

EDEE - UM SISTEMA COMPUTACIONAL PARA PREVISÃO DA DEMANDA
DE ENERGIA ELÉTRICA ATRAVÉS DA TÉCNICA
DE GERAÇÃO DE CENÁRIOS

Luiz Antonio Joia (1), (2)
Luiz Antonio Palmeira Monteiro (1)
Franklin H. Campero (3)

(1) Promon Engenharia S.A.
Praia do Flamengo, 154 - 6e
22210 Rio de Janeiro, RJ
Brasil

(2) UERJ - Universidade do Estado do Rio de Janeiro

(3) PRH Engenharia Ltda/Consultor do Banco Mundial

SUMÁRIO

A previsão da demanda de energia elétrica é fator imprescindível em qualquer planejamento energético de curto, médio ou longo prazo. No entanto, a análise de mercado de energia elétrica é altamente influenciada por parâmetros sócio-econômicos, nem sempre considerados em estudos de previsão da demanda de energia elétrica. Já está perfeitamente comprovado que a simples extrapolação de tendências históricas para países de economia ainda não consolidada, como o Brasil, conduzirá, inexoravelmente, a resultados dissociados da realidade. Dessa forma, desenvolveu-se modelo teórico que analisa detalhadamente variáveis demográficas e econômicas, tanto a nível nacional, como a nível regional, para previsão da demanda de energia elétrica.

Para a simulação da demanda de energia elétrica foi desenvolvido o sistema computacional EDEE. O modelo teórico apresentado e o sistema EDEE são indicados para simulação da demanda de energia elétrica em países do terceiro mundo, entre os quais se inclui o Brasil.

ABSTRACT

For power planning development, it's indispensable to forecast the electric energy consumption. However, this analysis is much dependent on socio-economic parameters, seldom considered in these studies. Nowadays, there is a consensus that simple tendency extrapolations will normally lead to bad results, specially for unstable economic environment countries.

To avoid this kind of problem explained above, it was developed a theoretic and computational model for electric power consumption simulation, that uses demographic and economic parameters for the country as a whole and/or for the geographic regions.

1.
INTRODUÇÃO

Durante vários anos, pouca importância se deu à previsão da demanda de energia elétrica dentro do contexto de um planejamento energético global. Simples extrapolação de tendências eram realizadas, de forma agregada, para a previsão da demanda futura de energia elétrica no país. Deve-se frisar que vários empreendimentos energéticos foram planejados baseados em previsões assim realizadas.

Posteriormente, verificou-se que para países apresentando cenários sócio-econômicos não consolidados, não era recomendável a aplicação desse tipo de metodologia.

Tentou-se correlacionar a taxa de crescimento da demanda de energia elétrica com a taxa de crescimento do PIB. Tal metodologia mostrou-se também bastante falha, tanto em países desenvolvidos como em desenvolvimento. Tal fato explica-se pelas seguintes razões:

- i) Há uma tendência nos países industrializados de queda da elasticidade-renda de energia (figura 1).
- ii) Pode haver aumento da taxa de crescimento do PIB com diminuição da taxa de crescimento da demanda de energia elétrica, o que pode ser explicado, entre outras razões, pela possibilidade da economia estar ingressando em setores mais nobres (micro-eletrônica, etc.), ou por se estar racionalizando a utilização de energia.
- iii) Pode haver queda da taxa de crescimento do PIB com aumento da taxa de crescimento da demanda de energia elétrica, o que pode ser explicado pela possibilidade do país estar pondo em funcionamento indústrias com elevado consumo específico de energia elétrica (indústria de alumínio, etc).

No caso do Brasil, a correlação PIB-demanda de energia elétrica (taxas de crescimento) é bastante fraca (figura 1).

Procurando-se desenvolver técnicas mais adequadas à simulação da demanda de energia elétrica, chegou-se à técnica de geração de cenários, que consiste na elaboração de um constructo com o objetivo de reproduzir cenários ao final da projeção, para o modelo de simulação.

Trata-se, sem dúvida, da técnica mais moderna de planejamento energético, mormente pelo fato de permitir que o usuário, interferindo no presente, construa seu futuro desejado.

2. METODOLOGIAS EXISTENTES

2.1 Metodologias Geralmente Usadas até 1975

Nessa época, as concessionárias de energia usavam para simulação da demanda de energia elétrica, principalmente, métodos de extrapolação estatística na decomposição das séries históricas em suas principais componentes (tendência, sazonalidade e desvios aleatórios), e na projeção dos valores observados.

Essa metodologia presta-se facilmente à aplicação de técnicas de probabilização da componente aleatória com base na amostra histórica. Por isto, desenvolveram-se modelos probabilísticos que permitiam planejar os sistemas através de métodos de Monte Carlo, simulando-se a ocorrência de eventos probabilísticos simultâneos (demanda-hidrologia-disponibilidade).

A elaboração desse tipo de modelos estocásticos tinha supremacia sobre o estudo de cenários possíveis a médio e longo prazo, em função de mudanças importantes na estrutura econômica e financeira internacional e norte-americana.

A metodologia dessa época, muito conhecida, não merece ser comentada em mais detalhe, já que suas imperfeições - ao se assumir que nada do passado será modificado no futuro - evitam a tentação de empregá-la.

2.2 Metodologias que Começaram a ser Usadas a partir de 1980

Como mencionou-se anteriormente, uma grande importância começou a se dar, no início desta década, aos estudos de previsão da demanda energética em geral, e elétrica, em particular, nas empresas de energia.

Duas linhas metodológicas podem ser claramente observadas no desenvolvimento de técnicas de previsão da demanda, a partir de 1980. A primeira, mal chamada de "método engenheril", baseia-se na identificação de todos os equipamentos que consomem energia elétrica (domésticos, industriais ou outros) e suas capacidades e consumos específicos. Projeções baseadas nas séries históricas, hipóteses de tendências econômicas simples e de avanços tecnológicos, permitem prever os estoques que existirão no futuro, nas diferentes classes de usuários, e a forma que os equipamentos serão utilizados. Da superposição de ambas as estimativas obtêm-se as previsões de demanda.

A segunda, também mal chamada de "método econométrico", baseia-se na simulação dos parâmetros macroeconômicos da região e na aplicação de relações globais de demanda elétrica, contendo tais parâmetros como variáveis explicativas do fenômeno.

Aos poucos, ambas as técnicas tendem a se aproximar e atingir-se-a uma metodologia mista, na qual não existirá um método único para o cálculo dos valores futuros, mas alternativas que serão aplicadas simultaneamente para comprovação e decisão sobre a amplitude dos cenários a serem adotados.

O método teórico aqui apresentado é uma tentativa de realização dessa integração.

2.3 Metodologias Aplicadas na América Latina

Na América Latina tem-se empregado metodologias semelhantes, em geral, às usadas nos países europeus. Isso devido, principalmente, ao fato de se dispor de recursos energéticos e/ou financeiros escassos.

Pelo motivo já mencionado, pelos intercâmbios de conhecimentos e pelas características similares dos mercados deste continente, tem-se desenvolvido metodologias relativamente similares nos diferentes países.

Entre as principais características "sui-generis" dos mercados elétricos latino-americanos, que tem influenciado a escolha de uma metodologia parcialmente própria, cabe mencionar:

- Concentração populacional em zonas urbanas carentes de serviços básicos, entre os quais energia elétrica. Isto faz com que exista uma importante demanda potencial não atendida. Porém, essa demanda insatisfeita somente poderá ser atendida se existirem, simultaneamente, recursos para a expansão da distribuição e nível mínimo de renda da camada de menor poder econômico. Por isto é de grande importância separar a previsão de consumos residenciais urbanos para consumidores que tem atualmente serviço, daqueles que serão incorporados futuramente. Esse aspecto é relevante também para a estimativa dos futuros fatores de carga, já que os novos consumidores provocam uma tendência à diminuição desse fator para essa classe de consumo.
- Importantes zonas rurais onde não existe eletrificação nem informação básica para estimar o futuro comportamento da população, face um eventual programa de eletrificação. Isso tem levado à utilização de enfoques analógicos e métodos baseados em metas de eletrificação rural e implementação de programas de subsídios sociais.
- Projetos industriais ou outros pólos de desenvolvimento de grande porte em relação às atividades existentes na região, o que exige uma análise particular de cada caso e da verdadeira capacidade do país e da região para concretizar os programas.

Escassez de recursos para atender às necessidades de expansão do sistema elétrico provocada pelas elevadas taxas de crescimento das demandas. Isto tem se traduzido numa preocupação permanente para vincular os estudos de demanda às características da oferta, e a corrigir os dados históricos por déficits provocados no atendimento.

Todos esses aspectos tem sido considerados para propor uma metodologia que dê muita importância aos cenários sócio-econômicos assumidos para os anos futuros, mas que também disponha de procedimentos alternativos para projetar a demanda com base em enfoques autônomos. Isso, para casos em que não esteja disponível ou não seja confiável a informação de entrada requerida.

3.

DESCRIÇÃO GERAL DO MODELO TEÓRICO DE MERCADO

O modelo de mercado proposto consta de 6 submodelos independentes que poderão ser alimentados pelos resultados de rodadas dos outros submodelos ou, opcionalmente, usados com informação entrada diretamente pelo usuário. Estes modelos são:

- Demográfico
- Econométrico
- Previsão de Consumos Finais
- Previsão de Cargas Próprias
- Previsão de Fatores de Forma da Carga
- Previsão de Curvas de Carga

Esses submodelos trabalham interligadamente e são alimentados por variáveis exógenas quando requerido. A estrutura geral dos submodelos e seu relacionamento funcional são mostrados na Figura 2.

As previsões de demanda são feitas através da aplicação dos correspondentes módulos computacionais a nível nacional e regional. Cabe indicar que o nível de desagregação espacial da previsão pode ser aumentado utilizando-se o conceito de nação à região e de região à subregião. O nível máximo de desagregação para a aplicação do submodelo dependerá, portanto, exclusivamente da disponibilidade de informações de entrada suficientemente desagregadas para as necessidades do estudo. Estas características são válidas para todos os submodelos que serão descritos.

A seguir será feita uma descrição geral de cada um desses submodelos.

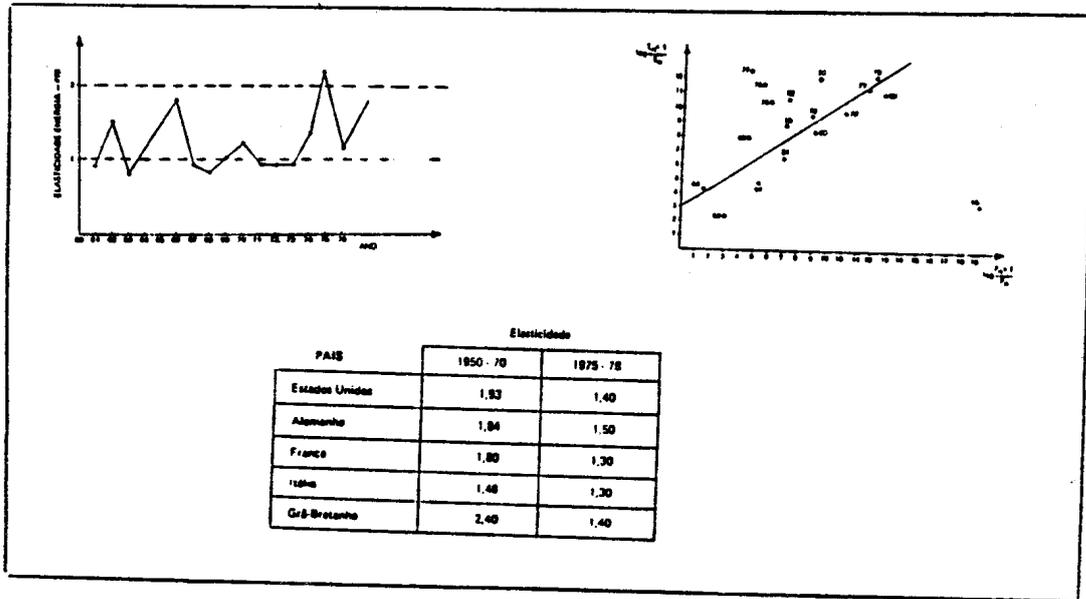


Figura - 1

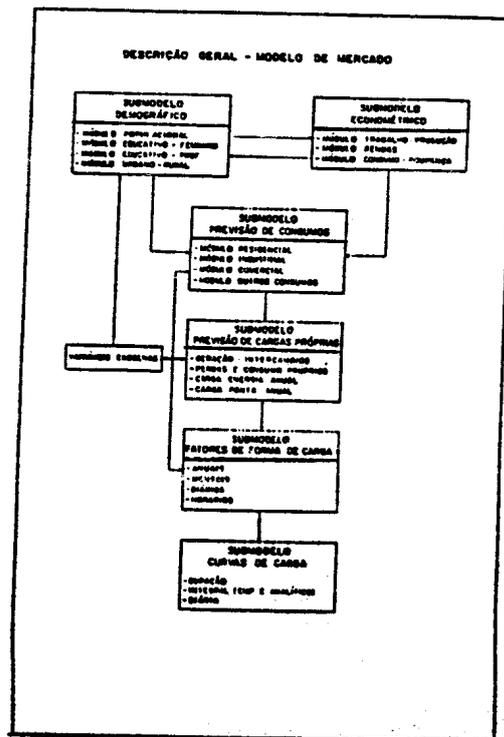


Figura - 2

3.1 Demográfico

Os estudos demográficos são realizados com ajuda de um submodelo que tem como função estimar a população futura, os níveis educativos da mulher na faixa de idade de maior fertilidade, os níveis de qualificação profissional da classe trabalhadora e as distribuições de população urbana e rural.

A população futura será estimada com base na evolução assumida para a taxa de fertilidade, para a taxa de mortalidade e nos ajustes por aspectos migratórios. Considera-se que as taxas de fertilidade são função inversa da participação feminina na força de trabalho e do seu nível educativo. Por outro lado, estima-se que as expectativas de vida são diretamente influenciadas pelos índices de urbanização, pela população economicamente ativa (PEA) e pela renda média líquida (calculada pelo submodelo econométrico).

Os níveis educativos da mulher, necessários à sua vinculação com as taxas de fertilidade, são estimados com base nas tendências históricas e programas específicos educacionais para médio e longo prazo.

A participação masculina e feminina na força de trabalho é obtida para cada nível educativo, mas deve ser compatível com a oferta de trabalho definida pelo Submodelo Econométrico.

A distribuição urbana-rural é obtida através das tendências históricas observadas e aplicação de níveis de saturação aos fluxos migratórios.

3.2 Econométrico

Os estudos sócio-econômicos são realizados mediante a ajuda de um submodelo denominado Submodelo Econométrico.

Esse submodelo simula, partindo dos valores iniciais, o ciclo sócio-econômico: investimento-trabalho-produção-receitas-consumo, determinando, ano a ano, os parâmetros requeridos pela previsão da demanda elétrica.

Para sua descrição, esse submodelo é dividido em três módulos: trabalho-produção, rendas e consumo-poupança (investimentos).

O primeiro estima os níveis de produção setorial nacional e regional, com base nos valores de demanda final e coeficientes técnicos de produção da matriz insumo-produto (teoria de Leontieff), e determina a oferta de empregos e a população economicamente ativa masculina e feminina por níveis de qualificação profissional.

O segundo determina o valor agregado associado às atividades produtivas e às rendas líquidas do capital e do trabalho, distribuídos por regiões, setores e extratos sócio-econômicos.

O terceiro calcula as parcelas de consumo e poupança das rendas, determinando os capitais disponíveis para aplicação produtiva na interação do próximo ano.

Esse submodelo econométrico tem interligações com o submodelo demográfico para a definição da força de trabalho disponível, que depende da população, educação e atividade econômica da zona.

3.3

Previsão de Consumos Finais

A previsão de consumos elétricos anuais de consumidores finais é feita a nível nacional e regional, e para as diferentes classes de consumidores.

O Submodelo Previsão de Consumos foi especificado para permitir as previsões de consumos elétricos finais, sendo dividido em 4 módulos:

- Módulo Residencial
- Módulo Industrial
- Módulo Comercial (e outros consumidores similares)
- Outras classes (Iluminação e Serviços Públicos)

Em geral, duas metodologias complementares são propostas para esses estudos: enfoque condicional e enfoque autônomo. Desta forma, pode-se contornar o problema de insuficiência de informação adequada para alguns mercados de menor importância.

As aplicações condicionais exigem a determinação prévia das elasticidades de demanda em relação às variáveis explicativas, o que poderá ser feito utilizando a informação histórica disponível ou valores adotados "a priori" com base em casos análogos.

Já nas aplicações de funções autônomas, o cálculo é feito com base nas tendências históricas, hipóteses globais de comportamento futuro do fenômeno e níveis de saturação das relações.

Em ambos os casos, não é estritamente necessário partir dos resultados dos submodelos antes descritos - demográfico e econométrico. É possível utilizar projeções populacionais e cenários sócio-econômicos exógenos, de forma a viabilizar o emprego de hipóteses de outras instituições de planejamento.

3.4

Previsão de Cargas Próprias

Essa previsão é feita com o objetivo de acrescentar perdas de distribuição, sub-transmissão e transmissão aos consumos finais totais definidos pelo submodelo descrito no item anterior.

As perdas de energia são estabelecidas com base nos valores históricos e hipóteses de mudanças na evolução futura por modificações programadas nas expansões das redes de distribuição e linhas de transmissão.

Os valores históricos de perdas são estimados com base na geração própria, o saldo líquido de intercâmbios energéticos e os consumos próprios das empresas.

As perdas para a demanda de ponta não são consideradas nesse módulo, mas no que será descrito a seguir.

3.5

Fatores de Forma da Carga

Sabe-se que a demanda tem um comportamento cíclico relativamente constante através do tempo. Esses ciclos estão associados às variações climáticas sazonais, e ao comportamento social da população (férias, horas de descanso, etc...). Os ciclos geralmente visualizados são sazonais (mensais), semanais (fim de semana), diários (noite-dia) e horários.

O intuito desses estudos é de aproveitar essas características da demanda para estabelecer um conjunto de fatores que permita desagregar a carga anual prevista em estágios mensais, semanais, diários e horários.

Isto é feito aplicando-se à carga histórica um modelo multiplicativo que permite isolar as componentes principais da carga: tendência, sazonalidade, variação de dias típicos, distribuição horária e componente aleatória. Com base na evolução histórica dos fatores (normalmente lenta e regular) e hipóteses de longo prazo, são estimados fatores de forma futuros.

Para os fatores que estão vinculados à carga de ponta, podem ser usados resultados de estudos de fluxo de potência como critérios para estimar a evolução de fatores futuros.

3.6

Curvas de Carga Típicas

Para os estudos de avaliação dos cenários energéticos gerados é necessário dispor de curvas de carga típicas. A elaboração das curvas requeridas é a finalidade do terceiro módulo do submodelo de cargas.

As curvas de carga que normalmente se empregam nos estudos de alocação de usinas são: duração (anual e/ou mensal), integral de cargas (potência-energia) e diária (dias típicos).

No estudo de cenários energéticos utilizam-se curvas integrais de carga (figura 3). Portanto, essas curvas e as curvas de duração, necessárias para sua determinação, são obtidas através desse terceiro módulo.

Para o cálculo dessas curvas adimensionais usam-se os fatores de forma calculados como indicado no item precedente.

4. DESCRIÇÃO GENÉRICA DO SISTEMA EDEE

Através da modelagem de dados sócio-econômicos e elétricos, o sistema EDEE realiza uma simulação que resulta na definição de cenários futuros.

De uma maneira geral, o sistema EDEE, como qualquer sistema de simulação, necessita de dados com as condições iniciais que alimentam as variáveis do instante de partida do modelo. Pode-se chegar a esses dados através das trajetórias observadas das mesmas variáveis em instantes anteriores (séries históricas). Com a posição de partida definida, o processo de simulação tem início gerando as trajetórias futuras das variáveis até um instante final t_f (veja Figura 4).

O Sistema EDEE foi desenvolvido para ser utilizado, interativamente, através da integração de diferentes módulos de programas que compartilham uma mesma base de informações.

Os módulos de programas que tratam os dados do passado (séries históricas) e avaliam o instante de partida do modelo encontram-se no processador de históricos.

Os dados do instante de partida do modelo, os programas que executam o processo de simulação e os dados obtidos neste processo, residem no processador de modelos.

O responsável pelo controle de todo o sistema é o gerenciador do sistema, onde estão as chamadas para o processador de históricos e para o processador de modelos. Portanto, a arquitetura do sistema é composta de três processadores:

- . Processador de Históricos
- . Processador de Modelos
- . Gerenciador do Sistema

Todos eles possuem idêntica estrutura, isto é, praticamente cada processador é uma imagem positiva do outro, com uma região para os módulos de programas e outra para os dados.

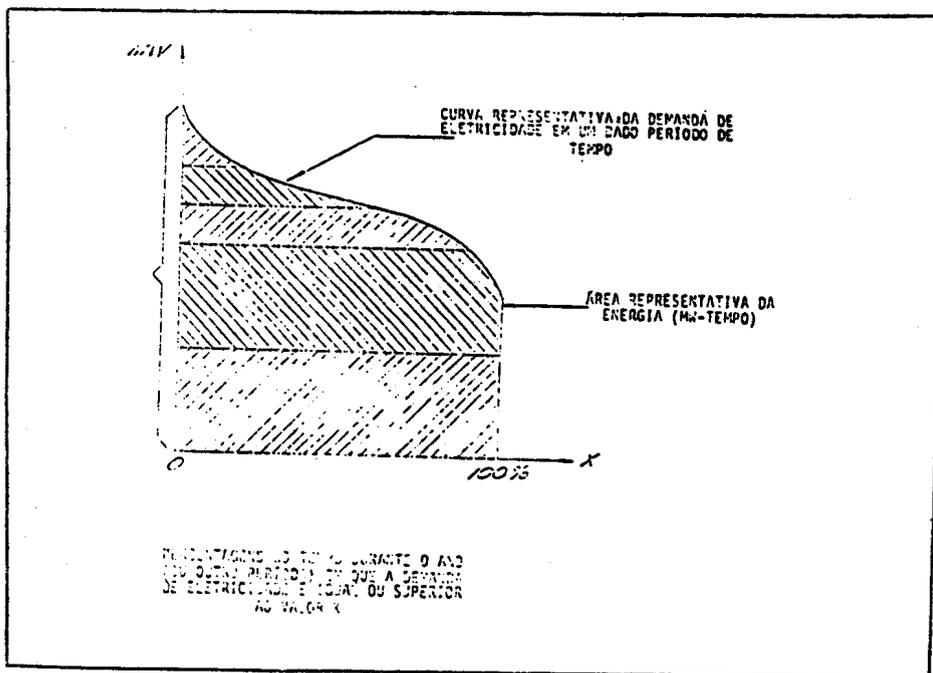


Figura - 3

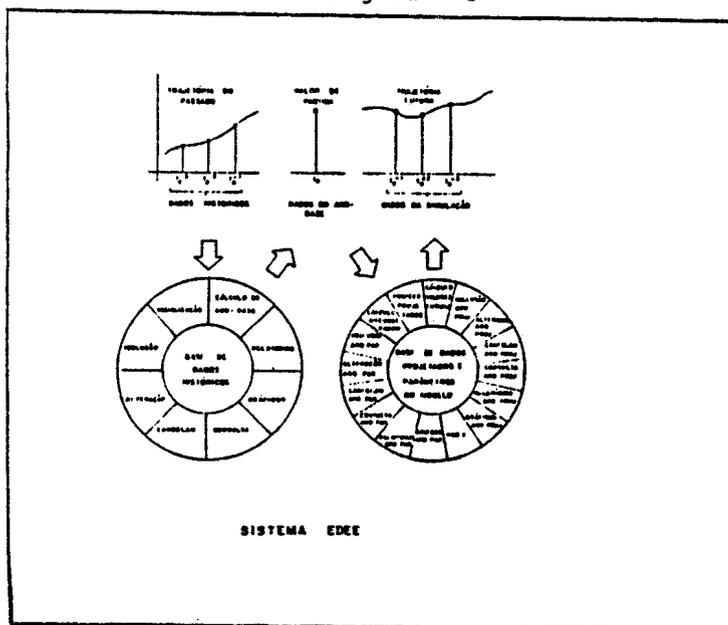


Figura - 4

Cada processador pode ser visto como composto de um núcleo onde se encontra a base de dados construída pelo usuário ou fornecida pelo sistema, e por diversas envoltórias onde se encontram os módulos de programas que acessam, processam e exibem as informações do núcleo, fazendo a interface entre o usuário e os dados. Dessa maneira, o fluxo de dados da/para base e para/do usuário é controlado pelos módulos de programas das envoltórias.

O núcleo, onde se encontra a base de dados, pode ser completamente removido sem necessidade de alterações nos módulos da envoltória permitindo, por conseguinte, a completa substituição dos dados por um novo conjunto de dimensões diferentes.

Portanto, as principais características da arquitetura do sistema são:

- . Idêntica estrutura de cada processador;
- . Envoltória constituída de módulos de programas;
- . Núcleo com a base de dados do processador;
- . Fluxo de dados para dentro e fora do sistema controlado pelos módulos dos programas das envoltórias;
- . Possibilidade de completa substituição das informações através da remoção do núcleo sem necessidade de alteração nos programas.

O sistema apresenta resultados sob a forma de tabelas de projeção e de gráficos plotados em terminais ou em plotters. As figuras 5 e 6 a seguir caracterizam os tipos de saída do sistema.

5. CONCLUSÃO

O sistema EDEE se constitui em ferramenta poderosa para simulação da demanda de energia elétrica em países do terceiro mundo, isto é, aqueles em que simples extrapolação de tendências se mostrem inadequadas pela instabilidade sócio-econômica dos mesmos.

O usuário deve criar cenário que defina algumas variáveis ao final da simulação. De posse dos valores das variáveis para o ano base da simulação (calculados a partir de dados históricos), o sistema simula a demanda de energia elétrica até obter os valores previstos pelo cenário do usuário. Caso o usuário modifique seu cenário, novos resultados serão obtidos, permitindo que análise paramétrica possa ser efetuada.

Para montagem desses cenários, devem ser convocados especialistas das mais variadas áreas (demografia, economia, geografia, etc.). Cenários alternativos devem ser criados de forma a permitir que o usuário vislumbre a possível região de resposta do sistema.

O sistema EDEE pode ser aplicado ao Brasil como um todo, para suas regiões geográficas, estados e municípios e suas respectivas zonas urbana e rural. Seu módulo sócio-econômico pode ser acoplado a modelo de previsão de demanda de outros tipos de energia (petróleo, lenha, solar, etc).

O sistema gerencia base de dados histórica que pode ser atualizada "on-line" pelo usuário. Além disso, apresenta recursos gráficos que permitem que, de forma rápida e interativa, o usuário obtenha os resultados desejados.

6. REFERÊNCIAS

- [1] "Análise de Metodologias Existentes e Proposta para Estudos de Mercado Elétrico" - Propriedade da Promon Engenharia S.A.
- [2] Campero, H. et alii - "Estudo de Metodologias de Planeamento de Expansion en el Sistema Electrico Colombiano" - The World Bank, Abril/1984.
- [3] Campero H. - "Metodologia y Criterios empleados en la elaboracion del Plan Maestro de Electrificacion del Ecuador" - CIER Sucomite de Planificacion de Sistemas Eletricos , julho/1983.
- [4] De Martino, B.; Fusco, F. - " Um Modello Previsionale a Medio Termine per i Consumi di Energia Elettrica" - Elettrotecnica, nº 6, 1976.
- [5] Karaceonyi, J.; Serebrisky, J. - "Analisis de la Elasticidad Demanda - Precio para los Consumos Sectoriales de la Energia Electrica" - SEGBA, 1975.
- [6] Pachauri, R. K. - "The Dynamics of Electrical Energy - Supply and Demand - an economic analysis" - Praeger Publishers - USA, 1975.
- [7] Taylor, L. D. - "The Demand for Electricity - A Survey" - Journal of Economics, Vol.6, nº 1 - Spring, 1975.
- [8] Taylor, L. D. - "The Demand for Energy; A Survey of Price and Income Elasticity" - University of Arizona, 1974.
- [9] Campero, H.; Spinoza, G. - "Coeficientes de Forma de los Consumos: Informe Acerca del Metodo" - ENDESA - Secc. Planif. de la Operacion, 1972.

- [10] Calbrai, J.; Penel, M.; Prozir, Y. - "Études sur le Consommation d'Énergie Électrique Appliquées aux Prévisions de Puissance" - EDF, Bulletin de la Direction des Études et Recherches, 1968.
- [11] EDEE - Manual do Usuário e do Sistema - Propriedade da Promon Engenharia S.A.
- [12] Pinguelli Rosa, L. - "O Papel da Energia Nuclear na Geração Elétrica no Brasil" - Energia Nuclear em Questão, Instituto Euvaldo Lódi, 1981.