SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA

GME - 001
16 a 21 Outubro de 2005
Curitiba - Paraná

GRUPO VI - MERCADO DE ENERGIA ELÉTRICA - GME

MODELO DE SIMULAÇÃO MACROECONÔMICA E DE DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA

José Sarto Souza * — **ELETRONORTE**
Ícaro da Silva Martins — **ELETRONORTE**
Nelia Rosa Alves dos Santos — **ELETRONORTE**

RESUMO

O Simac é um modelo criado para simular o comportamento futuro da variável demanda de energia elétrica no mercado brasileiro, em termos agregados e por classe de consumo, à luz do comportamento das variáveis determinantes do comportamento futuro da variável Produto Interno Bruto Nacional, cujas trajetórias se apóiam nas condições socioeconômicas definidas em estudos específicos de cenários exploratórios. O SiMac foi desenvolvido pela Eletronorte com o apoio da Macroplan e FPS informática, no ano de 2003, em Brasília.

O SIMAC realiza projeções com base em múltiplos cenários exploratórios definidos a priori, sendo composto por 5 módulos principais:

- Módulo de Projeção Macroeconômica de Curto Prazo;
- Módulo de Projeção Macroeconômica de Longo Prazo;
- Módulo Regional;
- Módulo Setorial;
- Módulo Energético.

PALAVRAS-CHAVE

Cenário, Cena, Trajetória, Hipóteses, PIB (Produto Interno Bruto), Renda, Elasticidade.

1.0 - INTRODUÇÃO

A utilização da metodologia de cenários nos estudos de projeção da demanda de energia elétrica, a partir de 1988, possibilitou a vinculação direta dos resultados numéricos das projeções a hipóteses de comportamento macroeconômicas, claramente, definidas e plausíveis, cuja ocorrência é articulada de modo coerente dentro dessa metodologia.

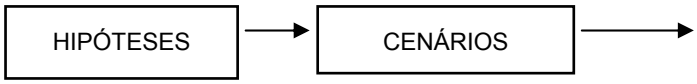

FIGURA 1 – Esquema de Projeção de Mercado via Cenários

*SCN Quadra 06 Conj. A – ED. Venâncio 3000 - Bloco B-Sala 801 CEP 70.718-900 Brasília - DF - BRASIL.
Tel.: (061) 429-6285 - Fax: (061) 328-6093 - e-mail: sarto@eln.gov.br

Todavia, considerando-se os possíveis cenários que a combinação dessas hipóteses pode produzir, levando a comportamentos econômicos distintos, surgiu a necessidade de se dispor de modelos de quantificação que permitissem, por um lado mapear, descrever e quantificar as relações macroeconômicas e, por outro, serem flexíveis o suficiente para que, por meio das suas variáveis e parâmetros fosse possível descrever realidades diferentes, mantendo em todos os casos um nível de precisão adequado. A figura a seguir "Quantificação Macroeconômica em Estudos de Cenários" resume graficamente a formulação de tais modelos.

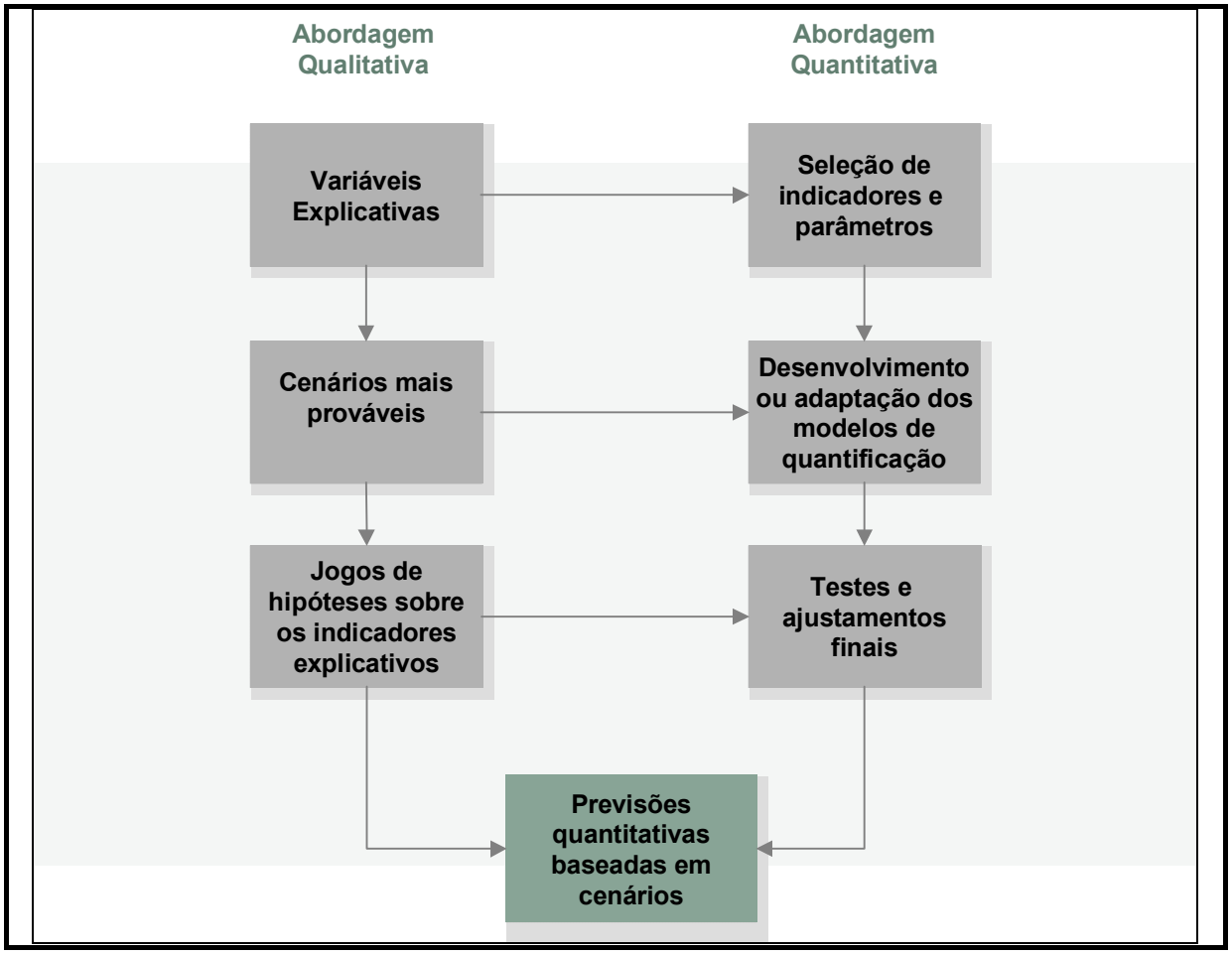

FIGURA 2 – Quantificação Macroeconômica em Estudos de Cenários

Como exemplo, o modelo deveria retratar situações de crise intensa, marcadas por redução drástica dos investimentos, das atividades econômicas, emprego e renda, bem como poder refletir momentos de integração mundial, crescimento acelerado, difusão de tecnologias e crescimento intenso da atividade econômica.

Assim, a Eletronorte, desde o primeiro estudo de cenário, que data de 1988, desenvolveu e vem aprimorando um modelo de quantificação macroeconômica com essa finalidade. Tal modelo considera o conjunto mínimo de variáveis necessário para a quantificação do produto interno bruto possível de ser atingido pela economia brasileira, com base em um conjunto de hipóteses provenientes dos estudos de cenários, tendo como premissa básica permitir que o cenarista possa adequar as suas equações e resultados ao momento (cenário, cena e trajetória) que esteja sendo descrito.

2.0 - CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O processo econômico se realiza fundamentalmente pela associação de meios de produção, denominados tecnicamente de fatores de produção, cuja combinação possibilita a geração de produtos, bens e serviços para a satisfação das necessidades das pessoas e ou para servirem de insumos para o processamento de outros bens e serviços.

De forma sintética, um sistema econômico pode ser visto na forma esquemática abaixo:

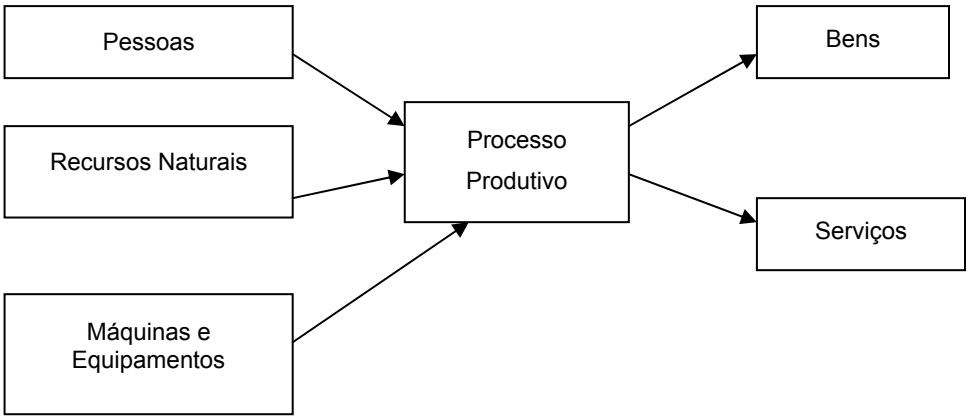

FIGURA 3 – Esquema de Sistema Econômico Simplificado

Esse diagrama, embora simplificado, representa a essência do processo produtivo, visto pelo lado real (físico) da economia, onde se foca o resultado da produção, abstraindo-se a renda gerada (aspecto monetário).

Procuramos também fugir da questão filosófica a respeito da tecnologia, se esta constitui ou não um fator de produção em separado dos três fatores básicos; sabe-se que a tecnologia permeia todo o processo produtivo, fazendo com que as pessoas sejam mais qualificadas, eficientes e produtivas (capital humano), os recursos naturais sejam melhor utilizados, mais eficientemente combinados e proporcionem maior retorno de produção por unidade de insumo – observe-se a redução contínua do volume de insumos por unidade de produto. A própria capacidade empresarial é resultado de um processo de acumulação tecnológica, ou seja de conhecimento (capital humano). Todo esse processo potencializa o que se denominou " ganhos de escala", sem falar no caso das máquinas e equipamentos, os quais incorporam, cada dia mais, o desenvolvimento da ciência e da tecnologia.

Assim, o gráfico anterior poderia ser redesenhado na forma a seguir:

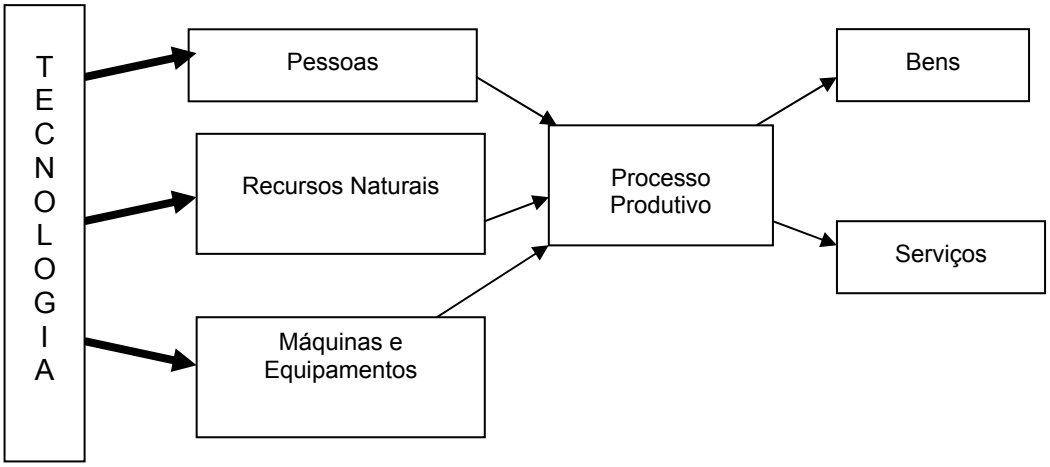

FIGURA 4 – Esquema de Sistema Econômico com Tecnologia

Todavia a tecnologia também influencia, e mesmo determina, o conjunto de bens e serviços que uma determinada sociedade requer em dado instante de tempo e, especialmente, a forma como esses bens e serviços são utilizados. Assim, a importância da tecnologia está muito além de um simples fator de produção.

Deste modo, um modelo simplificado de simulação macroeconômica terá que ter dentre os parâmetros principais a tecnologia e o estoque de recursos produtivos que a economia dispõe em dado momento do tempo.

O estoque de recursos produtivos torna-se função da capacidade de investimento (e conseqüentemente de poupança) que um determinado sistema econômico dispõe em dado instante ou terá capacidade de acumular em um certo horizonte temporal. No SIMAC (Modelo Eletronorte de Simulação Macroeconômica) esta variável é representada pelo estoque de capital e os recursos destinados à expansão desse potencial produtivo (investimento).

A tecnologia é então representada pela capacidade desse conjunto de fatores de gerar produtos e serviços com maior ou menor produtividade / eficiência – agregada de forma extremamente sintética no SIMAC pela produtividade do capital, parâmetro que engloba na verdade a produtividade combinada de todos os fatores de produção.

Assim, partindo-se do pressuposto de que pessoas e recursos naturais são um dado para o sistema, sua maior ou menor capacidade de gerar produtos torna-se função (da forma mais sintética e agregada possível) da disponibilidade de máquinas e equipamentos produtivos e da capacidade desse sistema de combinar tais fatores básicos obtendo uma determinada produtividade, eficiência e custo, função da tecnologia que tal sistema disponha.

3.0 - MODELAGEM MACROECONÔMICA

Novamente ressaltando que estamos visualizando o sistema econômico apenas pelo lado da oferta, a capacidade de um sistema econômico de gerar produtos é função do seu estoque de capital (montante acumulado mais o investimento agregado para sua expansão) e da produtividade que este capital dispõe para a geração de bens e serviços.

Temos então a chamada função de produção, na qual $Y = f(K, \lambda)$ medindo a relação técnica entre o volume de produto que pode ser alcançado a partir de uma determinada combinação de capital (K), com uma determinada produtividade marginal do capital (λ).

Dessa forma o SIMAC parte da seguinte equação:

$$\mathbf{Y = K.\lambda}$$

Onde: Y = produto
K = estoque de capital
λ = produtividade do capital

Tendo em vista as variações no estoque de capital, fruto da depreciação – redução da capacidade produtiva do capital – o que reduz o estoque efetivo de capital, e os incrementos resultantes de novos investimentos, essa equação é aplicada da forma abaixo:

$$\mathbf{Y_i = K_i.\lambda}$$

$$\mathbf{K_i = K_{i-1}\,(1 - \alpha) + I_i}$$
$$\mathbf{I_i = P_{i-1}}$$

Sendo:
índice $_i$ - indicativo do ano corrente;
índice $_{i-1}$ - indicativo do ano imediatamente anterior;
α – parâmetro que mede a depreciação do capital;
P – poupança, parcela da renda não consumida, destinada a investimento para expansão da capacidade produtiva.
I – Investimento

Assim, a equação passa a considerar as variações do estoque de capital ao longo do tempo.

Essa nova formulação introduz a necessidade de medição do volume de investimento, conceitualmente associado à poupança do período.

Inicialmente, visualizando-se uma economia fechada, considera-se a equação da renda, por definição igual do produto, como sendo:

R = C + P

Onde "C" representa a parcela da renda utilizada para consumo e "P" a parcela não consumida – poupança - destinada a investimento para expansão da capacidade produtiva do sistema, contabilmente considerada como investimento no exercício subseqüente.

No caso do SIMAC, o consumo é estimado de forma agregada com base na projeção do investimento, obtendo-se por conseqüência a propensão marginal a consumir, transformando a equação em:

R = β.R + (1- β) R

Sendo β a **propensão marginal a consumir**.

O parâmetro (1- β) é determinado pelo nível de investimento como conseqüência das hipóteses de cada cenário.

Ao se introduzir o setor externo a equação passa então a ter a forma:

Y = C + I + X – M

Onde X representa a parcela do produto que é exportada e M a parcela relativa aos produtos importados.

A consideração da economia aberta introduz ainda a questão da parcela da poupança externa realizada no País, considerando-se então o saldo do balanço de pagamentos e das transações correntes.

SBC = X – M

***STC* = *SBC* – SBS**

SBS* = *J* – *OSF* – *SNF* + *TUL *Onde:*

SBC = SALDO DA BALANÇA COMERCIAL
STC = SALDO DAS TARNSAÇÕES CORRENTES
J → JUROS LÍQUIDOS PAGOS
OSF → OUTROS SERVIÇOS FATORES
SNF → SERVIÇOS NÃO FATORES
TUL → TRANSFERÊNCIAS UNILATERIAS LÍQUIDAS

No exercício de modelagem do processo em questão, o cenarista determina, para cada ano, os saldos esperados da balança comercial e da balança de serviços, de forma consistente com as hipóteses de cada cenário.
Por último, para a estimativa, de maneira simplificada, do produto da economia aberta, o modelo trabalha ainda com o grau de abertura da economia, que mede a amplitude de suas transações produtivas com o exterior, a saber:

ABERTURA EXTERNA = (x + m) %

Sendo:

x → X / PIB (%)

m → M / PIB (%)

Uma vez identificados e definidos os múltiplos cenários macroeconômicos exploratórios, o modelo desenvolve o módulo energético:

4.0 - MÓDULO ENERGÉTICO

Após a quantificação do produto macroeconômico (PIB), conforme discutido nos parágrafos anteriores, é possível estimar-se a demanda de energia elétrica, no nível agregado, aplicando-se alguns métodos econométricos.

Tais métodos têm por base a constatação da existência de forte correlação positiva entre o consumo de energia elétrica e o comportamento da economia, representado pelo PIB.

A correlação positiva significa que as duas variáveis tendem, no longo prazo, ou em média, a ter movimentos de mesmo sentido, ou seja, quando uma tem comportamento ascendente, a outra também o tem, e vice versa,

quando uma tem comportamento decrescente à outra também o tem. Embora, em alguns momentos possam existir movimentos contrários, quando uma variável cresce, enquanto a outra decresce, o que constitui desvio do comportamento geral.

Tal constatação estatística é medida pela utilização do coeficiente de correlação, visando avaliar o grau de associação entre estas duas variáveis, cuja sustentação prática é largamente verificável.

Assim:

$$DEE = f\ (PIB)$$

Onde, a Demanda de Energia Elétrica (Dee) é função do PIB, ou seja, é explicada pelo comportamento da economia representado pelo PIB, o que permite estimar a DEE a partir de estimativas dos valores projetados do PIB.

Dessa constatação econométrica derivam os métodos que discutiremos a seguir.

a) Regressão entre o comportamento do PIB e a demanda de energia elétrica
b) Elasticidade do consumo de energia elétrica em relação ao PIB
c) Intensidade de energia elétrica por unidade de PIB

4.1 Regressão entre o comportamento do PIB e a demanda de energia elétrica

Nesse método estima-se, estatisticamente, os parâmetros da função DEE = f (PIB), utilizando-os para estimar a demanda de energia elétrica a partir das projeções do PIB.

4.2 Elasticidade do consumo de energia elétrica em relação ao PIB

Outro meio para se obter a estimativa do comportamento da demanda de energia elétrica a partir da projeção do PIB constitui-se na utilização da elasticidade da DEE em relação ao PIB.

A elasticidade relaciona as variações, ou as taxas de crescimento, da demanda de energia elétrica com as taxas de crescimento do PIB, assim:

$$\Delta\ Dee = Dee_{\ i}\ /\ Dee_{\ i-1}$$

onde Δ Dee é a variação do consumo de energia elétrica ocorrida entra os períodos “i” e “i-1” indicados nos subscritos da fórmula.

Por outro lado temos a mesma formulação para as variações do PIB:

$$\Delta\ PIB = PIB_{\ i}\ /\ PIB_{\ i-1}$$

onde Δ Dee é a variação do consumo de energia elétrica ocorrida entra os períodos “i” e “i-1” indicados nos subscritos da fórmula.

Assim construímos o coeficiente de elasticidade da demanda de energia elétrica, em função do comportamento do PIB como sendo:

$$\xi\ (Dee/PIB) = \Delta\ Dee\ /\ \Delta\ PIB$$

Novamente, utilizando-se uma série dos coeficientes de elasticidade pode-se estimar a elasticidade esperada do consumo de energia elétrica em relação ao PIB.

Dispondo-se então da elasticidade esperada é possível estimar-se as variações futuras do consumo de energia elétrica em função das variações já projetadas do PIB.

4.3 Intensidade de energia elétrica por unidade de PIB

No caso da aplicação desse método, calcula-se a quantidade total de energia elétrica necessária para a produção de cada unidade de PIB ocorrida nos anos já realizados; estima-se o comportamento desse indicador de acordo com os diversos cenários construídos e utiliza-se este coeficiente para, a partir dos montantes de PIB projetados, estimar-se a demanda de energia elétrica.

4.4 Considerações sobre a aplicação de os métodos estatísticos em prospecção de futuros

Em primeiro lugar, é importante que tenhamos em mente que todos estes métodos são formas distintas de representação estatística da correlação entre o consumo de energia elétrica e o PIB, ou seja, a busca da melhor forma de descrever esta correlação.

Na regressão, as séries de **Dee** e do **PIB** são relacionadas diretamente entre si, extrapolando-se os parâmetros que quantificam a relação entre essas variáveis. Utilizando-se a elasticidade, de fato, opera-se uma transformação de variáveis, quantificando-se a relação entre o comportamento das variáveis por meio da relação entre os respectivos deltas ou elasticidades. E, no método das intensidades, substitui-se às séries das variáveis por outra que constitui a relação histórica entre os seus valores.

A utilização de ferramentas estatísticas em quantificação de cenários requer a diferenciação entre a mera extrapolação do comportamento histórico de um fenômeno e a utilização do método estatístico como descritivo da relação existente entre as variáveis, mas cujo relacionamento também se altera de um cenário para outro.

Exemplos são muito mais elucidativos deste ponto. Supondo-se que o comportamento histórico da elasticidade do consumo de energia elétrica em relação ao PIB é da ordem de 1,8. A mera extrapolação estatística com base nesse indicador utilizaria este parâmetro para todos os anos do horizonte de estudo e para qualquer um dos cenários sendo estudados.

Por outro lado, quando se utiliza a ferramenta estatística em técnicas prospectivas como é o caso da técnica de cenários, o parâmetro é utilizado para descrever a relação entre as variáveis, contudo a expressão numérica em si, que quantifica tal relação, é diferenciada entre os diversos cenários, bem como em cada cenário, pode ser diferenciado ao longo dos anos de projeção, constituindo as cenas da prospecção.

Ou seja, em um cenário de intenso desenvolvimento científico e tecnológico, sem dúvida pode-se prever a redução dessa elasticidade, fazendo com que a variação no consumo de energia elétrica seja menos intensa em função da variação do PIB, o mesmo ocorrendo com a intensidade de energia elétrica por unidade de PIB. Observe-se a tendência mundial, de longo prazo, de redução da quantidade de insumo e de mão de obra por unidade de produto.

Resumindo, os métodos estatísticos permitem identificar e quantificar a relação entre as variáveis, contudo a intensidade dessa relação é diferenciada em função das hipóteses de comportamento que fundamentam a construção dos diversos cenários.

No caso do modelo SIMAC, a variação dessas intensidades é aplicada pelo cenarista uma vez que o modelo computacional ainda carece de ferramentas eficientes para facilitar essa diferenciação.

5.0 – CONCLUSÃO

De acordo com as premissas estabelecidas pode-se concluir que:

a) A demanda de energia elétrica é uma variável reflexa da sócioeconomia;
b) A partir das hipóteses sobre o comportamento futuro das variáveis sócio-econômicas e demográficas, pode-se quantificar a demanda de energia elétrica;
c) Podem ser utilizados para projeção da demanda de energia elétrica, os três modelos energéticos propostos (1- regressão entre o comportamento do PIB e o consumo de energia elétrica, 2- a elasticidade do consumo de energia elétrica em relação ao PIB e 3 - intensidade de energia elétrica por unidade de PIB) que os resultados são convergentes.

Como recomendações é necessário que os modelos estejam embasados de uma base histórica confiável, e por outro lado, as variáveis sejam definidas através de um conjunto organizado de hipóteses - metodologia de Cenários.

6.0 - NOMECLATURA TÉCNICA

Cenário - descrição de um futuro possível, imaginável ou desejável para um sistema e seu contexto.
Cena – descrição do estado de um sistema, em determinado instante do tempo.
Trajetória – caminho ou movimento das variáveis de um sistema, que produz como resultado a mudança de um estado (cena) a outro.
Metodologia de estudos de cenários – técnica de exploração do futuro por meio da construção de hipóteses de movimentos das variáveis determinantes do comportamento de um sistema bem como, de hipóteses a respeito dos posicionamentos, decisões e ações dos atores com poder de influenciar o comportamento desse sistema.
Modelos de quantificação – sistema que inter-relaciona o comportamento de variáveis para a produção de determinado resultado.

Relações macroeconômicas – equações que descrevem o efeito de certas variáveis sobre o comportamento da economia de um sistema.
Produto interno bruto – valor, expresso em moeda, de todos os bens e serviços produzidos por um sistema econômico, em um período de tempo.
Fatores de produção – elementos que são combinados em um processo produtivo para a geração de bens ou serviços.
Modelagem – desenho de um mecanismo de simulação das inter-relações entre as variáveis determinantes do comportamento de um sistema.
Função de produção – equação que determina o volume de bens e ou serviços que pode ser obtido utilizando-se um certo conjunto de fatores de produção.
Estoque de capital – montante de equipamentos produtivos – inclusive de infra-estrutura – que um sistema dispõe em determinado instante do tempo.
Investimento – parcela da renda não utilizada para consumo, e destinada a aumento do estoque de capital do sistema.
Renda – equivalente contábil do produto, constituída pela expressão em moeda do valor dos bens e serviços produzidos por um sistema, em determinado período de tempo.
Consumo – parcela da renda destinada à satisfação das necessidades das pessoas.
Exportações – parcela da produção de um sistema que é vendida para outros sistemas, em determinado período de tempo.
Importações – parcela de produtos gerados em outros sistemas econômicos e utilizados pelo sistema em estudo para a composição da sua renda.
Produtividade do capital – potencial de geração de produtos associada a determinado estoque de capital.
Saldo da balança comercial – diferença entre o volume monetário das exportações e das importações.
Saldo da balança de serviços – valor líquido das transações de serviços com o exterior realizadas por um sistema econômico, em determinado período de tempo.
Abertura externa – peso (percentual) do volume de transações com o exterior (exportações + importações) em relação à renda, em determinado período.
Parâmetros – coeficientes que medem a intensidade do movimento de algumas variáveis, em função de alterações em outras variáveis.
Elasticidade – coeficiente que mede a associação entre duas variáveis por meio da relação entre as variações de seus comportamentos em diversos momentos do tempo.

7.0- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Cenários Energéticos para a Amazônia 1988/2010; Departamento de Estudos de Mercado/ELETRONORTE, Setembro/1988;

Cenários Sócioenergéticos para a Amazônia 1998-2020; Gerência de Estudos e Projeção de Mercado/ELETRONORTE, Dezembro/1998;

Relatório - Amazônia Perspectivas Sócio-Econômicas e de Demanda de Energia Elétrica - 1990/2015; Departamento de Planejamento de Mercado/ELETRONORTE, Julho/90;

A Demanda de Energia Elétrica na Área de Atuação da ELETRONORTE - Uma Abordagem Alternativa Para Longo Prazo; Tese para obtenção do Grau de Mestre em Ciências (M. Sc.) de Maria Alice Dechichi - Rio de Janeiro, Março/86;

Censo Demográfico - Família e Domicílios - Recenseamento Geral do Brasil - 1970/1980/1991 e 2000 IBGE;

Metodologia para Projeções de Mercado - Portaria 760/Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica - Ministério das Minas e Energia - Brasília Junho/1976;

Relatório do Banco Central 2002, 2003 e 2004;

SINOPSE do BNDES 2004;

Contas Regionais – IBGE;

Metodologia de Estudos de Cenários – Eletronorte/Macroplan/GTQC/CTEM.