto de vista energético);
- fomentar a redução de perdas técnicas nos setores de geração, transporte e distribuição de energia.

#### 5.7.2.2 Programas de P&D

Conforme apresentado por Ministério de Minas e Energia (2007), as empresas concessionárias de geração de energia, produtores independentes e as concessionárias transmissoras de energia devem, segundo a Lei nº 9.991, de 24 de julho de 2000 (BRASIL, 2012k), gastar pelo menos 1% de sua receita operacional líquida em programas de P&D. Metade destes recursos passou a ser administrado pela Aneel, enquanto a outra metade foi canalizada para o Fundo Setorial de Energia, criado pela mesma lei e gerenciado pelo Ministério de Ciência e Tecnologia (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2007).

A Petrobrás patrocina atividades de P&D relacionadas à cadeia produtiva de petróleo e gás natural desde a criação da empresa, principalmente em seu centro de pesquisa (CENPES). A Agência Nacional de Petróleo (ANP) tem

regulado programas de P&D neste campo, com recursos provenientes dos *royalties* pagos pelas concessões para a exploração e produção de petróleo e gás. Já o MME patrocina alguns projetos de pesquisa aplicada em algumas universidades, envolvendo combustíveis e/ou tecnologias alternativas, principalmente na região amazônica (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2007).

A Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001 (BRASIL, 2001) constitui o mais importante incentivo em termos de política energética nos últimos anos, na busca por níveis mais elevados de eficiência energética no País e permite também, que o governo promova medidas de eficiência energética em edifícios (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2007).

Segundo o Ministério de Minas e Energia (2007), a diretriz política na área de P&D no lado da demanda deve ser:

- promover a inserção de equipamentos, edificações e processos no mercado de modo a elevar a eficiência desses produtos;
- Prosseguir no esforço do aprimoramento energético de processos e instalações industriais, comerciais e de serviços, com treinamento de agentes multiplicadores, além de investimentos em centros de pesquisa e laboratórios, e premiações para boas experiências nesta área.

### 5.7.2.3 Políticas de preços e questões sociais

No Brasil, os valores dos preços dos derivados de petróleo (como a gasolina, o óleo diesel, o óleo combustível, entre outros) no Brasil têm sido estabelecidos pelas condições do mercado sem nenhuma regulação desde janeiro de 2002, conforme a Lei nº 9.478, de 6 de agosto de 1997 (BRASIL, 2012g), e a Lei nº 9.990 (BRASIL, 2012p) (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2007).

Com relação aos produtores de cana-de-açúcar e álcool, atualmente, existem muito menos subsídios disponíveis do que no passado, porém, eles ainda existem – Lei nº 10.453, de 13 de maio de 2002 (BRASIL, 2012m), especialmente para a região nordeste, e agora empregam os recursos da CIDE (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2007).

Já para o caso do setor elétrico, os preços para o consumidor “cativos” são decorrentes da compra da energia a ser vendida em leilões e os preços são regulados e ajustados em um processo previamente estabelecido (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2007).

A geração predominantemente termelétrica é subsidiada por todos os consumidores na rede interligada nacional, por meio de um fundo denominado CCC

- sistemas isolados, que segundo a Lei nº 10.438 (BRASIL, 2012), deve durar até 2022. Cabe destacar que a geração termelétrica é de alto custo operacional, pois suprem redes isoladas localizadas em sua maioria na região norte, e também, pelo fato de serem compostas de motores que consomem óleo diesel ou combustível (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2007).

### 5.7.3 Pesquisa e desenvolvimento tecnológico

No Brasil existem vários centros de pesquisas e universidades capacitadas para a pesquisa e desenvolvimento tecnológico, tanto em nível federal como estadual.

Em termos de política energética contemplando a pesquisa e o desenvolvimento tecnológico, cabe ao governo investir e criar mecanismos de mercado que incentivem e direcionem investimentos, prioritariamente, para três etapas da evolução da tecnologia inovadora (Quadro 5.6).

**Quadro 5.6** Etapas da evolução da tecnologia inovadora.

|                             |  |
|-----------------------------|--|
| Pesquisa básica             | Caracterização de fenômenos físicos inovadores e validados os experimentos.            |
| Desenvolvimento tecnológico | Restrição e simplificação do escopo inicial resultante da pesquisa básica.             |
| Projetos demonstrativos     | Implantação de projetos para fins de comprovação da viabilidade técnica e operacional. |

Fonte: adaptado de Ministério de Minas e Energia (2007).

Em contrapartida, o setor produtivo possivelmente priorizará os seus investimentos em inovações que estejam nas etapas apresentadas no Quadro 5.7.

**Quadro 5.7** Etapas possivelmente priorizadas pelo setor produtivo.

|                        |   |
|------------------------|---|
| Protótipo de série     | Adequação dos produtos com base em requisitos de produção em larga escala.                      |
| Projetos de eficiência | Ajuste do produto com vistas ao incremento de seu desempenho, competitividade e funcionalidade. |

Fonte: adaptado de Ministério de Minas e Energia (2007).

Em relação às áreas consideradas estratégicas para investimentos em pesquisa no setor energético verifica-se que os investimentos estão concentrados no desenvolvimento de conversão de energia e produção de biocombustíveis, ambos a partir de fontes renováveis (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2007).

No subsetor de combustíveis, a diretriz de política governamental deve ser no sentido de incentivar pesquisas nas áreas descritas no Quadro 5.8.

**Quadro 5.8** Áreas prioritárias e tecnologias a serem desenvolvidas no subsetor de combustíveis.

| Áreas prioritárias | Política governamental  |
|--------------------|---|
| Etanol             | Atender uma crescente demanda, empregando processos como a hidrólise de lignocelulósicos, e em particular, a utilização de processos catalisados por enzimas, além de desenvolver novos usos, tais como: as misturas com o diesel para motores alternativos, a utilização em células a combustível, e a sua utilização para a produção do biodiesel, entre outros.  |
| Biodiesel          | Uso direto de óleos vegetais em motores, visando à redução dos seus custos de produção, utilizando etanol como reagente, além do desenvolvimento de novas rotas de produção por meio de catalise heterogênea e enzimática e craqueamento do óleo vegetal.   |
| Gás Natural        | Desenvolver a disponibilidade da tecnologia de turbinas a gás e motores alternativos, visando uma redução de custos e facilitar o emprego nas atividades de cogeração, geração distribuída de eletricidade e utilização de gás de biomassa para geração de energia elétrica.  |
| Hidrogênio         | Tecnologias para a extração de hidrogênio do etanol, das biomassas, do biogás e do gás natural, e também da água.   |
| Carvão vegetal     | Substituindo o uso de florestas nativas por florestas plantadas (com tecnologias de produção mais eficientes e ambientalmente corretas), para a fabricação do chamado “aço verde”, criando oportunidades para o processo de produtos inovadores, especificamente, em produzir carvão vegetal com maior eficiência de conversão e menor custo, inclusive com aproveitamento integral dos subprodutos, como alcatrão e gases residuais. |
| Bio-óleo           | Líquido de alto conteúdo energético utilizado para geração de energia, quanto como insumo para a indústria química, e em ambos os casos deslocando o consumo de petróleo.   |

Fonte: adaptado de Ministério de Minas e Energia (2007).

Com relação ao subsetor de energia elétrica, a diretriz de política governamental deve ser no sentido de que sejam realizadas pesquisas nas áreas prioritárias apresentadas no Quadro 5.9.

**Quadro 5.9** Áreas prioritárias e tecnologias a serem desenvolvidas no subsetor de energia.

| Áreas prioritárias              | Política governamental  |
|---------------------------------|---|
| Biomassa                        | Queima direta, melhorando a eficiência das caldeiras para trabalhar com elevadas pressões; gaseificação, que tem tecnologia ainda em estágio pré-comercial; utilização de óleos vegetais diretamente em grupos geradores dos sistemas isolados, sem passar por um processo químico de transesterificação e desenvolvimento de sistema de secagem e estocagem. |
| Aerogeradores                   | Desenvolver tecnologia e processo de fabricação de sistemas de controle do passo da pá, do gerador, da transmissão e do controle de processo, visto que já domina o processo de fabricação de pás.  |
| Pequenas Centrais Hidrelétricas | Automação das plantas, sendo geridas à distância, reduzindo os custos de manutenção e operação.   |

Continuação...

| Áreas prioritárias             | Política governamental   |
|--------------------------------|--|
| Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) | Superar a principal dificuldade tecnológica; o desconhecimento do coeficiente térmico de cada material e a transformação dos resíduos, que tem desafios tecnológicos em todas as quatro principais opções de geração de eletricidade (o uso direto do gás produto dos RSU; a queima direta dos RSU; compostagem seca anaeróbia e pré-hidrólise ácida). |
| Solar Fotovoltaica             | Fomentar no País a criação de um parque industrial competitivo de sistemas fotovoltaico capaz de disputar esse mercado. E fomentar a instalação de indústrias de beneficiamento do silício metalúrgico para alcançar o grau de pureza solar.   |
| Células a Combustível          | Desenvolvimento de tecnologias para uso no setor energético. Devido a sua simplicidade de operação e a ausência de partes móveis, que permite o uso na geração distribuída para a área residencial e a motorização de veículos leves e pesados. Porém, ainda possuem como restrição o alto custo e a necessidade de hidrogênio puro.                   |
| Heliotérmica                   | Concentradores da radiação solar na região do semi-árido, principalmente no que concerne às torres centrais e aos cilindros parabólicos, aplicáveis aos sistemas de geração centraliza, e aos discos parabólicos, tecnologia restrita a sistemas de baixa potência, visando à redução do custo e a melhoria de desempenho dos concentradores solares.  |
| Nuclear                        | Novas tecnologias que estão sendo pesquisadas internacionalmente, incluindo a fusão nuclear.   |
| Outras Energias                | Desenvolvimento de inversores com baixo nível de distorção de corrente harmônica, para aplicações em sistemas eólicos e fotovoltaicos ligados a rede, pesquisa do potencial de novas fontes e tecnologias desconhecidas ou pouco conhecidas de energias e tecnologias como exemplo, sobre a energia dos oceanos.                                       |

Fonte: adaptado de Ministério de Minas e Energia (2007).

## 5.7.4 Energia e meio ambiente

Conforme Ministério de Minas e Energia (2007) cita, o Brasil possui uma legislação ambiental avançada, cuja utilização em termos de instrumentos regulatórios, privilegia medidas do tipo “comando e controle”, tais como: licenças ambientais, limites para a emissão de poluentes e zonas onde certas atividades são proibidas ou restritas devido aos potenciais danos ambientais, entre outros.

A legislação apresenta pouco espaço para medidas dirigidas para o mercado, envolvendo incentivos econômicos e acordos negociados entre os órgãos reguladores e os agentes por eles regulados, como tem acontecido em alguns países. No entanto, há incentivo de energia renovável (leilão e Proinfa) que possuem o caráter ambiental ressaltado. Além disto, existe também o MDL que é um mecanismo de fomento mundial (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2007).

É importante destacar também que no Brasil as atividades de formulação de políticas públicas, planejamento e regulação na área ambiental são descentralizados, pois envolvem órgãos dos governos federais, estaduais e municipais (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2007). Para a área de recursos hídricos também houve esta descentralização por meio da Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997 (BRASIL,

2012h), que criou um novo agente, o Comitê de Bacia Hidrográfica, composto de representantes dos municípios da bacia e responsável por elaborar o Plano da Bacia Hidrográfica (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2007).

Ainda segundo Ministério de Minas e Energia (2007), a diretriz política do governo deve ser no sentido de aumentar a articulação entre as políticas energética, social, econômica e ambiental no país, aproximando os trabalhos desenvolvidos pelo Ministério de Minas e Energia e pelo Ministério do Meio Ambiente. Essas ações não servirão apenas para acelerar os procedimentos de obtenção de licenças ambientais, mas também para garantir soluções ambientais mais robustas para os problemas energéticos nacionais.

## 5.8 Estudos complementares

- Informações sobre o Sistema Elétrico Brasileiro: OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO (ONS). Disponível em: <<http://www.ons.org.br/home>>. Acesso em: 07 nov. 2012.
- Diversas informações sobre o Setor Energético Nacional: MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/mme>>. Acesso em: 07 nov. 2012.
- Estudos e pesquisas destinadas a subsidiar o planejamento do Setor Energético: EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). Disponível em: <<http://www.epe.gov.br>>. Acesso em: 07 nov. 2012.
- Informações sobre o Setor Elétrico Brasileiro: AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/>>. Acesso em: 07 nov. 2012.
- Diversos materiais sobre os setores de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica: AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). *Livros*. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/biblioteca/EdicaoLivrosanos.cfm>>. Acesso em: 07 nov. 2012.
- Tarifas da classe de consumo residencial de diversas concessionárias: AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). *Informações técnicas: tarifas residenciais*. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idarea=493>>. Acesso em: 07 nov. 2012.

## 5.9 Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). *Desafios da Regulação do Setor Elétrico, modicidade tarifária e atração de investimentos*. 2005a. 24 p.

\_\_\_\_\_. Tarifas de fornecimento de energia elétrica. 2005b. 30 p.

\_\_\_\_\_. Atlas de energia elétrica do Brasil. 3. ed. Brasília, 2008. 236 p.

\_\_\_\_\_. *Cartilhas sobre Tarifas*. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=532>>. Acesso em: 06 set. 2012a.

\_\_\_\_\_. Resolução nº 456, de 29 de novembro de 2000. Estabelece, de forma atualizada e consolidada, as Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/res2000456.pdf>>. Acesso em: 06 set. 2012b.

BRASIL, Casa civil. Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Poder Executivo, Brasília, 2001.

\_\_\_\_\_. Decreto nº 24.643, de 10 de julho de 1934. Decreta o Código de Águas. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Poder Executivo, Rio de Janeiro, 27 jul. 1934. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/d24643.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/d24643.htm)>. Acesso em: 04 set. 2012a.

\_\_\_\_\_. Decreto nº 41.019, de 26 de fevereiro de 1957. Regulamenta os serviços de energia elétrica. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Poder Executivo, Rio de Janeiro, 26 fev. 1957. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/Antigos/D41019.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/Antigos/D41019.htm)>. Acesso em: 18 set. 2012b.

\_\_\_\_\_. Lei nº 3.782, de 22 de julho de 1960. Cria os Ministérios da Indústria e do Comércio e das Minas e Energia, e dá outras providências. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Poder Executivo, Rio de Janeiro, 22 jul. 1960. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/1950-1969/L3782.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/1950-1969/L3782.htm)>. Acesso em: 04 set. 2012c.

\_\_\_\_\_. Lei nº 8.028, de 12 de abril de 1990. Dispõe sobre a organização da Presidência da República e dos Ministérios, e dá outras providências. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Poder Executivo, Brasília, 12 abr. 1990. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L8028.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L8028.htm)>. Acesso em: 04 set. 2012d.

\_\_\_\_\_. Lei nº 8.422, de 13 de maio de 1992. Dispõe sobre a organização de ministérios e dá outras providências. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Poder Executivo, Brasília, 13 maio 1992. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L8422.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L8422.htm)>. Acesso em: 04 set. 2012e.

\_\_\_\_\_. Lei nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996. Institui a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, disciplina o regime das concessões de serviços públicos de energia elétrica e dá outras providências. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Poder Executivo, Brasília, 27 dez. 1996. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/lei19969427.pdf>>. Acesso em: 18 set. 2012f.

\_\_\_\_\_. Lei nº 9.478, de 6 de agosto de 1997. Dispõe sobre a política energética nacional, as atividades relativas ao monopólio do petróleo, institui o Conselho Nacional de Política Energética e a Agência Nacional do Petróleo e dá outras providências. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Poder Executivo, Brasília, 06 ago. 1997. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/19478.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19478.htm)>. Acesso em: 04 set. 2012g.

\_\_\_\_\_. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do artigo 21 da Constituição Federal, e altera o artigo 1º da Lei nº 8.001, de 13

de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Poder Executivo, Brasília, 08 jan. 1997. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/l9433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/l9433.htm)>. Acesso em: 18 set. 2012h.

\_\_\_\_\_. Lei nº 9.648, de 27 de maio de 1998. Altera dispositivos das Leis nº 3.890-A, de 25 de abril de 1961, nº 8.666, de 21 de junho de 1993, nº 8.987, de 13 de fevereiro de 1995, nº 9.074, de 7 de julho de 1995, nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996, e autoriza o Poder Executivo a promover a reestruturação das Centrais Elétricas Brasileiras - Eletrobrás e de suas subsidiárias e dá outras providências. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Poder Executivo, Brasília, 27 maio 1998. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l9648cons.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9648cons.htm)>. Acesso em: 18 set. 2012i.

\_\_\_\_\_. Decreto nº 2.655, de 2 de julho de 1998. Regulamenta o Mercado Atacadista de Energia Elétrica, define as regras de organização do Operador Nacional do Sistema Elétrico, de que trata a Lei nº 9.648, de 27 de maio de 1998, e dá outras providências. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Poder Executivo, Brasília, 02 jul. 1998. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/D2655.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/D2655.htm)>. Acesso em: 18 set. 2012j.

\_\_\_\_\_. Lei nº 9.991, de 24 de julho de 2000. Dispõe sobre realização de investimentos em pesquisa e desenvolvimento e em eficiência energética por parte das empresas concessionárias, permissionárias e autorizadas do setor de energia elétrica, e dá outras providências. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Poder Executivo, Brasília, 24 jul. 2000. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/blei20009991.pdf>>. Acesso em: 10 set. 2012k.

\_\_\_\_\_. Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002. Dispõe sobre a expansão da oferta de energia elétrica emergencial, recomposição tarifária extraordinária, cria o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa), a Conta de Desenvolvimento Energético (CDE), dispõe sobre a universalização do serviço público de energia elétrica, dá nova redação às Leis nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996, nº 9.648, de 27 de maio de 1998, nº 3.890-A, de 25 de abril de 1961, nº 5.655, de 20 de maio de 1971, nº 5.899, de 5 de julho de 1973, nº 9.991, de 24 de julho de 2000, e dá outras providências. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Poder Executivo, Brasília, 26 abr. 2002. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/2002/L10438.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2002/L10438.htm)>. Acesso em: 05 set. 2012l.

\_\_\_\_\_. Lei nº 10.453, de 13 de maio de 2002. Dispõe sobre subvenções ao preço e ao transporte do álcool combustível e subsídios ao preço do gás liquefeito de petróleo - GLP, e dá outras providências. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Poder Executivo, Brasília, 13 maio 2002. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/2002/L10453.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2002/L10453.htm)>. Acesso em 16 set. 2012m.

\_\_\_\_\_. Lei nº 10.683, de 28 de maio de 2003. Dispõe sobre a organização da Presidência da República e dos Ministérios, e dá outras providências. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Poder Executivo, Brasília, 28 maio 2003. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/2003/l10.683.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2003/l10.683.htm)>. Acesso em: 04 set. 2012n.

\_\_\_\_\_. Lei nº 10.848, de 15 de março de 2004. Dispõe sobre a comercialização de energia elétrica, altera a Lei nº 5.655, de 20 de maio de 1971, Lei nº 8.631, de 4 de março de 1993, Lei nº 9.074, de 7 de julho de 1995, Lei nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996, Lei nº 9.478, de 6 de agosto de 1997, Lei nº 9.648, de 27 de maio de 1998, Lei nº 9.991, de 24 de

julho de 2000, e Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002, e dá outras providências. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Poder Executivo, Brasília, 15 mar. 2004. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2004-2006/2004/lei/l10.848.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/lei/l10.848.htm)>. Acesso em: 04 set. 2012o.

\_\_\_\_\_. Lei nº 9.990, de 21 de julho de 2000. Prorroga o período de transição previsto na Lei nº 9.478, de 6 de agosto de 1997, que dispõe sobre a política energética nacional, as atividades relativas ao monopólio do petróleo, institui o Conselho Nacional de Política Energética e a Agência Nacional do Petróleo, e dá outras providências, e altera dispositivos da Lei nº 9.718, de 27 de novembro de 1998, que altera a legislação tributária federal. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Poder Executivo, Brasília, 21 jul. 2000. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L9990.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9990.htm)>. Acesso em: 12 set. 2012p.

\_\_\_\_\_. Lei nº 10.847, de 15 de março de 2004. Autoriza a criação da Empresa de Pesquisa Energética – EPE e dá outras providências. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Poder Executivo, Brasília, 15 mar. 2004. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2004-2006/2004/lei/l10.847.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/lei/l10.847.htm)>. Acesso em: 18 set. 2012q.

\_\_\_\_\_. Decreto nº 5.177, de 12 de agosto de 2004. Regulamenta os artigos 4º e 5º da Lei nº 10.848, de 15 de março de 2004, e dispõe sobre a organização, as atribuições e o funcionamento da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica - CCEE. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Poder Executivo, Brasília, 12 ago. 2004. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2004-2006/2004/decreto/d5177.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/decreto/d5177.htm)>. Acesso em: 18 set. 2012r.

\_\_\_\_\_. Decreto nº 5.184, de 16 de agosto de 2004. Cria a Empresa de Pesquisa Energética - EPE, aprova seu Estatuto Social e dá outras providências. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Poder Executivo, Brasília, 16 ago. 2004. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2004-2006/2004/decreto/d5184.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/decreto/d5184.htm)>. Acesso em: 18 set. 2012s.

CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (CCEE). CCEE: papéis e responsabilidades. Maio 2005. Disponível em: <[www.nuca.ie.ufrj.br/gesel/arquivos/ccee.ppt](http://www.nuca.ie.ufrj.br/gesel/arquivos/ccee.ppt)>. Acesso em: 17 set. 2012.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). *Política de Eficiência Energética*. Eletronbrás, 2010.

\_\_\_\_\_. *Plano Nacional de Energia*. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pne/forms/empreendimento.aspx>>. Acesso em: 04 set. 2012.

FERREIRA, C. K. L. Privatização do setor elétrico no Brasil. In: BNDES. *Privatização no Brasil: o caso dos serviços de utilidade pública*. Rio de Janeiro: BNDES, 2000. Disponível em: <[http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes\\_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/ocde/ocde06.pdf](http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/ocde/ocde06.pdf)>. Acesso em: 18 set. 2012.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). *Projeto RE-SEB: documentos contratuais e regulamentares*. MME, 1997. (Versão preliminar).

\_\_\_\_\_. *Matriz Energética Nacional 2030*. Brasília: MME/EPE, 2007. 254 p.

\_\_\_\_\_. *Informações sobre o MME*. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/mme>>. Acesso em: 04 set. 2012.

- OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO (ONS). 2012. Disponível em: <[www.ons.org.br](http://www.ons.org.br)>. Acesso em: 18 set. 2012.
- PASCHOALINO, F. F.; LOUREIRO, T. Y. C. *Previsão de demanda de energia elétrica no Brasil com base em Redes Neurais de Elman*. 2007. 79 p. Monografia em Engenharia de Produção – Universidade Federal Fluminense. Rio de Janeiro, 2007.
- PIRES, J. C. L. *Desafios da reestruturação do setor elétrico brasileiro*. Textos para Discussão nº 76. Rio de Janeiro, mar. 2000. Disponível em: <[http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes\\_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/td/Td-76.pdf](http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/td/Td-76.pdf)>. Acesso em: 18 set. 2012.
- PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (PROCEL). *Manual de Tarifação da Energia Elétrica*. 2001. 27p. Disponível em: <<http://www.eletronbras.com/elb/procel/main.asp?TeamID={60F8B9E9-77F5-4C5B-9E94-B1CC0CEF1EAB}>>>. Acesso em: 05 set. 2012.
- SOUTO, C. F. *O novo modelo do setor elétrico brasileiro e as cooperativas de eletrificação rural*. Porto Alegre: Livraria do Advogado, 1999. 164 p.
- VIANA, F. G. Histórico do planejamento energético no Brasil. *Com Ciência*: revista eletrônica de jornalismo científico, 10 dez. 2004. Disponível em: <[http://www.comciencia.br/reportagens/2004/12/02\\_impr.shtml](http://www.comciencia.br/reportagens/2004/12/02_impr.shtml)>. Acesso em: 11 set. 2012.

# **UNIDADE 6**

Programas de Conservação  
e Eficiência Energética



## 6.1 Primeiras palavras

Conhecer e entender a necessidade dos Programas de Conservação e Eficiência Energética, bem como se estruturam e promovem as ações de conservação e eficiência faz parte do conjunto de conhecimento que o Engenheiro Ambiental deve possuir.

Dessa maneira, esta unidade explora os conceitos, formas, estruturas e resultados dos programas existentes no país, de forma que se possa adotá-los no campo profissional, buscando implementar e colaborar na questão da conservação e eficiência energéticas envolvidas nas atividades da sociedade atual, preservando as fontes de geração e garantindo o uso para as gerações futuras.

## 6.2 Problematizando o tema

Os programas de conservação e eficiência energética têm como intuito garantir que os recursos energéticos no país sejam utilizados de forma racional e eficiente. Tais programas fornecem os insumos energéticos para os diversos setores da economia, contribuindo para o equilíbrio da matriz energética e para o alcance do desenvolvimento sustentável do país.

No Brasil, as ações governamentais que exploram as vertentes de eficiência energética e conservação de energia serão comentadas a seguir.

## 6.3 Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – Procel

O Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – Procel foi criado em dezembro de 1985 em trabalho conjunto do Ministério de Minas e Energia (MME) e do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio (MDIC). Em 18 de julho de 1991, o Procel foi transformado em programa de governo, tendo sua abrangência e suas responsabilidades ampliadas (ELETROBRAS, 2012).

A gestão do programa fica a cargo de uma Secretaria Executiva, subordinada às Centrais Elétricas Brasileiras S.A. (Eletrobrás). Já os seus recursos são provenientes de entidades internacionais, da Eletrobrás e da Reserva Global de Reversão (RGR), que é um fundo federal constituído com recursos proporcionais ao investimento de cada concessionária de energia elétrica (ELETROBRAS, 2012).

Em relação aos seus objetivos, citam-se os inerentes à legislação que estabeleceu o Procel, pertencentes à Portaria Interministerial nº 1877 (*MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA; MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA E DO COMÉRCIO* 2012), que definiu o seguinte objetivo para o programa:

Racionalizar o uso da energia elétrica e, como decorrência da maior eficiência, propiciar o mesmo produto ou serviço com menor consumo, eliminando desperdícios e assegurando redução global de custos e de investimentos em novas instalações do setor elétrico (*MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA; MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA E DO COMÉRCIO* 2012).

Observa-se, dessa forma, que o objetivo do Procel é promover a racionalização da produção e do consumo de energia elétrica, para que eliminar os desperdícios e reduzir os custos e os investimentos setoriais (ELETROBRAS, 2012).

Ao se analisar seus resultados desde sua implantação, constata-se que estes foram positivos para diversos setores, sendo os que mais se sobressaem (PROCEL, 2012):

- postergação de investimentos no setor elétrico nacional;
- redução nas emissões de gás carbônico equivalente;
- incentivo ao desenvolvimento tecnológico de equipamentos movidos à energia elétrica por meio do Selo Procel de economia de energia;
- apoio ao Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), do Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO).

O Procel dispõe de subprogramas que atuam diretamente na realização de ações e projetos nos segmentos, público e privado, conforme apresentado no Quadro 6.1.

**Quadro 6.1** Subprogramas do Procel.

| Subprogramas do Procel  | Principais considerações  |
|---|---|
| Procel Reluz - Eficiência Energética na Iluminação Pública e Sinalização Semafórica | Atua em todo território nacional implementando projetos de melhoria dos sistemas de iluminação pública por meio da substituição de lâmpadas incandescentes, mistas e a vapor de mercúrio por lâmpadas mais eficientes como a de vapor de sódio a alta pressão.  |
| Procel Sanear - Eficiência Energética no Saneamento Ambiental                       | Atua na eficiência energética no setor de saneamento ambiental, bem como o gerenciamento do uso da água e a diminuição do desperdício. O Procel trabalha em parceria com a Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (SNSA), vinculada ao Ministério das Cidades (MCidades), que coordena o Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água - PNCDA e o Programa de Modernização do Setor de Saneamento - PMSS. |
| Procel GEM - Gestão Energética Municipal  | Auxilia as prefeituras a gastar menos com o insumo de energia elétrica, colaborando com a administração pública municipal na gestão e uso eficiente da energia nas unidades consumidoras da prefeitura (prédios públicos, serviços de saneamento, iluminação pública etc.).   |

Continuação...

| Subprogramas do Procel                                  | Principais considerações  |
|---|---|
| Procel Edifica - Eficiência Energética em Edificações   | Desenvolve atividades com vistas à divulgação e ao estímulo à aplicação dos conceitos de eficiência energética em edificações e apoia a viabilização da Lei de Eficiência Energética (BRASIL, 2001a), proporcionando edificações energeticamente eficientes do setor habitacional do país, reduzindo os custos operacionais na construção e utilização dos imóveis.   |
| Procel EPP - Eficiência Energética nos Prédios Públicos | Desenvolve ações de apoio aos agentes envolvidos na administração de prédios públicos, suporte à normatização, implantação de infraestrutura, bem como apoio às concessionárias de energia elétrica em projetos de eficiência energética.   |
| Procel Indústria - Eficiência Energética Industrial     | Fornece suporte técnico aos diversos segmentos industriais para a melhoria do desempenho energético de suas instalações. Apoia projetos de otimização de sistemas motrizes (acionamentos, motores elétricos, acoplamentos e cargas acionadas), em indústrias selecionadas onde são implementadas medidas de eficiência energética identificadas por equipe da indústria, treinada previamente pelo Procel. As ações prioritárias são direcionadas para sistemas motrizes, que respondem por cerca de 50% do consumo de energia elétrica na classe industrial. |

Fonte: adaptado de Procel (2012).

Além dos subprogramas citados anteriormente, o Procel também executa subprogramas que visam à promoção de tecnologias eficientes e disseminação da informação, conforme descrito Quadro 6.2.

**Quadro 6.2** Subprogramas que visam à promoção de tecnologias eficientes e disseminação da informação.

| Subprogramas   | Principais considerações  |
|--|---|
| Procel Selo - Eficiência Energética em Equipamentos                    | Em parceria com o Inmetro, no âmbito do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), foi criado o Selo Procel de economia de energia, cabendo à Eletrobrás/Procel a execução de ações para estabelecer os índices de consumo de energia elétrica relativos ao PBE e à Lei 10.295, de 17 de outubro de 2001 (BRASIL, 2001), e também a elaboração de normas técnicas para ensaios de eficiência energética. O selo é uma forma simples e eficaz para o consumidor conhecer os equipamentos e eletrodomésticos mais eficientes à disposição no mercado brasileiro, sendo assim um indutor para o desenvolvimento e aprimoramento tecnológico de tais produtos, no que diz respeito ao consumo de energia elétrica. |
| Procel Info - Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética | Instituído para cuidar de forma sistemática da disseminação da informação sobre o uso eficiente da energia elétrica. Neste centro são reunidas, organizadas, geradas, armazenadas e divulgadas informações de interesse, produzidas no país ou no exterior, visando à eficiência energética.  |
| Procel Educação - Informação e Cidadania                               | Foi instituído para atuar em processos educacionais tanto para a formação cidadã, quanto para a formação profissional e técnica. O Procel Educação tem como principais linhas de atuação: a eficiência energética na educação básica e na formação profissional (nível técnico e superior), entre outros.   |

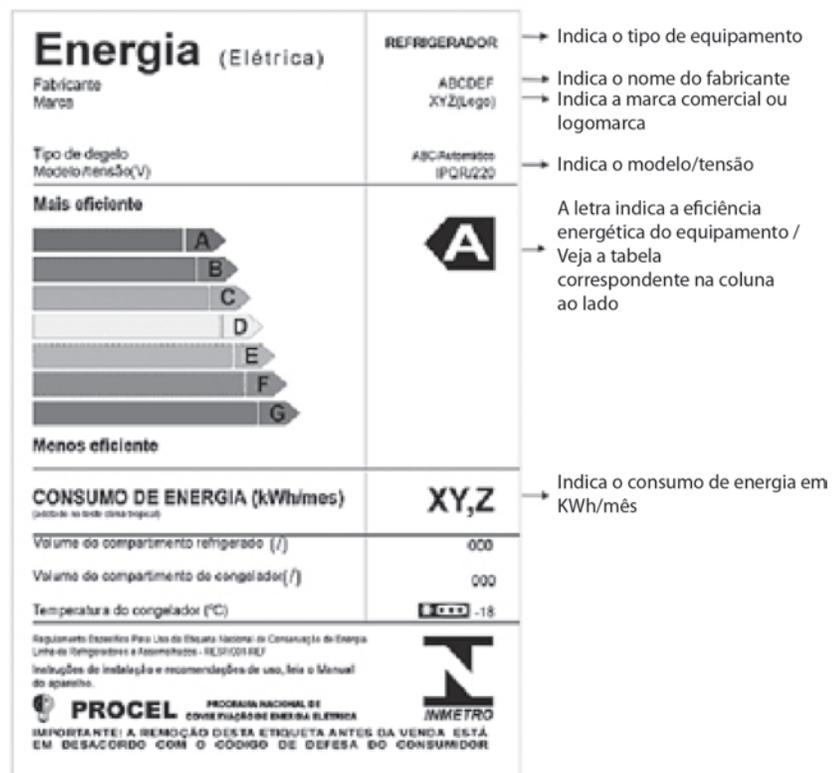
Fonte: adaptado de Procel (2012).

Esses programas proporcionam ao país um conjunto de ações integradas que propiciam uma economia de energia que permite estender a vida útil de diversos recursos naturais que constituem as fontes de energia.

### 6.3.1 Etiqueta nacional de conservação de energia

O Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO, 2012a), que é o gestor do PBE, emite a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), que permite ao consumidor comparar a eficiência energética dos equipamentos por meio de listagens dos modelos que participam voluntariamente do programa, publicadas anualmente pelo Inmetro/Procel/Conpet.

Cada linha de equipamento participante do PBE possui sua própria etiqueta. A Figura 6.1 apresenta um modelo de uma etiqueta de eficiência energética para um refrigerador.



**Figura 6.1** Exemplo de uma etiqueta representativa da eficiência energética de um refrigerador.

Fonte: adaptada de Inmetro (2012b).

Como é possível observar, a eficiência energética do aparelho é indicada pelas letras indicativas, sendo a letra “A” representativa dos equipamentos mais eficientes em termos energéticos e a letra “G” dos menos eficientes (PROCEL,

2012). Pela consulta dessa etiqueta, também é possível obter um parâmetro da estimativa do consumo mensal do produto. Vale ressaltar que toda etiqueta deve ser afixada em local de fácil identificação pelo consumidor no momento da compra do eletrodoméstico e que é proibido aos revendedores retirar a etiqueta antes do produto ser vendido. Dessa forma, a Figura 6.2 expõe um exemplo de como esta etiqueta deve permanecer exposta.



**Figura 6.2** Etiqueta de eficiência energética afixada em um refrigerador.

Fonte: adaptada de Extra (2012).

### 6.3.2 O programa brasileiro de etiquetagem

Em 1984, o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia, de forma pioneira, iniciou a discussão com a sociedade sobre a questão da eficiência energética, com a finalidade de racionalizar o uso dos diversos tipos de energia no País, por meio da informação aos consumidores sobre a eficiência energética de cada produto, estimulando-os a fazer uma compra consciente. Este projeto, no seu início ligado a área automotiva, foi evoluindo e se tornou o Programa Brasileiro de Etiquetagem, atuando principalmente na área de produtos consumidores de energia elétrica (INMETRO, 2012c).

O PBE tem como base a adesão voluntária dos fabricantes e atua com importantes parceiros: a Eletrobrás, por meio do Procel, e a Petrobrás, por meio do Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural (CONPET, 2012a).

O PBE é composto atualmente de 38 Programas de Avaliação da Conformidade em distintas fases de implementação, que vão desde a etiquetagem de produtos da linha branca, até demandas mais atuais como aquecimento solar e

fotovoltaicos e outras mais complexas (e com grande potencial de economia de energia para o país) como as edificações e os veículos (INMETRO, 2012c).

Em 2001, o Governo Brasileiro decidiu resgatar e publicar o Projeto de Lei 10.295 (BRASIL, 2001) que tramitava no Senado Federal, e que tratava de estabelecer uma política nacional de eficiência energética para máquinas e aparelhos consumidores de energia, comercializados no país. Esta lei determinou que o Poder Executivo estabelecesse os níveis máximos de consumo ou mínimos de eficiência energética de máquinas e aparelhos consumidores de energia comercializados no País. A Lei estabeleceu ainda que, para cada um dos equipamentos, em um prazo de até um ano a partir da regulamentação específica, deve ser elaborado um programa de metas, para uma progressiva evolução dos índices (PRADO FILHO, 2012).

Em seguida foi publicado o Decreto nº 4.059, de 19 de dezembro de 2001 (Brasil, 2012b) que regulamentou a Lei nº 10.295 (BRASIL, 2001) e que estabeleceu os pontos a serem abordados na regulamentação específica de cada produto (normas técnicas de referência, mecanismo de avaliação da conformidade, fiscalização, entre outros). Ficou estabelecido também que o Inmetro fosse o órgão responsável pelos programas de fiscalização e avaliação da conformidade (PRADO FILHO, 2012).

Por intermédio desse mesmo Decreto foi criado o Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética (CGIEE), com a função de elaborar regulamentação específica para cada tipo de aparelho e máquina consumidora de energia. O Comitê é formado por representantes (BRASIL, 2012b):

- Ministério de Minas e Energia (membro que preside);
- Ministério da Ciência e Tecnologia;
- Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior;
- Agência Nacional de Energia Elétrica;
- Agência Nacional do Petróleo;
- Um representante de universidade brasileira (especialista em matéria de energia);
- Um cidadão brasileiro (especialista em matéria de energia).

A partir do referido decreto, o Inmetro que estabelecia programas de etiquetagem de forma voluntária, passou a ter a responsabilidade de estabelecer programas de avaliação da conformidade compulsórios na área de desempenho energético na implantação da Lei de Eficiência Energética (BRASIL, 2001) (PRADO FILHO, 2012).

Desse modo, o PBE avalia a conformidade dos produtos aos índices de eficiência energética estabelecidos pelo Cgnee, e emite etiquetas informativas, para que o consumidor tenha informações sobre a eficiência energética de alguns dos principais eletrodomésticos nacionais.

No âmbito do PBE, também existe um programa específico, o Programa de Qualificação de Fornecedores de Sistemas de Aquecimento Solar Manual – Qualisol, que se destina à qualificação de fornecedores de sistemas de aquecimento solar e foi resultado de um convênio firmado entre o Inmetro, o Procel e a Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento - Abrava (QUALISOL, 2007). Esse convênio visa, de modo geral, agregar mais segurança as instalações dos sistemas de aquecimento solar, por meio de produtos etiquetados pelo PBE.

O Qualisol tem como objetivo garantir ao consumidor a qualificação de fornecedores de sistemas de aquecimento solar de modo a permitir (QUALISOL, 2012):

- ampliação do conhecimento de fornecedores em relação ao aquecimento solar;
- ampliação da base de mercado do aquecimento solar e suas diversas aplicações;
- aumento da qualidade das instalações e consequente satisfação do consumidor final;
- melhora na reputação e confiança em sistemas de aquecimento solar nas suas diversas aplicações;
- aumento do interesse e habilidade dos fornecedores na prospecção de novos clientes e estímulo ao surgimento de novos empreendedores.

Atualmente são avaliados e etiquetados vários equipamentos no país. Seus respectivos resultados dos níveis de eficiência são disponibilizados pelo Inmetro, de modo que o consumidor possa, antes de adquirir determinado produto, identificar a classificação de eficiência, bem como comparar com outros equipamentos da mesma categoria. A lista dos produtos avaliados pelo Inmetro no PBE é apresentada no Quadro 6.3.

**Quadro 6.3** Lista dos produtos avaliados no Programa Brasileiro de Etiquetagem.

| Lista dos produtos avaliados pelo Inmetro no PBE                     |   |
|--|---|
| Acumuladores para Fotovoltáico                                       | Fornos de Microondas  |
| Aquecedor de Acumulação Elétrico                                     | Inversores CC/CA  |
| Aquecedores de água a gás, dos tipos instantâneos e de acumulação    | Lâmpadas Decorativas - Linha Incandescentes                             |
| Aquecedor Híbrido de Acumulação Elétrica                             | Lâmpadas Fluorescentes Compactas com Reator Integrado                   |
| Aquecedores de Hidromassagem Elétrico                                | Lâmpadas de uso doméstico   |
| Aquecedores de Passagem Elétrico                                     | Linha Incandescentes  |
| Ar Condicionado Domésticos - Tipo Janela                             | Lâmpada Vapor de Sódio Alta Pressão                                     |
| Ar Condicionado Tipo Split   | Máquinas de Lavar Roupa   |
| Banheiras de Hidromassagem   | Módulo Fotovoltáico   |
| Bombas de Calor  | Motores Elétricos Trifásicos - Tipo Alto Rendimento                     |
| Bombas Centrífugas   | Reatores Eletromagnéticos para Lâmpadas Fluorescentes Tubulares         |
| Chuveiros Elétricos  | Reatores Eletromagnéticos para Lâmpadas de Descarga de Alta Intensidade |
| Chuveiro Inteligente Elétrico  | Refrigeradores  |
| Coletores Acoplados  | Reservatórios Térmicos  |
| Coletores Solares Planos – Banho                                     | Sistemas para Energia Eólica  |
| Coletores Solares Planos – Piscina                                   | Transformadores de Distribuição em Líquido Isolante                     |
| Congeladores   | Televisores ( <i>Stand-by</i> )   |
| Controladores de Carga   | Torneiras Elétricas   |
| Edifícios Residenciais e Edifícios Comerciais de Serviços e Públicos | Veículos Leves de Passageiros e Comerciais                              |
| Emissões Veiculares  | Ventiladores de Teto  |
| Fogões e Fornos Domésticos a gás                                     |   |

Fonte: adaptado de Inmetro (2012d).

### 6.3.3 Selo Procel de eficiência energética

O Selo Procel de Economia de Energia ou Selo Procel foi instituído por meio de um produto desenvolvido e concedido pelo Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica, coordenado pelo MME e executado pela Eletrobrás (PROCEL, 2011).

Conforme Procel (2011) apresenta, esse selo tem por objetivo orientar o consumidor no ato da compra, indicando os produtos que apresentam os melhores níveis de eficiência energética dentro de cada categoria. Este selo também objetiva estimular a fabricação e a comercialização de produtos mais

eficientes, contribuindo para o desenvolvimento tecnológico e a redução de impactos ambientais.

Segundo as regras do Procel, para ser contemplado com o Selo Procel, o produto deve ser submetido aos ensaios específicos em laboratório idôneo, indicado pelo programa. Os parâmetros avaliados em cada um dos equipamentos constam nos critérios específicos para a concessão do Selo Procel. É importante destacar que a adesão das empresas ao Selo Procel é voluntária (ELETROBRAS, 2012).

No processo de concessão do Selo Procel, a Eletrobrás conta com a parceria do Inmetro, cujo principal produto é a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), sendo também a Eletrobrás parceira do Inmetro no desenvolvimento do PBE (ELETROBRAS, 2012).

Os critérios para concessão do Selo Procel são determinados por uma comissão técnica composta de representantes das seguintes entidades (PROCEL, 2011):

- Procel (na condição de Coordenador);
- Inmetro;
- Representante(s) dos laboratórios de ensaios;
- Representante(s) dos consumidores;
- Associações de fabricantes nacionais com produtos contemplados com o Selo Procel, sendo atualmente:
  - Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica - Abinee;
  - Associação Nacional de Fabricantes de Produtos Eletroeletrônicos - Eletros;
  - Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento - Abrava;
  - Associação Brasileira da Indústria de Iluminação - Abilux;
  - Associação Brasileira de Importadores de Produtos de Iluminação - Abilumi;
  - Associação Brasileira dos Importadores de Lâmpadas - Abilamp.

A Figura 6.3 apresenta um modelo do Selo Procel de Eficiência Energética concedido aos equipamentos que atendam aos critérios estabelecidos pela Comissão.



**Figura 6.3** Selo Procel de Eficiência Energética.

Fonte: adaptada de Eletrobrás (2012).

Segundo Procel (2012), em 2011 a Eletrobrás por meio do Procel contribuiu para uma economia de energia elétrica de 6,696 bilhões de kWh, devido à implementação de medidas de eficiência energética. A economia de energia alcançada em 2011 é 8,6% superior à obtida no ano de 2010. Esse resultado equivale a 1,56% do consumo total de energia elétrica no País no período, correspondendo à energia fornecida durante um ano por uma usina hidrelétrica com capacidade de 1.606 MW. A energia economizada seria suficiente para atender a 3,59 milhões de residências brasileiras por um ano, considerando uma média de consumo de 155,4 kWh.

Ainda segundo Procel (2012), considerando-se apenas as ações realizadas em 2011, estima-se que o ele contribuiu para uma redução de demanda na ponta de 2.619 MW e evitaram a emissão de 196 mil toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente na atmosfera, levando em consideração a economia de energia proporcionada, que equivale às emissões proporcionadas por 67 mil veículos em um ano.

Maiores informações sobre os resultados obtidos pela Procel podem ser obtidas em Procel (2012).

## **6.4 Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural – Conpet**

O uso eficiente da energia é uma importante contribuição na redução dos impactos ambientais. A eficiência no uso da energia significa evitar o desperdício, reduzir custos, aumentar a produtividade e assegurar a sustentabilidade do desenvolvimento econômico, social e ambiental do País. Com esses objetivos, a Petrobras administra, técnica e financeiramente, o Conpet, criado pelo Governo Federal em 1991 por meio do Decreto de 18 de julho de 1991 (BRASIL, 2012a).

O Conpet promove o desenvolvimento de uma cultura antidesperdício no uso dos recursos naturais não renováveis, estimula a eficiência no uso da energia em diversos setores (com ênfase nos transportes, nas indústrias e nas residências), além de desenvolver ações de educação ambiental (CONPET, 2012b).

Os principais objetivos do Conpet são (CONPET, 2012b):

- fornecer apoio técnico para aumento da eficiência energética no uso final da energia;
- promover a pesquisa e o desenvolvimento tecnológico;
- reduzir a emissão de gases poluentes na atmosfera;
- conscientizar os consumidores sobre a importância do uso racional da energia para o desenvolvimento sustentável e melhor qualidade de vida;
- racionalizar o consumo de derivados do petróleo e do gás natural.

Para alcançar os objetivos propostos, o Conpet promove ações integradas em diversas áreas, por meio de projetos específicos citados no Quadro 6.4.

**Quadro 6.4** Ações e projetos do Conpet.

| Ações e Projetos do Conpet                                  | Considerações gerais  |
|---|---|
| Conpet no Transporte  | Tem como objetivo beneficiar as empresas transportadoras que passam a oferecer um melhor serviço e diminuem os seus gastos com combustível; a sociedade com menos poluição atmosférica e a melhoria do meio ambiente; e o Brasil, devido à redução na demanda pelo derivado do petróleo.  |
| Programa Brasileiro de Etiquetagem de Eficiência Energética | O objetivo do programa é estimular a produção e utilização de aparelhos domésticos a gás mais eficientes e seguros. Esses equipamentos são comercializados no Brasil com uma etiqueta de orientação ao consumidor contendo informações quanto ao rendimento energético (eficiência no consumo de gás) e certificação do Inmetro.  |
| Portal Conpet   | É a ferramenta utilizada para divulgar as ações do Conpet, além de produzir material de referência quanto à eficiência energética, meio ambiente e sociedade.   |
| Conpet na Escola  | Objetiva integrar e motivar os professores para que sejam agentes transformadores dos hábitos e atitudes, não só de seus alunos, como da própria escola e da comunidade, no que se refere às questões relacionadas à energia, sociedade e preservação dos recursos naturais (renováveis e não renováveis), especialmente os derivados de petróleo e do gás natural, e do meio ambiente. |
| Robô Ed   | Robô com inteligência artificial interage com o visitante do Portal tirando dúvida e dando dicas sobre o uso racional da energia, meio ambiente e petróleo. Pioneiro na América Latina, seu foco é o público infanto-juvenil, pois este é compreendido com um dos principais responsáveis pela disseminação desta nova política de racionalização.                                      |

Fonte: adaptado de Conpet (2012b).

A seguir serão mais bem detalhadas as ações e projetos do Conpet citados no quadro anterior.

#### 6.4.1 Conpet no transporte

Conforme (CONPET, 2012c) apresenta, o transporte de cargas e de passageiros é responsável por mais da metade do consumo de diesel no Brasil. Nesse sentido, as ações do Conpet neste setor estão voltadas para promover o aumento da eficiência no uso do óleo diesel.

Para tanto, o Conpet opera o “Programa Conpet no Transporte” que tem basicamente a função de promover a economia de energia e a redução de emissões por meio de três iniciativas principais:

- Programa Economizar;
- Projeto Transportar;
- Projeto Engenhar.

O Programa Economizar foi iniciado em 1996 e oferece gratuitamente apoio técnico ao setor de transporte rodoviário (cargas e passageiros), visando racionalizar o consumo de óleo diesel e promover a melhoria da qualidade do ar, reduzindo a emissão de fumaça preta de ônibus e caminhões (CONPET, 2012d).

Já o Projeto Transportar é uma ação pioneira desenvolvida para fornecer apoio técnico especializado a frotas de caminhões-tanque que se abastecem da Petrobras, tendo em vista os aspectos ambientais, economia de consumo e segurança no transporte de combustíveis (CONPET, 2012d)

E por fim, o Projeto Engenhar é desenvolvido nos canteiros de obras de diversos empreendimentos da Petrobras, onde são avaliados caminhões e máquinas a diesel e realiza-se um trabalho de educação ambiental junto às prestadoras de serviço e fornecedores de material (CONPET, 2012c).

#### 6.4.2 Eficiência energética de equipamentos

Uma das iniciativas do Conpet é a análise da eficiência energética de equipamentos. Nesta área, a principal ação desenvolvida pelo Conpet é o programa brasileiro de etiquetagem (detalhado anteriormente, na seção 6.3.2).

Dentro do PBE três ações merecem destaque:

- Etiquetagem veicular;

- Etiquetação de aparelhos a gás;
- Etiquetação de pneus.

#### 6.4.2.1 Etiquetação veicular

A Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) foi implantada em 2009, de forma voluntária nos modelos participantes, onde por meio de avaliações em laboratórios, os veículos são classificados e os resultados são tabelados e publicados nos sites do Inmetro e Conpet, informando ao consumidor (INMETRO, 2012e):

- a classificação do veículo quanto à eficiência energética em sua categoria;
- os valores de referência da quilometragem por litro (na cidade e na estrada), com diferentes combustíveis.

Por meio dessa etiqueta, os consumidores podem conhecer melhor as características de eficiência energética dos veículos de uma mesma categoria, servindo como parâmetro de comparação para a escolha de um determinado veículo, além de fornecer informações sobre o consumo de combustível dos veículos leves comercializados no Brasil (INMETRO, 2012e).

A Figura 6.4 apresenta um modelo de etiqueta para veículos automotores que participam do PBE.

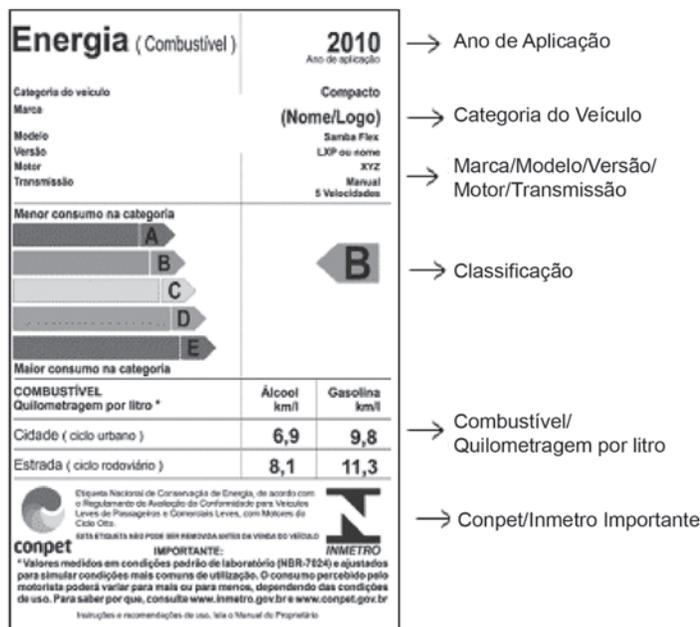


Figura 6.4 Etiqueta para veículos automotores.

Fonte: adaptada de Conpet (2012e).

Cada uma das informações indicadas na etiqueta (apresentada na figura anterior) tem um significado (CONPET, 2012e):

- *Ano de aplicação*: ano em que a comparação dos veículos de mesmo ano-modelo foi realizada;
- *Categoria do veículo*: os veículos são separados em categorias, com base nos seus tamanhos (subcompacto, compacto, médio e grande) e por tipo (esportivo, fora de estrada, comercial leve e comercial derivado de veículo de passageiros);
- *Marca/Modelo/Versão/Motor/Transmissão*: são os dados que identificam o veículo. O programa abrange os veículos leves com motores do ciclo Otto, movidos a gasolina, álcool ou GNV de fábrica;
- *Classificação*: os veículos de uma mesma categoria e ano são classificados de “A” a “E”, em que “A” significa o menor consumo energético e “E” o maior consumo energético. A definição das faixas e a classificação são feitas por critérios estatísticos e variam anualmente conforme os dados declarados e a quantidade de veículos em uma mesma categoria;
- *Combustível/Quilometragem por litro*: valores para referência medidos em condições padrões de laboratório (NBR-7024) e ajustados para simular condições mais comuns de utilização. Desse modo, quanto maior o valor, maior a eficiência energética do veículo;
- *Conpet/Inmetro*: o Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular é coordenado e regulamentado pelo Inmetro e desenvolvido em parceria com o Conpet. A fixação da etiqueta no veículo pelos fabricantes e importadores é opcional, mas se utilizada não poderá ser retirada do vidro do carro antes da venda.
- *Importante*: observação destacando que as condições de uso do veículo interferem no consumo de combustível, que pode apresentar variações em relação aos valores de referência.

#### 6.4.2.2 Etiquetagem de aparelhos domésticos e a gás

No Brasil, são fabricados por ano cerca de 5 milhões de fogões a gás sendo que cerca de 90% utilizam o Gás Liquefeito de Petróleo (GLP), também conhecido como gás de cozinha e como gás de botijão. Assim, em parte importado, o GLP é o gás usado para cozinhar em quase todos os lares brasileiros. Em relação ao consumo de derivados do petróleo e do gás natural nos setores residencial,

comercial e público, o GLP é o principal energético utilizado, representando quase 90% do uso total de derivados neste segmento (FERGAS, 2012).

A etiquetagem de aparelhos a gás foi instituída por um Acordo de Cooperação Técnico-Institucional de 24 de outubro de 2002 firmado entre o MDIC, o MME, o Inmetro, o Conpet, a Petrobrás, a ANP, a Abinee e a Eletros. O Programa de Etiquetagem de aparelhos domésticos a gás visa estimular a racionalização do consumo de gás em geral (em especial do GLP), avaliando e classificando fogões, fornos e aquecedores a gás (CONPET, 2012a).

O objetivo do Programa é o de estimular a racionalização do consumo de energia por meio da utilização de produtos mais eficientes. A etiquetagem permite que o consumidor avalie os diversos produtos quanto ao seu rendimento energético e selecione os que lhe trarão maior economia durante sua utilização (TRAMONTINA, 2012).

A etiqueta do PBE contém além da classificação do produto quanto à eficiência energética, outras informações como marca e modelo, valor do consumo de energia (eletricidade ou gás) ou do rendimento energético (em %), e algumas especificações técnicas (CONPET, 2012a).

As figuras 6.5 e 6.6 apresentam, respectivamente, os modelos de etiqueta de fogões e fornos, e aquecedores de água a gás.

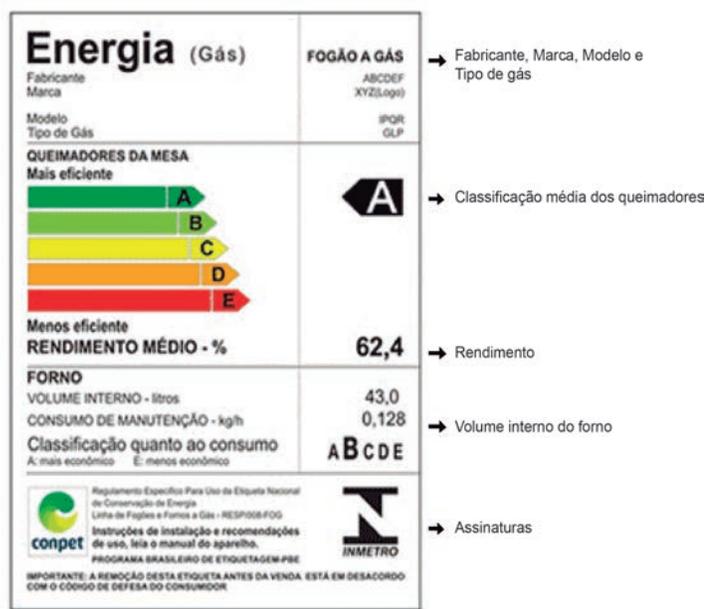


Figura 6.5 Exemplo de uma etiqueta do PBE para fogão a gás.

Fonte: adaptada de Conpet (2012a).

Cada uma das informações indicadas na etiqueta (apresentada na figura anterior) tem um significado (CONPET, 2012a):

- *Fabricante, marca e modelo*: informações sobre o produto e o tipo de gás usado;
- *Classificação média dos queimadores*: a letra “A” indica que o produto obteve o melhor índice de eficiência; a letra “B”, um pouco menos eficiente; e assim por diante até chegar à letra “E”, que é o nível mais baixo;
- *Índice médio de eficiência*: significa o aproveitamento energético do gás na transferência de calor para a panela;
- *Volume interno do forno*: representa os valores em litros e o consumo de manutenção, ou seja, quantos quilos de gás são consumidos por hora para manter o forno em determinada temperatura por norma. A letra “A” representa o forno mais econômico e a letra “E” o menos econômico;
- *Assinaturas*: Inmetro e Conpet.

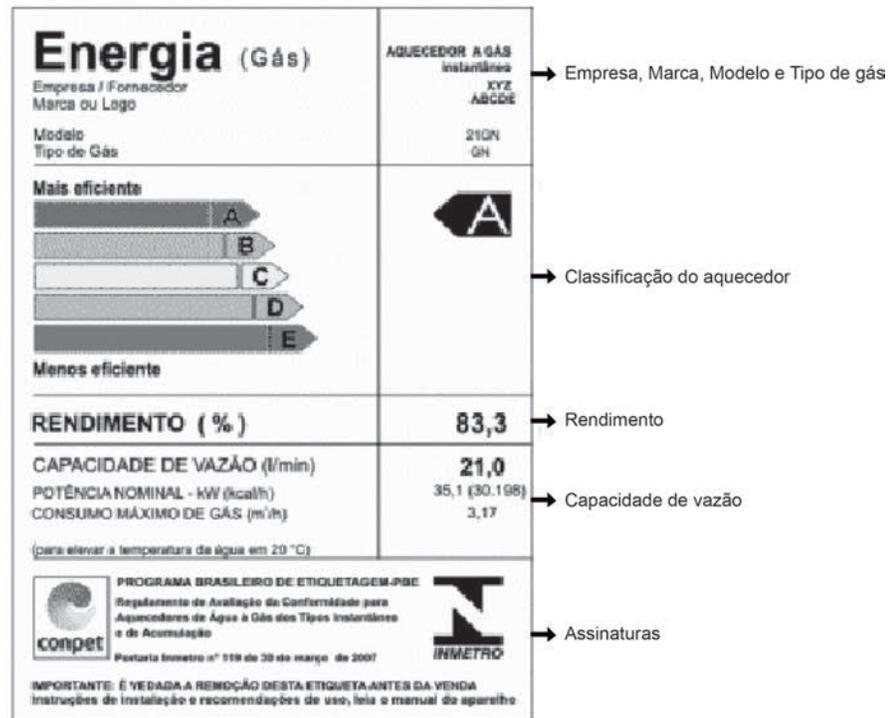


Figura 6.6 Etiqueta do PBE para aquecedor a gás.

Fonte: adaptada de Conpet (2012a).

Cada uma das informações indicadas na etiqueta (apresentada na figura anterior) tem um significado (CONPET, 2012a):

- *Empresa, marca, modelo do aquecedor e o tipo de gás usado*: informações sobre o produto e o tipo de gás usado (gás liquefeito de petróleo ou gás natural);

- *Classificação do aquecedor*: a letra “A” indica que o aparelho obteve o melhor índice de eficiência; a letra “B” um pouco menos eficiente; e assim por diante, até chegar à letra “E”, que é o nível mais baixo;
- *Rendimento percentual do aparelho*: representa a eficiência do aproveitamento energético do gás na transferência de calor para a água;
- *Capacidade de Vazão de água aquecida*: informações sobre a capacidade de vazão de água aquecida a 20 °C com relação à água fria na entrada do aparelho; e a sua potência e o consumo máximo de gás;
- *Assinaturas*: Inmetro e Conpet.

#### 6.4.2.3 Etiquetagem de pneus

Segundo Conpet (2012a), o Programa Brasileiro de Etiquetagem de Pneus tem por objetivo avaliar esses componentes quanto à sua contribuição para a eficiência energética e a segurança dos veículos automotores, porém, este programa ainda está em fase de implantação.

#### 6.4.3 Selo Conpet de eficiência energética

O Selo Conpet de Eficiência Energética ou simplesmente Selo Conpet, está em vigor desde agosto de 2005, e é destinado aos equipamentos consumidores de derivados de petróleo e de gás natural. O objetivo deste selo é incentivar os fabricantes e importadores de equipamentos domésticos a gás a produzir e comercializar produtos cada vez mais eficientes (CONPET, 2012a).

O selo contribui para a formação, nos consumidores, de uma cultura de constante preocupação com o uso eficiente da energia e dos combustíveis fósseis (como petróleo e gás), e as respectivas emissões provenientes de sua queima (CONPET, 2012a).

Para estabelecer os critérios técnicos para a obtenção do Selo Conpet, foi formada uma comissão de análise técnica formada por diversos representantes (CONPET, 2012a):

- órgãos oficiais (Conpet, Inmetro e Procel);
- fabricantes e importadores (Eletros, Abinee e Associação Brasileira de Aquecimento a Gás - Abagas);
- consumidores (duas associações: Idec e Associação Brasileira de Defesa do Consumidor - Proteste).

O critério básico para concessão do selo Conpet é para todos os produtos que obtiverem o conceito “A” (mais eficiente) nos ensaios laboratoriais realizados pelo PBE. Os critérios para a concessão deste selo são baseados nos dados de consumo de combustível, rendimento ou eficiência energética, divulgados pelo Inmetro (CONPET, 2012a).

A Figura 6.7, apresenta um modelo do Selo Conpet concedidos aos aparelhos domésticos a gás para cocção e aquecimento de água.



**Figura 6.7** Modelo de um Selo Conpet para aparelhos domésticos a gás.

Fonte: adaptada de Conpet (2012a).

Em 2009, havia registrado no sistema do Inmetro uma tabela contendo os participantes e a classificação dos aparelhos domésticos para cocção e aquecimento de água. Dessa forma, observa-se pelos quadros 6.5 e 6.6 o resumo destes dados disponibilizados para consulta.

**Quadro 6.5** Dados do selo Conpet para aquecedores de passagem a gás no ano de 2009.

| Item consultado                  | Quantidade |
|----------------------------------|------------|
| Empresas                         | 19         |
| Marcas                           | 20         |
| Modelos Etiquetados              | 238        |
| Modelos com Selo Conpet - 72,3 % | 172        |

Fonte: adaptado de Petrobrás (2012).

Tal como se nota, o Quadro 6.5 apresenta dados pertinentes aos aquecedores de passagem de gás e o Quadro 6.6 explana dados relacionados à consulta de fogões e fornos a gás.

**Quadro 6.6** Dados do Selo Conpet para fogões e fornos a gás no ano de 2009.

| Item consultado                  | Quantidade |
|----------------------------------|------------|
| Empresas                         | 3          |
| Marcas                           | 3          |
| Modelos Etiquetados              | 38         |
| Modelos com Selo Conpet – 84,2 % | 32         |

Fonte: adaptado de Petrobrás (2012).

A partir do ano de 2009 a etiquetagem passou a ser obrigatória. No entanto, constata-se pelos quadros anteriores que mesmo antes da etiquetagem ser compulsória já existiam muitos aparelhos etiquetados. Os 172 aquecedores de passagem, 32 aquecedores de acumulação e 550 fogões e fornos cobriam quase a totalidade dos modelos comercializados no país.

## 6.5 Referências

BRASIL, Casa civil. Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Poder Executivo, Brasília, 17 out. 2001.

\_\_\_\_\_. Decreto de 18 de julho de 1991. Institui o Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural - CONPET e dá outras providências. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Poder Executivo, Brasília, 18 jul. 1991. Disponível em: <<http://www6.senado.gov.br/legislacao/ListaPublicacoes.action?id=135214>>. Acesso em: 21 set. 2012a.

\_\_\_\_\_. Decreto nº 4.059, de 19 de dezembro de 2001. Regulamenta a Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, e dá outras providências. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Poder Executivo, Brasília, 19 dez. 2001. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/bdec20014059.pdf>>. Acesso em: 15 set. 2012b.

ELETOBRAS. *Procel*: Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. Disponível em: <<http://www.eletobras.com/elb/procel>>. Acesso em: 19 set. 2012.

EXTRA. É possível economizar na conta da luz e ainda ajudar a salvar o mundo. 10 set. 2012. Disponível: <<http://extra.globo.com/projetos-especiais/light/e-possivel-economizar-na-conta-da-luz-ainda-ajudar-salvar-mundo-6022199.html>>. Acesso em: 20 set. 2012.

FERGAS. GLP: informações técnicas. Disponível em: <<http://www.fergas.com.br/index.php/gas>>. Acesso em: 17 set. 2012.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA; MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA E DO COMÉRCIO. *Portaria Interministerial nº 1.877, de 30 de dezembro de 1985*. *Diário Oficial da União, Brasília, 31 mar. 1986*. Disponível em: <[http://infoener.iee.usp.br/legislacao/legisla\\_nac/eletrico/leis/portaria\\_1877.html](http://infoener.iee.usp.br/legislacao/legisla_nac/eletrico/leis/portaria_1877.html)>. Acesso em: 20 set. 2012.

INMETRO; CONPET. *III Ciclo do Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular*. v. 29, n. 11, nov. 2009.

INMETRO. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/>>. Acesso em: 15 set. 2012a.

\_\_\_\_\_. *Informação ao consumidor*: etiquetas. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/etiquetas.asp>>. Acesso em: 15 set. 2012b.

\_\_\_\_\_. *Avaliação da conformidade*. Programa Brasileiro de Etiquetagem: PBE/Eficiência energética. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/qualidade/eficiencia.asp>>. Acesso em: 15 set. 2012c.

\_\_\_\_\_. *Informação ao consumidor*: produtos. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbeProdutos.asp>>. Acesso em: 18 set. 2012d.

\_\_\_\_\_. *Metodologia para divulgação de dados de consumo veicular*. Disponível em: <[http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/22825\\_Metodologia\\_Consumo\\_Veicular.pdf](http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/22825_Metodologia_Consumo_Veicular.pdf)>. Acesso em: 20 set. 2012e.

PETROBRAS. *Programa Brasileiro de Etiquetagem*. Consulta de Aquecedores de Água e Gás, 2009. Disponível em: <<http://consultaaquecedores.petrobras.com.br>>. Acesso: 20 set. <http://consultafogoes.petrobras.com.br> 2012.

QUALISOL. *Programa de qualificação de fornecedores de sistemas de aquecimento solar manual*. São Paulo: Desolabrava, 2007. 25 p. (Manual geral).

DASOL. Departamento Nacional de Aquecimento Solar. *Qualisol Brasil*. Disponível em: <<http://www.dasolabrava.org.br/informacoes/qualisol-brasil/>>. Acesso em: 21 set. 2012.

CONPET. Programa Nacional da Racionalização do uso dos Derivados do Petróleo e do Gás natural. Disponível em: <<http://www.conpet.gov.br/w3>>. Acesso em: 15 set. 2012a.

\_\_\_\_\_. *Conpet*. Disponível em: <[http://www.conpet.gov.br/portal/conpet/pt\\_br/conteudo-gerais/conpet.shtml](http://www.conpet.gov.br/portal/conpet/pt_br/conteudo-gerais/conpet.shtml)>. Acesso em: 21 set. 2012b.

\_\_\_\_\_. *Conpet no Transporte*. Disponível em: <[http://www.conpet.gov.br/portal/conpet/pt\\_br/conteudo-gerais/conpet-no-transporte.shtml](http://www.conpet.gov.br/portal/conpet/pt_br/conteudo-gerais/conpet-no-transporte.shtml)>. Acesso em: 21 set. 2012c.

\_\_\_\_\_. *Conheça o Conpet*. Disponível em: <<http://www.ed.conpet.gov.br/br/conpet.php>>. Acesso em: 21 set. 2012d.

\_\_\_\_\_. *Etiqueta nacional de conservação de energia para veículos*. Disponível em: <[http://pbeveicular.petrobras.com.br/Etiqueta\\_Veicular\\_2012.pdf](http://pbeveicular.petrobras.com.br/Etiqueta_Veicular_2012.pdf)>. Acesso em: 21 set. 2012e.

PROCEL. Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. *Regulamento para concessão do Selo Procel de economia de energia* (Revisão – III). 2011. 12 p.

\_\_\_\_\_. *Resultados Procel 2012: ano base 2011*. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/resultadosprocel2012/index.html>>. Acesso em: 20 set. 2012.

PRADO FILHO, Hayrton Rodrigues do. *A eficiência energética dos veículos leves nacionais*. 18 nov. 2010. Disponível em: <<http://qualidadeonline.wordpress.com/2010/11/18/a-eficiencia-energetica-dos-veiculos-leves-nacionais>>. Acesso em: 20 set. 2012.

TRAMONTINA. *Certificações de Qualidade: Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE)*. Disponível em: <<http://www.tramontina.com.br/certificado/25-programa-brasileiro-de-etiquetagem-pbe>>. Acesso em: 17 set. 2012.

# **UNIDADE 7**

Planejamento Energético



## 7.1 Primeiras palavras

A energia se relaciona com todos os setores produtivos, conseqüentemente as decisões referentes à energia produzem efeitos nos diversos domínios da economia, cujas decisões devem levar em conta a economia interna e externa, tanto em termos de aceleração ou desaceleração de cada país, ou, como atualmente, as inter-relações existentes entre as nações.

Muitas decisões energéticas visam o longo prazo, os métodos convencionais de cálculo econômico precisam ser tratados com grande precaução, pois pressupõem a manutenção, até um limite fixado, das condições existentes no momento em que o cálculo de oferta e demanda é feito.

Uma parte do sistema energético necessita de grandes investimentos (usinas hidrelétricas, minas, refinarias, entre outros) cujo custo é muitas vezes considerável dentro da totalidade da economia, sobretudo nos países de pequeno ou médio porte, e dão margem a decisões não segmentadas, cujo critério não pode ser unicamente a otimização setorial.

Em muitos países, a energia concerne simultaneamente ao sistema produtivo e ao serviço público, sendo natural que a necessidade de critérios de avaliação específicos se concentre particularmente nestes pontos.

Essas características são implicitamente reconhecidas de maneira bastante geral, porque a necessidade de um planejamento energético é comumente admitida, mesmo entre governos ou organismos internacionais que não são adeptos de um planejamento global do sistema econômico e social (COMISSÃO DAS COMUNIDADES EUROPEIAS, 1986, p. 31).

## 7.2 Problematicando o tema

O planejamento energético tem como objetivo, para um dado sistema energético, promover uma utilização racional das diversas formas energéticas e otimizar o suprimento dessas formas, dentro das políticas econômica, social e ambiental vigentes, e em sintonia com a realidade dos outros sistemas energéticos que interagem com o sistema em questão.

O espaço geográfico do sistema que é objeto de planejamento pode ser um município, um conjunto de municípios, um estado, um conjunto de estados, uma região compreendendo partes de municípios ou estados, uma nação ou uma comunidade composta de um conjunto de nações.

No entanto, quanto maior for a autonomia política e econômica do espaço geográfico analisado, maiores são as chances de sucesso na implantação de um dado plano energético.

Assim, o planejamento energético não termina com a elaboração de um plano e das respectivas metas de suprimento energéticos, economias de energia, níveis de investimentos, entre outros aspectos. O planejamento é um processo contínuo ao longo do tempo, envolvendo várias fases de implantação do plano e as inevitáveis correções, atualizações, as frequentes realimentações e os consequentes ajustes entre os mecanismos de atuação a curto, médio e longo prazo (BAJAY, 1989b).

### **7.3 Aspectos metodológicos**

O planejamento energético é instrumento de apoio na tomada de decisões e a efetiva implantação é importante para o desenvolvimento da economia, e precisa ter uma metodologia de base científica, além de utilizar hipóteses e processos transparentes e abertos as contribuições de todas as partes envolvidas (governo, empresas e sociedade).

Dentro do contexto do planejamento, Bajay (1989b) propõe uma metodologia científica do processo de planejamento energético, abordando o seguinte:

- Modelo de desenvolvimento vigente;
- Relações entre energia e economia;
- Políticas energéticas adotadas;
- Instrumentos utilizados para implementar estas políticas;
- Ferramentas metodológicas e modelos;
- Análise dos resultados obtidos.

A seguir serão detalhadas as características de cada uma das ações contidas na metodologia.

#### **7.3.1 Modelo de desenvolvimento vigente**

Conforme citado por Bajay (1989a), a demanda de energia é uma demanda secundária, ou seja, ela está sujeita a demanda de bens e serviços, como: equipamentos industriais, aparelhos eletrodomésticos e meios de transporte, entre outros.

Segundo diversos estudos, entre eles, o da Comissão das Comunidades Europeias (1986) foi verificado que a eficácia do crescimento do sistema energético como vetor de desenvolvimento de uma economia é altamente dependente

da evolução do setor produtivo da economia. O setor energético é inabilitado de catalisar sozinho um nível de atividade econômica apropriado para a área em questão, na ausência de atuação de outros catalisadores tão ou mais significantes (BAJAY, 1989a).

Desse modo, para o desenvolvimento do planejamento energético é necessário estudar, desde o início, o modelo de desenvolvimento vigente, a fim de se ter uma perspectiva integrada das futuras necessidades. A falta desta abordagem integrada não inviabiliza necessariamente o planejamento energético, mas dificulta a sua realização e, sobretudo, a implementação de um plano que venha a ser adotado.

### 7.3.2 As relações entre energia e economia

As relações do setor energético com a economia levam em consideração (BAJAY, 1989a):

- o perfil de consumo energético nos vários segmentos da economia;
- a composição do suprimento energético;
- a interação entre o consumo e o suprimento de energéticos;
- a evolução econômica e institucional dos principais parques consumidores e geradores de energia;
- os impactos na sociedade de novos programas no setor energético.

Os aspectos listados permitem que se identifiquem as relações entre a economia e a energia, de modo que se possam estabelecer diretrizes que subsidiem as estratégias que devam ser contempladas em um planejamento energético, qualquer que seja a sua abrangência, nacional, regional ou mesmo local.

### 7.3.3 Políticas energéticas adotadas

As diretrizes de políticas energéticas devem ser consideradas nas fases iniciais do planejamento. Estas diretrizes são detalhadas e eventualmente alteradas ao longo do desenvolvimento e do planejamento, em função de questões de exequibilidade técnica, econômica, política, social e da própria dinâmica de otimização (BAJAY, 1989a).

Uma política energética apropriada ao sistema em análise deve ser orientada no sentido de satisfazer as necessidades (diretas e indiretas) de energia de todos os componentes da sociedade, no curto, médio e longo prazo. Além disso,

deve promover um uso racional e equilibrado dos recursos energéticos disponíveis, visando um custo social e ambiental o mais baixo possível, cooperando com a independência e a segurança do abastecimento do setor energético (INSTITUTO DE ECONOMIA ENERGÉTICA, 1987a).

### 7.3.4 Instrumentos utilizados para implementar as políticas energéticas

Uma etapa muito importante do planejamento energético é a definição dos instrumentos que serão utilizados para a implementação das políticas energéticas. Estes instrumentos são diversificados e segundo Bajay (1989a) podem abranger:

- aspectos legislativos;
- desempenho das empresas controladas pelo governo e das agências reguladoras das atividades de empresas do sistema energético (como, por exemplo, a Aneel);
- fomento ou restrição ao consumo de energéticos, por meio da manipulação de seus preços;
- realização de campanhas publicitárias ou de esclarecimento público;
- apoio aos projetos de pesquisas;
- concessão de facilidades de financiamentos, incentivos fiscais e subsídios diretos, entre outros;
- Os instrumentos de política energética têm caráter dinâmico e podem sofrer alterações ao longo da implementação de um planejamento energético, porém, sempre se deve ter como referência estes instrumentos, pois servem para balizar e, às vezes, corrigir distorções provocadas pela movimentação dos setores envolvidos.

### 7.3.5 Ferramentas metodológicas-modelo

O processo de planejamento energético é uma atividade bastante complexa, dada a abrangência e caráter iterativo, que requer a utilização de modelos computacionais como ferramentas de apoio, visto que as variáveis se inter-relacionam, influenciando os parâmetros de decisão (BAJAY, 1989a).

Atualmente, existem diversos modelos disponíveis para aplicação em sistemas energéticos incluindo vários tipos de balanços energéticos, técnicas de análise das relações energia economia por meio de matrizes insumo produto,

técnicas de projeção de cenários, modelos de projeção da demanda energética, modelos de otimização do suprimento de energéticos (global ou setorial), modelos de equilíbrio demanda-oferta, modelos corporativos, técnicas de avaliação qualitativa ou quantitativa dos impactos sobre a sociedade de novos programas na área energética, entre outros (BAJAY, 1989a).

Em termos das técnicas matemáticas utilizadas, as ferramentas podem ser modelos: contábeis, econométricos, de simulação, de programação matemática ou modelos mistos. A amplitude e a precisão dos resultados obtidos nos estudos de planejamento são fortemente influenciadas pela qualidade dos modelos empregados. A existência de bancos de dados adequados e a utilização de hipóteses realistas, transparentes e de forte aceitação nos modelos, constituem condições principais para potencial de análise e a otimização propiciado por estes modelos (BAJAY, 1989a).

### 7.3.6 Análise dos resultados obtidos

O processo de planejamento não acaba com a elaboração do plano, pois envolve também a análise contínua dos resultados obtidos, pois é fundamental para se garantir, de um lado a implantação do plano e do outro, os ajustes necessários devido à descoberta de erros de avaliação durante o processo de planejamento e eventuais fatos novos pertinentes ao processo em curso (BAJAY, 1989a).

Depois da elaboração do plano deve-se implementar um mecanismo de controle que permita (INSTITUTO DE ECONOMIA ENERGÉTICA, 1987b, p. 65):

- identificar os desvios no cumprimento das metas estipuladas no plano e os gargalos que possam colocar em risco o cumprimento do mesmo;
- introduzir ajustes nas metas (em função dos desvios observados e dos previsíveis para o futuro);
- verificar possíveis problemas na aplicação das políticas energéticas implementadas;
- obter informações que permitam melhorar os dados a serem utilizados na formulação do plano seguinte.

O controle de implementação do planejamento energético permite que haja uma parametrização dos resultados, mostrando o quão acertado ou mesmo fora de questão as medidas planejadas propiciaram os ganhos econômicos, sociais e ambientais previstos.

## 7.4 Planejamento Integrado de Recursos – PIR

Conforme (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2005) apresenta, “o fortalecimento da dimensão ambiental com o agravamento do problema das mudanças climáticas e o aumento das preocupações sociais refletiu sobre o planejamento energético dando origem ao conceito de Planejamento Integrado de Recursos – PIR”.

O PIR começou a ser utilizado no setor elétrico e de gás canalizado em alguns países como EUA, Canadá e Dinamarca, a partir dos anos 1980. Conforme apontado por D’SA (2005), a associação do PIR com o desenvolvimento ambiental é bastante conhecida.

A premissa do PIR é a de incluir os custos de proteção ambiental bem como os riscos à saúde associados à produção e ao uso de energia no processo de planejamento. A inserção dos custos atuais (custos de controle de poluição) ou valores aproximados (como sobretaxas sobre impactos negativos) na comparação dos custos resulta em opções mais claras, relativamente mais baratas e, portanto, mais atrativas no escalonamento de mínimo custo (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2005).

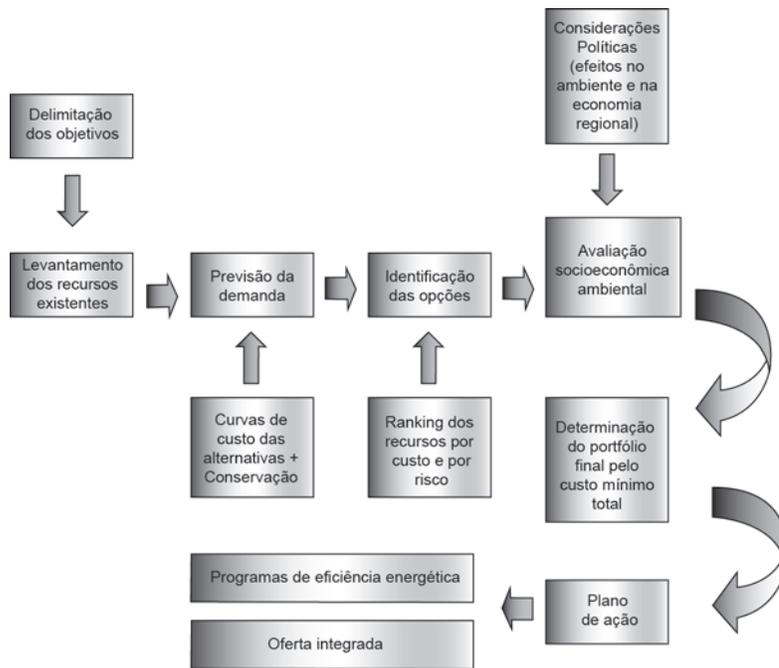
O PIR pode ser considerado um processo contínuo (GALVÃO et al., 1996), de tal modo que o desenvolvimento seja harmonioso, tanto na preservação do ambiente como na melhoria da qualidade de vida da população usando, quando possível, os recursos do próprio local.

Por se tratar de um conceito relativamente novo, é importante ressaltar também a definição de PIR da *American Water Works Association* (AWWA) citado por (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2005, p. 20):

PIR é uma forma compreensiva de planejamento que envolve análises de custo mínimo do lado da oferta e opções de gerenciamento da demanda bem como um processo de tomada de decisão aberto e participativo, desenvolvendo alternativas que incorporem a qualidade de vida das comunidades e os aspectos ambientais. O PIR leva em consideração todos os custos diretos e indiretos, benefícios do gerenciamento pelo lado da demanda, gerenciamento e expansão da oferta através de cenários alternativos, análises multicritérios, envolvimento da comunidade no planejamento, na decisão e na implementação do processo, considerando benefícios socioambientais (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2005, p. 20).

O PIR permite incorporar na seleção dos investimentos a serem feitos pelos agentes setoriais, preocupações e prioridades dos próprios agentes, do governo, do órgão regulador, dos consumidores, de grupos ambientalistas e de

outras organizações não governamentais interessadas na evolução do setor (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2005). A Figura 7.1 apresenta as etapas contempladas no desenvolvimento do PIR.



**Figura 7.1** Etapas previstas no desenvolvimento de um PIR.

Fonte: adaptada de Empresa de Pesquisa Energética (2005).

Nessa perspectiva, o PIR inclui os custos das externalidades que afetam a sociedade como, por exemplo, o custo da mitigação dos impactos ambientais. Além disso, tem uma abordagem tecnologicamente neutra, tratando com a mesma importância as opções tanto do lado da demanda como da oferta. O enfoque integrado entre oferta e demanda para ampliação dos serviços de energia, concentra-se na minimização dos custos totais gerando um planejamento flexível que contempla incertezas de origens variadas e se adapta mais facilmente às alterações de disponibilidade das fontes energéticas provocadas pelas mudanças do ambiente (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2005).

No país com um parque gerador predominantemente hidrelétrico, o PIR se aplica também para permitir a otimização dos usos múltiplos dos recursos hídricos sejam eles, geração de energia elétrica, irrigação, navegação, abastecimento industrial, lazer, entre outros. Também contempla o uso de outras fontes alternativas que podem compor a matriz energética, e que também afetam as relações ambientais e socioeconômicas, permitindo-se tratar de questões complexas de forma estruturada e transparente, promovendo maior compreensão das partes interessadas e melhores condições para um planejamento regional efetivo (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2005).

A identificação dos objetivos é o primeiro passo do PIR. Estes objetivos devem ser explicitados de maneira clara e formulados em termos quantitativos. Os critérios que determinam o atendimento a cada objetivo devem ser definidos. A política e o planejamento nacional também afetam os objetivos no planejamento regional. Entre os objetivos mais comuns para um PIR destacam-se (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2005):

- confiabilidade dos serviços de energia;
- expansão do acesso aos serviços de energia;
- minimização dos impactos ambientais;
- melhoria na qualidade dos serviços energéticos (como, por exemplo, a redução de interrupções) e no aproveitamento dos recursos existentes no local;
- diversificação da oferta e aumento da eficiência energética;
- minimização dos custos, inclusive de externalidades;
- desenvolvimento social, tecnológico e geração de empregos;
- aquisição de flexibilidade.

Em seguida, faz-se o levantamento dos recursos disponíveis, onde são consideradas as alternativas de suprimento das necessidades energéticas na região. A organização dos dados, como em qualquer processo de planejamento é crucial para o PIR, e a coleta e o refinamento dos dados são parte do exercício do planejamento mais do que uma pré-condição para o mesmo (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2005).

Do lado da demanda, devem-se analisar as alternativas mais apropriadas para o suprimento das demandas energéticas. Em seguida, fazem-se as projeções de longo prazo da demanda que deverão ser conduzidas, analisando a necessidade de aumento da capacidade instalada, bem como sua localização geográfica. Diversos dados podem ser levantados para auxiliar nessas projeções como, por exemplo, dados de consumo por classe e por região, dados e projeções econômicas e dados de uso final da energia, entre outros (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2005).

Conforme D'SA (2005) cita, o PIR auxilia no processo de tomada de decisões, sendo uma ferramenta usada para gerenciamento de crises energéticas nos países desenvolvidos, tais como: dificuldades de acesso aos serviços de energia, recursos financeiros insuficientes para investimentos em setores não lucrativos, sistemas de transmissão e distribuição precários e proteção ambiental inadequada.

## 7.4.1 Tipos de modelos de projeção

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (2005), são utilizados modelos matemáticos que descrevem as cadeias energéticas, desde a extração das fontes até o seu uso final, passando pela produção, conversão, distribuição e armazenamento de energia. Existem basicamente duas abordagens distintas em que se baseiam as ferramentas construídas para a análise do sistema energético: *bottom-up* e *top-down*. Deve-se ressaltar que essas duas abordagens diferem-se basicamente no nível de agregação dos modelos.

### 7.4.1.1 Modelos “Bottom-Up”

São modelos onde se busca fazer uma descrição detalhada da estrutura tecnológica da conversão e do uso da energia, considerando uma representação bastante desagregada da economia. A partir destes modelos é possível identificar potenciais tecnológicos, taxas de reposição de equipamentos e requisitos de capital. Dependendo da forma como os dados são tratados, os modelos *bottom-up* podem ainda ser classificados em modelos de otimização, modelos de simulação e modelos paramétricos (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2005).

Ainda segundo Empresa de Pesquisa Energética (2005), os modelos de otimização identificam soluções de mínimo custo para sistemas energéticos, considerando um determinado conjunto de restrições, tais como: disponibilidade tecnológica, igualdade entre a oferta e a demanda, restrições ambientais, investimento, entre outras. Tais modelos permitem definir trajetórias de crescimento, porém são limitados para analisar escolhas políticas, pois assumem que a energia é o único fator de escolha. Alguns exemplos de modelos energéticos de otimização são: Markal, Message e Newave.

Em contrapartida, os modelos de simulação definem o comportamento dos consumidores e dos produtores em relação à energia, a partir da variação de preços, renda e progresso tecnológico. Geralmente, determinam o equilíbrio do mercado a partir de uma abordagem iterativa, por isso esses modelos não são limitados pelo comportamento ótimo dos agentes. No entanto, as relações entre os agentes econômicos podem ser controversas e difíceis de parametrizar. As projeções também são bastante sensíveis às condições e aos parâmetros iniciais. Como exemplos de modelos deste tipo, temos: Nexus e Stella (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2005).

Os modelos paramétricos, também conhecidos como modelos contábeis, são aqueles nos quais as projeções energéticas são fortemente baseadas em especificações determinadas pelo próprio usuário. A principal função destes

modelos é gerenciar dados e resultados, por isso são bastante úteis para identificar possíveis resultados de políticas energéticas. Geralmente, esses modelos são mais simples e flexíveis, no entanto, podem gerar soluções inconsistentes. Como exemplos de modelos contábeis, pode-se citar: Leap, Mipe e Maed (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2005).

#### 7.4.1.2 Modelos “Top-Down”

Nos modelos *top-down* (também denominados de modelos econômicos), a economia é representada de forma bastante agregada. Estes tipos de modelos não consideram explicitamente a estrutura tecnológica nacional, representando de forma muito simplificada o consumo energético por meio de poucas equações (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2005).

Estes modelos são válidos somente para a análise de grupos homogêneos de consumidores, pois utilizam análise estatística para obter as relações entre os indicadores utilizados. No entanto, como ponto positivo, deve-se considerar que esse grupo de modelos apresenta uma boa consistência entre a oferta e a demanda de energia. São exemplos destes tipos de modelos: SGM e Imaclim (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2005).

#### 7.4.1.3 Aplicação dos modelos de projeção

Tendo em vista as limitações dos dois modelos anteriores (*bottom-up* e *top-down*), nos últimos anos foram desenvolvidos modelos que buscam incorporar alguns aspectos dos dois grupos. Porém, os chamados “modelos híbridos”, na verdade, são modelos *bottom-up* que consideram de forma mais consistente alguns parâmetros econômicos ou são modelos *top-down* que apresentam algum detalhamento das tecnologias na oferta e/ou na demanda de energia (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2005).

Deve-se ressaltar também que os modelos nada mais são que ferramentas matemáticas que buscam representar as relações econômicas e energéticas de um dado sistema, região ou país. Considerado o elevado número de variáveis envolvidas, há a necessidade de simplificar tanto quanto possível, toda uma rede de parâmetros dinâmicos, considerando todas as limitações decorrentes de tais simplificações. Além disso, a qualidade e a abrangência das informações utilizadas limita bastante a qualidade dos resultados. Desse modo, os modelos são bons somente se os dados neles inseridos representam de fato o contexto analisado e se as simplificações adotadas não foram exageradas (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2005).

## 7.4.2 Análise prospectiva de cenários

A análise de cenários das projeções deve ser capaz de nortear políticas energéticas diante de premissas e hipóteses variadas. Desse modo, os cenários prospectivos têm a finalidade de nortear as decisões, sendo um método de decisão sob incerteza que auxilia as ações estratégicas, inclusive na identificação de oportunidades e ameaças (forças e fraquezas), e nesse sentido, permite o diagnóstico das competências a serem promovidas (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2005).

Por meio da análise de cenários, pode-se constatar que a incerteza é criativa e faz parte do processo, enquanto na previsão, a incerteza é continuamente não desejada. A metodologia de cenários, por ser mais flexível (admite mudanças estruturais) permite uma análise qualitativa mais apropriada em relação aos horizontes futuros (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2005).

Jannuzzi & Swisher (1997) sugerem pelo menos dois cenários de uso-final:

- cenário de referência; e
- cenário com melhorias na eficiência de uso-final.

Conforme os últimos autores, o cenário de referência apresenta uma eficiência congelada e pode ser usado para representar o crescimento futuro dos serviços de energia. Esse cenário pressupõe a manutenção da evolução atual com relação ao uso de energia e da penetração de novos equipamentos.

Alternativamente poderiam ser considerados cenários de “Potencial Técnico”, “Potencial Econômico” e “Potencial de Mercado”, comentados a seguir (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2005).

No caso do cenário de “Potencial Técnico”, considera-se que todas as possíveis melhorias técnicas nos equipamentos, construções e processos serão introduzidos no horizonte de projeção do planejamento. Assim, define-se o potencial técnico de eficiência energética como uma melhoria na eficiência de energia do uso final, que poderia resultar se as tecnologias eficientes disponíveis pudessem atingir 100% da saturação do mercado durante a vida útil das tecnologias. Portanto, assume 100% de penetração das tecnologias mais eficientes (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2005).

Já o cenário de “Potencial Econômico” considera apenas as alternativas que possuem uma avaliação positiva do benefício econômico para os agentes, representando uma fração de todo o potencial tecnicamente viável (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2005).

E por fim, o cenário do “Potencial de Mercado” reflete uma fração do potencial econômico que é percebida como economicamente atrativa. Esse cenário capta as melhorias de eficiência disponíveis por meio de programas reais e os limites de penetração de mercado existente ao longo do período de planejamento (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2005).

### 7.4.3 Identificação das opções

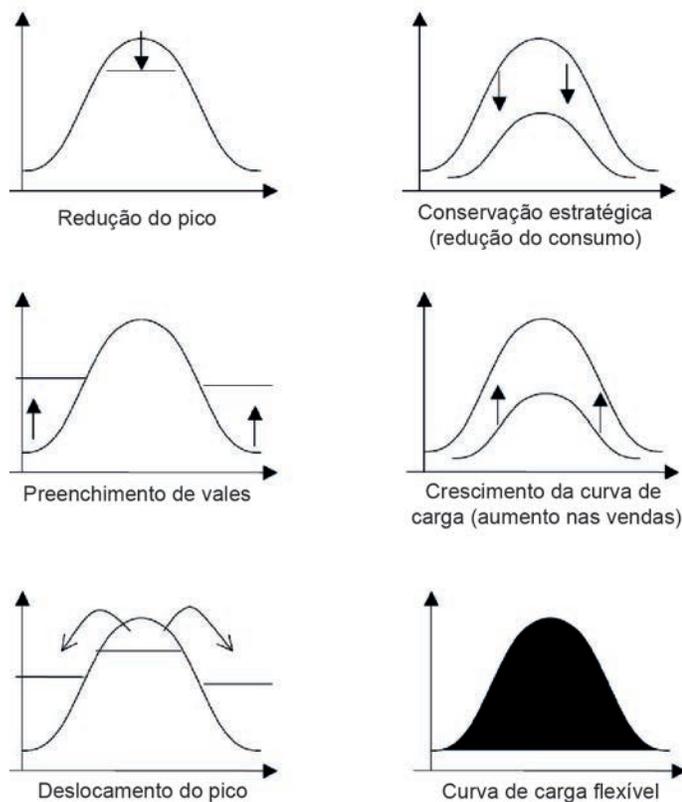
Deve-se realizar um levantamento das opções de suprimento de energia com a identificação de todas as alternativas disponíveis e da infraestrutura correspondente. Nesse processo deverão ser obtidas características relacionadas à capacidade instalada, fatores de capacidade, tipos de combustíveis, eficiências, custos operacionais e de capital, confiabilidade do suprimento, vida útil, dependência externa e impactos socioambientais (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2005).

Neste caso, devem ser consideradas tanto as tecnologias convencionais, tais como: termelétricas de combustíveis fósseis, nucleares, hidrelétricas, PCHs, bem como opções de repotencialização, armazenamento de energia, cogeração, produtores independentes e geração distribuída. Devem ser incluídas também no planejamento a participação das fontes renováveis na matriz energética a fim de buscar a sustentabilidade no setor energético. As fontes renováveis devem ser tratadas com grande atenção nesse processo (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2005).

### 7.4.4 Gerenciamento pelo Lado da Demanda (GLD)

De acordo com Empresa de Pesquisa Energética (2005), o termo “Gerenciamento pelo Lado da Demanda” (GLD) é empregado para referenciar programas que tendem a reduzir a necessidade de energia por meio de ações sobre a demanda, sem comprometimento dos usos finais. Com isso, as opções de GLD podem reduzir o uso da energia postergando investimentos em nova capacidade instalada.

Jannuzzi & Swisher (1997) definem GLD como qualquer esforço sistemático para promover mudanças no uso de eletricidade. Nesse sentido, as estratégias de GLD têm como objetivo alterar a forma da curva de carga ou sua área total (a integral da curva de carga dá a energia total consumida), ou ainda ambas as iniciativas combinadas. As diversas estratégias de GLD estão explanadas na Figura 7.2.



**Figura 7.2** Estratégias de gerenciamento das curvas de carga.

Fonte: adaptada de Jannuzzi & Swisher (1997).

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (2005), a estratégia de redução de pico pode ser obtida com o aumento das tarifas no horário de pico ou mesmo com o horário de verão. É importante destacar que não necessariamente implica em redução do consumo total, visto que o consumo pode apenas ser deslocado do horário de pico, conforme representado nas estratégias de preenchimento de vales e deslocamento de picos (conforme demonstrado na figura anterior). A concepção de uma curva de carga flexível permite acomodar a demanda dos consumidores e suas características operacionais. Por exemplo, em um sistema hidrelétrico durante a estação seca, o objetivo pode ser reduzir a demanda de eletricidade, mas durante o período úmido, o objetivo pode ser justamente o oposto, ou seja, aumentar o consumo.

Desse modo, observa-se que é possível atender vários objetivos por meio de ações de GLD, que se tornam uma ferramenta de suma importância na implementação de um PIR. As opções de GLD podem ser divididas em quatro categorias (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2005):

- informações e/ou incentivos para estimular a racionalização do uso da energia;

- tecnologias mais eficientes, que contemplaria também medidas que aumentem a eficiência nos processos;
- troca de combustíveis, como por exemplo a utilização do gás e da energia solar para aquecimento de água, de ambientes ou em processos industriais;
- gerenciamento da carga, por meio de medidas que visam diminuir a demanda nos horários de ponta do sistema (por exemplo, a adoção do horário de verão).

Algumas medidas para o gerenciamento pelo lado da demanda (por setor) são apresentadas no Quadro 7.1.

**Quadro 7.1** Medidas para o GLD por setores.

| Setor       | Medidas   |
|-------------|---|
| residencial | Aparelhos eletrodomésticos mais eficientes.   |
|             | Dispositivos para economia de água quente.  |
|             | Lâmpadas fluorescentes compactas.   |
|             | Controles de iluminação automáticos.  |
|             | Melhorias nos padrões de construção voltadas para a eficiência energética, permitindo a redução do uso de refrigeração e aquecimento, e a necessidade de iluminação artificial. |
| Comercial   | Equipamentos de refrigeração e condicionamento de ar mais eficientes.   |
|             | Uso de lâmpadas fluorescentes.  |
|             | Controle de iluminação, aquecimento e refrigeração automáticos.   |
|             | Equipamentos de escritório mais eficientes.   |
|             | Motores elétricos de alta eficiência.   |
| Industrial  | Melhorias nos processos.  |
|             | Motores e controles de alta eficiência.   |

Fonte: adaptado de United States Agency for International Development (2000).

A avaliação da efetividade das ações de GLD é normalmente feita por meio das seguintes medidas (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2005):

- Custo do ciclo de vida da medida para eficiência energética em relação ao custo da alternativa de referência (padrão);
- Análise do Custo Benefício. Quando o valor do quociente entre o benefício e o custo for maior do que 1, a medida será considerada efetiva;
- Custo por unidade de energia conservada, calculada por meio da Equação 7.1.

$$CSE = \frac{CRF.C_c A}{D}$$

(Eq. 7.1)

em que:

CSE = custo pela energia conservada;

CRF = fator de recuperação do capital;

Cc = custo de capital em unidades monetárias;

A = custo anual;

D = energia conservada no ano.

- Custo por unidade de carvão não consumida;
- Avaliação qualitativa da aceitação dos consumidores.

#### 7.4.5 Opções de oferta

Após a identificação de todas as opções de GLD e selecionadas as opções mais adequadas de acordo com os objetivos do planejamento, deve-se listar e analisar as opções de suprimento das necessidades de energia para atender à demanda projetada (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2005).

De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (2005), nesse processo devem ser consideradas as seguintes variáveis:

- localização, ou seja, proximidade dos centros consumidores e a infraestrutura para logística quando for o caso (existência de linhas de transmissão, gasodutos, vias de acesso, densidade populacional, entre outros);
- tempos de construção;
- custos e financiamentos disponíveis;
- integridade e confiabilidade no fornecimento;
- impactos socioambientais.

Ainda segundo a Empresa de Pesquisa Energética (2005), para a avaliação de cada uma das opções disponíveis, deverá ser realizada uma análise de investimentos, onde sendo considerados os custos de capital, os custos totais, a taxa de retorno, a confiabilidade técnica e externalidades advindas de impactos socioambientais. Esses custos devem ser comparados aos custos de implementação das medidas de GLD, assim, quando esses últimos são inferiores aos custos de suprimento, conclui-se que as medidas de GLD são vantajosas (ou seja, oferecem uma relação entre custos e benefícios positiva).

Desse modo, o objetivo do planejamento pode ser modelado por meio de um problema de minimização dos custos totais, como o exemplo sugerido por Jannuzzi & Swisher (1997):

$$\text{Mínimo } C = C_{\text{GLD}} + C_{\text{CEP}} + C_{\text{RE}} \quad (\text{Eq. 7.2})$$

Sujeito a:

$$E + D = ES \quad (\text{Eq. 7.3})$$

em que:

$C$  = custo total;

$C_{\text{GLD}}$  = custos dos programas de gerenciamento pelo lado da demanda;

$C_{\text{CEP}}$  = custos de controle de emissões de poluentes;

$C_{\text{RE}}$  = custo das emissões evitadas de  $\text{CO}_2$  equivalente;

$E$  = energia consumida;

$D$  = energia conservada por meio de medidas de GLD, entre outras;

$ES$  = nível desejado de serviços de energia.

- Determinação do plano de ação

A definição do PIR para os anos subsequentes é obtida a partir da combinação das análises de oferta e demanda. Entre as diversas maneiras de atendimento aos serviços de energia, deverá ser escolhida a que represente o menor custo e risco em todas as dimensões da análise. Assim, a escolha do portfólio “ótimo” poderá ser realizada manualmente ou por meio de programas computacionais como, o Proview II, elaborado pela *Resource Management Associates* (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2005).

Essa escolha deverá ser feita baseada em uma metodologia de análise multicritério. Para o United States Agency for International Development (2000) esses critérios poderiam ser listados, conforme apresentado no Quadro 7.2.

**Quadro 7.2** Critérios e medidas para determinação de um plano de ação.

| Critério    | Medidas   |
|-------------|---|
| financeiro  | Custos totais (incluindo custos de capital, de combustíveis e outros)   |
|             | Taxa de cobertura de juros  |
|             | Taxa de rentabilidade do capital próprio (ROE)  |
|             | Lucro líquido   |
|             | Geração interna de recursos   |
| Performance | Consumidores atendidos  |
|             | Probabilidade de perda de carga   |
|             | Margem de reserva   |
|             | Eficiência de uso final   |
| Segurança   | Diversificação da oferta  |
|             | Uso de recursos regionais   |
|             | Uso de recursos renováveis  |
| Ambiental   | Total das emissões de gases de efeito estufa ao longo da vida útil do projeto   |
|             | Total de emissões de outros poluentes (tais como: gases ácidos, material particulado e hidrocarbonetos)                             |
|             | Extensão de terras utilizadas para fins energéticos (para cultivo de biomassa ou alagadas nos casos de hidrelétricas, entre outros) |
|             | Produção de resíduos líquidos   |
|             | Produção de resíduos sólidos (considerando diferentes níveis de toxidades)  |
|             | Impactos sobre a biodiversidade   |
| Outros      | Estéticos (impactos sobre a recreação e o turismo)  |
|             | Geração de empregos   |
|             | Impactos da geração de energia sobre outros setores econômicos  |
|             | Aceitação política e viabilidade do projeto   |
|             | Implicações sociais (tais como: impactos sobre populações indígenas, entre outros)  |
|             | Impactos culturais  |

Fonte: adaptado de United States Agency for International Development (2000).

De acordo com os objetivos e prioridades do PIR, outros critérios podem ser definidos e é possível atribuir diferentes pesos, tornando uma dimensão mais importante que outras, caso isso seja de interesse dos planejadores. É importante que o PIR seja efetivamente um processo participativo, para que os interesses de todos os grupos da população estejam bem representados na aceção desses critérios, que em um segundo momento, serão decisivos na escolha do portfólio de ações e de oferta do PIR (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2005).

## 7.4.6 PIR regional

O PIR regional é importante, em países de dimensões continentais (como o Brasil) que apresentam enorme diversidade de recursos e de desenvolvimento econômico entre as regiões, o que acarreta diferentes necessidades de serviços de energia (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2005).

Em particular na região nordeste brasileira, Magrini et al. (1984) já apontavam a necessidade de um novo processo de desenvolvimento que deveria redirecionar três dinâmicas: a propriedade do capital, a dinâmica tecnológica e a distribuição dos frutos do desenvolvimento.

Nesse contexto, a energia passaria por reformulações que seriam capazes de reduzir o caráter centralizador das decisões de política energética fazendo com que os fluxos de energia final sejam garantidos às camadas da população historicamente excluídas (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2005).

Desse modo, as fontes alternativas de energia passam a exercer um papel significativo, dado que constituem uma vantagem comparativa da região, pois o atendimento dos serviços de energia em um dado local pode ser mais apropriado a partir de fontes locais, poupando, por exemplo, os custos de transmissão e distribuição (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2005).

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (2005), a valorização de vantagens comparativas regionais é possível por meio do PIR. A abordagem regional do processo de planejamento apresenta os seguintes benefícios potenciais:

- trocas de experiências profissionais;
- melhor gerenciamento dos horários de ponta da carga;
- superação de racionamentos e restrições energéticos;
- adiar investimentos na expansão do setor;
- maior utilização da capacidade instalada e aumento do potencial para ganhos de eficiência;
- promover desenvolvimento e troca de tecnologias;
- aproveitar as vantagens do clima regional e das flutuações meteorológicas;
- estabelecer padrões técnicos, operacionais e ambientais para a região;
- otimização dos recursos locais;
- redução dos riscos de suprimento de energia;
- promover os objetivos do desenvolvimento sustentável em um contexto amplo, (contemplando impactos socioambientais e econômicos);

- promover a cooperação regional, oferecendo a oportunidade de diversificação do *mix* energético (reduzindo a dependência em um recurso apenas);
- contribuir para o crescimento econômico regional;
- reduzir os custos de transporte com geração, transmissão e distribuição e com isso aumentar o retorno sobre o capital investido no desenvolvimento energético.

## 7.5 Estudos complementares

- Diversas informações sobre novos instrumentos de planejamento energético: IX CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA - CBE. *Novos instrumentos de planejamento energético*. Disponível em: <[http://www.seeds.usp.br/pir/arquivos/congressos/CBE2004/TEMA\\_08.pdf](http://www.seeds.usp.br/pir/arquivos/congressos/CBE2004/TEMA_08.pdf)>. Acesso em: 07 nov. 2012.
- Estudo de Planejamento Integrado de Recursos para o Sistema Elétrico de Boa Vista – RR: SAUER, Ildo Luís. (Coord.). *Estudo de Planejamento Integrado de Recursos para o Sistema Elétrico de Boa Vista – RR*. Universidade De São Paulo (USP) - Instituto de Eletrotécnica e Energia. Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia. São Paulo, jan. 1999. Disponível em: <<http://professorildosauer.files.wordpress.com/2010/01/8-relatorio-da-pesquisa-pir2.pdf>>. Acesso em: 07 nov. 2012.
- Informações gerais sobre o planejamento energético: ZIMMERMANN, Márcio Pereira. *Planejamento energético*. Ministério de Minas e Energia. Comissão de Meio Ambiente, Defesa do Consumidor e Fiscalização e Controle – CMA, out. 2007. Disponível em: <[http://www.senado.gov.br/comissoes/cma/ap/AP\\_20071002\\_MME\\_Uso\\_Energia\\_Nuclear.pdf](http://www.senado.gov.br/comissoes/cma/ap/AP_20071002_MME_Uso_Energia_Nuclear.pdf)>. Acesso em: 07 nov. 2012.
- Texto sobre o planejamento dos sistemas elétricos de potência: CAMARGO, C. C. B. *Gerenciamento pelo lado da demanda: metodologia para identificação do potencial de conservação de energia elétrica de consumidores residenciais*. 1996. 197 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1996. Disponível em: <<http://www.eps.ufsc.br/teses96/camargo/cap2/capitulo2.htm>>. Acesso em: 07 nov. 2012.
- Tese sobre o planejamento Integrado de Recursos Energéticos para o setor elétrico: UDAETA, Miguel Edgar Morales. *Planejamento integrado de recursos energéticos – PIR: para o setor elétrico (pensando o desenvolvimento sustentável)*. 1997. 353 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997. Disponível em: <<http://seeds.usp.br/portal/uploads/8f6b04ca-53f8-492c.pdf>>. Acesso em: 07 nov. 2012.

- Informações sobre o livro “Planejamento Integrado de Recursos Energéticos: meio ambiente, conservação de energia e fontes renováveis”: JANNUZZI, Gilberto M.; SWISHER, Joel N. *Planejamento Integrado de Recursos Energéticos: meio ambiente, conservação de energia e fontes renováveis*. Campinas: Editora Autores Associados, 1997. Disponível em: <<http://www.fem.unicamp.br/~jannuzzi/PlanejamentoIntegradodeRecursos.htm#material>> ou <[http://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=lang\\_pt&id=N7jzhXBFgeoC&oi=fnd&pg=PA1&dq=energias+renovaveis&ots=s5jbZQnBaz&sig=4Y98-r0Do8QehARTncF9bdsMWcM#v=onepage&q&f=false](http://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=lang_pt&id=N7jzhXBFgeoC&oi=fnd&pg=PA1&dq=energias+renovaveis&ots=s5jbZQnBaz&sig=4Y98-r0Do8QehARTncF9bdsMWcM#v=onepage&q&f=false)>. Acesso em: 07 nov. 2012.
- Informações sobre as aplicações de Pesquisa Operacional no Planejamento de Sistemas Energéticos: SOUZA, Reinaldo Castro; MARCATO, André Luís Marques; DIAS, Bruno Henriques; SILVA Jr., Ivo Chaves da. *Minicurso: a Pesquisa Operacional e o Planejamento de Sistemas Energéticos*. In: IV II SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL. Bento Gonçalves, set. 2009. Disponível em: <[http://www.sobrapo.org.br/sbpo2010/xliisbpo\\_pdf/72106.pdf](http://www.sobrapo.org.br/sbpo2010/xliisbpo_pdf/72106.pdf)>. Acesso em: 07 nov. 2012.
- Artigo sobre o Planejamento Energético como ferramenta de auxílio às tomadas de decisões sobre a oferta de energia na zona rural: SILVA, Marcos Vinicius Miranda da; BERMANN, Célio. *O planejamento energético como ferramenta de auxílio às tomadas de decisão sobre a oferta de energia na zona rural*. Disponível em: <[http://www.moretti.agrarias.ufpr.br/eletrificacao\\_rural/tc\\_07.pdf](http://www.moretti.agrarias.ufpr.br/eletrificacao_rural/tc_07.pdf)>. Acesso em: 07 nov. 2012.
- GRUPO DE ENERGIA DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ENERGIA E AUTOMAÇÃO ELÉTRICAS DA ESCOLA POLITÉCNICA (GEPEA-USP). *Sustentabilidade da UGE Carioba II à Luz do PIR (Planejamento Integrado de Recursos) no Contexto da Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, e a Possibilidade do PIR ser Aplicado Localmente*. São Paulo, jun. 2001. (Parecer técnico). Disponível em: <[http://www.comitepcj.sp.gov.br/download/USP\\_GPEA\\_QUESTAO\\_AR\\_AGUA\\_SUSTENTABILIDADE.pdf](http://www.comitepcj.sp.gov.br/download/USP_GPEA_QUESTAO_AR_AGUA_SUSTENTABILIDADE.pdf)>. Acesso em: 07 nov. 2012.

## 7.6 Referências

BAJAY, S. V. Planejamento energético: necessidade, objetivo e metodologia. *Revista Brasileira de Energia*, Sociedade Brasileira de Planejamento Energético, v. 1, n. 1, p. 45-53, 1989a.

\_\_\_\_\_. Planejamento energético regional: a experiência paulista à luz de práticas que a inspiraram, no exterior. In: LA ROVERE, E. L.; ROBERT, M. (Eds). *Capacitação para a tomada de decisões na área de energia*. Montevideu: Finep/Unesco, 1989b.

COMISSÃO DAS COMUNIDADES EUROPEIAS. *A energia e o desenvolvimento: que desafios? quais métodos? Sínteses e conclusões*. Rio de Janeiro: Editora Marco Zero/Aiecoppe/UFRJ, 1986.

D'SA, A. Integrated Resource Planning (IRP) and power sector reform in developing countries. *Energy Policy*, v. 33, p. 1271-1285, 2005.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). *Aspectos fundamentais do planejamento energético*. Rio de Janeiro, 2005. 32 p.

GALVÃO, L. C. R.; REIS, L. B.; UDAETA, M. E. M. Fundamentos para o planejamento Integrado de recursos numa Região de Governo do Estado de São Paulo apontando a Energia Elétrica. In: VII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA, Rio de Janeiro. 1996.

INSTITUTO DE ECONOMIA ENERGÉTICA. *Política Energética*, XVII Curso Latinoamericano de Economía y Planificación Energética, Bariloche, IDEE/Fundación Bariloche, 1987a.

\_\_\_\_\_. *Lecturas sobre proceso de planeamiento energético*, XVII Curso Latinoamericano de Economía y Planificación Energética, Bariloche, IDEE/Fundación Bariloche, 1987b.

JANUZZI, G. M.; SWISHER, J. N. P. *Planejamento Integrado de Recursos Energéticos: meio ambiente, conservação de energia e fontes renováveis*. Campinas: Editora Autores Associados, 1997.

MAGRINI, A.; ALVEAL, C.; BARROS, E. B. M.; MOREIRA, J. G. S. Há um papel da energia na crise do nordeste? In: ROSA, L. P. (Org.). *Energia e Crise*. Petrópolis: Vozes, 1984. p.141-157.

UNITED STATES AGENCY FOR INTERNATIONAL DEVELOPMENT (USAID). *Best Practices Guide: integrated resource planning for electricity*. Boston/Massachusetts: The Tellus Institute, 2000.



# **UNIDADE 8**

Gestão municipal de energia



## 8.1 Primeiras palavras

No âmbito da estrutura nacional, a esfera municipal vem assumindo um importante papel institucional na relação direta com o bem-estar dos municípios. Dentro deste contexto, faz-se necessária a identificação de ações voltadas para saúde, educação, saneamento, meio ambiente e segurança, assim como a preocupação com o uso da energia e conseqüentemente a elaboração de projetos específicos em eficiência energética (MAGNIN et al, 2004).

## 8.2 Problematizando o tema

O Poder Público local na questão energética tem como atuação a organização de uma estrutura específica voltada para as questões energéticas do município, considerando o controle e o planejamento dos custos totais e parciais de cada unidade consumidora de energia do município, e também um maior conhecimento dos recursos energéticos e seus potenciais (MAGNIN et al., 2004).

Nesse sentido, trabalhos de Gestão Energética Municipal (MAGNIN et al., 2004) criam oportunidades, reduzem custos, mudam os paradigmas dos conceitos de eficiência, garantem a manutenção e a continuidade das ações, que propiciam sustentabilidade aos diversos projetos de eficiência energética empreendidos pelos municípios.

O desenvolvimento de trabalhos de eficiência energética nos municípios é um promissor campo de atuação e constitui-se em um ótimo negócio: os municípios passam a ter controle sobre seus consumos e dispêndios com energia elétrica, garantindo, assim, a autonomia municipal na gestão de seus recursos (MAGNIN et al., 2004).

Os benefícios desta gestão advêm da redução na conta de energia e, conseqüentemente, da possibilidade de alocação desses recursos em outras áreas prioritárias, como educação e saúde. Além disso, no âmbito local, as prefeituras se beneficiam com a implementação de projetos desta natureza, uma vez que nos últimos anos, há uma significativa sensibilidade para a questão ambiental e tende a apoiar os decisores políticos que atuem em consonância com princípios preservacionistas (MAGNIN et al., 2004).

A Gestão Energética Municipal – GEM é um instrumento voltado para o Administrador Municipal que busca planejar e organizar as diferentes atividades do uso da energia elétrica desenvolvidas pela prefeitura, identificando áreas com potencial de melhoria da eficiência do consumo, sem a perda da qualidade do serviço ofertado, elaborando um planejamento com projetos definidos e permitindo a priorização destes projetos para a sua implementação, considerando

os aspectos do desenvolvimento local com a eficiência energética e a qualidade ambiental (MAGNIN et al, 2004). Ainda, segundo Magnin et al. (2004), os principais objetivos da Gestão Energética Municipal são:

- gerenciar o uso da energia elétrica nos centros consumidores municipais (iluminação pública, prédios públicos, saneamento etc.) planejando, implementando e controlando as ações;
- criar uma equipe com conhecimento e competência, voltada para a aplicação dos conceitos de eficiência energética;
- reduzir o consumo da energia e, conseqüentemente, a conta municipal de energia;
- capacitar o município para negociar com as concessionárias de energia, garantindo, assim, a autonomia municipal na gestão de seus recursos;
- introduzir sistemas e equipamentos mais eficientes que contribuam para uma melhora da qualidade ambiental do município;
- incorporar os conceitos energéticos e ambientais nos instrumentos legais de formulação de políticas, planos estratégicos e programas municipais.
- A Figura 8.1 apresenta os princípios básicos que norteiam as ações da GEM.



**Figura 8.1** Princípios básicos que norteiam a GEM.

Fonte: adaptada de Magnin et al. (2004).

O Quadro 8.1 define cada um dos princípios.

**Quadro 8.1** Definições dos princípios básicos que norteiam a GEM.

| Princípios    | Definições   |
|---------------|--|
| Continuidade  | A função da Gestão Energética deve ser assegurada para garantir a continuidade das ações empreendidas na área de energia no município.                   |
| Adequação     | Esta função deve ser assumida por uma equipe condizente com a dimensão do município e com os potenciais de um Programa de Gestão Energética.             |
| Exclusividade | Esta equipe tem essencialmente um papel funcional e deve se dedicar, na medida do possível, exclusivamente às tarefas de Gestão Energética do município. |
| Livre acesso  | A equipe responsável deve estar em relação permanente com os responsáveis operacionais nos diferentes departamentos/secretarias municipais.              |

### 8.3 Funções do município na área de energia elétrica

Conforme Magnin et al. (2004), as formas de atuação de um município na área de energia são basicamente:

- Consumidor – os municípios brasileiros são consumidores de energia nas várias áreas sob sua administração: iluminação pública, prédios públicos, saneamento e outras específicas de cada município.
- Produtor e Distribuidor – na Europa, alguns municípios são responsáveis pela produção e distribuição de energia em seus territórios. No Brasil, este modelo vem sendo incentivado por meio da implementação de projetos de cogeração.
- Planejador e Organizador do Território – o consumo de energia de um território é, em grande parte, o resultado das escolhas municipais em matéria de planejamento urbano, urbanismo, meio ambiente e planejamento energético. Esta é uma área de atuação de grande potencial para os municípios brasileiros em face da realidade nacional – país em desenvolvimento;
- Incitador – cabe ao município desenvolver ações para estimular a população e os agentes econômicos a promoverem o uso eficiente da energia. Estas ações podem ser desenvolvidas a partir de divulgação de informação, assessoria, incentivos financeiros, promoção de energias renováveis etc.

Em termos de benefícios para o município, pode-se identificar a possibilidade de redução no consumo e conta de energia elétrica em duas formas (MAGNIN et al., 2004):

- Economia de energia (kWh) – a implementação de projetos de eficiência energética nos serviços municipais pode gerar economia de consumo de energia de até 50% em algumas áreas de atuação.
- Economia de recursos (R\$) – além da redução nas contas de energia dos municípios advinda da implementação de projetos de eficiência energética, outras ações, tais como a otimização dos contratos de fornecimento de energia entre as prefeituras e as empresas concessionárias, podem gerar economia de recursos para as prefeituras.

Outro benefício que pode ser identificado é o aproveitamento dos recursos energéticos disponíveis em cada município, possibilitando um melhor aproveitamento das fontes alternativas de energia e dos potenciais energéticos.

Também se pode incluir como benefício ao município a preservação do meio ambiente com melhoria da eficiência dos sistemas elétricos do município, difundindo e consolidando o princípio da eficiência energética associada ao meio ambiente, mitigando, em um contexto mais amplo, as questões de controle dos impactos ambientais e a prevenção da poluição, visando garantir a preservação dos recursos naturais para as gerações futuras baseada no desenvolvimento sustentável.

Em termos de benefícios políticos, a Gestão Municipal pode se beneficiar dos dividendos políticos resultantes da implementação de projetos desta natureza, tendo em vista a significativa sensibilidade desenvolvida pela sociedade brasileira para as questões energética e ambiental.

Outro aspecto importante é a melhoria da capacidade de negociação do município, possibilitando condições de defender melhor os interesses do município junto aos fornecedores e prestadores de serviços na área de energia.

Segundo Magnin et al. (2004), para o setor elétrico os benefícios são:

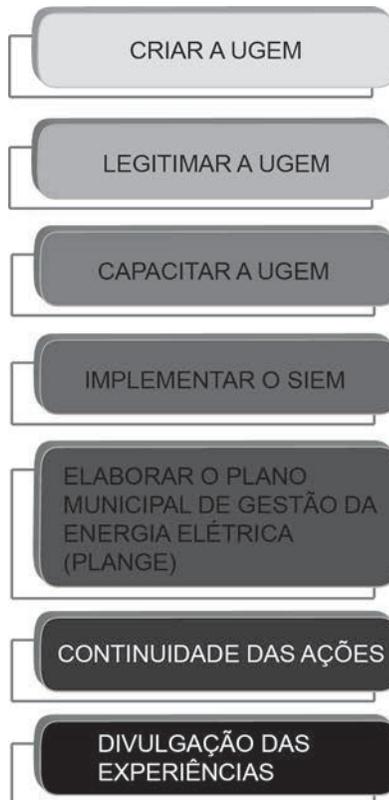
- Melhoria da eficiência dos sistemas de energia posterga investimentos de recursos públicos ou privados na geração, transmissão e distribuição de energia.
- Redução no consumo de energia na ponta do sistema com ações de eficiência energética nos municípios contribuem para a redução de investimentos por parte do setor elétrico para garantir o suprimento de energia no horário de ponta do sistema.

- Aumento da confiabilidade no fornecimento de energia obtido com a redução de perdas no uso final garante um sistema de distribuição de energia mais equilibrado, ajustando a conformidade dos níveis de tensão de energia elétrica em regime permanente.
- Magnin et al. (2004) também discutem que, em particular para a sociedade, a atuação dos municípios na GEM e a decorrente capacitação de pessoal acarretarão uma série de oportunidades advindas da abrangência deste processo, entre as quais, destacam-se:
  - possibilidade de elaboração de uma estratégia de planejamento energético, com foco municipal;
  - concentração de esforços em nível municipal para economizar energia;
  - possibilidade de elaborar projetos dentro de uma concepção integrada e voltada para os interesses do país;
  - possibilidade de liberar recursos para investimentos em áreas sociais, consideradas prioritárias pelos habitantes da cidade;

Os setores residencial, comercial e industrial, particularmente as pequenas e médias empresas, poderão ter acesso às informações e sensibilizarem-se para esta questão, aderindo, assim, ao Programa de Eficiência Energética.

## **8.4 Etapas para a implementação da Gestão Energética Municipal (GEM)**

Para a implementação da GEM, o município deve seguir uma sequência de etapas, que estão indicadas na Figura 8.2.



**Figura 8.2** Etapas da GEM.

Fonte: adaptada de Magnin et al. (2004).

A seguir está detalhada cada uma das etapas previstas para a implantação da GEM nos municípios.

#### 8.4.1 Unidade de Gestão Energética Municipal – Ugem

A implementação da GEM inicia-se com a formação de uma equipe multidisciplinar com competência própria – a Ugem. Essa equipe deve ser formalmente legitimada por meio de decreto municipal, de forma a garantir seu reconhecimento na estrutura funcional da Administração. Formada por um ou mais funcionários, conforme as dimensões, as características e as potencialidades de cada município (MAGNIN et al., 2004).

A Ugem tem o objetivo de acompanhar os projetos da prefeitura e preparar, apresentar, planejar e implementar as ações de eficiência energética nos setores da Administração Pública, bem como assessorá-la na orientação das ações dos agentes privados no Município (MAGNIN et al., 2004).

No Quadro 8.2, conforme estudo de Magnin et al. (2004), são apresentadas as cinco funções da Ugem e sugestões para sua organização e localização na estrutura administrativa da prefeitura.

**Quadro 8.2** As cinco funções da Ugem.

| Funções                            | Sugestões para organização  |
|------------------------------------|---|
| Estratégica                        | Propor aos responsáveis municipais um Plano Municipal de Gestão da Energia Elétrica Municipal – Plamge, considerando objetivos, análises custo/benefício, estimativa das economias a realizar e meios a serem implementados;<br>Assegurar a implementação da metodologia de GEM.  |
| Gestão                             | Implantar o programa computacional Siem - Sistema de Informação Energética Municipal, que contém as seguintes informações sobre os municípios: o consumo e as despesas de energia elétrica nos segmentos: prédios públicos, iluminação pública e saneamento; e a descrição de todo o parque de equipamentos das unidades consumidoras;<br>Acompanhar os vários contratos de fornecimento de energia elétrica entre prefeitura e concessionária visando o seu aperfeiçoamento;<br>Acompanhar os consumos mensais de cada unidade consumidora de energia elétrica do município. |
| Planejamento                       | Elaborar o planejamento de médio prazo do município a partir do módulo de planejamento do software Siem, seguindo a metodologia descrita no Manual para Elaboração de Planos Municipais para a Gestão da Energia Elétrica.  |
| Técnicas                           | Administrar instalações e equipamentos visando otimizar seu funcionamento;<br>Conceber novas instalações tendo em vista os princípios da eficiência energética;<br>Acompanhar os resultados das medidas implementadas, tais como redução dos consumos de energia elétrica, eficiência de novas tecnologias utilizadas, eficiência de processos etc.;<br>Manter-se atualizado e promover intercâmbio de experiências.  |
| Marketing e difusão de informações | Sensibilizar os usuários e diferentes agentes da Administração envolvidos;<br>Envolver as equipes de manutenção;<br>Prestar contas dos resultados financeiros, energéticos e ambientais obtidos;<br>Divulgar resultados à população.  |

Em termos de organização, a Ugem é composta de dois grupos complementares com funções distintas e de igual importância, sendo que o sucesso desta equipe dependerá de sua capacidade de articulação. De acordo com o guia GEM de Magnin et al. (2004), as funções a serem desempenhadas são as descritas no Quadro 8.3.

**Quadro 8.3** Grupos complementares da Ugem.

| Equipes     | Funções  |
|-------------|--|
| Funcional   | Diretamente responsável pela operação, desempenhará funções estratégicas, de gestão global, de produção de relatórios, de treinamento etc. Este grupo deverá definir as estratégias e metas, assegurará a organização, permitirá a coerência e garantirá a permanência das ações empreendidas. |
| Operacional | Abrange todos os funcionários envolvidos indiretamente, e será constituída por pessoas designadas pelas secretarias municipais, que deverão realizar levantamentos de dados, auxiliar nos diagnósticos e na seleção de medidas a serem implementadas.  |

Assim, deve ser disponibilizada uma infraestrutura básica para operação da equipe técnica constituída basicamente de:

- espaço físico adequado ao número de pessoas da equipe;
- equipamentos de informática;
- sistema de telefonia;
- equipamentos de proteção individual de segurança;
- instrumentos e ferramentas para levantamento de campo.

A localização da Ugem deve atender às expectativas em relação as suas funções, sendo esta uma decisão importante para o desenvolvimento das atividades da equipe. Esta decisão deve ser avaliada em relação à estrutura organizacional da Administração do Município em questão, levando-se sempre em conta a necessidade de comunicação constante entre as várias secretarias do município.

Segundo Magnin et al. (2004), a equipe gestora do GEM deve:

- ter a legitimidade necessária para poder intervir de forma apropriada em todos os setores de sua competência, principalmente se for física e administrativamente ligada a uma secretaria ou departamento;
- conceber suas funções como um papel de assessoria e apoio às secretarias e não como de fiscalização;
- criar condições favoráveis para que seja solicitada sistematicamente todas as questões ligadas à energia, planos financeiros, energéticos e ambientais obtidos.

## 8.4.2 Capacitação da Ugem

Considerando o enfoque multidisciplinar da Ugem, para a sua implementação, faz-se necessário capacitar a nova equipe, cabendo ao município esta iniciativa. A capacitação deverá ser desenvolvida a partir do nível inicial de conhecimento de cada equipe (MAGNIN et al., 2004).

De acordo com o guia GEM de Magnin et al. (2004), para que isto seja possível serão necessários alguns procedimentos que permitam a avaliação da equipe para posterior determinação de treinamento a ser desenvolvido, quais sejam:

- Identificar os componentes da Ugem: avaliar os vários níveis de conhecimentos dos elementos da mesma, considerando sua procedência e experiência em relação às funções que irão desempenhar na equipe. Parte da capacitação da equipe pode ser apropriada a partir de experiências anteriores em ações de controle e manutenção de sistemas elétricos ou, também, a partir do conhecimento nas áreas sob a Administração Municipal.
- Aplicação da metodologia: direcionar o foco do treinamento para a metodologia de gestão energética desenvolvida, visando favorecer as ações da equipe em suas áreas de competência.
- Conceitos de uso eficiente da energia elétrica: direcionar para os segmentos de iluminação pública, prédios públicos e saneamento, os conceitos técnicos do uso eficiente da energia nos temas de iluminação, ar condicionado, motores, conversores de frequência, arquitetura, gerenciamento do uso da energia, estrutura tarifária, controladores de demanda, alternativas tecnológicas etc.
- Treinamento no uso do Siem: direcionar a aula de aplicação e manuseio do programa Siem com exemplos práticos.
- Manter a Ugem atualizada: proporcionar condições para que as equipes possam estar constantemente se atualizando em relação às novas técnicas e procedimentos na área de eficiência energética

## 8.4.3 Sistema de Informação Energética Municipal – Siem

O Sistema de Informação Energética Municipal (Siem) é um programa de computador desenvolvido pelo Procel em parceria com o IBAM e constantemente atualizado pelo escritório técnico da Rede Cidades Eficientes em Energia Elétrica (RCE); é um instrumento ágil e fácil de usar, voltado para os Administradores Municipais fazerem a gestão e o planejamento do uso eficiente da energia

elétrica, conhecerem e controlarem seus consumos e gastos de energia de forma a otimizarem seu uso, trazendo benefícios econômicos significativos para a Administração Municipal (MAGNIN et al., 2004).

O uso contínuo do sistema por cada município permitirá a construção de séries históricas e a produção de índices de desempenho energético, análises de cenários e relatórios de acompanhamento baseados em informações consistentes.

De acordo com o guia GEM de Magnin et al. (2004), a implementação do Siem nos municípios demandará um esforço inicial pela equipe da Administração Municipal. Porém, uma vez implantado o sistema, as ações tornam-se rotineiras e incorporam-se facilmente ao dia a dia das atividades e seguem as etapas:

- Treinamento da equipe;
- Levantamento de dados;
- Entrada de dados;
- Acompanhamento e análise dos dados, para garantir uma gestão eficiente, por meio da entrada de dados de consumo mensal e da análise dos relatórios de controle.

#### 8.4.4 Elaboração do Plano Municipal de Gestão da Energia Elétrica – Plamge

O Plamge é o instrumento maior da GEM que busca levantar e organizar as diferentes atividades desenvolvidas pela prefeitura e, em seguida, identificar áreas com potencial de redução de consumo de energia elétrica sem perda da qualidade do serviço ofertado. A implementação de novas atividades também é considerada, envolvendo aspectos como a qualidade ambiental e a eficiência energética (MAGNIN et al., 2004).

De acordo com o guia GEM de Magnin et al. (2004), a elaboração e implementação do Plamge auxiliam a Administração Municipal, valorizando seus esforços nas três escalas de tempo:

- No tempo presente, o Plamge organiza a execução das atividades de GEM, auxiliando a criação, instrumentalização e capacitação da Ugem.
- Em relação ao passado, o Plamge demonstra os benefícios obtidos graças à adoção de medidas de eficiência energéticas já implementadas e em andamento.

- Quanto ao futuro, o Plamge ilustra os resultados potenciais das medidas identificadas, contribuindo para sua priorização por meio da análise de seus custos e benefícios.

Para a definição das estratégias resultantes do Plamge, devem ser considerados, ainda, o grau de mobilização e interesse dos atores envolvidos, as prioridades políticas das coletividades locais e regionais e a possibilidade de obtenção e demonstração de resultados visíveis. O Plamge consiste das seguintes etapas:

- Caracterização do município;
- Avaliação da questão da energia elétrica para a prefeitura;
- Elaboração do cenário de referência;
- Definição da estratégia da prefeitura para o combate ao desperdício;
- Desenvolvimento de um Programa Municipal de Eficiência Energética;
- Elaboração do cenário de eficiência energética;
- Elaboração do Plamge;
- Implementação do Plamge;
- Acompanhamento e avaliação do Plamge;
- Divulgação de resultados.

#### 8.4.5 Marcos Legais

De acordo com o guia GEM de Magnin et al. (2004), os principais marcos legais que devem ser construídos pelo município visando adequar as políticas de governo ao programa de desenvolvimento sustentável local são os seguintes:

- Constituição Federal de 1988, artigo 30: “Legislar sobre assunto de interesse social; suplementar a legislação federal e estadual no que lhe couber; instituir e arrecadar tributos de sua competência, bem como aplicar suas rendas; criar, organizar e suprimir distritos, observada a legislação estadual; organizar e prestar, diretamente ou sob regime de concessão ou permissão, os serviços públicos de interesse local”.
- Constituição Federal de 1988, artigo 182, e a regulamentação pela Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001, denominada “Estatuto da Cidade”: estabelece diretrizes gerais da política de desenvolvimento e expansão

urbana, especificamente com a obrigatoriedade de elaboração do Plano Diretor Municipal, suportado pelos demais instrumentos legais, Transporte Urbano, Código de Obras e Edificações, Perímetro Urbano, Uso e Ocupação do Solo/Zoneamento e Parcelamento do Solo e Cadernos de Encargos de Compras de Equipamentos.

- Constituição Federal de 1988, artigo 225: “Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao poder público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações”.
- Lei de Eficiência Energética nº 10.295, de 17 de outubro de 2001, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia: visando à alocação de recursos energéticos e à preservação do meio ambiente, estabelece índices de eficiência para equipamentos elétricos e indicadores para diversos tipos de edificações e requisitos para a arquitetura bioclimática.
- Lei Complementar nº 101, de maio de 2000 – Lei de Responsabilidade Fiscal: estabelece normas de finanças públicas voltadas para a gestão fiscal do Município.
- Lei nº 10.028, de 19 de outubro de 2000, artigo 339-C: “ordenar ou autorizar a assunção de obrigação, nos dois últimos quadrimestres do último ano do mandato ou legislatura, cuja despesa não possa ser paga no mesmo exercício financeiro ou, caso reste parcela a ser paga no exercício seguinte, que não tenha contrapartida suficiente de disponibilidade de caixa.”
- Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001. Estatuto da Cidade que regulamenta os artigos 182 e 183 da Constituição Federal: estabelece diretrizes gerais da política de desenvolvimento urbano e norteia a função social da cidade e da propriedade urbana, com a elaboração do Plano Diretor Municipal.
- Decreto Presidencial, de 7 de julho de 1999, cria a Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima – CIMGC, com “a preocupação com a regulamentação dos mecanismos do Protocolo de Kioto e, em particular, entre outras atribuições, estabelece que a comissão será a autoridade nacional designada para aprovar os projetos considerados elegíveis do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, cabendo, também, à comissão definir critérios adicionais de elegibilidade aqueles considerados na regulamentação do Protocolo de Kioto.”

## 8.5 Experiência da GEM em dez municípios pilotos

Conforme solicitação da Eletrobrás/Procel, em 1996, foi realizado quatro projetos-piloto, com elaboração de Plamges nos municípios de Governador Valadares (MG), Piracicaba (SP), Rio de Janeiro (RJ) e Salvador (BA) (MAGNIN et al., 2004).

No período de 2001 a 2002 foram elaborados mais dez Plamges em todo o Brasil. Com o objetivo de despertar e ampliar o interesse de todos os municípios brasileiros para os benefícios da aplicação de projetos de eficiência energética (MAGNIN et al., 2004).

A Tabela 8.1 apresenta a síntese dos resultados alcançados.

**Tabela 8.1** Síntese dos resultados obtidos na implementação do GEM.

| Local               | Emissões<br>(t CO <sub>2</sub> e) | Energia gerada | Emissões/<br>Energia gerada |
|---------------------|-----------------------------------|----------------|-----------------------------|
|                     |                                   | (MWh)          | (%)                         |
| Paraguaçu (MG)      | 18.943                            | 253            | 9                           |
| Nazaré da Mata (PE) | 29.825                            | 1.128          | 23                          |
| Itabaianinha (SE)   | 35.452                            | 1.328          | 59                          |
| Carazinho (RS)      | 59.894                            | 4.959          | 22                          |
| Parauapebas (PA)    | 71.651                            | 4.787          | 18                          |
| Dourados (MS)       | 164.949                           | 5.510          | 8                           |
| Cascavel (PR)       | 245.066                           | 13.138         | 18                          |
| Serra (ES)          | 322.518                           | 26.322         | 19                          |
| Natal (RN)          | 712.317                           | 5.854          | 10                          |
| Guarulhos (SP)      | 1.071.299                         | 32.910         | 13                          |

Fonte: adaptada de Magnin et al. (2004).

Observa-se por meio da Tabela 8.1 que os resultados apontaram valores expressivos em termos de redução da energia consumida nos municípios, destacando-se Itabaianinha (SE) com 59% de economia de energia. Em média os demais municípios, após o GEM apresentaram economia da ordem de 20% (MAGNIN et al., 2004).

Deve-se destacar que a gestão municipal de energia é um aspecto muito importante no planejamento energético, pois permite que haja redução significativa da demanda em prédios públicos (MAGNIN et al., 2004).

## 8.6 Referências

MAGNIN, G. et al. *Guia técnico PROCEL GEM: gestão energética municipal*. Rio de Janeiro: Eletrobrás/Ibam, 2004. 138 p.



# **UNIDADE 9**

Impactos ambientais do uso da energia



## 9.1 Primeiras palavras

Os impactos ambientais originados pelo homem vêm ocorrendo desde os tempos mais remotos, onde por questões de sobrevivência o homem começou a formar aldeias com os materiais disponíveis. À medida que as atividades humanas evoluíram, também houve um aumento da demanda por energia pelo homem em suas atividades, o que ampliou sobremaneira os impactos ao meio ambiente.

O meio ambiente muda continuamente ao longo dos tempos em decorrência de causas naturais; o homem tem pouca ou nenhuma influência, como, por exemplo, as estações climáticas, erupções vulcânicas, inundações, queimadas, entre outros fenômenos naturais (GOLDEMBERG, 2010).

## 9.2 Problematizando o tema

A interferência do homem e sua necessidade por energia pode atingir um nível que desequilibra a estrutura natural do entorno, provocando o que se denomina de impacto ambiental.

Uma das principais causas dos impactos ambientais em todos os níveis é a demanda de energia pelas atividades humanas. Segundo Goldemberg (2010), numa escala micro, a demanda por energia, desencadeou doenças respiratórias com o uso da lenha. Num nível mais abrangente, esta demanda causa as emissões de gases de efeito estufa, que por sua vez, provocam o aquecimento global.

O sistema energético que compreende as atividades de extração, processamento, distribuição e uso de energia é responsável pelos principais impactos ambientais da sociedade industrial, cujos efeitos nocivos não se restringem ao nível local onde se realizam as atividades de produção ou de consumo de energia, mas também possuem efeitos regionais e globais.

Na escala regional pode-se mencionar, por exemplo, o problema das chuvas ácidas, ou ainda o derramamento de petróleo em oceanos, que pode atingir vastas áreas. Existem ainda impactos globais, e os exemplos mais contundentes são as alterações climáticas devidas ao acúmulo de gases na atmosfera (gases de efeito estufa - GEE), e a erosão da camada de ozônio devida ao uso de CFCs (compostos com moléculas de cloro-fluor-carbono) utilizados em equipamentos de ar condicionado e refrigeradores.

As atividades relacionadas com a produção e uso de energia liberam para a atmosfera, para a água e para o solo diversas substâncias que comprometem a saúde e sobrevivência não só do homem, mas também da fauna e flora. Alguns

desses efeitos são visíveis e imediatos, outros têm a propriedade de serem cumulativos e de permanecerem por várias décadas ocasionando problemas.

Além desses impactos, tem-se a degradação do ambiente aquático marinho, provocado por vazamentos de petróleo, como o ocorrido no Golfo do México em 2010 (MING, 2012).

### 9.3 Abrangência e causas dos impactos ambientais

O Quadro 9.1 apresenta a abrangência e as causas dos principais impactos ambientais provocados pelo uso de combustíveis fósseis na transformação de energia.

**Quadro 9.1** Principais impactos ambientais decorrentes do uso e transporte de combustíveis.

| Abrangência | Impacto ambiental             | Causa principal   |
|-------------|-------------------------------|---|
| Local       | Poluição urbana do ar         | Uso de combustíveis fósseis líquidos nos transportes (queima em motores à explosão).  |
|             | Poluição interna em ambientes | Uso de combustíveis fósseis sólidos (biomassa e carvão) no aquecimento e cocção (fornos e fogões).  |
| Regional    | Chuva ácida                   | Emissões de enxofre e nitrogênio, matéria particulada e ozônio durante a queima de combustíveis fósseis (transporte, indústria e outros). |
| Global      | Efeito estufa                 | Emissões de CO <sub>2</sub> na queima de combustíveis fósseis em todos os setores de atividade.   |
|             | Desmatamento                  | Produção de lenha e carvão vegetal, bem como na expansão das áreas agriculturáveis.   |
|             | Degradação marinha e costeira | Transporte marítimo de óleo cru e exploração de <i>off-shore</i> de petróleo.   |

Fonte: adaptado de Goldemberg (2010).

Todas as etapas da cadeia energética provocam algum impacto ao meio ambiente e à saúde humana. Desde a extração das matérias-primas como o petróleo, carvão, biomassa ou hidroeletricidade, têm implicações em mudanças nos padrões de uso do solo, recursos hídricos, alteração da cobertura vegetal e na composição atmosférica.

Na geração de energia existem várias fontes para obtenção de energia elétrica, entre elas as hidrelétricas, carvão, petróleo, fissão nuclear, biomassa, solar, eólica, geotérmica, fusão, hidrogênio, ondas das marés, óleos vegetais, álcool, gás natural, sendo que quaisquer formas de geração de energia provocam interferências no meio ambiente, algumas são mais impactantes e outras menos.

Os gases emanados nos processos de geração ou transformação de energia - tanto o enxofre como os óxidos de nitrogênio - têm um papel importante na formação de ácidos na atmosfera que, ao precipitarem na forma de chuvas, prejudicam a cobertura de solos, vegetação, agricultura, materiais manufaturados que sofrem corrosão e até mesmo a pele do homem.

A constante deposição de compostos ácidos em rios e lagos afeta a vida aquática e ameaça toda a cadeia alimentar de ecossistemas. Nos solos, a acidez das chuvas reduz a presença de nutrientes.

Para a saúde humana, a presença de particulados contendo enxofre e óxidos de nitrogênio provocam ou agravam doenças respiratórias como bronquite e enfisema, especialmente em crianças.

Esse tipo de problema tem sido verificado em regiões da China, Hong Kong e Canadá que sofrem os efeitos de termoelétricas a carvão situado muitas vezes em locais distantes de onde ocorrem as chuvas ácidas.

O consumo de derivados de petróleo pelo setor de transporte é o que apresenta a maior contribuição para a degradação do meio ambiente em nível local e global. Estima-se que 50% dos hidrocarbonetos emitidos em áreas urbanas e aproximadamente 25% do total das emissões de todo dióxido de carbono gerado no mundo, resultem das atividades desenvolvidas com os sistemas de transporte (JANNUZZI, 2012).

Além disso, partículas em suspensão decorrentes da queima de material orgânico ou de combustíveis, constituem um problema sério em várias partes do mundo. Isso ocorre sempre que há queimadas de florestas ou de diesel e óleo combustível nas áreas urbanas. A baixa qualidade desses combustíveis em muitos países, aliada à precariedade dos veículos, trânsito congestionado e condições climáticas desfavoráveis em grandes cidades, contribuem para que exista uma quase permanente concentração de finas partículas no ambiente urbano (JANNUZZI, 2012).

A saúde respiratória fica comprometida para milhões de pessoas expostas a essas partículas. Devido ao pequeno tamanho dessas partículas, elas vão se acumulando ao longo do tempo nos pulmões das pessoas e são especialmente problemáticas porque podem carregar ainda compostos carcinogênicos para esses órgãos (JANNUZZI, 2012).

Os efeitos das emissões do setor energético causam problemas globais que de certa maneira se relacionam com mudanças climáticas ocorridas no último quarto de século.

O acúmulo de gases, como o dióxido de carbono na atmosfera, acentua o efeito estufa natural do ecossistema terrestre a ponto de romper os padrões de

clima que condicionaram a vida humana, de animais, peixes, agricultura, vegetação, entre outros (JANNUZZI, 2012).

Atualmente, sabe-se de crescentes concentrações de CO<sub>2</sub> na atmosfera e o aumento de temperaturas médias. Esses efeitos têm sido reconhecidos por diversos estudos científicos internacionais e vários países estão procurando consenso para uma agenda mínima de atividades para controle e mitigação de emissões, como o Protocolo de Quioto, discutido no âmbito dos países signatários da Convenção Climática (JANNUZZI, 2012).

Os gases causadores do efeito estufa (GEE) são considerados os seguintes:

- dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>);
- metano (CH<sub>4</sub>);
- óxido nitroso (N<sub>2</sub>O);
- Hexafluoreto de enxofre (SF<sub>6</sub>).

O Quadro 9.2 apresenta as emissões de CO<sub>2</sub> para algumas fontes de geração de energia mais utilizadas no mundo.

**Quadro 9.2** Emissões de CO<sub>2</sub> de diferentes fontes de geração de energia.

| Fonte de energia              | Emissão de CO <sub>2</sub><br>(Kg por MWh) |
|-------------------------------|--|
| Gás Natural (ciclo aberto)    | 440  |
| Natural Gás (ciclo combinado) | 400  |
| Óleo                          | 550  |
| Carvão                        | 800  |
| Hidroeletricidade             | 25   |
| Eólica                        | 28   |

Fonte: adaptado de European Commission (2006).

Segundo Jannuzzi (2012) em seu artigo intitulado “Energia e Meio Ambiente”, o setor energético é responsável por 75% do dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) lançado na atmosfera, 41% do chumbo, 85% das emissões de enxofre e cerca de 76% dos óxidos de nitrogênio (NOX) (MOREIRA, 2012).

Em termos de inventário dos gases emitidos na geração de eletricidade pelo sistema, a Eletrobrás (MILAZZO et al., 2010) vem contabilizando as emissões desde 2003. A Tabela 9.1 apresenta as quantidades de gases emitidas até 2010.

**Tabela 9.1** Quantidade de gases de efeito estufa emitida pelo sistema Eletrobrás.

| Ano  | Emissões<br>(t CO <sub>2</sub> e) | Energia gerada | Emissões/Energia gerada   |
|------|-----------------------------------|----------------|---------------------------|
|      |                                   | (MWh)          | (t CO <sub>2</sub> e/MWh) |
| 2003 | 4.583.000                         | 7.807.000      | 0,59                      |
| 2004 | 4.826.000                         | 8.658.000      | 0,56                      |
| 2005 | 5.766.000                         | 8.807.000      | 0,65                      |
| 2006 | 4.689.000                         | 8.394.000      | 0,56                      |
| 2007 | 4.921.000                         | 7.202.000      | 0,68                      |
| 2008 | 5.100.000                         | 8.424.000      | 0,61                      |
| 2009 | 7.367.503,45                      | 189.310.248    | 0,04                      |
| 2010 | 8.716.375,06                      | 184.844.982    | 0,05                      |

Fonte: adaptada de Milazzo et al. (2010).

Entre 2003 e 2008, o inventário de gases de efeito estufa das empresas Eletrobrás contemplou apenas as emissões das usinas termelétricas (fontes fixas). Considerando somente a energia gerada por essas usinas, a relação entre emissões e energia gerada (fator de emissão de CO<sub>2</sub>) ficou entre 0,56 e 0,68 t CO<sub>2</sub>/MWh.

Já no cálculo das emissões relativas aos anos de 2009 e 2010, segundo a Eletrobrás (2012) houve o aumento das fontes contabilizadas tendo sido consideradas, além das emissões das fontes fixas, outras emissões diretas e indiretas de 13 empresas Eletrobrás (Holding, Cepel, Chesf, CGTEE, Eletronorte, Eletrosul, Eletronuclear, Furnas, Itaipu, Amazonas Energia, Eletrobrás Distribuição Rondônia, Eletrobrás Distribuição Acre e Eletrobrás Distribuição Piauí).

Essa mudança de metodologia resultou, para os anos de 2009 e 2010, numa queda significativa dos fatores de emissão de 0,04 t CO<sub>2</sub>e/MWh e 0,05 t CO<sub>2</sub>e/MWh, respectivamente.

A seguir serão comentados alguns dos impactos ambientais causados pelo uso das principais fontes de energia (renovável ou não). Também estão apresentadas as etapas previstas para a implantação de um sistema hidrelétrico de geração de energia segundo o Plano Diretor do Meio Ambiente do Setor Elétrico (MILAZZO et al., 2010).

## 9.4 Impactos por fonte de energia

### 9.4.1 Gás natural

O gás natural apresenta riscos de asfixia, incêndio e explosão. Por outro lado, existem meios de controlar os riscos causados pelo uso do gás natural. Por

ser mais leve que o ar, o gás natural tende a se acumular nas partes mais elevadas, quando em ambientes fechados. Para evitar risco de explosão, devem-se evitar, nesses ambientes, equipamentos elétricos inadequados, superfícies superaquecidas ou qualquer outro tipo de fonte de ignição externa (JALQUÉRES et al., 1990).

Em caso de fogo em locais com insuficiência de oxigênio, poderá ser gerado monóxido de carbono, altamente tóxico. A aproximação em áreas onde ocorrerem vazamentos só poderá ser feita com uso de aparelhos especiais de proteção respiratória cujo suprimento de ar seja compatível com o tempo esperado de intervenção, controlando-se permanentemente o nível de explosão. Os vazamentos com ou sem fogo deverão ser eliminados por bloqueio da tubulação alimentadora por meio de válvula de bloqueio manual. A extinção do fogo com extintores ou aplicação de água antes de se fechar o suprimento de gás, poderá provocar graves acidentes, pois o gás pode vir a se acumular em algum ponto e explodir (JALQUÉRES et al., 1990).

#### 9.4.2 Hidroenergia

A hidroeletricidade é considerada uma fonte “limpa” e de pouco impacto ambiental. Porém, mesmo que as construções de reservatórios, grandes ou pequenos, tenham trazidos enormes benefícios para o país, ajudando a regularizar cheias e promovendo irrigação e navegabilidade de rios, as hidrelétricas provocam impactos irreversíveis ao meio ambiente (JALQUÉRES et al., 1990).

Pode-se comentar que as usinas hidrelétricas provocam problemas como as mudanças na composição e propriedades químicas da água, mudanças na temperatura, concentração de sedimentos, e outras modificações que ocasionam problemas para a manutenção de ecossistemas à jusante dos reservatórios (JALQUÉRES et al., 1990).

Mesmo bem controlados, os reservatórios têm tido impactos na manutenção da diversidade de espécies (fauna e flora) e afetado a densidade das populações de peixes, mudando ciclos de reprodução. As linhas de transmissão também produzem impactos ambientais, embora de dimensão bastante inferior aos das usinas de geração.

O Brasil tem acumulado grande experiência com o resultado das várias usinas hidroelétricas que foram construídas, sendo um dos seus maiores exemplos o caso da hidroelétrica de Balbina, que provocou a inundação de parte da floresta nativa, ocasionando alterações na composição e acidez da água, que depois teve impacto no próprio desempenho da usina. Até recentemente as turbinas apresentavam problemas de corrosão e depósito de material orgânico, devido

às alterações que ocorreram na composição da água (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2005).

As usinas hidrelétricas (além dos impactos ambientais, tais como a inundação de áreas que destroem a flora e a fauna), interferem no curso natural dos rios e nos seus ciclos devido ao represamento e controle das águas; causam também, impactos de âmbito social, visto que há a necessidade de deslocamento de populações que vivem às margens do curso de água e que com a formação do reservatório devem se deslocar para outros locais.

Em resumo, os principais impactos ambientais negativos de usinas hidrelétricas:

- Inundam áreas extensas de produção de alimentos e florestas; Alteram fortemente o ambiente e com isso prejudicam muitas espécies de seres vivos, exemplo: interferem na migração e reprodução de peixes;
- Alteram o regime natural dos rios;
- Geram resíduos nas atividades de manutenção de seus equipamentos;
- Demandam o deslocamento das populações do entorno da área onde será construído o reservatório.

### 9.4.3 Termoeletricidade

A produção de eletricidade em termoelétricas representa em escala mundial cerca de um terço das emissões antropogênicas de dióxido de carbono, sendo seguida pelas emissões do setor de transporte e industrial.

Os principais combustíveis utilizados em todo o mundo são o carvão, derivados de petróleo e o gás natural. Existem ainda outros tipos de usinas termoelétricas que queimam resíduos de biomassa (lenha, bagaço) e até mesmo lixo urbano.

Além das emissões de gases e partículas, existem outros problemas associados com utilização de água para o processo de geração termoelétrica, pois muitas usinas usam água para refrigeração ou para produção de vapor. Esse tem sido um dos principais obstáculos para a implantação de termoelétricas no país, pois diversos projetos se localizam ao longo do principal gasoduto construído, que segue exatamente as bacias hidrográficas com problemas de abastecimento e de qualidade de água em regiões densamente povoadas.

É importante notar também que houve bastante progresso com relação ao aumento da eficiência de usinas termoelétricas por meio da introdução de tecnologias de cogeração e turbinas a gás. As possibilidades de gaseificação

de carvão, madeira e bagaço oferecem novas oportunidades de usinas mais eficientes e com menores impactos que as convencionais.

Os principais impactos ambientais das usinas térmicas são:

- emissão de gases que contribuem para o aumento do efeito estufa, tais como o dióxido de carbono;
- no caso das usinas térmicas a carvão e óleo, também há emissão de óxidos de enxofre e nitrogênio, que se liberados na atmosfera podem ocasionar chuvas ácidas prejudiciais à agricultura e florestas;
- Geram resíduos nas atividades de manutenção de seus equipamentos.

#### 9.4.4 Nuclear

Embora apresentem alto grau de segurança, ainda há o risco de acidentes que podem causar o vazamento de radiação para o meio ambiente, que apresentem consequências gravíssimas.

São três os principais problemas ambientais dessa fonte de energia.

- manipulação de material radioativo no processo de produção de combustível nuclear e nos reatores nucleares, com riscos de vazamentos e acidentes;
- possibilidade de desvios clandestinos de material nuclear para utilização em armamentos, por exemplo, acentuando riscos de proliferação nuclear;
- armazenamento dos rejeitos radioativos das usinas.

Mesmo considerando que houve um substancial progresso no desenvolvimento de tecnologias, diminuindo os riscos de contaminação radiativa por acidente com reatores nucleares, e aumentando consideravelmente o nível de segurança desse tipo de usina, ressalta-se que esta modalidade de energia não apresenta soluções satisfatórias e aceitáveis para o problema do lixo atômico.

Assim, um dos principais impactos ambientais das usinas nucleares é a geração de lixo atômico, que é extremamente perigoso e para o qual não há meio de descontaminação.

#### 9.4.5 Solar

A utilização em larga escala de painéis fotovoltaicos ou biomassa implica em alteração no uso do solo.

A fabricação de componentes dessas tecnologias também produz efeitos ambientais, como é o caso da extração do silício para os painéis fotovoltaicos. Muitos desses sistemas dependem de baterias químicas para armazenagem da eletricidade, que ainda apresentam sérios problemas de contaminação por chumbo e outros metais tóxicos para o meio ambiente.

O aproveitamento da energia solar tem ocorrido em baixa escala, pois o custo de produção dos painéis é elevado. A eletricidade gerada por luz solar causa baixo impacto ambiental, restringe-se à matéria-prima necessária para a construção dos painéis fotovoltaicos.

#### 9.4.6 Eólica

Apesar de não queimarem combustíveis fósseis e não emitirem poluentes, as fazendas eólicas não são totalmente desprovidas de impactos ambientais. Elas alteram paisagens com suas torres e hélices e podem ameaçar pássaros se forem instaladas em rotas de migração. Emitem certo nível de ruído (de baixa frequência), que pode causar algum incômodo. Além disso, podem causar interferência na transmissão de televisão.

O custo dos geradores eólicos é elevado, porém, o vento é uma fonte inesgotável de energia. E as plantas eólicas têm um retorno financeiro a um curto prazo.

Outro problema que pode ser citado é que em regiões onde o vento não é constante, ou a intensidade é muito fraca, obtêm-se pouca energia e quando ocorrem chuvas muito fortes, há desperdício da mesma.

#### 9.4.7 Geotérmica

A energia geotérmica é restrita, não sendo encontrada em todos os lugares, o que dificulta a implantação de projetos em determinadas localidades.

Por causa dos altos índices de desperdícios que ocorrem quando o fluido geotérmico é transmitido a longas distâncias através de dutos, a energia deve ser posta em uso no campo geotérmico ou próximo deste. Dessa maneira, o impacto ambiental é sentido somente nos arredores da fonte de energia.

Geralmente, os fluxos geotérmicos contêm gases dissolvidos, e esses gases são liberados para a atmosfera, junto com o vapor de água. Na maioria são gases sulfurosos ( $H_2S$ ), com odor desagradável, corrosivos e com propriedades nocivas à saúde humana.

Há a possibilidade de contaminação da água nas proximidades de uma usina geotérmica, devido à natureza mineralizada dos fluidos geotérmicos e à exigência de disposição de fluidos. A descarga livre dos resíduos líquidos para a superfície pode resultar na contaminação de rios e lagos.

Quando uma grande quantidade de fluido é retirada da terra, sempre há a chance de ocorrer um abalo, e nesses lugares deve ser injetada água para não ocorrer o aluvionamento da terra.

Os testes de perfuração das fontes são operações barulhentas, geralmente as áreas geotérmicas são distante das áreas urbanas. O calor perdido das usinas geotérmicas é maior que de outras usinas, o que leva a um aumento da temperatura do ambiente próximo à usina.

## **9.5 Algumas ações para um futuro sustentável**

Os desafios para se continuar a expandir as necessidades energéticas da sociedade com menores efeitos ambientais são enormes. É praticamente impossível eliminar os impactos ambientais de sistemas energéticos.

Os envolvidos no setor de energia (sejam do meio técnico, produtivo ou acadêmico) buscam oferecer alternativas de escolhas para a sociedade e facilitar o acesso a esse tipo de informação. No entanto, o problema energético não se reduz a uma escolha entre tecnologias para atender a crescente demanda de energia.

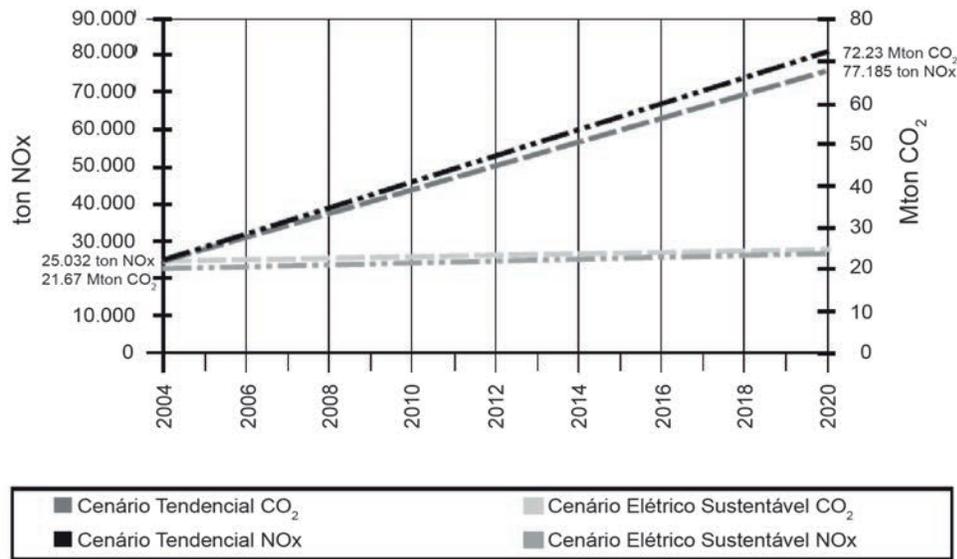
É assunto de grande complexidade, que envolve não só a discussão de aspectos técnicos, mas também de preferências, padrões de conforto desejados pela sociedade e custos de energia.

É importante que se questionem os principais condicionantes da crescente demanda de energia: nosso sistema de urbanização, as atividades econômicas e estilos de vida. Somente mudanças nessas áreas possibilitarão maior utilização de tecnologias mais limpas e eficientes, fontes renováveis e descentralizadas.

Existem avanços importantes como o aparecimento de tecnologia de células combustíveis que são capazes de gerar eletricidade a partir de elementos como hidrogênio e oxigênio, ou gasolina, etanol, gás natural, e outros. É um tipo de tecnologia que pode ter impactos bastante reduzidos quando comparada com as opções existentes de geração de eletricidade, mas ainda existem limitantes técnicos e econômicos para maior disseminação.

O avanço em escala comercial de tecnologias avançadas que reduzam a utilização de energia e emissões ainda é muito tímida, especialmente no Brasil. Para efeito de projeção de emissões num cenário sustentável do setor elétrico,

a Figura 9.1 apresenta os resultados de um estudo conduzido pela WWF-Brasil (2006).



**Figura 9.1** Projeção das emissões de GEE para o setor elétrico.

Fonte: adaptada de WWF-Brasil (2006).

O estudo propõe que a geração de eletricidade por fontes renováveis, como biomassa, eólica, solar, e pequenas centrais hidrelétricas (PCHs), sejam responsáveis por 20% da geração total de eletricidade no país, garantindo a estabilização das emissões de dióxido de carbono e de óxido de nitrogênio, principais gases causadores do efeito estufa, em um patamar próximo ao de 2004. O “Cenário Elétrico Sustentável” pode levar à redução de 413 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> acumuladas durante o período 2004-2020, superando a marca de 403 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> evitadas pelo Programa Pro-álcool, entre 1975 e 2000.

Para que seja possível almejar um futuro mais sustentável do ponto de vista energético é necessário a maior participação de fontes renováveis e maior eficiência para produção e uso de energia.

Assim, é fundamental o compromisso e esforço por parte do setor público e privado, seja em nível local, regional, nacional e também internacional, visto que a energia está rompendo as barreiras geográficas.

No caso do efeito estufa existem possibilidades para reduzir a contribuição do setor energético tais como: a promoção da substituição de combustíveis fósseis por renováveis; a realização da substituição de combustíveis fósseis por outros com menor conteúdo de carbono, como o gás natural, e a aceleração da redução do uso de energia, por meio de tecnologias eficientes e sistemas menos intensivos em energia.

Essas são as direções que deverão guiar os esforços de inovação tecnológica para a área energética daqui em diante, para um futuro com equidade no acesso à energia, um consumo consciente e com menores impactos ambientais.

### 9.5.1 Mercado de carbono e mecanismos de desenvolvimento limpo

O Mercado de Carbono surgiu a partir da criação da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança Climática (UNFCCC, na língua inglesa), durante a ECO-92, no Rio de Janeiro.

Em 1997, durante uma de suas mais importantes reuniões em Quioto, Japão, foi decidido que os países signatários deveriam assumir compromissos mais rígidos para a redução das emissões de gases que agravam o efeito estufa, ficando conhecido como Protocolo de Quioto.

O Protocolo de Quioto é um acordo internacional ligado à Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE, 2012). O Protocolo de Quioto foi adotado em Quioto, no Japão, em 11 de Dezembro de 1997 e entrou em vigor em 16 de fevereiro de 2005.

A principal característica do Protocolo de Quioto é que ele estabelece metas obrigatórias para 37 países industrializados e a Comunidade Europeia para reduzir gases de efeito estufa (GEE). Esses países ascenderam uma média de 5% durante o período de 2008 a 2012.

Este Protocolo, para entrar em vigor, deveria reunir 55% dos países, que representassem 55% das emissões globais de gases de efeito estufa, o que só aconteceu depois que a Rússia o ratificou em novembro de 2004.

Assim, o objetivo central do Protocolo de Quioto passa a ser que os países limitem ou reduzam suas emissões de gases de efeito estufa. Por isso, a redução das emissões passou a ter um valor econômico.

Por convenção, uma tonelada de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) corresponde a um crédito de carbono. Este crédito pode ser negociado no mercado internacional. A redução da emissão de outros gases, igualmente geradores do efeito estufa, também pode ser convertida em créditos de carbono, utilizando-se o conceito de Carbono Equivalente.

Para ajudar os países a alcançar suas metas de emissões e para encorajar o setor privado e os países em desenvolvimento a contribuir nos esforços de redução das emissões, os negociadores do Protocolo incluíram três mecanismos de mercado, além das ações de caráter nacional ou esforços de redução individuais:

a) Comércio de emissões:

Países do Anexo I<sup>1</sup> que tiverem os seus limites de emissões sobrando (emissões permitidas, mas não usadas), podem vender esse excesso para outras nações do Anexo I que estão emitindo acima dos limites.

Uma das principais corretoras para o Comércio de emissões é a *European Climate Exchange (ECEX)*.

b) Implementação Conjunta:

Mecanismo onde os países do Anexo I podem agir em conjunto para atingir suas metas. Assim, se um país não vai conseguir reduzir suficientemente suas emissões, mas o outro vai, eles podem firmar um acordo para se ajudar.

O mecanismo de Implementação Conjunta permite de maneira flexível e com eficiência em custo que um país possa atingir suas metas de redução, enquanto o país hospedeiro se beneficia de investimentos estrangeiros e transferência de tecnologia.

Um projeto desta natureza deve fornecer uma redução de emissões por fonte, ou um aumento das remoções por sumidouros, que seja adicional ao que ocorreria se nada fosse feito.

c) Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL):

Este mecanismo permite projetos de redução de emissões em países em desenvolvimento, que não possuem metas de redução de emissões no âmbito do Protocolo de Quioto. Esses projetos podem se transformar em reduções certificadas de emissões (CER), que representam uma tonelada de CO<sub>2</sub> equivalente, que podem ser negociados com países que tenham metas de redução de emissões dentro do Protocolo de Quioto.

Projetos MDL podem ser implementados nos setores energético, de transporte e florestal.

Este mecanismo estimula o desenvolvimento sustentável e a redução das emissões, dando flexibilidade aos países industrializados na forma de conseguir cumprir suas metas de redução, enquanto estimula a transferência de tecnologia e o envolvimento da sociedade nos países em desenvolvimento.

Os projetos devem ser qualificados perante um sistema de registro público e rigoroso, que foi desenvolvido para assegurar que os projetos sejam reais, verificáveis, reportáveis e adicionais ao que ocorreria sem a existência do projeto.

---

1 O Anexo I é a relação dos 40 países e a Comunidade Europeia, listados na Convenção do Clima, que assumiram compromissos de reduzir emissões de gases de efeito estufa (GEE). São, basicamente, os países da Organização de Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDEs), países "não Anexo I" (países em desenvolvimento) são aqueles que não se comprometeram em assumir metas obrigatórias de redução de emissão, apesar de alguns adotarem ações voluntárias nesse sentido.

Para serem considerados elegíveis, os projetos devem primeiro ser aprovados pela Entidade Nacional Designada de cada país (DNA), que no caso do Brasil é a Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima, composta de representantes de onze ministérios.

Funcionando desde 2006, este mecanismo já registrou mais de 1.000 projetos, representando mais de 2,7 bilhões de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalentes.

O Protocolo de Quioto, portanto, representa o “Mercado Regulado”, também chamado *Compliance*, onde os países possuem metas de reduções a serem cumpridas de forma obrigatória.

Existe, por sua vez, um Mercado Voluntário, onde empresas, ONGs, instituições, governos, ou mesmo cidadãos, tomam a iniciativa de reduzir as emissões voluntariamente. Os créditos de carbono (VERs - *Verified Emission Reduction*) podem ser gerados em qualquer lugar do mundo e são auditados por uma entidade independente do sistema das Nações Unidas.

Algumas características dos Mercados Voluntários são:

- Créditos não valem como redução de metas dos países;
- A operação possui menos burocracia;
- Podem entrar projetos com estruturas não reconhecidas pelo mercado regulado, como o REDD;
- O principal mercado voluntário é o *Chicago Climate Exchange*, nos EUA.
- Além destes dois tipos de mercado, outra forma de financiar os projetos de redução de emissões ou de sequestro de carbono são os chamados Fundos Voluntários, cujas principais características são:
  - Não fazem parte do mecanismo de mercado (não geram crédito de carbono);
  - O valor da doação não pode ser descontado da meta de redução dos países doadores;
  - Podem entrar projetos com estruturas não reconhecidas pelo mercado regulado, como o Redd.

Os principais fundos são o *Forest Carbon Partnership Facility*, do Banco Mundial e o Fundo Amazônia, do governo brasileiro (RETTMANN, 2012).

## 9.6 Implantação de empreendimento do setor elétrico

Para se implantar um empreendimento energético do setor elétrico é necessário cumprir uma série de etapas que incluem estudos de impactos ambientais e obtenção de licenças, para que se efetive o empreendimento.

O Licenciamento Ambiental é o procedimento administrativo pelo qual o órgão ambiental competente licencia a localização, instalação, ampliação, modificação e operação de atividades e empreendimentos utilizadores de recursos ambientais, considerados efetiva ou potencialmente poluidores ou daqueles que, sob qualquer forma, possam causar degradação ambiental, desde que verificado, em cada caso concreto, que foram preenchidos pelo empreendedor os requisitos legais exigidos.

O Licenciamento Ambiental de empreendimentos na área de energia é atribuição do Ibama, desde que ouvidos outros órgãos ambientais estaduais e municipais envolvidos para as outras licenças cabíveis, conforme as legislações estaduais e municipais.

No cenário de avaliações das propostas dos empreendimentos, a Empresa de Pesquisa Energética – EPE, criada com a Lei nº 10.847 (BRASIL, 2004) tem por finalidade prestar serviços na área de estudos e pesquisas destinadas a subsidiar o planejamento do setor energético, tais como energia elétrica, petróleo e gás natural e seus derivados, carvão mineral, fontes energéticas renováveis e eficiência energética, dentre outras.

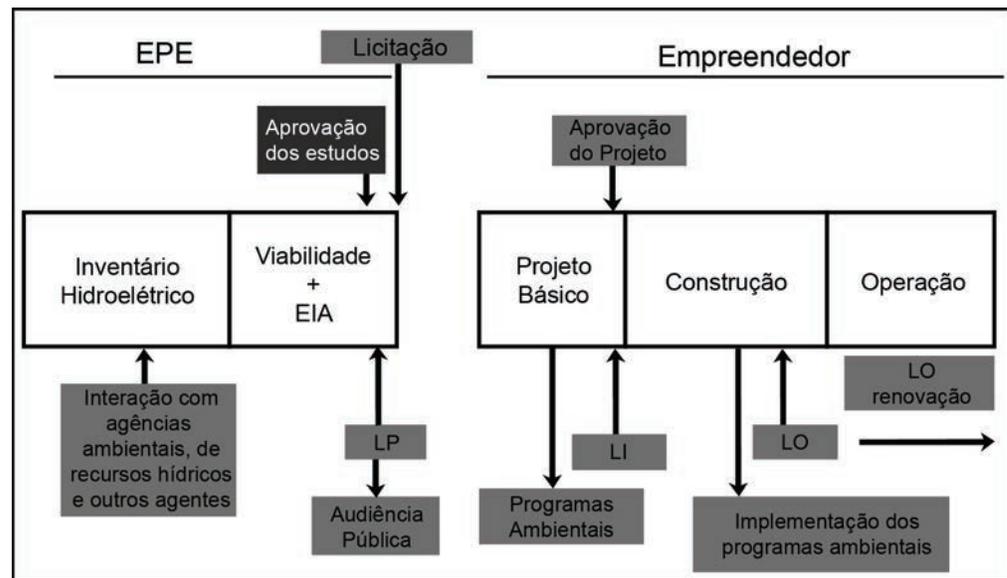
Assim, as atribuições da EPE para avaliar os empreendimentos são as seguintes:

- realizar estudos e projeções da matriz energética brasileira;
- identificar e quantificar os potenciais de recursos energéticos;
- realizar estudos para a determinação dos aproveitamentos ótimos dos potenciais hidráulicos;
- obter a licença prévia ambiental e a declaração de disponibilidade hídrica necessárias às licitações envolvendo empreendimentos de geração hidrelétrica e de transmissão de energia elétrica, selecionados pela EPE;
- elaborar estudos necessários para o desenvolvimento dos planos de expansão da geração e transmissão de energia elétrica de curto, médio e longo prazos;
- desenvolver estudos de impacto social, viabilidade técnico-econômica e socioambiental para os empreendimentos de energia elétrica e de fontes renováveis;

- promover estudos e produzir informações para subsidiar planos e programas de desenvolvimento energético ambientalmente sustentável, inclusive, de eficiência energética.

### 9.6.1 Etapas de implantação de um empreendimento hidrelétrico

A Figura 9.2 apresenta um fluxograma simplificado das atividades para a implantação de um empreendimento no setor elétrico (por exemplo, uma usina hidrelétrica).



**Figura 9.2** Atividades para a implantação de um empreendimento no setor elétrico.

O Licenciamento Ambiental de atividades potencialmente poluidoras é um dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente que mais recebeu atenção do poder público nos últimos 26 anos, em função de sua relevância para os investimentos de grande porte.

O licenciamento deve ser precedido de EIA e de respectivo Rima sempre que a obra ou atividade possa causar significativo impacto ambiental, conforme estabelecido na Constituição Federal. O Decreto Federal nº 99.274/1990 (BRASIL, 2012), complementado pela Resolução Conama nº 237/97 (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 2012a), estabeleceu o processo de emissão de licenças em três fases, a saber:

- Licença Prévia* - LP - concedida na fase preliminar de planejamento do empreendimento ou atividade por um prazo máximo de cinco anos; aprova sua localização e concepção, atesta a viabilidade ambiental e estabelece os requisitos básicos e condicionantes a serem atendidos nas fases seguintes da implantação.

b) *Licença de Instalação - LI* - autoriza a instalação do empreendimento ou atividade de acordo com as especificações dos planos, programas e projetos aprovados, incluindo as medidas de controle ambiental e demais condicionantes.

c) *Licença de Operação - LO* - autoriza a operação da atividade ou empreendimento após a verificação do cumprimento das exigências das licenças anteriores, conforme as medidas de controle ambiental e condicionantes determinadas para a operação.

A seguir, comentam-se cada uma das principais etapas envolvidas na implantação do empreendimento do setor elétrico.

### **Inventário**

No inventário (que leva de um a três anos) define-se a energia que poderá ser aproveitada numa mesma bacia hidrográfica e examinam-se:

- as alternativas de barramento e consequências da construção de barragens em vários locais do rio (ou rios) em análise;
- os benefícios energéticos (energia firme, capacidade de ponta e energia secundária), a potência instalada e os custos associados a cada barramento;
- Nesta fase, os aspectos socioambientais estão tendo importância cada vez maior porque impactam o custo real do empreendimento.

### **Estudos de Viabilidade**

Nos estudos de viabilidade (que levam de um a dois anos) examinam-se os custos e os benefícios associados aos projetos específicos que no inventário revelaram-se mais econômicos. Aprofundam-se os estudos econômico-energéticos e socioambientais e define-se o orçamento de modo confiável, inclusive com os custos socioambientais.

Os estudos e efeitos ambientais são feitos em quatro planos: levantamentos, desapropriações, enchimento e utilização.

As usinas projetadas são hierarquizadas em função de seu custo unitário (US\$/MWh), onde são incluídos os impactos socioambientais mensuráveis em unidades monetárias. Aspectos não quantificáveis são também levados em consideração.

### **Concessão**

O Estudo de Viabilidade é submetido ao MME/Aneel para fins de obtenção da concessão do aproveitamento. Esta, uma vez dada, não implica, porém, em

decisão de construir, mas significa que os aproveitamentos são potencialmente promissores.

### **Solicitação de Licença Prévia**

A LP deve ser solicitada aproximadamente oito meses antes de concluídos os estudos de viabilidade técnico-econômica e ambiental, sendo necessário o seguinte trâmite:

- a) Elaboração do Termo de Referência – TR: obtenção de aprovação junto ao órgão ambiental;
- b) Elaboração do EIA/RIMA (com base no TR e conforme Resolução Conama no 01, 23 de janeiro de 1986 (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 2012b) com:
  - caracterização do empreendimento;
  - aspectos metodológicos;
  - áreas de influência do empreendimento;
  - diagnóstico ambiental das áreas de influência;
  - meio físico (climatologia, geologia, hidrogeologia, sismicidade e recursos minerais, geomorfologia, aptidão agrícola das terras, recursos hídricos e qualidade das águas);
  - meio biótico (ecossistemas terrestres, ecossistemas aquáticos);
  - meio antrópico (caracterização da Área de Influência Indireta–AII, caracterização da Área de Influência Direta (AID), análise integrada;
  - Legislação ambiental aplicável;
  - Avaliação dos impactos ambientais e definição das medidas mitigadoras e/ou compensatórias;
  - Programas ambientais para compensação/mitigação dos impactos.
- c) Audiência Pública (conforme Resolução Conama no 09/87) (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 2012c).

### **Projetos Básicos**

Com a Licença Prévia (LP) concedida são feitos os Estudos Preliminares na Área do Empreendimento:

- levantamentos topográficos e aéreos;
- cadastros físico e socioeconômico das propriedades atingidas;
- avaliação de imóveis e benfeitorias (reprodutivas e não reprodutivas), e;

- campanhas de campo (análise da qualidade da água etc.).

Nos Projetos Básicos de Engenharia Ambiental (que levam em média um ano para preparação) são detalhados e refinados os anteprojetos feitos nos estudos de viabilidade, elaboradas as especificações de construção e dos principais equipamentos e detalhados o conjunto de planos e programas socioambientais de maneira compatível com as atividades de engenharia e as necessidades de realização da obra e posterior operação da usina. Desse modo, o custo da obra é apurado com maior precisão.

### **Licença de Instalação (LI)**

Para a solicitação e obtenção da Licença de Instalação (LI) é necessário apresentar o Projeto Básico Ambiental (PBA), com detalhamento dos programas compensatórios previstos no EIA. Exemplos de programas inseridos no PBA:

- remanejamento da população atingida;
- recomposição físico-territorial da área atingida;
- adequação da infraestrutura de serviços e recomposição das áreas da obra;
- limpeza da bacia de acumulação;
- preservação do patrimônio histórico, cultural, paisagístico e arqueológico;
- conservação da flora e fauna;
- monitoramento e controle;
- gerenciamento do reservatório;
- comunicação social.

### **Autorização para Supressão de Vegetação**

Com a Licença de Instalação (LI) concedida pelo Ibama e obtida a Autorização de Construção do MME/Aneel, a obra pode ser iniciada, onde se deve fazer a solicitação de Autorização para Supressão de Vegetação (ASV) ao Ibama, que permite o corte da vegetação para a instalação do canteiro de obras e alojamentos e para o desmatamento da área do futuro reservatório.

Deve-se apresentar o inventário florestal do empreendimento (identificação de espécies nativas, ameaçadas de extinção, raras e endêmicas na região). ASV é então concedida.

Devem ser encaminhados ao Ibama relatórios periódicos apresentando o andamento da implantação do empreendimento segundo as diretrizes estabelecidas no do PBA.

## **Projeto Executivo/Construção**

Nesta etapa é feito o desenvolvimento do Projeto Executivo e são executados os trabalhos de construção e de implantação de projetos socioambientais e a elaboração dos programas de monitoramento ambiental.

A maioria dos programas e projetos socioambientais propostos no EIA/RIMA devem ser implementados na fase de desenvolvimento do projeto executivo e construção.

Encomendados os equipamentos principais e contratada a empresa empreiteira, é pouco recomendável que se suspenda a construção do empreendimento, já que os investimentos e compromissos alcançaram, a esta altura, tal montante que uma reversão do processo acarretaria prejuízos muito grandes.

Conseqüentemente, a menos da superveniência de fatos imprevistos, as definições a serem dadas na etapa de construção devem ser apenas aquelas referentes ao detalhamento e/ou à implementação de ações e programas propostos e acordados nos estudos iniciais.

## **Operação**

Concluída a construção da barragem pode-se solicitar a Licença de Operação (LO), que consiste na autorização para fazer o enchimento do reservatório e dar início efetivo à operação da usina.

Durante a solicitação da LO, devem ser realizados seminários e vistorias técnicas ao empreendimento, para que sejam expostas as atividades realizadas na implantação da Licença de Operação.

Após a concessão da LO, devem ser previstas atividades de manejo, monitoramento e avaliação ambiental de forma sistemática para que se acompanhe o início da operação do empreendimento no que se refere aos aspectos ambientais propostos no PBA.

## **9.7 Estudos complementares**

- Informações sobre o Plano Nacional de Eficiência Energética: MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). *Plano Nacional de Eficiência Energética: premissas e diretrizes básicas*. Versão 18 out. 2010. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/PlanoNacEfiEnergetica.pdf>>. Acesso em: 07 nov. 2012.
- Diversas informações sobre o Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética: PROCEL INFO. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp>>. Acesso em: 07 nov. 2012.

- Curso de Eficiência Energética: PROCEL INFO. *Curso Eficiência Energética*. Disponível em: <[http://www.procelinfo.com.br/curso\\_de\\_eficiencia\\_energetica/basico/avaliacao\\_cee.htm](http://www.procelinfo.com.br/curso_de_eficiencia_energetica/basico/avaliacao_cee.htm)>. Acesso em: 07 nov. 2012.
- Consulta de Veículos Leves no Programa Brasileiro de Etiquetagem: PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM. *Consulta de Veículos leves*. Disponível em: <<http://www.conpet.gov.br/consultacarros>>. Acesso em: 07 nov. 2012.
- Simuladores úteis para projetos de eficiência energética: PROCEL INFO. *Simuladores*. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?TeamID={796B68CB-2559-401F-A481-DC3D145F572E}>>. Acesso em: 07 nov. 2012.
- Casos de sucesso desenvolvidos a partir da adoção de medidas de uso racional e eficiente de energia: PROCEL INFO. *Casos de Sucesso*. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?TeamID={4CE15A4A-BB17-4A70-9148-C3A67E4DEBE2}>>. Acesso em: 07 nov. 2012.

## 9.8 Referências

BRASIL. Lei nº 10.847, de 15 de março de 2004. Autoriza a criação da Empresa de Pesquisa Energética – EPE e dá outras providências. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Brasília, 2004. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2004-2006/2004/Lei/L10.847.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2004/Lei/L10.847.htm)>. Acesso em: 10 ago. 2011.

\_\_\_\_\_. Casa civil. Decreto nº 99.274, de 6 de junho de 1990. Regulamenta a Lei nº 6.902, de 27 de abril de 1981, e a Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, que dispõem, respectivamente sobre a criação de Estações Ecológicas e Áreas de Proteção Ambiental e sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, e dá outras providências. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Brasília, 6 jun. 1990. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/antigos/d99274.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/antigos/d99274.htm)>. Acesso em: set. 2012.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução Conama nº 237, de 19 de dezembro de 1997, 23 jan. 1986. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res97/res23797.html>> Acesso em: set. 2012a.

\_\_\_\_\_. Resolução Conama nº 001, de 23 de janeiro de 1986. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=23>>. Acesso em: set. 2012b.

\_\_\_\_\_. Resolução Conama nº 009, de 03 de dezembro de 1987. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Poder Executivo, Brasília, 05 jul. 1990. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res87/res0987.html>>. Acesso em: set. 2012c.

EUROPEAN COMMISSION. *Communication from the Commission to the European Parliament and the Council: an Energy Policy for Europe*. Bruxelas, 2006.

- GOLDEMBERG, J. *Série sustentabilidade: energia e desenvolvimento sustentável*. v. 4. São Paulo: Edgard Blucher, 2010. 94 p.
- JALQUÉRES, J. L. et al. *Plano diretor de meio ambiente do setor elétrico 1991/1993*. v. 2. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 1990. 114 p.
- JANNUZZI, G. de M. Energia e meio ambiente. *Com Ciência: revista eletrônica de jornalismo científico*, Campinas, 10 jul. 2001. (Seção Energia: crise e planejamento). Disponível em: <<http://www.comciencia.br/reportagens/energiaeletrica/energia12.htm>>. Acesso em: set. 2012.
- MILAZZO, M. L. et al. *Empresas Eletrobrás: inventário de emissões de gases de efeito estufa ano base 2009*. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2010. 75 p.
- MING, L. As lições do abismo. *Revista Veja*, São Paulo, ano 43, n. 22, p.180-185, jun. 2010. Disponível em: <<http://veja.abril.com.br/acervodigital/home.aspx?edicao=2167&pg=180>>. Acesso em: set. 2012.
- MOREIRA, L. B. C. *Avaliação dos aspectos ambientais da geração de energia através de termoelétricas a gás natural*. 2005. 190 p. Dissertação (Mestrado em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2005. Disponível em: <[http://www.teclim.ufba.br/site/material\\_online/dissertacoes/dis\\_leila\\_b\\_de\\_c\\_moreira.pdf](http://www.teclim.ufba.br/site/material_online/dissertacoes/dis_leila_b_de_c_moreira.pdf)>. Acesso em: 15 dez. 2012.
- RETTMANN, R. *O que é e como funciona o mercado de carbono?* Belém, 2012. (Seção “Saiba Mais” do Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia - IPAM). Disponível em: <<http://www.ipam.org.br/saiba-mais/O-que-e-e-como-funciona-o-Mercado-de-Carbono-4>>. Acesso em: set. 2012.
- UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE (UNFCCC). *Kyoto Protocol*. Bonn, 2012. (Seção Kyoto Protocol). Disponível em: <[http://unfccc.int/kyoto\\_protocol/items/2830.php](http://unfccc.int/kyoto_protocol/items/2830.php)>. Acesso em: set. 2012.
- WWF-BRASIL. *Agenda elétrica sustentável 2020: estudo de cenários para um setor elétrico brasileiro eficiente, seguro e competitivo*. v. 12. Brasília: WWF-Brasil, 2006. 80 p. (Série técnica).

## **SOBRE OS AUTORES**

### **Douglas Barreto**

Professor adjunto do Departamento de Engenharia Civil da UFSCar, tem formação em engenharia civil, mestrado em Building Services Engineering (Herio-Watt University), e doutorado em arquitetura (FAU-USP). Atua na área de sustentabilidade no ambiente construído com foco em uso racional de água e energia, além do uso de energias alternativas nas edificações.

### **Adriana Cristina Boni**

Graduada em Engenharia Civil pela Faculdade de Engenharia Civil de Araraquara (1995). Possui pós-graduação *Latu Sensu* em Sistemas Construtivos pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar, 2007) e mestrado (2010) em Construção Civil, com ênfase em Sistemas Prediais Hidráulicos e Sanitários, pela mesma universidade. Áreas temáticas de interesse: Planejamento e gestão de projetos, sistemas construtivos.

### **Rafael Pazeto Alvarenga**

Administrador de empresas com foco em agronegócios pela Universidade Estadual Paulista (Unesp), campus de Tupã, e mestre em engenharia de produção também pela Unesp, campus de Bauru. Atua como consultor autônomo e como professor universitário, tendo interesse nas áreas de gestão ambiental, geração sustentável de energia e agricultura.

### **Renato Billia de Miranda**

Engenheiro eletricista e mestre em Ciências da Engenharia Ambiental pela Universidade de São Paulo (USP). Atualmente faz doutorado e trabalha como profissional autônomo. Tem interesse nas áreas de geração de energia, recursos hídricos e sedimentologia.

