



**XVI SNTPEE**  
Seminário Nacional de Produção e  
Transmissão de Energia Elétrica

GRUPO VII

GRUPO DE ESTUDOS DE PLANEJAMENTO DE SISTEMAS ELÉTRICOS

GPL/006

21 a 26 de Outubro de 2001  
Campinas - São Paulo - Brasil

## SISTEMA DE CARACTERIZAÇÃO DA CARGA E DIMENSIONAMENTO DA PONTA DO SISTEMA ELÉTRICO DO ESTADO DE SÃO PAULO

José Paulo Vieira (1)

José Luiz Juhas (2)

Jean Cesare Negri (1)

Cecília Helena Negri de Magalhães (3)

José Luiz Atmann (3)

Luiz D'Agostini Neto (3)

Ricardo Accioli (4)

- (1) CESP - CIA. ENERGÉTICA DE SÃO PAULO  
(2) DUKE ENERGY INTERNATIONAL, GERAÇÃO PARANAPANEMA S.A.  
(3) CH CONSULTORIA EM ENGENHARIA (4) VAMTECNET

### RESUMO

Este trabalho objetiva descrever o desenvolvimento e operação de um sistema de processamento e análise de informações sobre a carga do Estado de São Paulo, objetivando efetivar um modelo de previsão para a ponta do sistema.

O sistema pretende complementar os métodos de projeção da demanda atualmente utilizados, baseados exclusivamente na estimação do comportamento do fator de carga e que, portanto, não captam os efeitos da evolução do mercado.

### PALAVRAS-CHAVE

Curva de Carga, Planejamento Energético, Tipicidade, Tipologia, Previsão.

### 1.0 - INTRODUÇÃO

O conhecimento do comportamento da carga é uma atividade fundamental para determinar os usos, atual e futuro, que o consumidor dá à energia elétrica, propiciando relevante base de informações para a atuação proativa da área de planejamento. Essa atuação objetiva economizar investimentos e otimizar a operação do sistema, além de possibilitar insumos para o cálculo de perdas técnicas e de previsão da demanda, cálculo de custos marginais, priorização de obras e avaliação de limites de carregamento de transformadores e linhas de transmissão.

Nesse sentido, o sistema pretende complementar os métodos usuais de projeção da demanda, baseados que são na estimação do comportamento do fator de carga, e insuficientes para captar os efeitos decorrentes da evolução do mercado.

### 2.0 - CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO

O Software Aplicativo SGPC – Sistema de Gerenciamento e Previsão da Carga foi desenvolvido e adaptado pela CH Consultoria/VamtecNet, sob contratação da CESP, com a finalidade de tornar mais ágil e eficaz o gerenciamento dos dados de demanda e atender ao objetivo do trabalho que é a Projeção da Demanda da CESP e do Estado de São Paulo.

No que diz respeito à caracterização da carga o sistema oferece produtos que possibilitam uma visualização da curva de carga desagregada nos estratos desejados com grau de precisão garantido por métodos estatísticos e matemáticos consagrados.

Para o estudo do comportamento e previsão da Carga do Estado de São Paulo por classe de consumo (Industrial/Comercial/Residencial/Outros), o sistema recebeu um tratamento metodológico de recuperação, adequação e tratamento estatístico das informações disponíveis.

Com o objetivo de uma utilização correta dos dados fornecidos, algumas estatísticas preliminares foram efetuadas para orientação e definição dos estratos a serem utilizados. Outras análises estatísticas, com base

na estratificação do mercado Residencial, auxiliaram na definição do número exato de faixas de consumo a serem utilizadas. Estes estudos preliminares indicaram que esta classe poderia ser decomposta em 04 faixas de consumo, melhor representando o seu universo .

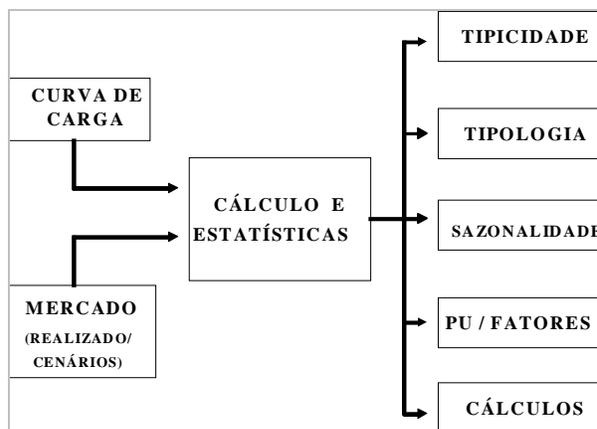
O projeto analisa a curva de carga visando a obtenção da tipicidade (a curva de carga típica é aquela da tipologia de maior incidência no intervalo de tempo considerado), tipologia (representa o tipo de comportamento que uma determinada carga possui), fatores de carga (medidos pela relação entre demanda média fornecida durante um período determinado, e o pico ou demanda máxima), sazonalidade de ponta e consumo e curvas de carga em P.U. da ponta e da média para o Estado de S. Paulo. Observamos que uma forma de tratamento estatístico adotada indica a divisão dos valores originais pela sua média – originando séries em P.U. Média -, ou pela sua ponta (maior valor verificado entre todos os dados), originando séries em P.U. Ponta.

Assim sendo, os dados de carga global foram obtidos a partir das antigas configurações das áreas de concessão das antigas 3 estatais (CESP, ELETROPAULO e CPFL), portanto retroagidos desde 1992 até 1997 e os dados por categoria na BT (baixa tensão) foram obtidos de um estudo da Universidade de São Paulo (USP), realizado entre 1993 e 1996 .

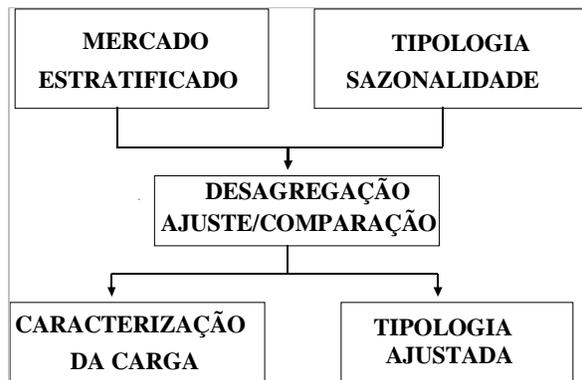
### 3.0 - UTILIZAÇÃO DE MODELO APLICATIVO

O SGPC é composto dos seguintes módulos: Entrada (E), Desagregação (D), Previsão (P) e Simulação (S).

(E): O Módulo de Entrada armazena e trata estatisticamente os dados de mercado e de comportamento da carga dos pontos medidos (1). A alimentação destas informações deverá seguir estratificação previamente definida pelo usuário, com base no objetivo de seu estudo. Por exemplo, se o usuário for executar o (P) Módulo de Previsão, além dos dados históricos, estes deverão estar cadastrados como dados referentes ao horizonte de previsão. O atendimento aos requisitos do módulo (E) garante a integridade e confiabilidade dos dados obtidos e armazenados no sistema. Neste módulo é efetuada a consistência básica e a validação dos dados, e são calculadas curvas e fatores representativos dos pontos medidos, entre eles a Curva Típica dos dias úteis, sábados e domingos, o fator de carga diário, coeficientes de variação da curva diária e sazonalidade.



(D) MÓDULO DE DESAGREGAÇÃO: este módulo parte das energias médias diárias de cada classe/estrato aplicadas aos PU's da média das tipologias, produzindo as curvas de carga de cada uma das classes/estratos. Em seguida serão aplicados os desvios-padrão (se houver), projetando um intervalo de confiança para cada classe/estrato. O passo seguinte é somar as classes /estratos e seus desvios, sendo esta curva somatória comparada com a curva de carga global. A curva resultante denomina-se curva de perdas e diferenças.

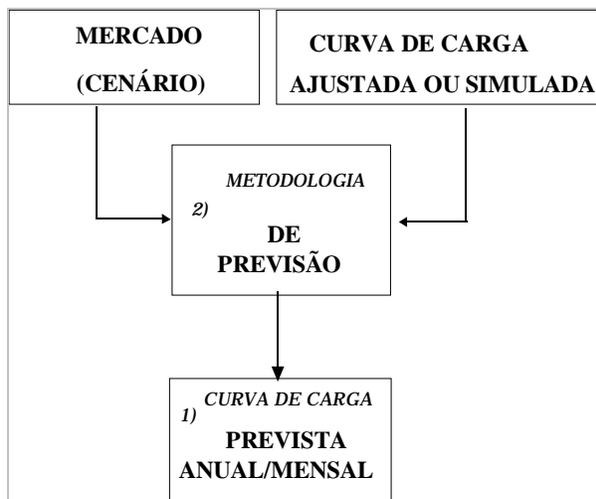


Caso exista uma indicação da curva de carga de perdas técnicas, ela poderá ser tratada como um estrato, ficando a curva resultante apenas com a aleatoriedade e diferenças de faturamento. Logicamente quanto mais confiáveis forem os dados originais, menor será a grandeza desta curva. Também há que se citar que poderão ser efetuados ajustes com base nos intervalos de confiança e com a introdução de novas medições, tornando as curvas desagregadas mais confiáveis. Será calculado o ajuste da desagregação que será o balizador ou o termômetro das hipóteses das tipologias efetuadas.

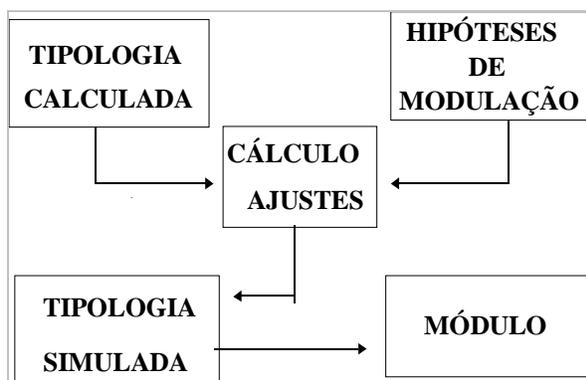
(P) MÓDULO DE PREVISÃO: neste módulo, o mercado de energia previsto nas suas diversas classes/estratos, será composto com as tipologias

obtidas, produzindo-se, dessa maneira, as curvas de carga previstas para o horizonte de previsão, com seus respectivos desvios, além das curvas de perdas.

Este módulo pode ser realimentado com curvas obtidas pelo módulo de simulação, fornecendo curvas e valores de energia ainda mais acurados, de acordo com os cenários de modulação de carga propostos pelo previsor. Este módulo deverá ser executado para cada cenário de previsão de energia, como por exemplo: otimista, esperada, pessimista, conforme a conveniência do previsor.



(S) MÓDULO DE SIMULAÇÃO: Este módulo permitirá que novos cenários de modulação de curva de carga sejam incorporados nas previsões das classes/estratos em diferentes situações. As curvas poderão ser alteradas de acordo com coeficientes de variação fornecidos pelo previsor, retirando-se e/ou adicionando-se carga em cada ponto da curva.



A partir desta curva modificada será alterada ou não a previsão de energia para o(s) estrato(s) em análise. Estas curvas modificadas serão insumos para o módulo de previsão, que fará as novas projeções da curva global, tendo em vista as modulações efetuadas.

Desta maneira, com uma demanda prevista cenarizada, o patamar de carga máxima pode ser melhor avaliado em termos de Planejamento Eletro-Energético pois, como é sabido, uma das funções do planejamento do setor elétrico é a determinação da melhor seqüência para a construção de novas usinas, sejam elas hidroelétricas ou termoelétricas, além do melhor dimensionamento de linhas de transmissão e de distribuição, que tendam a minimizar os custos de investimentos e de operação.

#### 4.0 – ANÁLISE DOS RESULTADOS

Foram realizadas previsões de demanda para o Estado de São Paulo e a CESP, visando confrontar os resultados obtidos com os valores reais disponíveis. Essas previsões utilizaram o SGPC, tomando por base dados verificados de mercado e de curvas de carga disponíveis de estratos de consumidores. Este estudo pode servir de orientação para a construção de novas previsões, de acordo com o aprimoramento dos dados a serem coletados e inseridos no sistema pelo usuário, quando for necessário.

O estudo realizado para o Estado de São Paulo foi processado em três etapas, com base em medições disponíveis devidamente cadastradas e incluídas no sistema, tratadas de forma a caracterizar estatisticamente as curvas diárias de carga dos consumidores da Concessionária e, através de modelos estatísticos e matemáticos definidos, calcular a demanda horária máxima em cada estudo.

Este estudo de caso foi realizado objetivando a utilização das curvas de Carga Própria das empresas que formam o estado de São Paulo, e seus respectivos mercados globais. Assim, o estado foi fragmentado em quatro “estratos”, tomando como ano base 1996, compostos pela carga das antigas CESP, CPFL, ELETROPAULO e pelas PEQUENAS EMPRESAS.

Este exemplo utilizou, para compor o Estado de São Paulo, os seguintes estratos :

- E1 – PEQUENAS EMPRESAS;
- E2 – C P F L;
- E3 – C E S P;
- E4 – ELETROPAULO.

Os resultados deste estudo de caso foram satisfatórios, pois as curvas de carga expressam o comportamento de cada estrato, devido as medições abrangerem a totalidade de cada estrato, sendo o Estado de São Paulo representado pela curva dos gráficos 1 e 2 (anexos). O desvio estatístico médio constatado foi de apenas 15,4 sendo que o valor aceitável pelo teste estatístico de  $\chi^2$

(Qui-Quadrado) é de 50,3. O percentual de erro na ponta é de 0,15 %, o que mostra que a desagregação representa fielmente a curva de carga do Estado de São Paulo. Conclusões similares são extraídas da análise da CESP espelhada nos gráficos 3 e 4.

Da mesma maneira, a previsão da máxima anual de 1997 correspondeu plenamente ao esperado. Pela metodologia, o valor obtido foi de 16.684,6 MW, enquanto o observado foi de 16.453,9 MW, portanto um erro de apenas 1,4 %, dentro da margem de erro aleatório estatístico da série histórica.

## 5.0 - CONCLUSÕES

O sistema apresentado subsidia algumas ações sobre o mercado, como a modulação da curva de carga, objetivando a diminuição do pico de demanda diária, o aumento de consumo nos horários fora de pico, ou o próprio deslocamento do horário de demanda máxima do segmento. Com isso, as previsões para compra(s) e venda(s) junto ao MAE adquirem contornos estratégicos e avaliações mais precisas.

Uma outra aplicação, ainda no âmbito do MAE, se refere ao auxílio na previsão das ofertas de demanda ou "demand side bidding". Qualquer consumidor poderá fazer ofertas de redução de sua demanda em horários onde há carência de geração para equilibrar o balanço entre carga e geração. Neste caso o consumidor deverá se preparar adequadamente para servir de voluntário para possíveis cortes de carga recebendo para isto um pagamento. Esta modalidade de fornecimento pode ser simulada através do SGPC como cenário, de maneira a constatar sua influência na previsão de ponta.

Desse modo, o planejador poderá simular ações sobre o mercado, mesmo nas classes de consumidores, visando a otimização do perfil de consumo e antevendo os resultados finais.

A análise de consumidores livres ganha neste instrumento a possibilidade de qualificação acurada do Fator de Carga e do perfil da curva de carga específica. Assim, pode-se delinear o melhor produto de Oferta de Energia no âmbito da empresa fornecedora, a partir de uma clara composição de preço entre as tarifas de energia e demanda. Ao invés de onerar o produto com ambas, a viabilização da oferta em condições mais competitivas poderia ser obtida através da livre negociação das sobras de energia a serem verificadas

entre a oferta e o consumo efetivo. Neste caso estar-se-ia vendendo apenas uma "curva de carga" com um máximo definido equivalente à ponta projetada pelo SGPC para este consumidor. Portanto, o contrato não seria onerado com os custos de manter uma margem energética a título de "demanda".

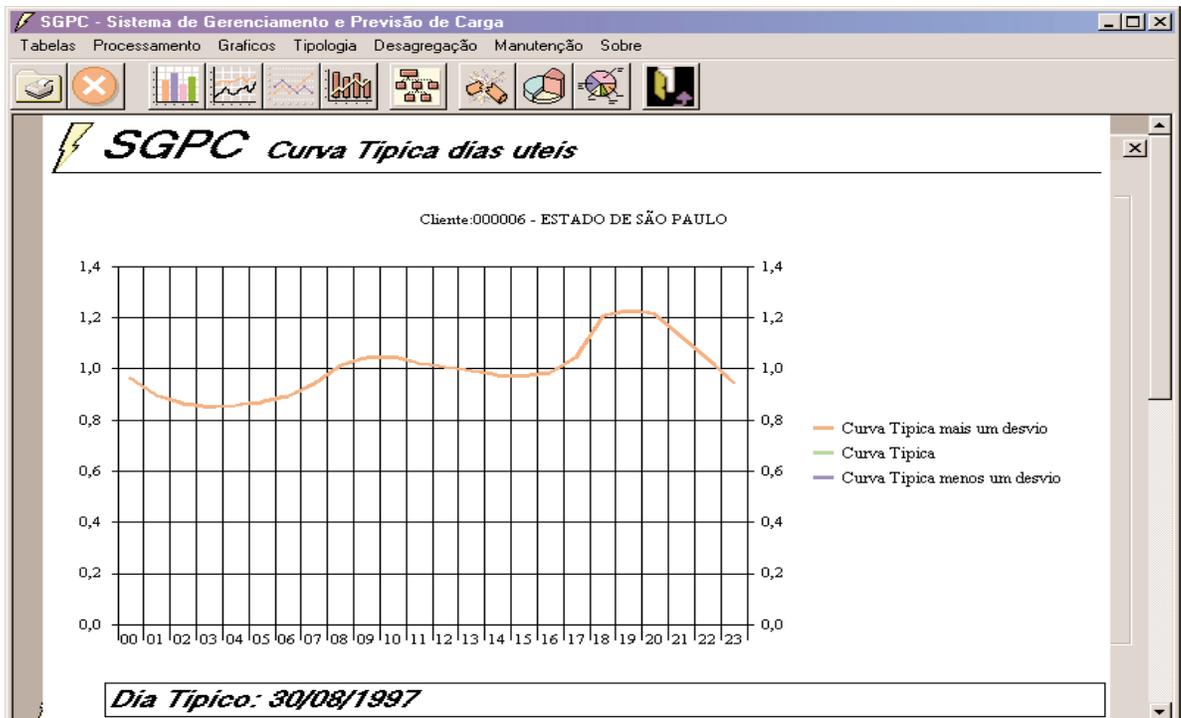
A estimação qualificada da PONTA do sistema ganha maior relevo a partir da expansão da base térmica no país, pois as usinas termelétricas apresentam maior fator de disponibilidade, relativamente às hidrelétricas, daí resultando um maior grau de inflexibilidade de potência no contexto do parque gerador instalado. Considera-se que cada nova termelétrica instalada para atendimento à expansão do mercado, operando na base do sistema, poderá corresponder a uma necessidade adicional de ponta.

Pode-se concluir do presente trabalho, que existem oportunidades comerciais interessantes dentro da recente estruturação de Setor Elétrico, sempre que não nos esquecermos que a Regulação, o Planejamento do Sistema e da Geração e o Planejamento da Operação sejam feitos de forma Integrada, de maneira a não ocorrer o que hoje se observa em alguns países, ou seja, *black-outs*, o que também pode ocorrer no Brasil em escala maior até do que a preconizada pela imprensa e órgãos reguladores.

## 6.0 - BIBLIOGRAFIA

- (1) Processamento Automático de Registro e Tratamento de Dados para o Faturamento e Curva de Carga. 7º Congresso Brasileiro de Automática - ITA São José dos Campos - 1988. Cecília Helena N. de Magalhães e Luis D'agostini Neto.
- (2) Metodologia de Previsão de Demanda Através de Análise de Mercado e Curvas de Carga. 5º Congresso Latinoamericano y del Caribe sobre Tarificación. Caracas Venezuela -1988 José Luiz Atmann e Carlos J. Barreiro.
- (3) Um Modelo para Análise e Previsão de Carga Horária. VII Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica. Brasília - 1983. José Luiz Atmann.
- (4) Relatório de Caracterização do Mercado de Energia Elétrica. Curvas de Carga e Sazonalidade. Grupo de Trabalho de Curva de Carga. CTEM. GCPS. Diversos Relatórios.

**Gráfico 1 - Estado de São Paulo**



Obs. Os gráficos resultaram sobrepostos, face à proximidade das curvas pelo reduzido desvio padrão.

Gráfico 2 - Estado de São Paulo

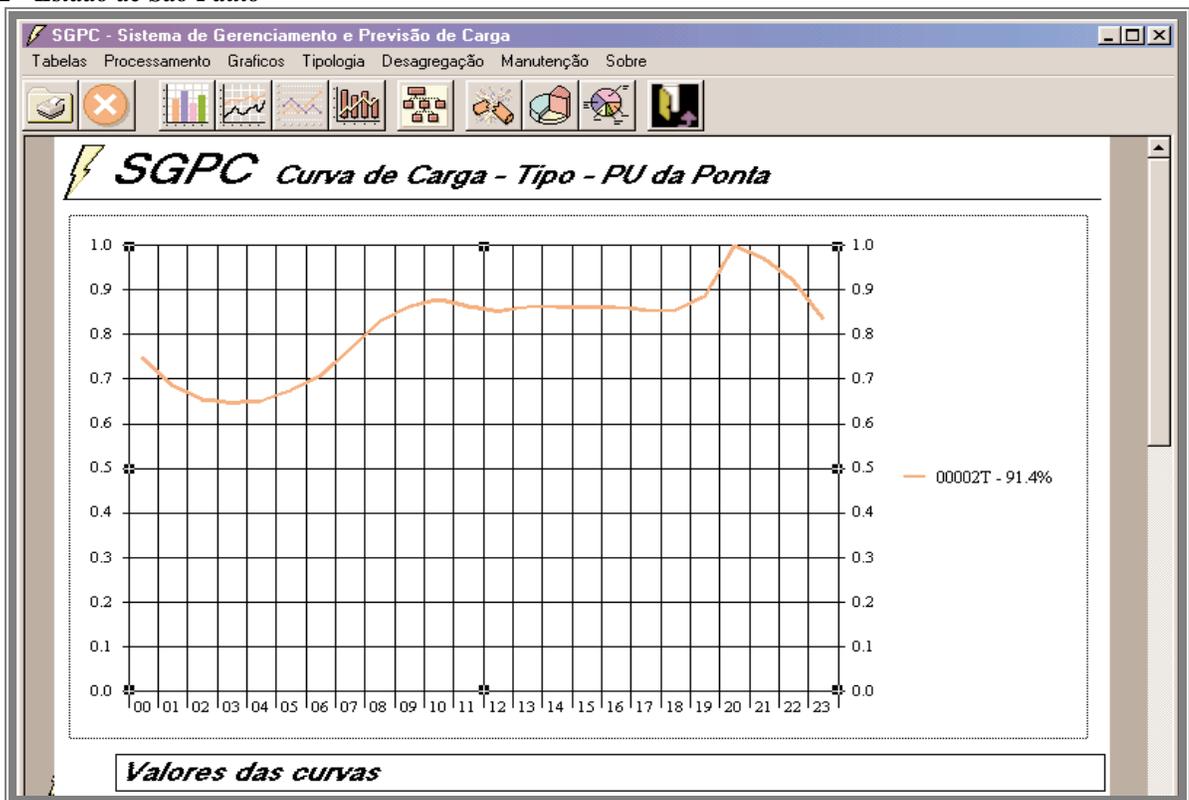


Gráfico 3 - CESP

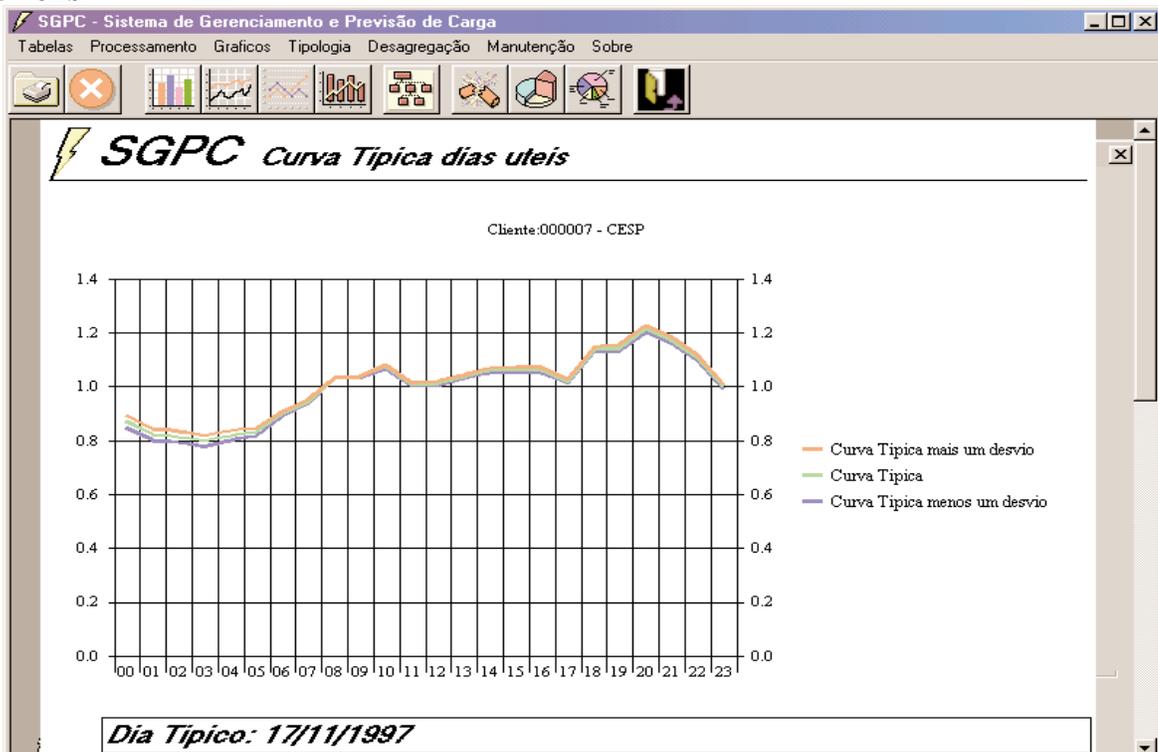


Gráfico 4 - CESP

**Dia Típico: 17/11/1997**

**Valores das curvas**

Hora	Mais Um Desvio	Típica em P.U. da Média	Menos Um Desvio	
00:00	893352.0000	870007.0000	846662.0000	Energia Total = 46207.9000
01:00	843655.0000	822745.0000	801835.0000	Demanda Média = 2009.0391
02:00	833483.0000	813397.0000	793311.0000	Demanda Maxima = 2765.4000
03:00	818314.0000	798096.0000	777878.0000	D.P. Curva Típica = 5413808059.9432
04:00	836693.0000	818533.0000	800372.0000	Coef. Var. D.Med. = 2694725.0444
05:00	847682.0000	83288.0000	818079.0000	Coef. Var. D.Max. = 1957694.3878
06:00	907492.0000	90001.0000	892527.0000	Hora da D. Max = 20:00
07:00	951982.0000	946845.0000	941708.0000	F.Carga C.Típica = 0.7265
08:00	103318.0000	103303.0000	103287.0000	
09:00	103897.0000	103603.0000	103309.0000	
10:00	108065.0000	107355.0000	106644.0000	
11:00	10152.0000	100855.0000	100191.0000	
12:00	102195.0000	101352.0000	100508.0000	
13:00	104437.0000	103822.0000	103207.0000	
14:00	106963.0000	106067.0000	105171.0000	
15:00	107127.0000	106225.0000	105323.0000	
16:00	107305.0000	10633.0000	105354.0000	
17:00	10306.0000	102166.0000	101273.0000	
18:00	114767.0000	113894.0000	11302.0000	
19:00	115658.0000	114592.0000	113526.0000	
20:00	122792.0000	121456.0000	120119.0000	
21:00	118534.0000	117376.0000	116217.0000	
22:00	111643.0000	110774.0000	109904.0000	
23:00	101479.0000	10058.0000	996806.0000	