

Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP
Departamento de Engenharia de Energia e
Automação Elétricas

ISSN 1413-2214
BT/PEA/0401

Previsão Espacial de Carga em
Sistemas de Distribuição
Utilizando Técnicas de Inteligência
Artificial e Plataforma GIS

Franz Henry Pereyra Zamora
Carlos Marcio Vieira Tahan

São Paulo – 2004

1402309

O presente trabalho é um resumo da tese de doutorado apresentada por Franz Henry Pereyra Zamora, sob orientação do Prof. Dr. Carlos Márcio Vieira Tahan: "Previsão Espacial de Carga em Sistemas de Distribuição Utilizando Técnicas de Inteligência Artificial e Plataforma GIS", defendida em 25/08/2003, na EPUSP.

A íntegra da tese encontra-se à disposição com o autor e na biblioteca de Engenharia de Eletricidade da Escola Politécnica da USP.

FICHA CATALOGRÁFICA

Pereyra Zamora, Franz Henry

Previsão espacial de carga em sistemas de distribuição utilizando técnicas de inteligência artificial e plataformas GIS / Franz Henry Pereyra Zamora, Carlos Márcio Vieira Tahan. -- São Paulo : EPUSP, 2004.

21 p. -- (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas ; BT/PEA/0401)

1. Distribuição de energia elétrica 2. Inteligência artificial 3. Sistema de informação geográfica I. Tahan, Carlos Márcio Vieira II. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas III. Título IV. Série
ISSN 1413-2214

CDD 621.319
006.3
526.64

PREVISÃO ESPACIAL DE CARGA EM SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO UTILIZANDO TÉCNICAS DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E PLATAFORMA GIS

Franz Henry Pereyra Zamora
Prof. Dr. Carlos Márcio Vieira Tahan

RESUMO

O presente trabalho propõe uma metodologia de Previsão Espacial de Mercado voltada ao planejamento de Distribuição de Energia Elétrica. Foi concebido um Sistema Automatizado de Previsão Espacial de Carga Elétrica de Médio e Longo Prazos que prevê a consideração dos seguintes aspectos: agregação de curvas de carga de consumidores, quadriculas (small areas), uso de solo conforme planejamento urbano e integração de bases de dados de companhias de distribuição de energia elétrica. O aprimoramento metodológico foi obtido com o apoio de técnicas de inteligência artificial, com destaque para as Redes Neurais Artificiais (RNA) e para a Lógica Fuzzy. Para a classificação de cargas elétricas nas quadriculas foi utilizada uma Rede Neural Auto-Associativa de Kohonen conseguindo-se, desta forma, a automação do processo de classificação das cargas elétricas em cada quadricula definida para o ano base. Posteriormente, também via Rede Neural de Kohonen, foram obtidos os padrões das quadriculas para, em seguida, prever e alocar carga futura na área geográfica. O crescimento do mercado global foi determinado via Rede Neural Back Propagation. O processo de alocação de carga futura está sujeito a esse crescimento do mercado global, considerando diferentes cenários e a evolução da carga por quadriculas, bem como os atributos e a própria evolução do uso do solo.

A metodologia desenvolvida sistematiza todo o processo de previsão e segue um conjunto de etapas com suas respectivas atividades, tais como: obtenção de dados da rede elétrica, agregação de consumos e demanda, mapeamento do sistema para o ano base, reconhecimento de padrões das quadriculas, criação do histórico das quadriculas, previsão do mercado global considerando séries históricas, previsão do mercado global considerando fatores exógenos (como população e PIB), cenários de crescimento, alocação de carga no espaço geográfico e, finalmente, a obtenção dos mapas de previsão de carga futura.

A metodologia desenvolvida foi implementada num sistema protótipo onde interagem um banco de dados relacional e um sistema de informação geográfica.

1 INTRODUÇÃO

O planejamento dos sistemas de distribuição de energia elétrica é o processo de estudo e análise através do qual, uma concessionária de energia garante que sua rede será confiável e economicamente viável, considerando suas futuras obrigações de entrega de energia.

O planejamento é importante para a saúde técnica e econômica da concessionária, desde que esta pretenda minimizar o custo de entrega do produto para seus consumidores e prestar um bom serviço. Um planejador de sistemas de distribuição prevê requisitos

de capacidade de baixa ociosidade, serviço mais confiável e, portanto, somente a melhoria do processo de planejamento contribuirá para atingir estes objetivos. Modernos métodos de planejamento da distribuição também aperfeiçoam o uso de recursos e necessitam de melhores projeções de mercado futuro que em síntese ajudam a satisfazer requisitos da concessão [1].

Um aspecto fundamental no planejamento de sistemas de distribuição de energia elétrica é a análise do crescimento de mercado e a previsão espacial da carga elétrica, ou seja, a sua magnitude e localização são informações básicas necessárias para analisar o atendimento de demanda de energia no futuro.

A previsão de carga elétrica consiste em determinar os requisitos de demanda futura, o que envolve sua magnitude, perfil de curva de carga, alterações de hábitos de consumo e características de carga a ser atendida que eventualmente pode ter níveis de continuidade diferenciados. A previsão de carga, juntamente com os problemas levantados através de um diagnóstico no sistema de distribuição, permite dimensionar a expansão do sistema elétrico de forma adequada.

Os sistemas baseados em GIS, se caracterizam por suas qualidades geo-espaciais, oferecendo uma organização interna adequada para a execução de funções e exibição de resultados sobre bases de dados atreladas a pontos definidos sobre uma topologia. Estes sistemas são responsáveis, por processos analíticos associados às relações topográficas de vizinhança, continência, percurso, proximidade, pela automação cartográfica e manejo de facilidades (AM/FM - Automated Mapping/Facilities Management), e também pela capacidade de exibição gráfica compatível com os elementos manipulados.

Trabalhos prévios na área de previsão espacial de carga têm trazido relevantes contribuições [2] - [5], onde simulações baseadas no uso do solo prevêem resultados satisfatórios.

2 OBJETIVOS

O presente trabalho apresenta o estudo e a implementação de um Sistema Automatizado de Previsão de Carga para aplicação no Planejamento de Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica, propondo metodologias e procedimentos para este fim.

O sistema protótipo desenvolvido considera os aspectos listados a seguir e foi aplicado em redes de distribuição do Município de São Paulo:

- Metodologias de Alocação Espacial do Mercado atual e futuro.
- Planejamento de Mercado Global de Energia Elétrica.
- Integração de Bases de Dados de Companhias de Distribuição de Energia Elétrica.

Um dos aprimoramentos metodológicos buscado é o da integração do planejamento da expansão da oferta da energia elétrica com o planejamento urbano de uma cidade ou região, o que refletirá em se obter previsões mais realistas e aderentes ao crescimento das regiões que terão seus sistemas de distribuição planejados.

Para atingir os objetivos, fez-se uso abrangente de técnicas de inteligência artificial, notadamente as Redes Neurais Artificiais (RNA) e Lógica Fuzzy.

Deste modo, este trabalho propõe uma metodologia visando sistematizar a previsão de carga, sendo considerados o planejamento urbano e o uso de solo, através de técnicas modernas, versáteis e eficientes.

3 METODOLOGIA DE PREVISÃO DE CARGA CONSIDERANDO O USO DO SOLO

Os métodos de previsão espacial de carga elétrica utilizam a técnica das quadriculas onde o território de interesse para o planejador é dividido num conjunto de quadriculas de forma e tamanho apropriados. A previsão de todas as áreas individuais proverá a informação requerida, ou seja, onde a carga futura estará localizada [6].

Técnicas convencionais de modelos de carga utilizam a função estatística kVA/ha de terreno ou kVA/m² de construção, baseados na potência nominal dos transformadores que estão situados na quadricula destinada. Uma nova abordagem proposta neste trabalho prevê a obtenção de um valor de potência ativa e de energia por unidade de área de uso do solo (quadricula), baseado na obtenção de valores de curvas de carga agregada nos transformadores de distribuição da companhia ou de consumidores primários alocados em cada quadricula em estudo. Isto também permitirá a obtenção de fatores de demanda de cada transformador. Note-se que a metodologia utiliza a entidade estação transformadora como a unidade base de demanda, a partir da qual, define-se a carga de cada quadricula [7].

3.1 METODOLOGIA GERAL PROPOSTA PARA PREVISÃO ESPACIAL DE CARGA

A Figura 3.1 ilustra as 4 etapas presentes no desenvolvimento completo da metodologia proposta. Estas etapas, cada uma com suas respectivas

atividades, precisam de metodologias e técnicas para solucionar o problema de previsão espacial, de forma completamente integrada [7] - [10].

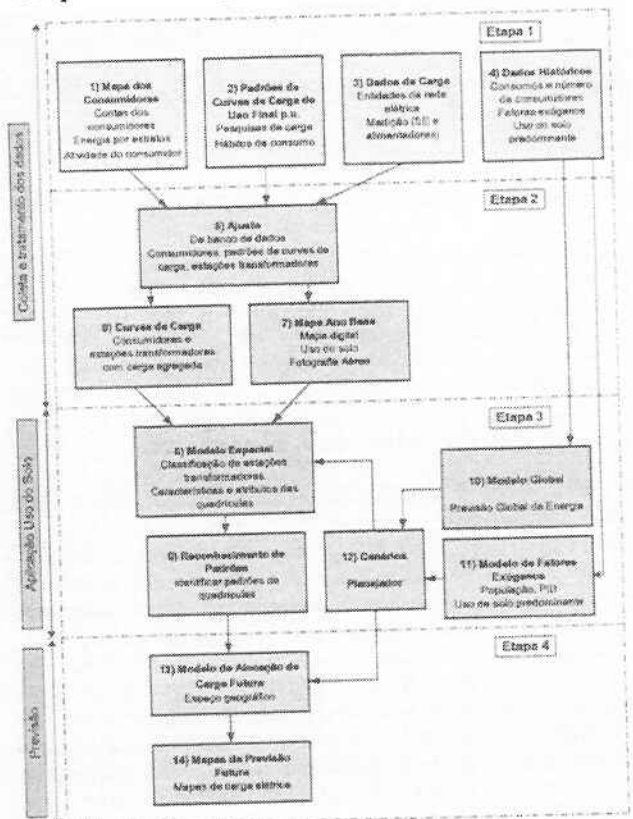


Figura 3.1 - Etapas da Previsão Espacial de Carga

Para se atingir os objetivos propostos de se efetuar a previsão espacial de carga com apoio de GIS, é necessário o desenvolvimento de atividades que são agrupadas em 4 etapas descritas, brevemente, a seguir:

Etapa 1. Compreende atividades relacionadas com a coleta de informação incluindo: 1) Dados de consumidores, 2) Padrões de curvas de carga de uso final, 3) Dados de carga da rede elétrica; e 4) Dados históricos de consumos por classe e número de consumidores, fatores exógenos e uso de solo predominante.

Nesta etapa está prevista a obtenção das informações necessárias que serão utilizadas após de um ajuste dos respectivos dados. São obtidos dados de consumo de energia dos consumidores, curvas de carga de uso final, entidades da rede elétrica georreferenciadas (estações transformadoras, pontos de entrega, transformadores das subestações). Podem ser também considerados, desde que disponíveis, medições de alimentadores realizadas nas respectivas subestações.

Medições realizadas num projeto desenvolvido anteriormente pela concessionária em parceria com a Universidade de São Paulo, resultaram no estabelecimento de curvas de carga representativas de consumidores na forma estatística e em p.u. da

potência média, todas estas validadas pelo método de agregação e comparação com medições. Com estas curvas de carga padrão, se realiza a agregação nos respectivos transformadores da rede.

A obtenção de dados relacionados a fatores exógenos como, séries históricas de PIB, dados de população, mapas digitalizados da área de concessão, fotografias aéreas, são obtidos de instituições privadas ou públicas que organizam e detalham a informação relacionada com o Município em estudo.

Os dados relacionados à potência nominal dos transformadores, em kVA, foram obtidos mediante um extrator de dados do banco de dados da rede elétrica.

Os dados de medições de carga em alimentadores e subestações têm o propósito de consolidar por comparação os valores de carga obtidos (demanda e energia) para o ano base.

Etapa 2. Esta etapa está relacionada à pré-carga de dados no banco de dados da previsão espacial: 5) Ajuste dos dados, 6) Dados das curvas de carga incluindo agregação dos diversos consumidores 7) Mapa do no base.

A finalidade é preparar a base de dados de partida obtida na Etapa 1 e estabelecer novos relacionamentos entre as curvas de carga e as entidades da rede elétrica.

A implementação da metodologia e do próprio protótipo utiliza um mapa digital da área de concessão da concessionária que corresponde ao Município de São Paulo com os seus respectivos Distritos.

A obtenção das curvas de carga para todos os consumidores e transformadores da rede, baseada nos padrões de curva de carga é realizada nesta etapa.

Etapa 3. Objetiva a obtenção de um modelo espacial e a alocação e classificação das estações transformadoras em quadriculas. Aqui são realizadas basicamente as seguintes atividades: 8) Modelo espacial; 9) Reconhecimento de padrões; 10) Modelo global; 11) Modelo de fatores exógenos e 12) Cenários - Planejador. Esta etapa constitui-se no núcleo da presente metodologia.

As quadriculas utilizadas correspondem a uma grade uniforme de 500 x 500 m.

Estima-se que diversas quadriculas terão características similares e poderá se fazer um reconhecimento de padrões para encontrar as quadriculas representativas que sirvam para a previsão da carga futura no espaço geográfico. A identificação das quadriculas típicas (padrão) é realizada com uma rede neural de Kohonen e é utilizado também, um método estatístico de agrupamento, com a finalidade de comparar os resultados obtidos com ambas as técnicas.

O processo de projeção para obtenção do Modelo Global de longo prazo é realizado via rede neural artificial Perceptron Multicamada, utilizando dados de séries temporais de consumo e número de consumidores por classe residencial, comercial, industrial e outros consumos.

A aplicação de cenários no processo de previsão, que envolve fatores exógenos como PIB, é realizada também com uma rede neural multicamada. Uma outra possibilidade de previsão envolve o uso de dados demográficos, destinado a comparar a evolução das previsões de consumo obtidas com o histórico de consumos. O modelo demográfico está representado por um modelo dinâmico de crescimento da população.

Séries temporais de áreas e informações das áreas construídas nos Distritos permitem obter os respectivos coeficiente de aproveitamento que são utilizados para auxiliar e limitar a previsão de carga.

Etapa 4. Nesta etapa serão desenvolvidas as seguintes atividades: 13) Modelo de alocação de carga futura e 14) Mapas de previsão futura.

Devido às incertezas que envolvem o processo de planejamento, é importante a validação do cenário para a tomada de decisões por parte do planejador, para posteriormente proceder a previsão futura. A atividade 12) está orientada à interação do planejador, propondo e validando cenários, com a informação gerada nas atividades 8), 9), 10) e 11).

O modelo de alocação de carga futura para o crescimento vertical e horizontal de carga está baseado na verificação e consulta de quadriculas vizinhas com carga. É um processo iterativo onde quadriculas georreferenciadas com informação de uso do solo interagem com a informação proveniente do modelo global e com indicadores de uso de solo predominante, tais como históricos de evolução da área construída e coeficientes de aproveitamento, visando ter uma referência de controle de crescimento.

Os mapas de previsão futura fornecem o resultado final e consolidado para os anos previstos no período de previsão. Estes mapas são visualizados mediante camadas implementadas no sistema de informação geográfica, apresentando a densidade de carga para as respectivas quadriculas da área de concessão.

Entre outros aspectos que fazem parte da metodologia, encontra-se o histórico das quadriculas, resultado do armazenamento da informação de cada quadricula a cada mês e ano.

3.2 PLANEJAMENTO URBANO SÃO PAULO

O Plano Diretor na escala das metrópoles urbanas se desmembra em diversas especializações: plano habitacional; plano de transportes; educação, saúde e lazer; redes de infra-estrutura urbana; preservacionismo e ambientalismo; segurança pública; desenvolvimento econômico, desenvolvimento regional, revitalização e desenho urbano; desenvolvimento comunitário e gestão urbana.

Desta maneira, o plano diretor de desenvolvimento urbano estabelece regras e controles quanto ao desenvolvimento homogêneo de parcelas de cidade.

3.2.1 ZONEAMENTO

Com a elaboração do Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado - PDDI- Lei nº 7.688/71, foi proposta em 1972 uma legislação com zonas numeradas e perímetros delimitados, abrangendo todo o Município, com o objetivo de estabelecer o equilíbrio entre as diferentes funções urbanas: habitação, trabalho, lazer e circulação, de forma harmoniosa [SEMPLA].

Assim, a primeira lei de zoneamento dispõe sobre o parcelamento, **uso e ocupação do solo** do Município de São Paulo foi a Lei nº 7.805, de 01 novembro de 1972. São oito tipos de zonas de uso criados por essa Lei: Z1, Z2, Z3, Z4, Z5, Z6, Z7 e Z8. Posteriormente, Leis complementares foram promulgadas incorporando novas disposições para definir e aperfeiçoar novas zonas de uso do solo [SEMPLA].

3.2.2 EVOLUÇÃO DO USO DO SOLO

A Evolução do Uso do Solo no Município de São Paulo é o resultado de um monitoramento permanente do uso do solo, que a Secretaria do Planejamento vem realizando nas últimas décadas, através da análise dos dados do cadastro imobiliário fiscal do Município e base do IPTU; especialmente organizados e tratados, permitindo sua utilização para fins de planejamento urbano. A base de cadastro dos dados de imóveis é do Departamento de Rendas Imobiliárias - RI da Secretária de Finanças -SF, comumente chamado de TCPL - Cadastro Territorial e Predial, de Conservação e Limpeza, organizados de modo a poderem ser utilizados para fins de planejamento e não apenas fiscais. O mapa de uso de solo predominante é uma representação dos dados de área construída do TPCL que considera a planta digital de quadras fiscais. O cadastro fiscal é bastante complexo, e para análises urbanísticas seus dados podem ser sintetizados em 16 grupos [11].

Os 16 grupos citados são os seguintes:

- 01. Uso residencial horizontal baixo padrão;
- 02. Uso residencial horizontal médio padrão;

- 03. Uso residencial horizontal alto padrão;
- 04. Uso residencial vertical médio padrão;
- 05. Uso residencial vertical alto padrão;
- 06. Uso comercial e serviços horizontal;
- 07. Uso comercial e serviços vertical;
- 08. Uso industrial;
- 09. Uso armazéns e depósitos;
- 10. Uso especial (hotéis, hospitais, cartórios);
- 11. Uso escola;
- 12. Uso coletivo (cinema, teatro, clube, templo);
- 13. Uso terreno vago;
- 14. Uso residencial vertical baixo padrão;
- 15. Uso garagens não residenciais;
- 99. Outros usos.

3.2.3 PERFIL SÓCIO ECONÔMICO DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

O mapa Condição Sócio-econômica por Distrito Municipal, traduz a distribuição espacial no Município dos diferentes padrões sócio-econômicos, medidos a partir de um conjunto significativo de cinco variáveis escolhidas, tais como: duas relativas à renda da população, uma relativa à escolaridade, uma relativa ao nível de mortalidade infantil e uma relativa ao consumo domiciliar de energia elétrica. O conjunto dessas variáveis trabalhadas estatisticamente mediante o método de análise de conglomerados, permitiu a identificação de cinco grupos de distritos. Com o resultado obtido foi possível verificar a distribuição espacial dos distritos de acordo com seu perfil sócio-econômico, através da elaboração de um mapa temático síntese, segundo os seguintes critérios [12], [13], [SEMPLA]:

Grupo I -	Fator menor que - 1,00
Grupo II -	Fator entre - 1,00 e - 0,51
Grupo III -	Fator entre - 0,50 e - 0,01
Grupo IV -	Fator entre 0,00 e 0,99
Grupo V -	Fator igual ou superior a 1,00

3.2.4 O COEFICIENTE DE APROVEITAMENTO - CA

O coeficiente de aproveitamento é definido como a razão entre a área construída e a área de terreno ocupada. Pode-se notar que ele vem crescendo lentamente, seja o CA bruto, que se refere à área de quadras, incluindo os terrenos vagos, seja o CA líquido, referente apenas aos lotes ocupados. O coeficiente de aproveitamento é o indicador que mostra melhor a ocupação intensiva do território do Município, sendo este um parâmetro de medida da densidade construída de uma área [11].

Quando analisados os mapas das densidades construídas com o zoneamento da cidade, observa-se que a verticalização se dá principalmente nas zonas de uso que permitem maior coeficiente de aproveitamento, possibilitando a incorporação de edifícios verticais.

3.3 SOFTWARE PROTÓTIPO DE PREVISÃO ESPACIAL

O desenvolvimento do software para a previsão espacial de carga elétrica compreende a implementação de um extrator de dados do programa de gerenciamento de rede da concessionária; a implementação de um banco de dados de previsão espacial que permite relacionar uma série de entidades, consideradas as mais importantes para este processo; a implementação de um ambiente de interface gráfica para criar funções e sub programas destinados a realizar e analisar os diferentes processos; e a implementação do ambiente gráfico num sistema de informação geográfica.

Na fase de desenvolvimento de um sistema três são os tipos de modelos de dados a se considerar: o *modelo conceitual de dados*, o *modelo lógico de dados* e o *modelo físico de dados* [14].

4 MÉTODOS DE CLASSIFICAÇÃO E AGRUPAMENTO APLICADOS NA ANÁLISE DAS QUADRÍCULAS

O modelo espacial e o reconhecimento de padrões de quadrículas são atividades que correspondem à Etapa 3 do processo de Previsão Espacial. No modelo espacial é necessário realizar a alocação (classificação) das instalações transformadoras no espaço geográfico definido pelas quadrículas. O processo de reconhecimento de padrões prevê a utilização de técnicas de análise de agrupamentos para obter padrões característicos em relação às quadrículas que ocupam o espaço geográfico em estudo.

A solução destes problemas pode ser concretizada utilizando técnicas estatísticas e de inteligência artificial. Para dar continuidade à Etapa 3 precisa-se do subsídio de elementos definidos nas Etapas 1 e 2 (coleta e tratamento dos dados), onde acontece o processo de agregação de curvas de carga, calculadas considerando os consumidores e entidades da rede, tais como, estações transformadoras, circuitos e estações transformadoras de distribuição.

4.1 AGREGAÇÃO DE CURVAS DE CARGA

A agregação de curvas de carga constituiu-se em um procedimento importante neste trabalho e tem a sua aplicação na Etapa 2.

Quando se deseja conhecer a curva de carga numa região ou ponto do sistema como, por exemplo, na saída de um transformador de distribuição, esta curva pode ser obtida através de medição. Uma alternativa é obter a curva de carga por cálculo de agregação de curvas de carga típicas. Neste caso é necessário conhecer as características (atividade, kWh/mês) dos consumidores antes de se aplicar a metodologia

denominada “agregação de curvas ou de consumidores” [15] - [19].

Esta metodologia está baseada na formulação da soma de funções com distribuições similares à normal, onde são conhecidos os valores das médias e dos desvios padrão individuais.

Para obter a agregação das curvas dos consumidores deve-se realizar os seguintes passos [18],[19]:

- Cada consumidor tem sua potência de base P_i calculada através da sua energia mensal E_i pela expressão (4.1):

$$P_i = \frac{E_i}{24 * 30} \quad (4.1)$$

- Para cada consumidor são selecionadas as curvas em p.u. representativas do mesmo: *curva média*, $m_i(t)$; *curva desvio padrão*, $s_i(t)$, definidos por campanha de medição;

- Multiplicam-se as curvas em p.u. [$m_i(t)$ e $s_i(t)$] pelo valor da potência de base (P_i), obtendo-se a curva em potência do consumidor i . Eq. (4.2), (4.3).

$$M_i(t) = P_i * m_i(t) \quad (4.2)$$

$$S_i(t) = P_i * s_i(t) \quad (4.3)$$

- Repetem-se os passos anteriores para todos os consumidores;

- Agregam-se os n consumidores, obtendo-se as curvas calculadas representativas do conjunto, através das equações (4.4) e (4.5):

$$M_{agreg}(t) = \sum_{i=1}^n M_i(t) \quad (4.4)$$

$$S_{agreg}^2(t) = \sum_{i=1}^n S_i^2(t) \quad (4.5)$$

A agregação de curvas de carga permite obter, por consequência, valores de demanda máxima associada e o fator de carga.

4.2 REDE NEURAL AUTO-ASSOCIATIVA DE KOHONEN

A rede neural auto-associativa de Kohonen (Self-Organizing Map - SOM) [20] distingue uma *etapa de treinamento* e outra *etapa de funcionamento*. O treinamento no modelo Kohonen é do tipo off-line. Na etapa de treinamento se fixam os valores dos pesos das conexões (feedforward) entre a camada de entrada e a camada de saída da própria rede neural [21] - [23], [24]. A Figura.4.1 ilustra a arquitetura bidimensional de uma rede SOM típica.

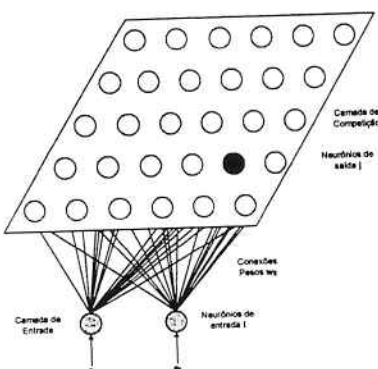


Figura. 4.1 – Arquitetura da Rede Neural Auto-Associativa de Kohonen

Esta rede utiliza um treinamento não supervisionado do tipo competitivo. Os neurônios da camada de saída competem para ativar-se e só um deles permanece ativo ante uma determinada informação de entrada à rede. Os pesos das conexões ajustam-se em função do neurônio vencedor.

Durante a etapa de treinamento, se apresenta à rede um conjunto de informações de entrada (vetores de treinamento) para estabelecer, segundo a semelhança dos dados, as diferentes classes (uma classe por neurônio de saída) que durante a fase de funcionamento servirão para realizar a classificação dos novos dados que se apresentem à rede.

Neste modelo, todos os padrões de entrada devem ser apresentados várias vezes com o objetivo de refinar o mapa topológico de saída porque quando os padrões de entrada são apresentados uma única vez o treinamento não é concluído. Quanto maior é o número de vezes que se apresentam os dados de entrada, menor é a quantidade de neurônios que se ativam com entradas parecidas, conseguindo-se que a rede realize uma classificação mais seletiva.

O cálculo das distâncias ou diferenças entre o vetor de entrada e o vetor de pesos das conexões (entre cada um dos neurônios de entrada e o neurônio de saída) é realizado considerando, um por um, todos os neurônios da camada de saída.

A rede de Kohonen funciona basicamente da seguinte forma: quando um padrão de entrada é apresentado, a rede procura a unidade mais parecida com ele. Desta forma, a rede forma um mapa topológico, onde nós que estão topologicamente próximos respondem de forma semelhante a padrões de entrada semelhantes.

4.3 CLASSIFICAÇÃO DAS INSTALAÇÕES TRANSFORMADORAS NO ESPAÇO GEOGRÁFICO

Classificação é a tarefa de atribuir cada objeto a uma classe específica (um de muitos grupos predeterminados) [24].

Um atributo chave a ser considerado para cada transformador da rede é a sua coordenada geográfica UTM (Universal Transverse Mercator) ao qual está associado, para a sua localização no espaço. Todos os transformadores da rede elétrica devem ser classificados (alocados no espaço geográfico) e para isto se pretende associar cada um deles a uma quadricula. Cada quadricula poderá conter um ou mais transformadores ou nenhum.

A rede neural auto-associativa de Kohonen (Figura 4.1) foi utilizada no processo de classificação dos transformadores da rede elétrica no espaço geográfico. A rede neural SOM é utilizada como um classificador no processo de atribuir cargas elétricas representadas por estações transformadoras às quadriculas. Este processo de classificação acontece durante a *etapa de funcionamento* da rede neural e é realizado baseado nas coordenadas geográficas às quais estão associadas os transformadores no espaço geográfico.

Assim, cada nó de saída da camada bidimensional da rede neural Kohonen pode representar uma classe. Um padrão de entrada definido pelas coordenadas geográficas do transformador é determinado para pertencer à classe j se o nó de saída j_{th} apresentar um valor mais alto que todos os outros nós de saída. Forma-se assim um mapa de padrões de entrada para classes diferentes.

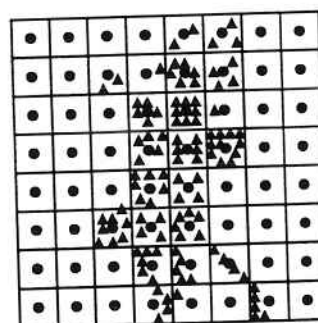


Figura 4.2. – Uso do Solo mostrando cada Quadricula associada a um Neurônio.

Para realizar o processo de classificação das estações transformadoras da rede elétrica, não é considerada a etapa de treinamento, conseqüentemente, cada quadricula está representada por um neurônio (Figura 4.2) com pesos fixos gerados mediante um algoritmo específico. Cada neurônio deve atrair padrões de entrada semelhantes criando zonas de vizinhança para cada um deles, ou seja, para cada quadricula. Isto acontece devido às características simétricas de divisão de uso de solo em quadriculas de igual extensão.

No processo de classificação, Zona $j^*(t)$ é a zona de vizinhança ou quadricula ao redor do neurônio vencedor j^* onde se encontram as estações transformadoras classificadas para cada quadricula.

Após a obtenção do modelo espacial do ano base, cada quadricula tem a informação necessária com suas características e atributos em função dos transformadores alocados. A partir daí procede-se à determinação de uma série de padrões de quadriculas. Para isto se realiza um processo de reconhecimento de padrões.

4.4 METODOLOGIA PARA A ANÁLISE DE AGRUPAMENTOS

A existência de uma definição formal de agrupamentos poderia facilitar bastante a criação de algoritmos para encontrá-los. Entretanto, essa definição envolve uma série de conceitos particulares que nem sempre são aceitos universalmente. Porém, todos baseiam-se em duas idéias básicas: coesão interna dos objetos e isolamento externo entre os grupos. Cada pesquisador pode ter uma maneira diferente para medir as duas idéias acima, daí a existência do grande número de algoritmos para formar agrupamentos. Embora se considere o conceito de semelhança entre objetos, a formulação deve considerar os grupos. As distintas definições darão origem aos diferentes algoritmos [25] - [27].

4.5 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA DE AGRUPAMENTO

O objetivo da Análise de Agrupamentos é obter grupos (clusters) de objetos (quadriculas) de forma que, por um lado, os objetos que pertencem a um mesmo grupo sejam muito semelhantes entre eles, ou seja, que o grupo esteja reciprocamente ligado internamente e, pelo outro, os objetos que pertencem a grupos diferentes tenham um comportamento distinto com respeito às variáveis analisadas, ou seja, que cada grupo esteja isolado externamente dos demais grupos [25], [26].

A análise de agrupamentos é uma técnica eminentemente de exploração já que às vezes, não utiliza nenhum tipo de modelagem estatística para realizar o processo de classificação. Poderia-se qualificá-la como uma técnica de aprendizagem não-supervisionada, ou seja, uma técnica muito adequada para extrair informação de um conjunto de dados sem impor restrições prévias em forma de modelos estatísticos, ao menos de forma explícita.

A obtenção de padrões para as quadriculas do uso do solo considera objetos (quadriculas) e variáveis características para a análise, a saber: tipo de uso do solo, número de consumidores por classe (residencial, comercial, industrial, rural e outros), consumos por classe (residencial, comercial, industrial, rural e outros) e demanda. Estes dados formam uma matriz de objetos e variáveis.

Em problemas de classificação, a identificação de classes é anteriormente conhecida, como são os membros de algumas amostras nestas classes.

Em problemas de agrupamento é preciso classificar os objetos que são semelhantes uns aos outros, considerando um conjunto de amostras e relações de distância que podem ser derivadas das descrições da amostra [24].

A maioria dos mecanismos para realizar agrupamentos são baseados em alguma medida de distância. Cada objeto é representado por um conjunto ordenado (vetor) de características. Objetos semelhantes são os que têm quase os mesmos valores para mesmas características. Assim, pode-se agrupar amostras para minimizar distâncias dos objetos contidos nos intra-agrupamentos e maximizar distâncias inter-agrupamentos, com restrições no número de agrupamentos que podem ser formados.

O número de agrupamentos depende do problema, mas, deveria ser tão pequeno quanto possível.

4.6 MÉTODO DE AGRUPAMENTO COM ABORDAGEM ESTATÍSTICA

Dentre os tipos de métodos que existem cabe destacar o Método de Partição, orientado à classificação de grande quantidade de dados. Os métodos de partição têm um número de grupos fixados de antemão como objetivo e agrupam os objetos (quadriculas) para obter os grupos respectivos. O algoritmo das k-médias que é um caso particular do método de partição. Deve se escolher o critério de homogeneidade dentro do grupo e heterogeneidade entre os grupos [25] - [28].

4.7 ABORDAGEM VIA REDE NEURAL KOHONEN

Alternativamente pode se utilizar uma Rede Neural Kohonen para realizar agrupamentos e esta abordagem é escolhida para implementação, visando a utilização de técnicas de inteligência artificial na previsão espacial de carga elétrica.

A Rede Neural Kohonen da Figura 4.1, constituída de duas camadas de nós (camada de entrada e camada de competição), é utilizada para verificar a potencialidade e adaptação desta técnica para resolver o problema de reconhecimento de padrões de quadriculas. A segunda camada representa o coração da rede na medida em que lá se realiza o processo de aprendizado não supervisionado [21] - [23].

Algumas redes neurais realizam agrupamento pelo seguinte método: Inicialmente, cada nó reage aleatoriamente à apresentação de amostras de entrada. Os nós com saídas mais altas para uma amostra de entrada aprendem a reagir mais fortemente a aquela amostra e a outras amostras de entrada vizinhas

daquela amostra. Deste modo, nós diferentes se especializam e respondem fortemente a agrupamentos diferentes de amostras de entrada. Este método é análogo à aproximação estatística de agrupamento “*k-nearest neighbor*” na qual cada amostra é colocada no mesmo agrupamento como a maioria de seus vizinhos imediatos [24].

A caracterização do tipo de rede através de um mapa de características, evidência a capacidade da rede de Kohonen, de organizar os atributos dos dados de entrada em grupos homogêneos.

A estrutura da rede neural de Kohonen para este caso particular, tem uma camada de entrada com uma quantidade de neurônios variável (de 2 até 7 neurônios), conforme as variáveis a serem consideradas segundo a formulação do modelo.

5 MODELO GLOBAL E CENÁRIOS

Na Previsão Espacial de Carga, a determinação do Modelo Global corresponde a outra atividade da Etapa 3 da metodologia proposta. O modelo global de previsão de longo prazo tem a finalidade de realizar a previsão futura baseada em um histórico de consumos e número de consumidores.

Uma rede neural Back-Propagation é utilizada para realizar a previsão de carga global considerando os valores das séries históricas para os diversos tipos de consumo: residencial, comercial, industrial, rural e outros.

O problema da previsão futura de carga é um problema muito difícil porque na elaboração de previsões se utiliza a opinião sobre o futuro do fenômeno, a informação histórica que mostra a evolução do mercado estudado e deve se considerar também fatores exógenos, que podem incidir ou condicionar a solução esperada. Porém, a previsão é de extrema importância e resulta ser um mecanismo de redução das incertezas na tomada de decisões e este processo deve ser aperfeiçoado e melhorado.

5.1 REDE NEURAL PERCEPTRON MULTICAMADA

As Redes Perceptron Multicamada (MLP - Multilayer Perceptron) se caracterizam por apresentarem um poder computacional muito maior do que aquele apresentado pelas redes sem camadas ocultas ou intermediárias [21] - [23]. Uma rede neural MLP é uma rede formada por uma ou mais camadas ocultas, com propagação para adiante e que está completamente interconectada entre camadas. A Figura 5.1 apresenta a arquitetura de uma rede MLP típica.

Teoricamente, as redes neurais com duas camadas intermediárias podem implementar qualquer função, seja esta linearmente separável ou não. A

implementação da função objetivo e a precisão obtida dependem do número de neurônios utilizados nas camadas ocultas [22]. Assim, utilizam-se as redes MLPs para tratar dados que não são linearmente separáveis, e, se diz que uma rede neural é uma rede de correspondência se ela é capaz de calcular alguma relação funcional entre sua entrada e a sua saída.

Uma variedade de funções de ativação têm sido propostas para serem aplicadas em redes multicamadas. Estas funções precisam ser não-lineares e diferenciáveis para que o gradiente possa ser calculado, direcionando o ajuste dos pesos. A maioria delas é também não-decrescente. A função de ativação mais utilizada é a função *sigmoidal* logística.

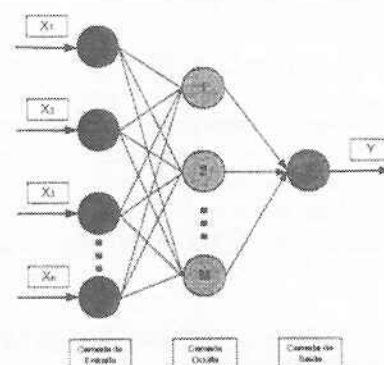


Figura 5.1 – Rede MLP típica com uma camada oculta.

Uma rede MLP aprende um conjunto predefinido de pares de entradas e de saídas, dados como exemplo, empregando um ciclo *propagação-adaptação* de duas fases. Uma vez que se aplica um vetor de dados de entrada, como estímulo para a primeira camada de unidades da rede, este vetor de dados vai se propagando através de todas as camadas superiores, até gerar um sinal de saída. O sinal de saída se compara, então, com a saída desejada e se calcula um sinal de erro para cada unidade de saída [23].

5.1.1 ABORDAGEM VIA REDE NEURAL PARA O MODELO GLOBAL

Há muitos problemas da vida real para os quais devem ser preditos eventos futuros com base na história passada. Assim, a predição depende de dois tipos de conhecimentos: *conhecimento de leis subjacentes*, um meio muito poderoso e preciso de predição, e a *descoberta de regularidades empíricas fortes* em observações de um determinado sistema [24].

Embora a predição perfeita nunca seja possível, podem ser usadas redes neurais para obter predições razoavelmente boas.

O problema de previsão é considerado como um caso especial de problemas de aproximação de função nos quais os valores de função que usam séries de tempo são representados. Uma série temporal é uma sucessão

de valores obtidos com o passar do tempo, em unidades de tempo discretas ou contínuas.

A figura 5.2 apresenta a topologia da rede neural para sua aplicação com séries de tempo.

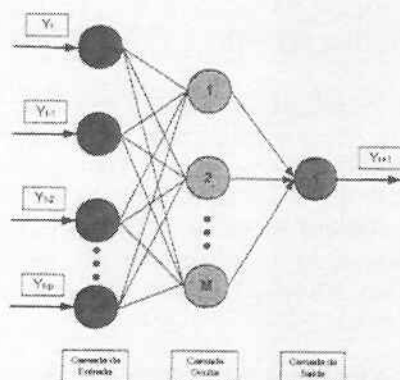


Figura 5.2 – Rede Neural Back Propagation para Treinamento da Série Temporal

Quando se utilizam redes multicamada para o tratamento de seqüências, pode-se aplicar uma idéia muito simples que consiste em que a entrada da rede neural se componha não só do valor da seqüência num determinado instante, mas também em instantes anteriores. É como alimentar a rede neural com uma janela temporal (ver a Figura 5.2).

No sistema computacional protótipo, os dados de energia contém a informação em relação a consumo para os tipos residencial, comercial, industrial, rural e outros. São dados que correspondem a valores mensais e anuais, obtidos do mapeamento mensal do sistema.

Para realizar a previsão futura tem-se implementado um módulo que interage com o programa Statistica Neural Networks [29].

5.1.2 MODELO GLOBAL - CASO EXEMPLO

A Tabela 5.1, apresenta os dados utilizados para o caso teste, em relação aos consumos residencial, comercial e industrial para o período 1949 – 1987 [30].

TABELA 5.1 - Consumo Anual em GWh (1949 - 1987)

ANO	Residencial	Comercial	Industrial	ANO	Residencial	Comercial	Industrial
1949	206	102	183	1969	1990	764	785
1950	225	117	200	1970	2177	819	847
1951	265	132	218	1971	2308	852	728
1952	283	144	230	1972	2439	907	718
1953	323	155	267	1973	2512	971	813
1954	366	186	288	1974	2551	972	908
1955	421	204	287	1975	2857	1067	1008
1956	472	232	307	1976	2811	1090	1003
1957	506	244	324	1977	2984	1194	1120
1958	570	275	340	1978	2994	1293	1101
1959	618	287	389	1979	3174	1377	1194
1960	660	327	407	1980	3126	1442	1191
1961	804	365	389	1981	3023	1416	1182
1962	965	420	464	1982	3034	1450	1120
1963	1117	492	480	1983	2860	1484	1223
1964	1206	513	560	1984	3003	1537	1246
1965	1296	520	545	1985	2975	1472	1282
1966	1452	591	595	1986	3191	1835	1365
1967	1577	620	624	1987	3204	1895	1386
1968	1786	671	658				

Fonte: Modern Power Systems Planning - X. Wang [30]

Na Tabela 5.2, pode-se observar os dados utilizados no treinamento, verificação e teste, para a simulação do consumo industrial (GWh/Ano) [29].

TABELA 5.2. Dados utilizados para Treinamento, Verificação e Teste

Ano	Y-2	Y-1	Y	PR Y	E Y	% Erro
1	163	200	218	235.7008	17.70077	0.018140
2	200	218	230	256.7036	26.70364	0.027360
3	218	230	267	269.9279	2.92790	0.003000
4	230	267	268	305.2533	37.25330	0.038170
5	267	268	287	310.9819	23.98190	0.024570
6	268	287	307	328.4968	21.49681	0.022030
7	287	307	324	349.3226	25.32262	0.025950
8	307	324	340	367.5724	27.57244	0.028250
9	324	340	369	384.5329	15.53288	0.015910
10	340	369	407	413.2966	6.29659	0.006451
11	369	407	368	452.1181	84.11808	0.086190
12	407	368	484	421.6650	-42.33505	0.043380
13	368	464	480	504.0911	24.09111	0.024680
14	464	480	550	532.3565	-17.64354	0.018077
15	480	550	545	598.3742	53.37416	0.054690
16	550	545	585	604.1173	19.11731	0.019587
17	545	585	624	639.6116	15.61157	0.016000
18	585	624	658	680.6995	22.69946	0.023260
19	624	658	785	717.0139	-67.98605	0.069660
20	658	785	847	834.0827	-12.91726	0.013235
21	785	847	728	907.0115	179.01150	0.183413
22	847	728	716	812.8374	96.83739	0.099220
23	728	716	813	784.3030	-28.69695	0.029400
24	716	813	906	867.2226	-38.77742	0.039730
25	813	906	1006	961.3007	-44.69934	0.045799
26	906	1006	1003	1058.0980	55.09808	0.056450
27	1006	1003	1120	1070.6410	-49.35924	0.050570
28	1003	1120	1101	1163.1720	62.17246	0.063700
29	1120	1101	1194	1165.3960	-28.60389	0.029310
30	1101	1194	1191	1234.0030	43.00301	0.044060
31	1194	1191	1182	1244.8370	62.83729	0.064380
32	1191	1182	1120	1237.6380	117.63770	0.120530
33	1182	1120	1223	1188.8550	-34.14523	0.034980
34	1120	1223	1246	1258.3340	12.33409	0.012640
35	1223	1246	1282	1289.6380	7.63768	0.007825
36	1246	1282	1363	1318.9780	-44.12443	0.045210
37	1282	1363	1386	1380.2090	-5.30032	0.005431

Os valores destacados correspondem ao conjunto de dados utilizados para o treinamento, em quanto os valores dos anos 3, 8, 13, 18, 23 e 28 são os dados utilizados para verificação. Os dados destacados (anos 31 – 37) são os dados que permitem validar a previsão.

As variáveis Y-2, Y-1 representam os valores de períodos passados da série histórica e as variáveis PR-Y, E-Y, e % Erro, são respectivamente os valores da previsão, do erro e do erro percentual.

A Figura 5.3 mostra, graficamente, o ajuste dos dados para o consumo industrial devido ao treinamento e verificação da rede neural (período 1949 - 1980) e a projeção realizada pela rede neural para o período 1981 - 1987.

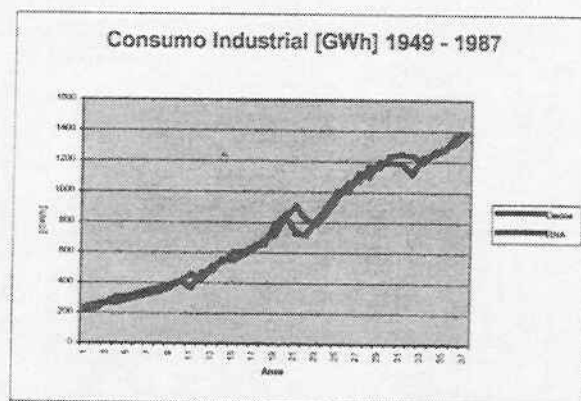


Figura 5.3 – Consumo Industrial 1949 - 1987

Os resultados numéricos das previsões e erros obtidos com a rede back-propagation, para os consumos residencial, comercial e industrial, são mostrados na Tabela 5.3.

TABELA 5.3. Previsão dos Consumos Residencial, Comercial e Industrial 1981-1997

Ano	REN	PR REN	REN erro	COM	PR COM	COM erro	IND	PR IND	IND erro
1981	3023	3170.12	0.051064	1418	1508.08	0.070290	1182	1244.84	0.064380
1982	3034	3087.75	0.019680	1450	1513.82	0.048580	1120	1237.64	0.120530
1983	2869	3076.28	0.061530	1484	1525.19	0.046710	1223	1188.88	0.034980
1984	3003	3005.04	0.000708	1537	1543.92	0.005286	1248	1258.33	0.012840
1985	2975	3038.98	0.022210	1473	1589.89	0.089080	1282	1289.64	0.007825
1986	3191	3052.50	0.048070	1635	1575.45	0.045450	1363	1318.88	0.045210
1987	3204	3167.21	0.012770	1688	1646.41	0.018480	1388	1380.70	0.005431

Durante os processos de simulação para os tipos de consumos considerados, se obtiveram as seguintes configurações da rede back-propagation, as quais oferecem uma melhor aproximação para os casos teste em relação aos neurônios da camada de entrada, da camada oculta e da camada de saída (ver Tabela 5.4).

TABELA 5.4. Configurações da Rede Back Propagation

Consumo	Número de Neurônios Camada de Entrada	Número de Neurônios Camada Oculta	Número de Neurônios Camada de Saída
Residencial	3	6	1
Comercial	2	4	1
Industrial	2	6	1

5.2 CENÁRIO – MODELO DEMOGRÁFICO

A evolução do número de consumidores residenciais numa determinada área pode ser determinada considerando-se dois aspectos: 1) o histórico do número de consumidores residenciais da área em estudo e 2) a evolução da população baseada num modelo demográfico. O modelo demográfico tem a finalidade de acompanhar a evolução do número de consumidores, obtida através do histórico e estimar a entrada de novos consumidores por região geográfica.

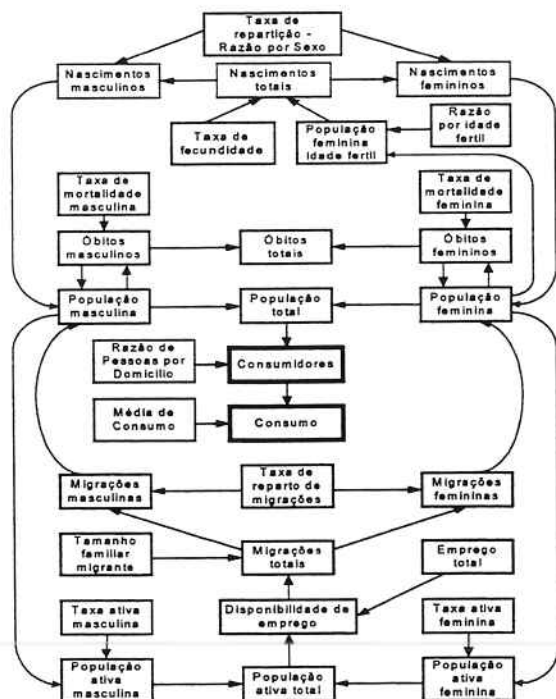


Figura 5.4 - Modelo Demográfico

A Figura 5.4 apresenta o modelo dinâmico de população, que permite modelar e estimar os novos valores de população e os respectivos indicadores demográficos para o futuro [31], [32].

5.3 CENÁRIO – INFLUÊNCIA DO FATOR EXÓGENO - PIB

Junto ao modelo demográfico, a influência de fatores exógenos, como o PIB, pode ser considerado pelo planejador com o propósito de criar cenários para a previsão futura de carga. Assim, uma abordagem com técnicas estatísticas como a regressão (simples ou múltipla segundo a quantidade de variáveis explicativas utilizadas) ou rede neural MLP permitem analisar este problema.

5.3.1 PREVISÃO CONSIDERANDO O PIB

As séries temporais dos consumos por classe para o Estado de São Paulo são apresentadas na Tabela 5.5.

Tabela 5.5 - Série Histórica - Consumo de Eletricidade - 1976 - 2000

Ano	Residencial	Comercial	Industrial	Outros	Total
1976	6031	3725	17465	3702	30923
1977	6887	3740	19183	3986	33796
1978	7535	4007	21320	4695	37557
1979	8338	4381	23332	5193	41244
1980	9030	4717	25308	5713	44768
1981	9587	4910	24550	6186	45233
1982	10174	5188	25194	6532	47088
1983	11020	5582	26322	6626	49550
1984	11291	5937	32033	7053	56314
1985	11937	6282	36464	7480	62163
1986	12862	6593	36705	7852	64012
1987	13820	6864	35583	8186	64453
1988	14493	7183	37840	8650	68166
1989	15361	7528	39387	8855	71131
1990	16537	8028	36843	8941	70349
1991	17655	8404	37099	9420	72578
1992	18003	8894	36627	9513	73037
1993	18644	9449	38592	9621	76306
1994	19510	9974	39794	9942	79220
1995	21830	11151	39630	10256	82867
1996	23685	12068	38373	10540	84666
1997	25073	13196	40831	10915	90015
1998	26262	14356	40144	11164	91926
1999	26879	15146	39308	11334	92667
2000	27541	16771	42189	11481	97982

Fonte:

Balanço Energético do Estado de São Paulo - 2001 - Ano Base: 2000

Governo do Estado de São Paulo - Secretaria de Energia

Tabela 9.2.2 Série Histórica - Consumo de Eletricidade

5.3.2 USO DA REDE NEURAL MLP

Com a mesma filosofia de treinamento, apresentada no item 5.1.1 do modelo global, é treinada uma rede neural perceptron multicamada (Figura 5.5) visando sua aplicação na incorporação de fatores exógenos na previsão de carga global [10].

A Tabela 5.6 mostra os dados utilizados para treinamento e os resultados da previsão utilizando a Rede Neural MLP para o consumo industrial considerando o PIB. A Figura 5.6 apresenta o gráfico do consumo industrial e sua previsão.

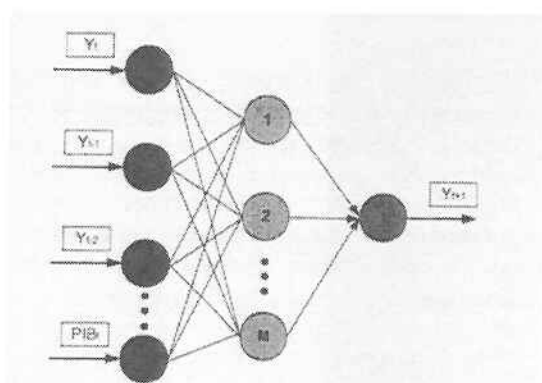


Figura 5.5 – Rede Neural Back Propagation para Treinamento considerando o PIB

TABELA 5.6 - Consumo Industrial - PIB - Dados

ANO	IT-2	IT-1	IT	PIB
1986	32033	36464	36705	188946
1987	36464	36705	35583	193257
1988	36705	35583	37840	188342
1989	35583	37840	39387	196597
1990	37840	39387	36843	186996
1991	39387	36843	37099	184231
1992	36843	37099	36627	181017
1993	37099	36627	38592	189446
1994	36627	38592	39794	199906
1995	38592	39794	39630	204207
1996	39794	39630	38373	208944
1997	39630	38373	40831	217586
1998	38373	40831	40144	218935
1999	40831	40144	39308	220819
2000	40144	39308	42189	236416
2001	39308	42189	43100	238400
2002	42189	43100	40958	246982
2003	43100	40958	43704	255873
2004	40958	43704	47355	265089
2005	43704	47355	42880	274627
2006	47355	42880	44387	279374
2007	42880	44387	52638	305368
2008	44387	52638	47224	316361
2009	52638	47224	43054	316361
2010	47224	43054	54594	327550



Figura 5.6 – Previsão de Consumo Industrial – PIB

6 MODELOS E ALGORITMOS DE ALOCAÇÃO DE CARGA FUTURA NO ESPAÇO GEOGRÁFICO

A alocação de carga futura nas quadriculas, corresponde à Etapa 4 da metodologia de previsão espacial. Os critérios considerados como premissas

para a expansão futura de carga estão baseados na caracterização dos modelos de desenvolvimento para o planejamento estratégico das cidades [33].

A primeira linha da Figura 6.1, apresenta um desenvolvimento por colmatação interna; na segunda linha se visualiza um desenvolvimento por geração periférica e a última linha apresenta um desenvolvimento por criação de novas cidades.

Os modelos de alocação a serem descritos fazem uso de quadriculas padrão e taxas de crescimento segundo o modelo considerado. A alocação de carga no espaço geográfico pode ser concebida e realizada utilizando duas tipologias de modelos, que devem ser escolhidos segundo a disponibilidade de dados.

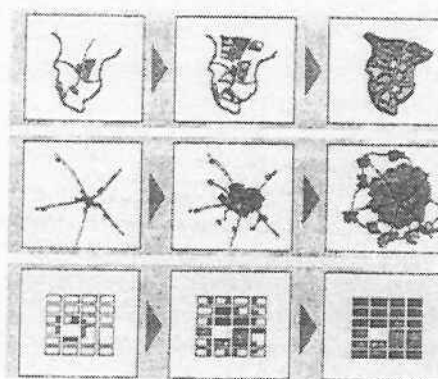


Figura 6.1 – Modelos de Desenvolvimento Físico

6.1 MODELO 1 - BASEADO NO HISTÓRICO DAS QUADRÍCULAS

O histórico das quadriculas é atualizado a cada mês/ano baseado no conjunto de quadriculas atuais permitindo gerar uma série histórica de consumo mês/ano para cada quadricula com valores por classe de consumo e demanda. Esta série histórica está associada ao consumo global por classe de consumidor, no respectivo período, para definir percentagens de participação no mercado global. O objetivo é determinar taxas de crescimento anuais individuais para cada quadricula [10].

O consumo total do sistema no ano base (Ano 0) corresponde ao somatório das quadriculas atuais segundo a relação (6.1).

$$CQT_t = \sum_{i=1}^n CQV_{t,i} \quad (6.1)$$

onde CQT_t é consumo total das quadriculas e $CQV_{t,i}$ é o consumo por quadricula i (para $t=0$ no ano base).

O consumo total do sistema para o ano 1 e seguintes corresponde ao somatório das quadriculas do ano anterior, mais o somatório dos incrementos de consumo atuais que acontecem nas quadriculas do ano

anterior (acrécimo natural de consumo ou por entrada de novos consumidores), mais o somatório das novas quadriculas com carga tornando ocupadas as quadriculas vagas. A aparição dessas quadriculas novas com carga a cada mês/ano, define o crescimento da carga horizontal (ver equação (6.2)).

$$CQT_t = \sum_{i=1}^n CQV_{t-1,i} + \sum_{i=1}^n \Delta CQV_{t,i} + \sum_{j=n+1}^m CQH_{t,j} \quad (6.2)$$

Com estes dados, é criado, também, um histórico global de consumo visando o cálculo das taxas globais de consumo horizontal e vertical. A cada mês/ano é atualizado o histórico global de carga horizontal e vertical, com valores de energia e número de quadriculas.

Portanto, o consumo global do sistema é definido a cada período (mês/ano) por duas parcelas: o consumo global horizontal (área nova) e o consumo global vertical (área ocupada).

$$\text{Consumo Global (t)} = \text{Consumo Global Horizontal (t)} + \text{Consumo Global Vertical (t)}$$

Os históricos globais horizontal e vertical fornecem as respectivas taxas de crescimento vertical e horizontal globais.

Ao se dispor de um histórico de quadriculas, o crescimento vertical é associado a uma taxa de crescimento segundo o histórico de cada quadricula. Assume-se então que, aplicada a taxa de crescimento esperada a cada quadricula e totalizando o valor de energia do conjunto das quadriculas, pode-se obter, diminuindo-se do mercado global, o valor da energia que corresponde ao crescimento horizontal.

No processo de alocação de carga, as quadriculas ocupadas (crescimento vertical), têm um acréscimo de carga segundo uma expectativa de crescimento da quadricula e as quadriculas vagas (crescimento horizontal), têm seus valores de acréscimo de carga associados aos padrões das quadriculas vizinhas, a menos que haja diferenciação no planejamento (zoneamento) urbano.

Para o crescimento horizontal das quadriculas pode-se considerar também o crescimento populacional ou o crescimento de consumidores residenciais.

Determinadas as taxas de crescimento de cada quadricula, que por hipótese, podem ser valores crescentes, decrescentes ou zero (quadricula saturada) procede-se à alocação de carga com o algoritmo iterativo de alocação descrito nos parágrafos seguintes. O valor da taxa de crescimento constitui-se num atributo da quadricula.

No processo de alocação, a cada verificação do crescimento de carga de cada quadricula, diminui-se o consumo, segundo o tipo do mercado global de energia. Este processo é realizado em duas etapas, alocando primeiro o crescimento vertical e, posteriormente, assume-se que a carga remanescente do mercado global corresponde ao crescimento horizontal.

Devido às quadriculas que possuem um crescimento vertical (quadriculas ocupadas) serem atualizadas num único processo iterativo, para o crescimento horizontal deve-se considerar o padrão base de uma das quadriculas vizinhas para cada quadricula horizontal.

As quadriculas horizontais recebem os seus respectivos valores de consumo conforme o padrão das quadriculas vizinhas. Estas quadriculas são aptas a receber carga em conformidade com os estágios sequenciais (estágios de crescimento horizontal) até esgotar a disponibilidade do mercado global.

A projeção da série histórica de cada quadricula para determinação das taxas de crescimento é realizada via regressão usando funções simples (linear) ou mediante a função logística, que considera a saturação da própria quadricula. As funções matemáticas de ajuste de curva também podem ser utilizadas para estimar o acréscimo de consumo.

6.2 MODELO 2 - BASEADO NOS INDICADORES URBANOS

O controle base, até onde e quando devem as quadriculas receber carga está definido pelo mercado global, discutido em parágrafos anteriores.

Neste modelo, também primeiramente é computado e alocado o aumento de carga vertical, para logo realizar a alocação horizontal.

As taxas utilizadas no aumento de carga horizontal correspondem às estimativas do crescimento da área construída (por tipologia de uso do solo) e coeficientes de aproveitamento da região. As variáveis de controle são os consumos para cada ano de previsão (que permite obter diferentes mapas de previsão) e os coeficientes de aproveitamento urbano da região. Este coeficiente é utilizado para realizar a alocação de carga futura somente quando a ocupação de uso do solo permite.

A alocação de carga ocorre segundo o processo iterativo determinado pelo consumo do modelo global, onde as quadriculas recebem uma parcela de carga do mercado global conforme indica a taxa de crescimento urbana e a quadricula padrão associada à quadricula de interesse. As iterações se desenvolvem envolvendo quadriculas ocupadas e vagas, até atingir o total do mercado global.

O perfil sócio-econômico da região e os diversos usos de solo predominante permitem definir as características das quadriculas.

A série histórica de área construída para os anos de 1991 até 2000 permite realizar as projeções do acréscimo de área construída, por uso do solo predominante, para o Município de São Paulo para cada um dos 96 distritos inclusos no Município.

Um histórico de quadriculas pode conviver com este modelo facilitando a estimação do crescimento vertical.

6.3 ALGORITMOS DE ALOCAÇÃO

Uma vez definidos os tipos de uso de solo predominante e determinados os padrões de quadriculas, além das respectivas taxas de crescimento e da previsão global dos consumos, pode-se realizar a alocação da carga futura no espaço geográfico.

Os algoritmos utilizados para este propósito são: o *algoritmo de criação de estágios* e o *algoritmo de alocação futura* [10].

6.4 MAPAS DE PREVISÃO FUTURA

Os mapas de previsão futura são o resultado dos processos realizados nas 4 Etapas da metodologia de previsão espacial. Corresponde ao planejador definir os períodos do horizonte de previsão, ou seja, considerado como ano base o ano 2000, a previsão espacial de carga pode ser realizada para os consumos do mercado global previstos, por exemplo, para os anos 2003 e 2006.

7 PREVISÃO ESPACIAL DE CARGA – CASO EXEMPLO

O exemplo apresentado a seguir tem a finalidade de mostrar o processo de previsão espacial de carga para uma região do município de São Paulo [10].

7.1 ETAPAS DA METODOLOGIA DE PREVISÃO

As 4 etapas da metodologia e suas respectivas atividades são especificadas na sequência conforme discutido nos itens anteriores.

7.1.1 ETAPA 1 – COLETA E TRATAMENTO DOS DADOS

Esta etapa está integralmente dedicada à extração, importação e preparo das informações necessárias para alimentar o banco de dados de previsão.

1) Consumos de Energia

O banco de dados de previsão espacial contém tabelas com a informação apresentada segundo a estrutura de dados da Figura 7.1.

Os campos de interesse para o processo de agregação de curvas de carga são: número de referência, código de classe do consumidor, consumo faturado do mês, consumo médio dos últimos três meses, código de atividade econômica e identificador do transformador da rede. Também na Figura 7.1 se observa a estrutura de dados para os pontos de entrega, aos quais estão associados um ou mais consumidores. Os pontos de entrega possuem como atributos as coordenadas geográficas.

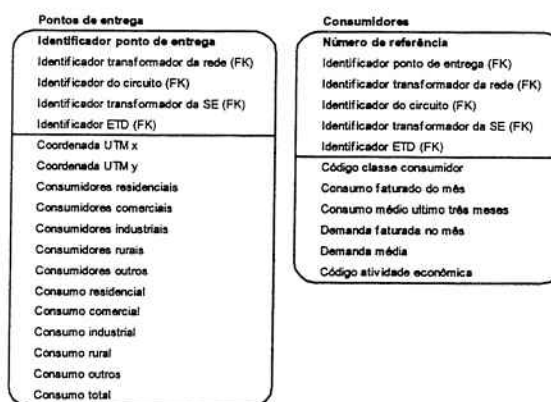


Figura 7.1 – Estrutura de Dados - Pontos de Entrega e Consumidores

Os respectivos consumos residenciais são considerados por estratos conforme a classificação a seguir:

- Estrato 1 – Consumo abaixo de 50 kWh/mês
- Estrato 2 – Consumo entre 51 e 200 kWh/mês
- Estrato 3 – Consumo entre 201 e 300 kWh/mês
- Estrato 4 – Consumo entre 301 e 400 kWh/mês
- Estrato 5 – Consumo entre 401 e 500 kWh/mês
- Estrato 6 – Consumo acima de 500 kWh/mês

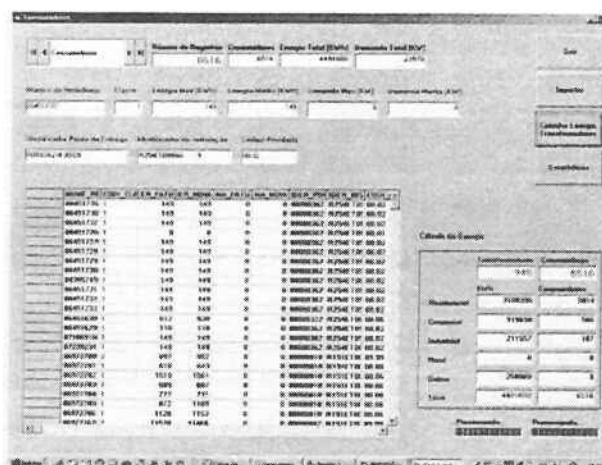


Figura 7.2 – Tela de Importação de Dados dos Consumidores

O software protótipo desenvolvido consta de vários módulos dentre os quais tem-se o módulo de importação de dados. A Figura 7.2 mostra a tela de

importação do arquivo de consumidores, sendo possível, também, mediante esta interface gráfica, determinar os valores de energia que correspondem a cada estação transformadora da rede de distribuição, em função dos consumidores associados a ela.

2) Padrões de Curvas de Carga de Uso Final em p.u.

Os gráficos de padrões da curva de carga média e desvio padrão em p.u. utilizados para os estratos de consumidores residenciais são apresentados na Figura 7.3.

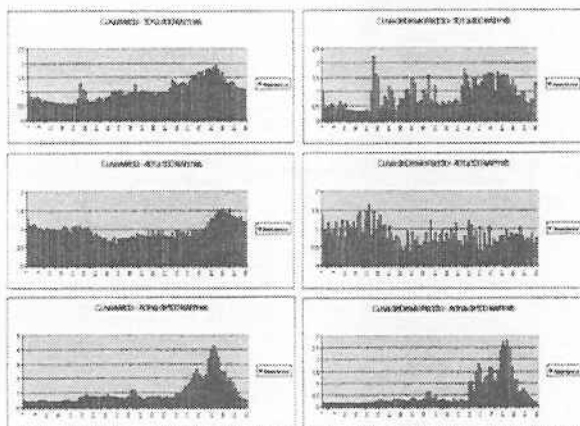


Figura 7.3 – Padrões de Curvas de Carga Média e Desvio Padrão em p.u. - Residencial

Curvas de carga média e desvio padrão são também utilizadas para os consumidores dos tipos comercial e industrial.

3) Dados de Entidades da Rede Elétrica

Outra das telas de importação de dados da rede do programa protótipo é apresentada na Figura 7.4.

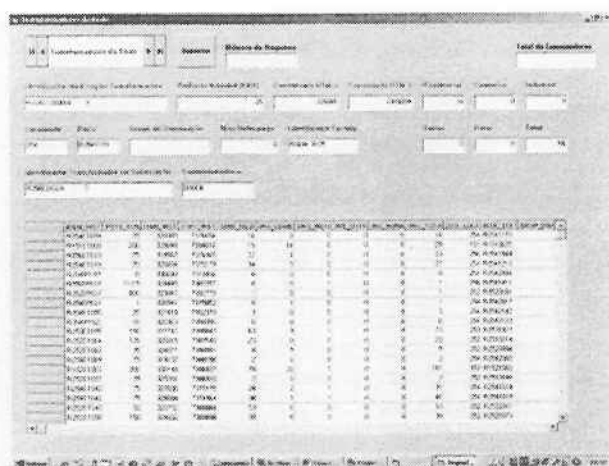


Figura 7.4 – Importação de Transformadores da Rede Elétrica

Estes dados correspondem a registros das estações transformadoras que, doravante, serão denominados

registros dos transformadores da rede. Interfaces gráficas similares permitem a importação dos dados correspondentes às outras entidades da rede elétrica, a saber: pontos de entrega, circuitos, transformadores da subestação e subestações.

O exemplo em estudo está composto pela seguinte quantidade de entidades e consumidores da rede elétrica, obtidos após a carga realizada no banco de dados:

Número de Transformadores da Rede:	345
Número de Pontos de Entrega:	5678
Número de Consumidores:	6518

Estas entidades estão associadas a seus respectivos circuitos, transformadores das subestações e subestações.

4) Dados Históricos

Os dados históricos a serem importados contêm informações dos consumos e número de consumidores de baixa, média e alta tensão, de acordo com as classes existentes a saber: residencial (1), comercial (2), industrial (3), rural (4) e outros (5).

A Figura 7.5 mostra os processos envolvidos no preparo dos dados dos consumidores da baixa tensão visando seu uso na previsão de carga global.

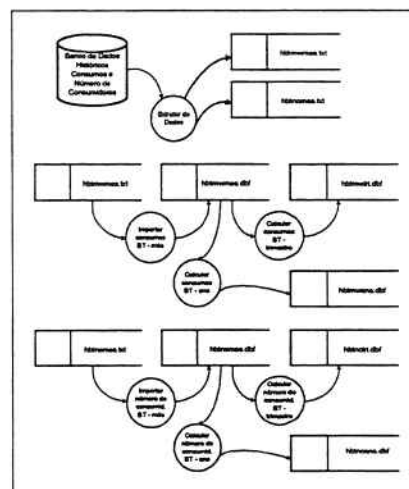


Figura 7.5 – Fluxo de Dados Históricos de Consumo e Número de Consumidores

O diagrama de fluxo de dados dos históricos de consumo e número de consumidores de alta tensão é semelhante ao diagrama da Figura 7.5.

7.1.2 ETAPA 2 – AJUSTE E TRATAMENTO FINAL DOS DADOS

5) Ajuste dos dados – Banco de dados

O ajuste dos dados tem a finalidade de definir a integração dos dados baseado num modelo de dados

lógico e físico conforme se define um banco de dados relacional.

6) Agregação de curvas de carga

A agregação de curvas de carga envolve vários processos. A Figura 7.6 mostra os dados que são utilizados na obtenção da curva de demanda de cada consumidor.

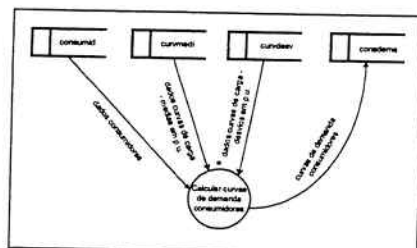


Figura 7.6 – Fluxo de Dados do Processo de Cálculo de Demanda de cada Consumidor

A tela da Figura 7.7 apresenta 5 opções do programa protótipo que efetuam os seguintes processos:

- ✓ Cálculo da curva de demanda dos consumidores
- ✓ Agregação das curvas de demanda nos transformadores da rede
- ✓ Agregação das curvas de demanda nos circuitos
- ✓ Agregação das curvas de demanda nos transformadores da subestação
- ✓ Agregação das curvas de demanda nas subestações

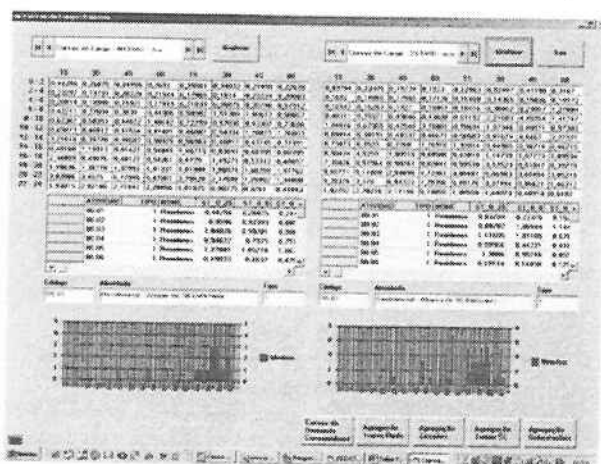


Figura 7.7 – Curvas de Carga Padrão para o Processo de Agregação

O cálculo das curvas de demanda de todos os consumidores é realizado considerando a energia base de cada consumidor e a sua respectiva curva de carga padrão. Este cálculo leva em conta as curvas padrão (média e desvio padrão), segundo as equações (4.1) até (4.5) apresentadas no item 4.

Posteriormente, realiza-se a agregação das curvas de demanda dos consumidores nos respectivos transformadores. Como critério de carregamento foi

considerado o valor da curva média agregada acrescida de 1,3 vezes o desvio padrão agregado (margem de segurança de 90%) [19] (ver Figura 7.8).

Após o processo de agregação de demanda nos transformadores, determina-se para todos os transformadores: a demanda média de cada transformador, a demanda para o patamar das 14 às 17 horas, a demanda para o patamar das 19 às 21 horas, a demanda de ponta, o fator de demanda para a demanda de ponta, o fator de carga e a energia agregada.

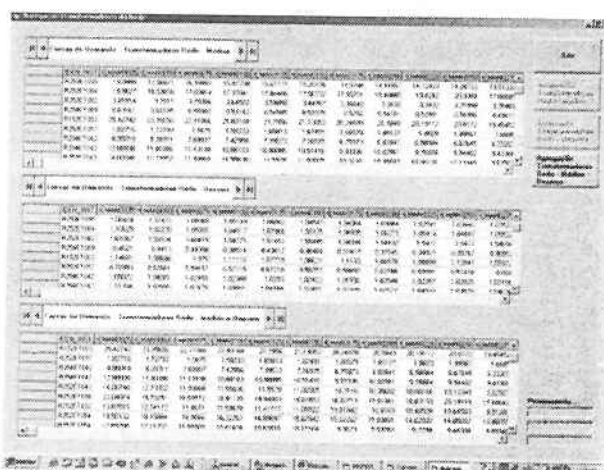


Figura 7.8 – Agregação da Demanda nos Transformadores da Rede

Interfaces gráficas similares à Figura 7.8, são incluídas no programa protótipo para agregar curvas de demanda nos circuitos, nos transformadores das subestações e nas subestações.

A agregação de consumos e demanda nas quadriculas é realizada após o processo de agregação nos transformadores da rede.

7) Mapas Digitais - Uso do Solo

A Figura 7.9 mostra o mapa digital com os 96 Distritos que compõem o Município de São Paulo.

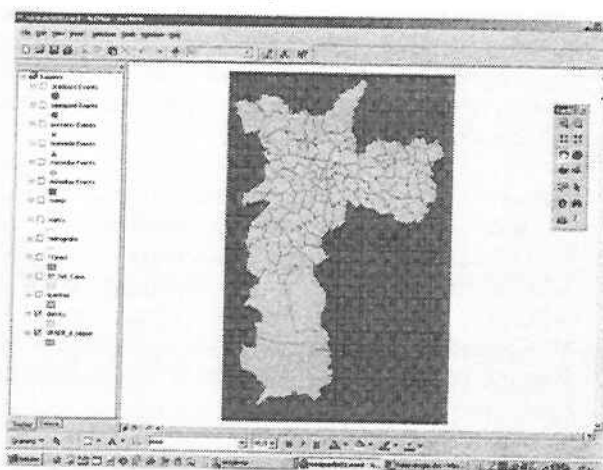


Figura 7.9 – Município de São Paulo e Distritos



Figura 7.10 – Ruas – Transformadores e Pontos de Entrega

Na Figura 7.10, junto às quadras da região, são visualizados os pontos de entrega. Os pontos de entrega são entidades georreferenciadas que permitem o vínculo com o consumidor e claramente, pode-se observar a distribuição destes pontos de entrega sobre as estações transformadoras.

No ambiente Visual Basic, mediante um algoritmo, são criados os centros das quadriculas e armazenados numa tabela. Os campos desta tabela são: código de quadricula, coordenada UTM x e coordenada UTM y . Cada quadricula do espaço geográfico está representada pelas suas coordenadas x e y (centro da quadricula).

Num próximo estágio, os centros das quadriculas servem para realizar a classificação dos transformadores na área geográfica. Cada quadricula tem uma área de 500 x 500 m².

7.1.3 ETAPA 3 – APLICAÇÃO: PADRÕES DE USO DO SOLO

8) Modelo espacial – Classificação dos transformadores nas quadriculas

Conforme apresentado no item 4.2, a classificação dos transformadores nas quadriculas é realizada com a rede neural SOM. A Figura 7.11 mostra a tela com a opção para realizar a tarefa de classificação dos transformadores nas quadriculas.

Após a alocação dos transformadores nas quadriculas é realizado o vínculo destas quadriculas com os transformadores da rede, atualizando o campo *Identificador de Quadricula* da tabela que contém a informação relacionada com os atributos de cada transformador e também a tabela que contém as informações relacionadas com o consumo e a demanda agregados.

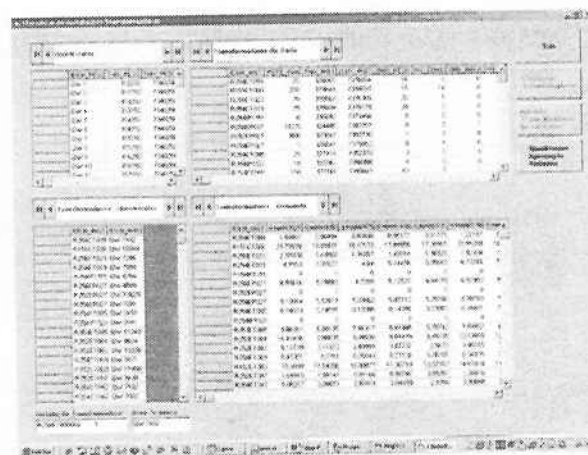


Figura 7.11 – Classificação dos Transformadores nas Quadriculas

Posteriormente, realizado o vínculo das quadriculas com seus respectivos transformadores, identifica-se às quadriculas que contêm carga, realiza-se a agregação de carga para cada quadricula com dados dos transformadores associados e determina-se os atributos das quadriculas em relação ao consumo, à quantidade de números de consumidores e demandas atuais. A Figura 7.12 mostra as tabelas de dados que são utilizadas.

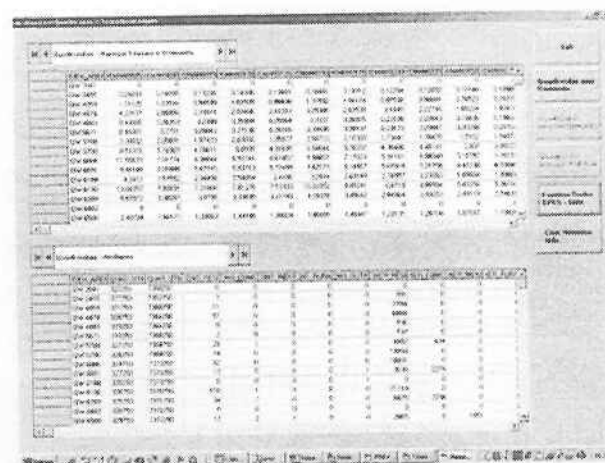


Figura 7.12 – Agregação de Demanda e Atributos nas Quadriculas

A criação do histórico para cada quadricula pode ser realizada a cada mês/ano visando efetuar projeções e determinar o crescimento individual das quadriculas. As variações encontradas determinam o acréscimo de carga vertical a se desenvolver na área. As estruturas de dados relacionadas com as quadriculas utilizadas no programa protótipo são apresentadas na Figura 7.13.

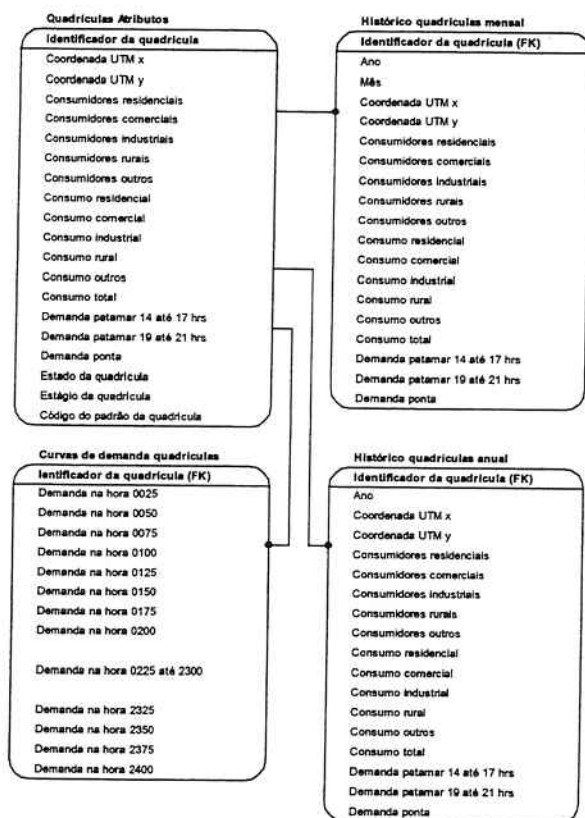


Figura 7.13 – Estruturas de Dados relacionadas com as Quadrículas

9) Reconhecimento de padrões – Identificar padrões das quadrículas

Após a obtenção dos atributos das quadrículas (número de consumidores por classe e totais, energia por classe e total, demanda para os patamares de carga horária entre as 14 a 17 horas e 19 a 21 horas), atributos estes que se associam ao uso predominante do solo da quadrícula, utilizam-se técnicas de análise de agrupamentos (rede de Kohonen e método das K-médias) para determinar os padrões de quadrículas mais representativos.

A informação contida no banco de dados com os atributos necessários para a análise de agrupamentos é dividida inicialmente em três sub conjuntos: Uso Residencial, Uso Misto (Residencial e Comercial), Uso Misto (Residencial, Comercial e Industrial), visando se obter um melhor resultado na análise de agrupamentos, já que, testes iniciais, considerando o total dos dados não apresentaram resultados satisfatórios.

a) Abordagem via Rede Neural de Kohonen

A Tabela 7.1 mostra os resultados obtidos quando realizada a análise de agrupamentos para as variáveis Consumidores Residenciais, Energia Residencial e Demanda Residencial.

TABELA 7.1 - Agrupamentos Uso Residencial (Consumidores, Energia, Demanda)

DAREA	QUADUTMX	QUADUTMY	CONRES	ENERES	DMED1921	WKNRES	GRUPO
QUV 10023	327750	7388750	290	70540	210	1	1301
QUV 52363	329750	7388750	74	13850	55	3	1303
QUV 8005	324750	7373250	82	18931	80	3	1305
QUV 8009	327750	7373250	82	14044	45	3	1307
QUV 6405	327750	7381750	84	18736	48	3	1309
QUV 3210	324750	7381750	17	20102	82	4	1314
QUV 4879	320750	7364250	82	28614	49	3	1315
QUV 5504	329750	7377250	63	12855	34	3	1316
QUV 6006	326750	7373250	82	2008	25	3	1318
QUV 2813	327750	7389750	59	55273	28	3	1325
QUV 15038	328750	7331750	20	10540	40	6	1336
QUV 15039	326750	7354150	17	8530	31	6	1338
QUV 2409	327750	7352250	5	901	4	3	1337
QUV 4009	321250	7365250	13	1758	8	7	1327
QUV 4805	320750	7364250	3	405	2	9	1307
QUV 81171	316250	7362250	3	237	3	7	1307
QUV 7603	326250	7328750	45	2496	8	7	1307
QUV 3816	322250	7387750	14	2859	37	7	1327
QUV 48029	320350	7352250	13	9124	4	7	1327
QUV 2187	318750	7372750	35	2311	20	8	1348
QUV 2808	326250	7328750	55	8634	22	6	1309
QUV 0500	321250	7384250	29	6113	55	6	1348
QUV 09118	326750	7386250	24	2443	59	8	1308

Observando-se o conjunto de dados de cada grupo, com a média dos mesmos já calculada, verifica-se que eles se distribuem ao redor desta média, para mais e para menos. Quanto mais próximos da média estiverem, mais homogêneo será o grupo.

A Tabela 7.2, apresenta os padrões das quadrículas (valores médios) para o Uso Residencial (abordagem via rede de Kohonen).

TABELA 7.2 - Padrões Uso Residencial

GRUPO	CONRES	ENERES	DMED1921
1301	290	70540	210
1303	81	18509	44
1304	17	20102	82
1305	58	9880	27
1306	19	9719	36
1307	9	1801	6
1308	27	6992	19

Analogamente são obtidos resultados para o Uso Misto Residencial e Comercial e Uso Misto Residencial, Comercial e Industrial [10].

10) Previsão por Séries Históricas - Modelo global

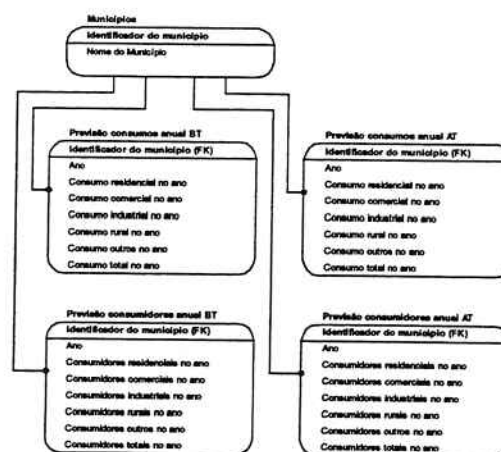


Figura 7.14 – Modelo Lógico da Previsão do Modelo Global

O modelo lógico para o módulo de previsão do mercado global é apresentado na Figura 7.14. Pode-se observar a informação relacionada com as previsões de consumos e número de consumidores.

Conforme apresentado no item 5.1.1, a previsão do mercado global é realizada com uma rede neural back-propagation para o horizonte de planejamento.

Após a implantação do sistema no Ano Base e no decorrer dos seguintes meses e anos é construído um histórico de demandas. Desta forma, a previsão de demanda pode ser realizada de duas maneiras: 1) utilizando a série histórica de demandas; e 2) baseada no histórico e previsão de consumos.

11) Previsão considerando os Modelos de Fatores Exógenos

Os modelos relacionados com fatores exógenos (indicadores sócio-econômicos, demografia) discutidos nos itens 5.2 e 5.3, podem ser utilizados para complementar ou apoiar a previsão realizada com séries históricas.

Após a obtenção de resultados recorrentes dos processos que acontecem na previsão espacial de carga, exporta-se as tabelas geradas e atualizadas ao ambiente GIS.

12) Planejador – Cenários

Cabe ao planejador definir, com critérios adequados, quais cenários deve considerar e analisar os resultados obtidos com o modelo global, com os modelos que consideram fatores exógenos, com o modelo demográfico e com o uso do solo predominante para escolher as melhores opções e realizar a alocação de carga futura.

7.1.4 ETAPA 4 – ALOCAÇÃO ESPACIAL DE CARGA FUTURA

13) Modelo de Alocação de Carga Futura

A alocação de carga futura é realizada seguindo os critérios discutidos no item 6.

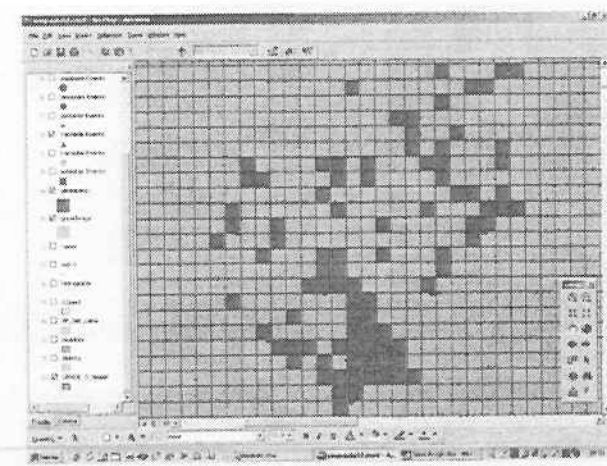


Figura 7.15 – Quadrículas Ocupadas e Quadrículas Vagas

A Figura 7.15 apresenta os resultados do mapeamento do Ano Base onde claramente pode se observar as quadrículas ocupadas e as quadrículas vagas. Cada quadrícula do espaço geográfico contém atributos em relação a consumos por classe e demanda.

As Figuras 7.16 e 7.17 permitem visualizar a evolução dos estágios das quadrículas para receber carga segundo a disponibilidade do mercado global. Note-se (como previsto no algoritmo de criação de estágios, item 6.3) que uma quadrícula vaga pode se tornar ocupada se estiver situada na proximidade de duas quadrículas vizinhas.

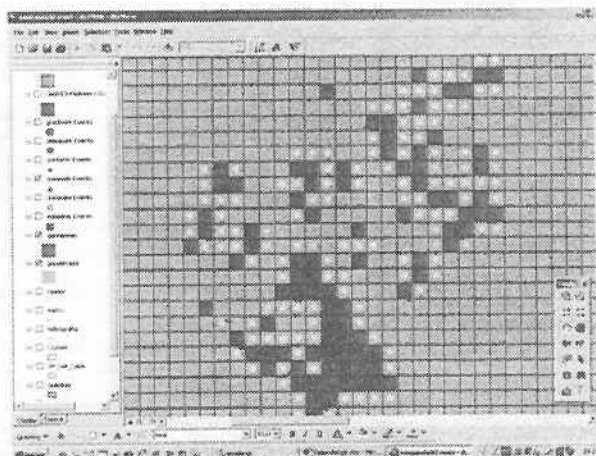


Figura 7.16 – Quadrículas Vagas – Primeiro Estágio

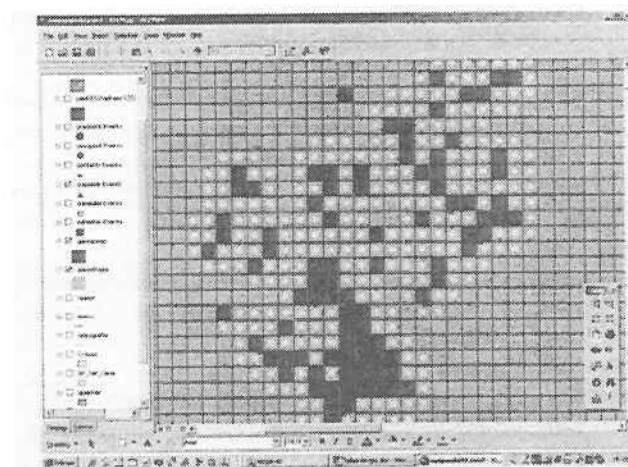


Figura 7.17 – Quadrículas Vagas – Primeiro e Segundo Estágios

A Figura 7.18 apresenta as quadrículas com uso de solo predominante para três tipos de uso de solo identificados no caso exemplo: uso residencial (cor vermelha), uso misto (residencial e comercial, cor verde) e uso misto (residencial, comercial e industrial, cor azul).

Interfaces gráficas para executar os processos de *Criação de Estágios* e *Alocação de Carga Futura* são parte do programa protótipo.

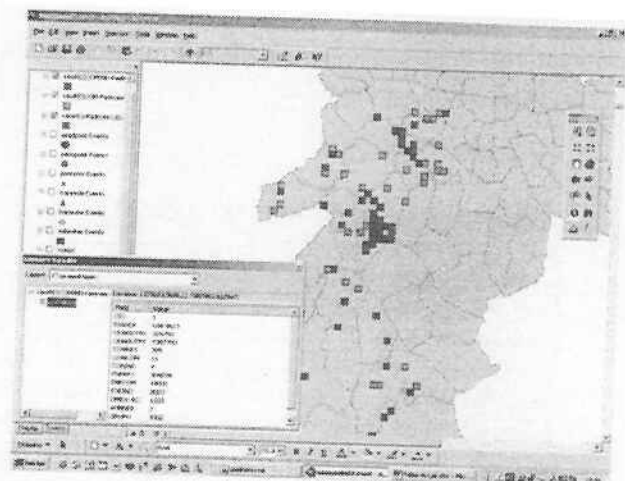


Figura 7.18 – Quadrículas com Uso de Solo Predominante

14) Mapas de previsão futura – Mapa de carga elétrica

O mapa da Figura 7.19 corresponde à previsão futura no espaço geográfico após dois estágios de previsão.

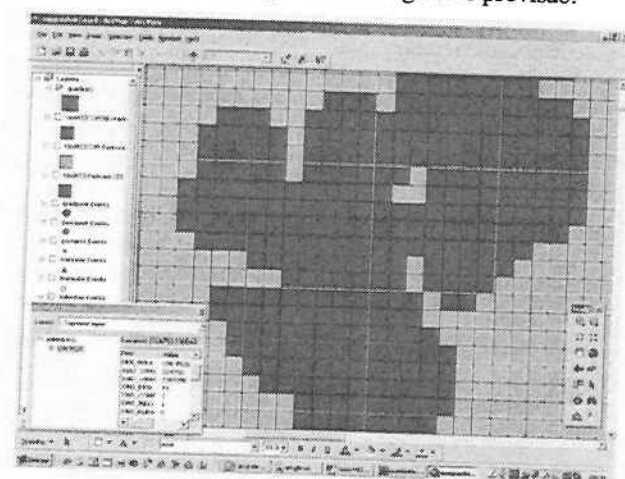


Figura 7.19 – Mapa de Carga Elétrica após 2 Estágios de Previsão

7.2 FERRAMENTAS UTILIZADAS

Foram utilizadas quatro ferramentas básicas para o desenvolvimento do software protótipo de Previsão Espacial de Carga: Linguagem de Programação Natural [34], Base de Dados Relacional [14], Linguagem de Programação Visual Basic [35] e o Software ARC VIEW 8.3 [36]. Entre outras ferramentas de trabalho encontram-se: Software SPSS v. 11.0 [28] e Statistica 6.0 – Neural Networks [29].

8 MODELO FUZZY PARA SIMULAÇÃO DO USO DO SOLO

Os problemas de previsão de carga espacial podem ser representados como mapas cartográficos, onde uma função mapeia atributos espaciais para o uso de solo e outra função, posteriormente, converte o uso de solo em carga elétrica. A tomada de decisões para

determinar qual classe de consumidores pode ser desenvolvida em cada quadrícula produz um processo que pode ser simulado por um modelo de otimização.

8.1 METODOLOGIA FUZZY DE PREVISÃO ESPACIAL

Este método de previsão espacial de carga [37], baseado no uso do solo aplica a tecnologia de lógica fuzzy para solucionar o problema de avaliação de conveniência e, então, o modelo de otimização “transshipment” é usado para produzir uma ótima maneira de distribuição de uso do solo.

Para simular o tipo de consumidores e a quantidade de uso do solo que serão desenvolvidos em cada quadrícula, métodos de previsão espacial de carga baseados em simulação dividem os consumidores elétricos em várias classes, chamadas *classes de uso de solo*, de acordo com a carga dos consumidores e as características de uso do solo. Determinadas as curvas de carga típicas, o uso do solo facilmente pode ser convertido em cargas, e vice-versa. Dessa forma, o processo de simulação de uso do solo que considera o desenvolvimento futuro das quadrículas é o centro da previsão espacial de carga.

O processo de simulação de uso do solo envolve quatro etapas: 1) colecionar atributos do espaço para cada quadrícula (como a distância a um *pólo urbano*, estrada, metrô etc.), 2) montar, para cada tipo de consumidor a preferência e a demanda por atributos de espaço, por exemplo, locais industriais preferem estar perto de estradas; 3) avaliar se uma quadrícula é satisfatória para desenvolver certo tipo de consumidor emparelhando os atributos de quadrícula com a preferência e exigência dos consumidores; 4) alocar a previsão de uso do solo total para quadrículas.

A previsão espacial de carga envolve informação do espaço coletada a partir de sistemas de informação geográficos.

8.2 DIAGRAMA DE BLOCOS PARA A PREVISÃO ESPACIAL DE CARGA

Como mostrado na Figura 8.1, a previsão espacial de carga consiste em quatro módulos relacionados. No *primeiro módulo*, um processo de varredura divide o território da área de concessão em uma grade de quadrículas e distingue as categorias de classes de uso do solo, de acordo com o uso do solo e as características de carga. No *segundo módulo*, para realizar a previsão de carga global do sistema uma variedade de métodos de previsão podem ser utilizados. A finalidade da previsão de carga de uso final é prover a curva de carga típica futura das classes de uso do solo. O *terceiro módulo* está relacionado com o sistema especialista para avaliação de preferência e por ultimo, o *quarto módulo*, traduz as

decisões de uso do solo para possibilitar a distribuição de carga.

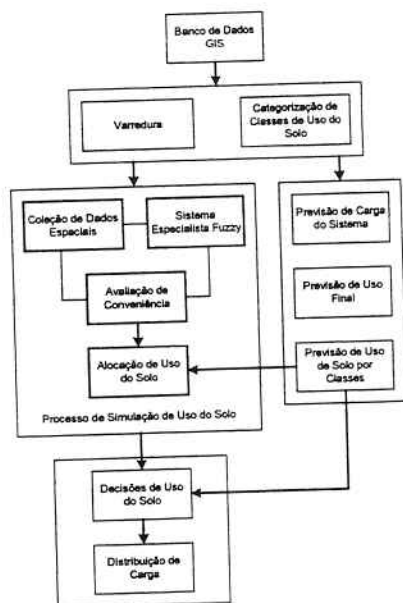


Figura 8.1. Diagrama de Blocos para a Previsão Espacial de Carga

Um tipo de informação georreferenciada útil para um processo de simulação de uso do solo é apresentada na Figura 8.2.

O objetivo que se persegue é identificar a relação de distância existente entre cada quadricula do espaço geográfico e as estradas, o metrô, rios, áreas verdes e outros fatores de proximidade e fatores locais que possam ser considerados para aplicação da lógica fuzzy.

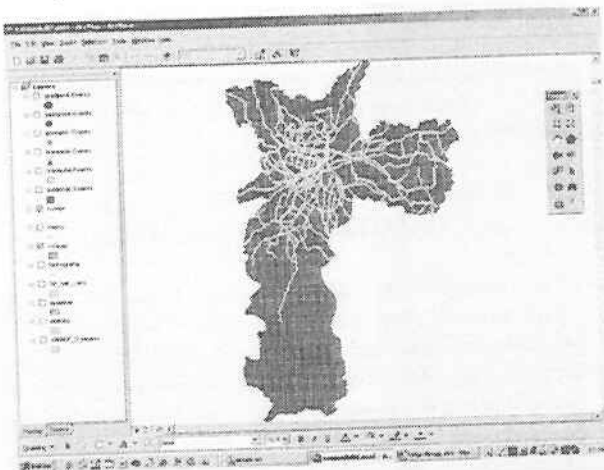


Figura 8.2 – Quadriculas e Estradas Principais do Município de São Paulo

A lógica fuzzy pode ser utilizada no processo de simulação de uso do solo como alternativa ou principalmente quando a área de concessão não dispõe de um Plano Diretor Urbano. Por este motivo foi apresentado um modelo de alocação espacial baseado

em lógica fuzzy com aproveitamento da informação disponível em sistemas GIS.

9 CONCLUSÕES

O presente trabalho apresentou o desenvolvimento de uma Metodologia Geral para a Previsão Espacial de Carga visando sua aplicação em Sistemas de Distribuição e a implementação de um sistema protótipo que permitiu analisar o desempenho da metodologia conforme a disponibilidade de dados. Ressalta-se a aplicação de técnicas de Inteligência Artificial, tais como, a Rede Neural de Kohonen utilizada para solucionar o problema de alocação automática (classificação) de Estações Transformadoras nas suas respectivas quadriculas e a Rede Neural de Kohonen utilizada para realizar o processo de análise de agrupamentos, com a perspectiva de encontrar padrões representativos de carga elétrica das quadriculas.

O Modelo Global da metodologia abordou vários métodos para previsão do mercado global por classe consumidora. Uma rede Neural Back-Propagation foi utilizada para realizar a previsão, considerando históricos de consumos, por classe e uma rede neural MLP foi utilizada para previsão do mercado considerando o fator exógeno PIB.

Um modelo dinâmico de população foi apresentado para estimar o crescimento da carga residencial no Município de São Paulo, considerando os respectivos Distritos, e para verificar a sua influência e discrepância com os resultados de previsão obtidos com a análise de séries históricas de consumo residencial.

O software desenvolvido no ambiente Visual Basic e a base de dados relacional interagindo com as outras plataformas como Arc View, SPSS e Statistica Neural Network constitui-se num protótipo que possibilitou testar a metodologia.

O caso exemplo apresentado para uma amostra de um sistema de distribuição real mostrou que é possível aplicar a metodologia, esperando-se melhorar o desempenho quando utilizada uma quantidade de dados maior.

Finalmente, foi delineado um modelo da Lógica Fuzzy para previsão espacial para simular Uso de Solo principalmente quando não se tem disponível um plano diretor.

10 AGRADECIMENTOS

À FAPESP pela ajuda financeira recebida para o desenvolvimento da presente pesquisa.

11 REFERÊNCIAS

- [1] IEEE. *Tutorial Course. Power Distribution Planning*. 1992.
- [2] WILLIS, H. L.; NORTHCOTE-GREEN, J. E. D. Spatial electric load forecasting: a tutorial review. *Proceedings of the IEEE*, v.71, n.2, p.232-253, Feb. 1983.
- [3] WILLIS, H. L.; PARKS, T.W. Fast algorithms for small area electric load forecasting. *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, v.102, n.10, p.3425-3432, Oct. 1983.
- [4] WILLIS, H. L.; POWELL, R. W.; WALL, D. L. Load transfer coupling regression curve fitting for distribution load forecasting. *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, v.103, n.5, p.1070-1076, May. 1984.
- [5] WILLIS, H. L.; ENGEL, M. V.; BURI, M. J. Spatial load forecasting. *IEEE Computer Applications in Power*, p.40-43, Apr. 1995.
- [6] WILLIS, H. L.; *Spatial electric load forecasting*. New York: Marcel Dekker, Inc. 1996.
- [7] C. M. V. TAHAN; F. H. PEREYRA ZAMORA. *A methodology for spatial load forecasting automation in distribution systems*. IEEE/PES T&D 2002 Latin America, March 18-22, São Paulo – Brazil. 1 CD ROM.
- [8] C. M. V. TAHAN; F. H. PEREYRA ZAMORA. *Distribution system mapping for the spatial load forecasting automation*. VIII SEPOPE 2002, May 19-23, Brasília – Brazil. 1 CD ROM.
- [9] C. M. V. TAHAN; F. H. PEREYRA ZAMORA. *An application of artificial neural networks into the spatial load forecasting distribution systems*. Congreso Internacional de Distribución Eléctrica – CIDEL 2002, Buenos Aires – Argentina. 1 CD ROM.
- [10] F. H. PEREYRA ZAMORA. *Previsão espacial de carga em sistemas de distribuição utilizando técnicas de inteligência artificial e plataforma GIS*. 2003. 215p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo.
- [11] SEMPLA. *Evolução do uso do solo nos anos 90*. Prefeitura do Município de São Paulo. Secretaria Municipal do Planejamento 2000/2001. Vol.1.
- [12] SEMPLA. *Perfil socioeconômico do Município de São Paulo*. Prefeitura do Município de São Paulo. Secretaria Municipal do Planejamento 2000/2001. Vol.3.
- [13] SEMPLA. *São Paulo em números*. Prefeitura do Município de São Paulo. Secretaria Municipal do Planejamento 2000/2001.
- [14] COUGO, P. *Modelagem de dados*. São Paulo. Editora Campus. 2000.
- [15] JARDINI, J. A.; AHN, S. U. Caracterização da curva de carga de consumidores para dimensionamento de transformadores. *Elettricidade Moderna*, p.110-115, abr. 1993.
- [16] JARDINI, J. A.; AHN, S.U.; TAHAN, C. M. V.; FIGUEIREDO F. M. Residential and commercial daily load curve representation by statistical function for engineering studies purposes. In: CIRED 95, p.231-236. 1995.
- [17] JARDINI, J. A. et al. Daily load profiles for residential, commercial and industrial low voltage consumers. *IEEE Transactions on Power Delivery*, v.15, n.1, p.375-380, Jan. 2000.
- [18] JARDINI, J. A.; CASOLARI, R. P. *Curvas de Carga de consumidores e aplicações na engenharia de distribuição*. São Paulo. In: CD ROM, p.426. 1999.
- [19] CASOLARI, R. P. *Curvas de carga de consumidores Industriais – Agregação com outras curvas*. 1996. Tese (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo.
- [20] KOHONEN, T. The self-organizing map. *Proceedings of the IEEE*, v.78, n.9, p.1464-1480, Sept. 1990.
- [21] HAYKIN, S. *Neural Networks – A comprehensive Foundation*. Ontario. Canada. McMaster University Hamilton.
- [22] BRAGA, A. P. et al. *Redes neurais artificiais – Teoria e aplicações*. Livros Técnicos e Científicos Editora. 2000.
- [23] FREEMAN, J.; SKAPURA, E. D. M. *Neural Networks. Algorithms, Applications, and Programming Techniques*. Massachusetts. E.U.A. Addison Wesley Publishing Company. 1992.
- [24] KISHAN MEHROTRA. et al. *Elements of artificial neural networks*. London. England. The Mit Press. 2000.
- [25] BUSSAB, W. O. et al. *Introdução à análise de agrupamentos*. Associação Brasileira de Estatística. ABE, 9 Simpósio Nacional de Probabilidade e Estatística. São Paulo. 1990.
- [26] RENCHER, A. C. *Methods of multivariate analysis*. Canada. John Wiley & Sons Inc. 1995.
- [27] EVERITT, B. *Cluster Analysis*. New York. Halsted Press. Division of John Wiley & Sons. 1981.
- [28] SPSS Inc. *SPSS Base 11.0. User's Guide*. Chicago. SPSS Inc. 2001.
- [29] Statistica 6.0 Neural Networks.– Electronic Manual. StatSoft Inc. 2002.
- [30] WANG, X.; MCDONALD, J. R. *Modern Power System Planning*. McGraw-Hill Book Company. 1993.
- [31] HAUPT, A.; KANE, T. T. *Guia rápida de población*. Washington, D.C. Population Reference Bureau, Inc. 1991.
- [32] MARTINEZ, S.; REQUENA, A. *Dinâmica de Sistemas – 2. Modelos*. Madrid. Alianza Editorial S. A. 1986.
- [33] FERNÁNDEZ GÜELL, J. M. *Planificación estratégica de ciudades*. Barcelona. Editora Gustavo Gili, S.A.. 1997.
- [34] *Natural, Programmer's Guide for Unix*. Software AG of North America, Inc. 1993.
- [35] PETROUTSOS, E. *Dominando a programação de banco de dados com Visual Basic 6 – A Bíblia*. São Paulo. Makron Books. 2000.
- [36] MINAMI, M. *Using Arc Map*. United States of America. ESRI. Arc GIS.2000.
- [37] WANG, T.; FAN, M.; WANG, P.; YUE, Z.; GUAN, R. Application of fuzzy logic and trasshipment model to spatial load forecasting. In: CIRED 99. p.1-6, 1999. CD ROM.

BOLETINS TÉCNICOS - TEXTOS PUBLICADOS

- BT/PEA/9301 - Alguns Aspectos do Problema de Planejamento de Sistemas de Transmissão sob Incertezas - CARLOS MARCIO VIEIRA TAHAN, ERNESTO JOÃO ROBBA
- BT/PEA/9302 - Vibrações em Motores Elétricos Provocadas por Forças Magnéticas - ORLANDO SILVIO LOBOSCO, HENRIQUE PRADO ALVAREZ
- BT/PEA/9303 - Corrente Contínua em Alta Tensão: Aplicação de Equipamentos Elétricos e Modelos para Análises de Confiabilidade - LINEU BELICO DOS REIS
- BT/PEA/9504 - Automação e Informatização Aplicadas a Controle e Supervisão de Processos de Pesagem - EVALDO ARAGÃO FARQUI, EDUARDO MÁRIO DIAS
- BT/PEA/9505 - Modernização e Reabilitação de Usinas Hidrelétricas - DJALMA CASELATO, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JR.
- BT/PEA/9506 - Estudo do Campo Elétrico Provocado por Linhas de Transmissão em Corrente Alternada - CELSO PEREIRA BRAZ, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9507 - Aspectos Sobre Processos Automatizados de Pesagem Rodoferroviária: Uma Proposta de Modernização de Postos em Operação - SERGIO LUIZ PEREIRA, CÍCERO COUTO DE MORAES
- BT/PEA/9508 - Usinas Hidrelétricas em Rotação Ajustável: Novas Premissas para o Planejamento Energético - MARCO ANTONIO SAIDEL, LINEU BELICO DOS REIS
- BT/PEA/9509 - Desenvolvimento de um Sistema de Automação de Subestações pela integração de Módulos de Software e Hardware Existentes no Mercado Brasileiro - L. C. MAGRINI, J. A. JARDINI, S. COPELIOVITCH, N. KABA FILHO
- BT/PEA/9510 - Proposta de um Modelo para Estudos de Aplicação de Compensadores Estáticos em Sistemas de Potência - JOSÉ TOSHIYUKI HONDA, LUIS CERA ZANETTA JÚNIOR
- BT/PEA/9511 - Metodologia e Testes para Redução das Distâncias Elétricas entre Fases de Barramentos de Subestações de 138kV Abridadas, ANDRÉ NUNES SOUZA, ORLANDO SILVIO LOBOSCO
- BT/PEA/9512 - Avaliação da Severidade da Poluição para o Dimensionamento da Isolação das Redes Elétricas - ARNALDO G. KANASHIRO, GERALDO F. BURANI
- BT/PEA/9513 - Processos Auto-Adaptativos para Cálculo de Campos Eletromagnéticos pelo Método dos Elementos Finitos - LUIZ LEBENSZTAJN, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/9514 - Investigação Experimental sobre os Arcos Sustentados em Sistemas Elétricos de Baixa Tensão - FRANCISCO H. KAMEYAMA, GERALDO F. BURANI
- BT/PEA/9515 - Fast Voltage Compensation: A Mean to Improve the Quality of Energy Supply - H. ARANGO, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9516 - Modelo Avançado para Planejamento de Sistemas Energéticos Integrados Usando Recursos Renováveis - LUIZ ANTONIO ROSSI, LINEU BELICO DOS REIS
- BT/PEA/9601 - Metodologias para Planejamento de Sistemas de Distribuição: Estado-da-Arte e Aplicações - PAULO ROBERTO NJAIM, CARLOS MARCIO VIEIRA TAHAN
- BT/PEA/9602 - Integração de Relés Digitais em Sistemas de Automação de Subestação - JERÔNIMO CAMILO SOARES JR., JOSÉ A. JARDINI, LUIZ C. MAGRINI
- BT/PEA/9603 - Paradigma de Planejamento sob Incertezas - Aplicação ao Planejamento dos Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica - ALBERTO BIANCHI JUNIOR, LINEU BELICO DOS REIS
- BT/PEA/9604 - Um Sistema de Controle de Velocidade para Motor de Indução Trifásico - CELSO KAZUMI NAKAHARADA, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JR.
- BT/PEA/9605 - Controle Vetorial de Motores de Indução, Independente das Alterações de Parâmetros da Máquina - NERY DE OLIVEIRA JÚNIOR, WALDIR PÓ
- BT/PEA/9606 - Compactação de Subestações de 145 kV Através da Redução das Distâncias entre Fases - GERVASIO LUIZ DE CASTRO NETO, ORLANDO SILVIO LOBOSCO
- BT/PEA/9607 - Curvas de Carga de Consumidores Industriais - Agregação com Outras Cargas - RONALDO PEDRO CASOLARI, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9608 - Utilização de Curvas de Carga de Consumidores Residenciais Medidas para Determinação de Diversidade de Carga, e Carregamento de Transformadores de Distribuição - EDUARDO LUIZ FERRARI, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9609 - Comportamento Elétrico de Cabos Cobertos e Pré-Reunidos pelo Método dos Elementos Finitos - JOÃO JOSÉ DOS SANTOS OLIVEIRA, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/9701 - Repotenciação de Hidrogeradores: Uma Proposta de Metodologia de Análise e Implantação - FÁBIO SALOMÃO FERNANDES SÁ, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JR.

- BT/PEA/9702 - Desenvolvimento de um Sistema de Automação para um Sistema de Automação para um Centro de Operação da Distribuição - PAULO SÉRGIO MIGUEL SURUR, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9703 - Planejamento da Expansão do Sistema de Distribuição Utilizando Programação Matemática Probabilística - MARIÂNGELA DE CARVALHO BOVOLATO, NELSON KAGAN
- BT/PEA/9704 - Técnicas de Inteligência Artificial Aplicadas ao Problema de Planejamento da Expansão do Sistema de Distribuição de Energia Elétrica - SALETE MARIA FRÓES, NELSON KAGAN
- BT/PEA/9705 - Aproveitamento Funcional de Sistemas de Controle e Proteção Digitais em Subestações de Distribuição - JOSÉ LUIZ PEREIRA BRITTES, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9706 - Avaliação de Algoritmo para Proteção Diferencial de Transformadores - LUÍS SÉRGIO PIOVESAN, EDUARDO CÉSAR SENER
- BT/PEA/9707 - Sistema de Proteção para Falhas de Alta Impedância - CAIUS VINICIUS SAMPAIO MALAGODI, EDUARDO CÉSAR SENER
- BT/PEA/9708 - Um Ambiente para Planejamento da Operação de Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica - KLEBER HASHIMOTO, NELSON KAGAN
- BT/PEA/9709 - Análise do Custo - Benefício da Instalação de Equipamentos de Proteção em Redes Aéreas de Distribuição - ANTONIO CLAUDINEI SIMÕES, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9710 - Planejamento Integrado de Recursos Energéticos - PIR - para o Setor Elétrico - MIGUEL EDGAR MORALES UDAETA, LINEU BELICO DOS REIS
- BT/PEA/9711 - Análise de Defeitos no Motor de Indução Trifásico para Predição de Falhas Incipientes - JOSÉ ANTONIO URCIA MISARI, CÍCERO COUTO DE MORAES
- BT/PEA/9712 - Gerenciamento de Transformadores de Distribuição com Análise na Perda de Vida - CARLOS MÁRCIO VIEIRA TAHAN, VLADIMIR DUARTE BELCHIOR
- BT/PEA/9713 - Uma Nova Metodologia para a Avaliação de Sistemas de Aterramento Metro-Ferrovíarios - JOSÉ AUGUSTO PEREIRA DA SILVA, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/9714 - Um Exemplo de Decomposição de Fluxos em Transformadores - NICOLAU IVANOV, LUIZ CERA ZANETTA JR.
- BT/PEA/9715 - Custos de Transporte de Energia Elétrica - Análise de Metodologias - DÁRIO TAKAHATA, CARLOS MÁRCIO VIEIRA TAHAN
- BT/PEA/9716 - Bancada de Ensaio para a Avaliar o Comportamento de Acionamentos Controlados por Inversores PWM - JOSÉ ANTONIO CORTEZ, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JR.
- BT/PEA/9717 - Integração de Técnicas de Diagnóstico de Falhas em Motores de Indução Trifásicos ao Sistema de Gerenciamento da Manutenção Industrial - JOSÉ A. URCIA MISARI, CÍCERO COUTO DE MORAES
- BT/PEA/9801 - Análise de Confiabilidade para Gerenciamento Operacional de Sistemas Automatizados de Pesagem Rodoviária - RUBENS LOPES ROLIM, CÍCERO COUTO DE MORAES
- BT/PEA/9802 - Projeto de um Ondulador Híbrido e Estudo de Onduladores Derivados de Solenóide, para Utilização em Laser a Elétrons Livres - FRANCISCO SIRCILLI NETO
- BT/PEA/9803 - Configuração de Redes de Distribuição de Energia Elétrica com Múltiplos Objetivos e Incertezas através de Procedimentos Heurísticos - CARLOS C. BARIONI DE OLIVEIRA, NELSON KAGAN
- BT/PEA/9804 - Conceituação e Aplicação de Metodologia de Gerenciamento pelo Lado da Demanda em uma Empresa Distribuidora de Energia Elétrica - FERNANDO MONTEIRO DE FIGUEIREDO, JOSÉ ANTÔNIO JARDINI
- BT/PEA/9805 - Acoplamento Circuito Elétrico - Método dos Elementos Finitos em Regime Transitório Utilizando a Metodologia de Dommel - NANCY MIEKO ABE, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/9806 - Modelo de Arco Elétrico Aplicado ao Estudo da Interrupção da Corrente em Disjuntores de Média Tensão - LUCILIUS CARLOS PINTO, LUIZ CERA ZANETTA JR.
- BT/PEA/9807 - Proteção para Falta de Alta Impedância Utilizando o Sistema de Rádio Troncalizado - MARCO ANTONIO BRITO, EDUARDO CESAR SENER
- BT/PEA/9808 - Contribuição ao Estudo e Projeto dos Motores Síncronos de Relutância - IVAN EDUARDO CHABU, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/9809 - Cabos Cobertos: Metodologia para a Determinação da Espessura da Cobertura - ANTONIO PAULO DA CUNHA, JOSÉ ANTÔNIO JARDINI
- BT/PEA/9810 - Eletrificação Rural - Avaliações em São Paulo - MARCELO APARECIDO PELEGRINI, FERNANDO SELLES RIBEIRO
- BT/PEA/9811 - Política de Eletrificação Rural em São Paulo - LUIZ HENRIQUE ALVES PAZZINI, FERNANDO SELLES RIBEIRO
- BT/PEA/9812 - Uso Racional e Eficiente de Energia Elétrica: Metodologia para a Determinação dos Potenciais de Conservação dos Usos Finais em Instalações de Ensino e Similares - ANDRÉ LUIZ MONTEIRO ALVAREZ, MARCO ANTONIO SAIDEL

- BT/PEA/9813 - Diretrizes para a Regulação da Distribuição de Energia Elétrica - JAMES S. S. CORREIA, LINEU BELICO DOS REIS
- BT/PEA/9814 - Distribuição da Tensão de Impulso em Enrolamentos de Transformadores de Distribuição - PEDRO LUÍS SANTUCCI DE MENDONÇA, AUGUSTO FERREIRA BRANDÃO JÚNIOR
- BT/PEA/9815 - Estudo Comparativo entre os Diversos Métodos de Determinação do Rendimento de Motores de Indução - FRANCISCO ANTONIO MARINO SALOTTI, ORLANDO SILVIO LOBOSCO
- BT/PEA/9816 - A Nodal Analysis Approach Applied to Electric Circuits Coupling in Magnetodynamic 2D FEM - MAURÍCIO CALDORA COSTA, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/9817 - Informatização e Automação dos Órgãos Gestores de Mão de Obra - EDUARDO MARIO DIAS, CÍCERO COUTO DE MORAES
- BT/PEA/9818 - Frequência de Ocorrência de Sobretensões Originárias de Descargas Atmosféricas em Linhas de Distribuição - NELSON MASSAKAZU MATSUO, LUIZ CERA ZANETTA JR.
- BT/PEA/9819 - Um Método de Imposição de Pólos no Estudo da Estabilidade de Redes Elétricas a Pequenas Perturbações - PERCIVAL BUENO DE ARAUJO, LUIZ CERA ZANETTA JR.
- BT/PEA/9820 - Inter-Relação do Planejamento Agregado de Investimentos com o Planejamento Localizado de Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica - JUCEMAR SALVADOR SIMÕES, NELSON KAGAN
- BT/PEA/9821 - A Produção de Energia Através das Células de Combustível - JOSÉ LUIZ PIMENTA PINHEIRO, LINEU BELICO DOS REIS
- BT/PEA/9822 - Automação de Processos - Revisão e Tendências - SERGIO LUIZ PEREIRA
- BT/PEA/9823 - Metodologia para Seleção e Gerenciamento de Transformadores e Distribuição, Aplicando Técnicas de Redes Neutrais Artificiais - SE UN AHN, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9901 - Contribuição ao Modelamento e Simulação de Motores em Ímãs Permanentes e Comutação Eletrônica de Alta Rotação - WANDERLEI MARINHO DA SILVA, CLOVIS GOLDEMBERG
- BT/PEA/9902 - Estudos de Sistemas de Potência e Automação: Plantas Industriais de Grande Porte - MAURÍCIO G. M. JARDINI, JOSÉ A. JARDINI
- BT/PEA/9903 - Synchronous Machines Parameters Identification Using Load Rejection Test Data - E. C. BORTONI, J. A. JARDINI
- BT/PEA/9904 - Identificação de Locais e Opções Tecnológicas para Implantação de Termoelétricas no Sistema Elétrico Brasileiro: Contribuição ao Estado da Arte e Aplicação ao Caso do Gás Natural - ELIANA APARECIDA FARIA AMARAL FADIGAS, LINEU BELICO DOS REIS
- BT/PEA/9905 - Sistema de Manutenção Preventiva de Subestações: Uma Abordagem Semântica para o Monitoramento Integrado - ELIAS ROMA NETO, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JR.
- BT/PEA/9906 - Previsão das Perdas Magnéticas na Presença de Harmônicos - MARCELO S. LANCAROTTE, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JR.
- BT/PEA/9907 - Comportamento do Aterramento de Sistemas e Equipamentos de Distribuição sob Impulso - CLEVERSON LUIZ DA SILVA PINTO, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JR.
- BT/PEA/9908 - Modelo de Sistema de Supervisão e Controle Operacional de Terminais de Contêineres - LEVI SALVI, EDUARDO MARIO DIAS
- BT/PEA/9909 - Medição de Altas Correntes em Frequência Industrial: Instrumentação, Dispositivos de Medição e Calibrações - HÉLIO EIJI SUETA, GERALDO FRANCISCO BURANI
- BT/PEA/9910 - Conversores Auto-Comutados Aplicados em Derivações de Sistemas de Transmissão de Corrente Contínua e Alta Tensão - WILSON KOMATSU, WALTER KAISER
- BT/PEA/9911 - Análise de Desempenho de Sistemas de Aterramento em Alta Frequência pelo Método dos Elementos Finitos - ANGELO PASSARO, JOSÉ ROBERTO CARDOSO, VIVIANE CRISTINE SILVA
- BT/PEA/9912 - Simulação de Motores "Shaded Pole": Uma Nova Abordagem Analítico-Numérica - PASCHOAL SPINA NETO, SÍLVIO IKUO NABETA, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/9913 - Estimadores de Estado para Sistemas de Potência: Análise do Estado da Arte - CLEBER ROBERTO GUIRELLI, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9914 - Análise sobre o Comportamento de Sistemas de Proteção Contra Descargas Atmosféricas Utilizando o Método dos Elementos Finitos - SEBASTIÃO C. GUIMARÃES JR., LUCIANO MARTINS NETO, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/9915 - Automatização do Atendimento a Reclamações de Interrupção de Energia Elétrica - H. K. Kiyohara, L. C. Magrini, E. P. PARENTE, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9916 - Controle Digital de Tensão e Reativos - PAULA S. D. KAYANO, LUIZ CARLOS MAGRINI, LINEU BELICO DOS REIS, ANTONIO JOSÉ GOMES CARMO, ELIAS DE SOUZA NETO
- BT/PEA/9917 - Localizadores Digitais de Falhas em Linhas de Transmissão - CARLOS EDUARDO DE MORAIS PEREIRA, LUIZ CERA ZANETTA JR.

- BT/PEA/9918 – Religamento Monopolar em Linhas de Transmissão – Propostas de Uma Ferramenta para Investigações Paramétricas – IVANIL POMPEU, LUIZ CERA ZANETTA JR.
- BT/PEA/9919 – Viabilidade Técnica de Abertura Monopolar Permanente em Linhas de Transmissão Extra Alta Tensão – FABIANA AP. DE TOLEDO SILVA, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9920 – Avaliação do U-Net em Custers com Rede My com Rede Myrinet – PAULO A. GEROMEL, SERGIO T. KOFUJI
- BT/PEA/9921 – SAG – Sistema de Apoio Gerencial via Internet – ADRIANO GALINDO LEAL, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9922 – Desequilíbrio de Tensão em Redes Secundárias de Distribuição – PAULO VINÍCIUS SANTOS VALOIS, CARLOS MÁRCIO VIEIRA TAHAN
- BT/PEA/9923 – Sistema Não Lineares Controlados pela Lógica Difusa: Uma Aplicação em Acionamentos Constituídos por Motores Assíncronos – WERNER W. PACHECO LUJAN, CÍCERO COUTO MORAES
- BT/PEA/9924 – Arborescência em Cabos Elétricos de Média e Alta Tensão – JOÃO JOSÉ ALVES DE PAULA, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JÚNIOR
- BT/PEA/9925 – Estudo para Otimização de Desempenho de Plantas Industriais Automatizadas – ANTONIO ORLANDO UGULINO, SERGIO LUIZ PEREIRA
- BT/PEA/9926 – Simulação e Análise de Desempenho de Processos Visando a Otimização de Sistemas Integrados de Produção – CÍCERO COUTO DE MORAES, SERGIO LUIZ PEREIRA, JOSÉ ROBERTO R. DE GODOY
- BT/PEA/9927 – Automação Moderna de Processos: Análise de Necessidade, Viabilidade e Tendências Tecnológicas – SERGIO LUIZ PEREIRA
- BT/PEA/9928 – Modelo de Compensação Série Controlada Aplicado ao Estudo do Amortecimento de Oscilações em Sistemas de Potência – JOSÉ ROBERTO PASCON, LUIZ CERA ZANETTA JÚNIOR
- BT/PEA/9929 – Cálculo de Trajetórias de Elétrons em Estruturas Magnéticas – YASMARA CONCEIÇÃO DE POLLI, VIVIANE CRISTINE SILVA
- BT/PEA/0001 – Monitoramento de Transformadores de Potência Direcionado à Manutenção com Base nas Condições – SERGIO COSTA, AUGUSTO F. BRANDÃO JR.
- BT/PEA/0002 – Redes Neurais Artificiais Aplicadas a Estudos de Subestações de Alta Tensão Abrigadas Frente a Ensaios de Impulsos Atmosféricos – ANDRÉ NUNES DE SOUZA, FERNANDO SELLES RIBEIRO
- BT/PEA/0003 – Relé Diferencial para Transformador de Potência Implementado com uma Rede MLP – RICARDO CANELOI DOS SANTOS, EDUARDO CESAR SENER
- BT/PEA/0004 – Minimização de Resíduos Sólidos Urbanos e Conservação de Energia – PAULO HÉLIO KANAYAMA, LINEU BELICO DOS REIS
- BT/PEA/0005 – Modelamento de Conversores CC/CC por meio da Chave PWM – LUIZ FERNANDO P. DE MELLO, WALTER KAISER
- BT/PEA/0006 – Estudo de Surto em Redes Secundárias de Distribuição Causados por Descargas Atmosféricas Diretas na Rede Primária – WELSON BASSI, JORGE M. JANISZEWSKI
- BT/PEA/0007 – Modelagem da Magnetohidrodinâmica em 3D pelo Método de Elementos Finitos – SERGIO LUÍS LOPES VERARDI, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/0008 – Metodologia para Avaliação do Comportamento e Vida Útil de Motores Alimentados por Fontes Assimétricas de Tensão – JOSÉ LUIZ ANTUNES DE ALMEIDA, EDUARDO MÁRIO DIAS
- BT/PEA/0009 – Esquema de Aterramento Híbrido (EAH) – FRANCISCO CARLOS PARQUET BIZZARRIA, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JUNIOR
- BT/PEA/0010 – Ferro-Ressnância em Redes Subterrâneas de Distribuição – REGINA LÚCIA LAMY, CARLOS MÁRCIO VIEIRA TAHAN
- BT/PEA/0011 – A Análise do Ciclo de Vida e os Custos Completos no Planejamento Energético – CLÁUDIO ELIAS CARVALHO, LINEU BELICO DOS REIS
- BT/PEA/0012 – A Agregação de Valor à Energia Elétrica através da Gestão Integrada de Recursos – ANDRÉ LUIZ VEIGA GIMENES, LINEU BELICO DOS REIS
- BT/PEA/0013 – Tochas a Plasma: Características Básicas para Projeto e Construção – MIGUEL BUSSOLINI, ORLANDO SILVIO LOBOSCO
- BT/PEA/0014 – Um Estudo de Correntes Induzidas em Meios Maciços Ferromagnéticos – Aplicação no Projeto de Freios de Correntes Parasitas – ALVARO BATISTA DIETRICH, IVAN EDUARDO CHABU
- BT/PEA/0015 – Incorporação de Sistemas de Co-Geração aos Sistemas Elétricos de Potência: Um Roteiro para Avaliação de Viabilidade Técnico-Econômica – LUIZ DONIZETI CLEMENTINO, LINEU BELICO DOS REIS
- BT/PEA/0016 – Metodologia para Análise da Posse de Equipamentos e Hábitos de Consumo de Energia Elétrica em Baixa Tensão – ALEXANDRE ANGRISANO, RONALDO P. CASOLARI, JOSÉ ANTONIO JARDINI

- BT/PEA/0017 – Análise de Índices de Qualidade no Planejamento Agregado de Investimentos em Ambiente de Incertezas – CARLOS ALEXANDRE DE SOUSA PENIN, NELSON KAGAN
- BT/PEA/0018 – Controle de Descarregadores de Navios Utilizando Lógica Fuzzy – ANTONIO DAGOBERTO DO AMARAL JÚNIOR, LUIZ CERA ZANETTA JÚNIOR
- BT/PEA/0019 – The Energy Absorption Capacity of Metal Oxide Surge Arresters An Approach for Switching Surges – MANUEL LUÍS BARREIRA MARTINEZ, LUIZ CERA ZANETTA JÚNIOR
- BT/PEA/0020 – Utilização Racional de Energia Elétrica em Instalações Elétricas Comerciais Empregando Sistemas de Automação – JOEL ROCHA PINTO, AUGUSTO FERREIRA BRANDÃO JÚNIOR
- BT/PEA/0021 – Sistema Automatizado para Aquisição de Dados de Consumo de Energia Elétrica, Água e Gás – JOSÉ WALTER PARQUET BIZARRIA, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/0022 – Estudo de Ignitores de Pulsos Superpostos para Lâmpadas de Vapor de Sódio de Alta Pressão – ALEXANDER FERNÁNDEZ CORREA, WALTER KAISER
- BT/PEA/0023 – Desenvolvimento de Medidor Eletrônico de Energia Elétrica de Custo Competitivo Associado a Estudos sobre Medições de Energia Elétrica – DOUGLAS ALEXANDRE DE A. GARCIA, SERGIO LUIZ PEREIRA
- BT/PEA/0024 – Uma Visão Educacional do Método dos Elementos Finitos Aplicado ao Eletromagnetismo – LUIZ NATAL ROSSI, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/0025 – An Application of the Finite-Element Method to Desig a Switched Reluctance Motor – PEDRO P. DE PAULA, SÍLVIO I. NABETA, JOSÉ R. CARDOSO
- BT/PEA/0026 – Algoritmos de Alta Velocidade para a Proteção de distância de Linhas de Transmissão – ERVALDO GARCIA JÚNIOR, EDUARDO CÉSAR SENER
- BT/PEA/0027 – Sistema de Aquisição e Tratamento de Dados para a Monitoração da Tensão em Regime Permanente – SÍLVIO XAVIER DUARTE, CARLOS MÁRCIO VIEIRA TAHAN
- BT/PEA/0028 – Análise da Confiabilidade e Manutenibilidade de Topologias do Sistema de Telefonia Fixa – RICARDO ELIAS CAETANO, CÍCERO COUTO DE MORAES
- BT/PEA/0029 – Aspectos Tecnológicos Referentes à Repotenciação de Usinas Termoeletricas – MÁRCIO NESTOR ZANCHETA, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JR
- BT/PEA/0030 – Controle de Iluminação Utilizando Dimerização por Lógica Fuzzy, Compensando a Iluminação Natural – ANDRÉ VITOR BONORA, EDUARDO MÁRIO DIAS
- BT/PEA/0031 – Identificação do Nível de Redundância das Medidas de um Sistema, para Efeito da Estimação de seus Estados – JOÃO BOSCO AUGUSTO LONDON JUNIOR, NEWTON GERALDO BRETAS
- BT/PEA/0101 – Aplicação do Controlador de Subestação a um Sistema Digital Integrado de Supervisão e Controle – RENATO CAMPANINI TEIXEIRA, AUGUSTO F. BRANDÃO JR.
- BT/PEA/0102 – Uma proposta de um Filtro Ativo de Tensão para Aplicações em Redes Elétricas – JOSÉ TOSHIYUKI HONDA, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/0103 – Causas de Falhas e Critérios de Reaproveitamento de Transformadores de Distribuição de Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica – MIGUEL ANGEL HERNANDEZ TORRES, MARCOS ROBERTO GOUVÊA
- BT/PEA/0104 – Um Sistema para Avaliação de Indicadores de Qualidade da Distribuição de Energia Elétrica – GERSON YUKIO SAIKI, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/0105 – Métodos de Análise de Sistemas de Aterramento de Linhas Metroviárias – ARMANDO DE OLIVEIRA ALVES DE SOUZA, LUIZ LEBENSZTAJN
- BT/PEA/0106 – Caracterização de Acionamentos na Indústria de Beneficiamento de Minério de Ferro – FERNANDO MARCELO CALADO DE ANDRADE, IVAN EDUARDO CHABU
- BT/PEA/0107 – Impacto da Privatização das Concessionárias de Distribuição de Energia Elétrica na Qualidade da Energia Suprida – MITSUO NITTA, ADERBAL DE AARUDA PENTEADO JÚNIOR
- BT/PEA/0108 – Estudo Comparativo de Ensaios de Chapa Única para Medidas de Perdas em Aços Elétricos – RONALDO ALVES SOARES, CARLOS SHINITI MURANAKA
- BT/PEA/0109 – Modelagem de Transformadores de Distribuição para Altas Frequências – ARNALDO G. KANASHIRO, ALEXANDRE PIANTINI, GERALDO F. BURANI
- BT/PEA/0110 – Análise e Localização de Descargas Parciais em Transformadores de Potências por Métodos Elétricos - HÉDIO TATIZAWA, GERALDO FRANCISCO BURANI
- BT/PEA/0111 – A Eletrificação Rural em São Paulo – Custos e Padrões – LUIZ FERNANDO KURAHASSI, FERNANDO SELLES RIBEIRO
- BT/PEA/0112 – A Escola Rural sem Luz em São Paulo - OSWALDO TADAMI ARIMURA, FERNANDO SELLES RIBEIRO
- BT/PEA/0113 – Eletrificação Rural no Novo Cenário: O Caso de São Paulo – LUIZ HENRIQUE ALVES PAZZINI, FERNANDO SELLES RIBEIRO

- BT/PEA/0114 – Simulação do Aterramento em Sistemas MRT – OCTÁVIO FERREIRA AFFONSO, FERNANDO SELLES RIBEIRO
- BT/PEA/0115 – Otimização do Dimensionamento de Equipamentos para Automação de Terminal de Contêineres – FÁBIO LOPES CARNELOS, EDUARDO MÁRIO DIAS
- BT/PEA/0116 – Sistema de Localização de Falhas para Redes Primárias de Distribuição – GIOVANNI MANASSERO JUNIOR, EDUARDO CESAR SENER
- BT/PEA/0117 – Proteção de Distância para Linhas de Transmissão com Compensação Série – JOSÉ GERALDO BARRETO MONTEIRO DE ANDRADE, EDUARDO CESAR SENER
- BT/PEA/0118 – Proposta de Acionamento Microprocessado para Empilhadeira Elétrica – MARCO AURÉLIO VILELA DE OLIVEIRA, WALTER KAISER
- BT/PEA/0119 – Técnicas "Anti-Windup" – LUIZ AUGUSTO PEREIRA FERNANDES, CLÓVIS GOLDEMBERG
- BT/PEA/0120 – Regulador de Tensão de Gerador – HERALDO SILVEIRA BARBUY, CLÓVIS GOLDEMBERG
- BT/PEA/0121 – Eficiência Operativa e Confiabilidade de Equipamentos Associados à Automação de Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica – REINALDO BURIAN, CÍCERO COUTO DE MORAES
- BT/PEA/0122 – Cálculo de Forças sobre Ímãs Permanentes: Uma Análise do Problema 23 do Team Workshop – HÉLIO JOSÉ DAMANTE, LUIZ LEBENSZTAJN
- BT/PEA/0123 – Análise de Guias de Ondas Ópticos pelo Método dos Elementos Finitos – MARCOS A. R. FRANCO, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/0124 – Transient Induced Voltage Computation in a High Building Struck by Lightning – CARLOS A. F. SARTORI, A. ORLANDI, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/0125 – Metodologia para Cálculo de Perdas Técnicas por Segmento do Sistema de Distribuição – ANDRÉ MÉFFE, CARLOS CÉSAR BARIONI DE OLIVEIRA
- BT/PEA/0126 – Cálculo da Distribuição da Corrente de Falta em Sistemas de Aterramento de Redes Primárias – GILBERTO DE MAGALHÃES FALCOSKI, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JR.
- BT/PEA/0127 – Acionamento de Velocidade Variável Utilizando Motores de Corrente Alternada Assíncronos – JOSÉ ALBERTO MARQUES, IVAN EDUARDO CHABU
- BT/PEA/0201 – Unified Power Quality Conditioner with Energy Storing Module for Medium Voltage Adjustable Speed Drive – VALBERTO FERREIRA DA SILVA, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JUNIOR
- BT/PEA/0202 – Simulação de Marcha de Composição Ferroviária Acionada por Motores de Indução e PWM – CASSIANO LOBO PIRES, SILVIO IKUYO NABETA
- BT/PEA/0203 – Conservação de Energia Elétrica em Edificações Comerciais: Sistemas de Ar Condicionado com Central de Água Gelada – TEODORO MONGE DE AMORIM FILHO, MARCO ANTONIO SAIDEL
- BT/PEA/0204 – Reconfiguração de Redes Primárias de Distribuição de Energia Elétrica Utilizando Sistemas de Informações Geográficas – FERDINANDO CRISPINO, HERNAN PRIETO SCHMIDT
- BT/PEA/0205 – Previsão de Carga em Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica Utilizando Redes Neurais Artificiais – JORGE YASUOKA, HERNAN PRIETO SCHMIDT
- BT/PEA/0206 – Correção de Distorções Harmônicas, em Sistemas Industriais, Através de Filtros Passivos – ANTONIO PESTANA NETO, LUIZ CERA ZANETTA JÚNIOR
- BT/PEA/0207 – Proposta de Metodologia para Controle da Qualidade do Fornecimento de Energia Elétrica a Partir da Segmentação do Mercado Consumidor em Famílias de Redes Elétricas – RODOLFO COLI DA CUNHA, CARLOS MÁRCIO VIEIRA TAHAN
- BT/PEA/0208 – Modelagens das Funções de uma Subestação Automatizada Empregando Modelos Orientados a Objetos – MILTHON SERNA SILVA, AUGUSTO F. BRANDÃO JR
- BT/PEA/0209 – Automação de Instalações Elétricas Prediais Através da Internet – ROBSON REBOUÇAS CARDOSO, AUGUSTO FERREIRA BRANDÃO JUNIOR
- BT/PEA/0210 – Identificação Automática de Vagões na Área Portuária: Uma Solução com Análise de Imagens – EDUARDO MANTOVANI, EDUARDO MÁRIO DIAS
- BT/PEA/0211 – Concepção de Sistema de Supervisão e Controle no Processo de Descarga Rodoviária em Terminais Portuários Utilizando Identificadores Automáticos de Veículos – ROGÉRIO COSTA DE OLIVEIRA, EDUARDO MÁRIO DIAS
- BT/PEA/0212 – Metodologia para Análise de Perda de Vida Útil de Transformadores, Alimentando Cargas não Lineares – ARLINDO GARCIA FILHO, EDUARDO MÁRIO DIAS
- BT/PEA/0213 – Sistema de Automação para Gestão do Carregamento de Transformadores Baseado na Confiabilidade – JOSÉ LUIZ PEREIRA BRITTES, JOSÉ ANTONIO JARDINI, HERNAN PRIETO SCHMIDT
- BT/PEA/0214 – A Conservação, Considerando Aspectos Relacionados à Qualidade de Energia Elétrica na Indústria Têxtil: Estudo de Caso – MÁRIO CÉSAR GIACCO RAMOS, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JR.

- BT/PEA/0215 – Cálculo de Parâmetros Operacionais de Desempenho de Redes Primárias de Distribuição Utilizando Redes Neurais Artificiais – ANA MARIA GARCÍA CABEZAS, HERNAN PRIETO SCHMIDT
- BT/PEA/0216 – Análise Dinâmica de um Motor de Indução Linear pelo Método dos Elementos Finitos – EDUARDO FERREIRA DA SILVA, SILVIO IKUYO NABETA
- BT/PEA/0217 – Reômetro Rotativo de Taxa de Cisalhamento Imposta Acionado por Motor de Passo – SAMUEL E. DE LUCENA, WALTER KAISER
- BT/PEA/0218 – Acionamentos com Motores Brushless para Sistemas de Ventilação de Emergência – RENATO DE ALMEIDA PEREIRA, CÍCERO COUTO DE MORAES
- BT/PEA/0219 – Retificador Trifásico de Alta Eficiência para Tochas de Plasma – MARIO GONÇALVES GARCIA JÚNIOR, LOURENÇO MATAKAS JÚNIOR
- BT/PEA/0220 – Impacto de Modelos de Mercado Espacial no Planejamento de Sistemas de Distribuição de Energia – MARIÂNGELA DE CARVALHO BOVOLATO, NELSON KAGAN
- BT/PEA/0221 – Proposta de Recuperador Dinâmico para Correção de Afundamentos de Tensão – FRANCISCO COSTA SARAIVA FILHO, EDUARDO CESAR SENER
- BT/PEA/0222 – Análise Preditiva de Defeitos em Motores de Indução Trifásicos Utilizando a Corrente de Alimentação – JOSÉ DANIEL SOARES BERNARDO, LUIZ CERA ZANETTA JÚNIOR
- BT/PEA/0223 – Cálculo de Iluminação Auxiliado por Computadores – NESTOR CÂNDIDO FERREIRA SEGUNDO, MARCO ANTONIO SAIDEL
- BT/PEA/0224 – Otimização de Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica Utilizando Geração Distribuída – JAMEA CRISTINA BATISTA SILVA, NELSON KAGAN
- BT/PEA/0301 – Algoritmo Digital para a Proteção da Interligação Concessionária – Indústria Operando em Sistemas de Cogeração – FRANCISCO ANTONIO REIS FILHO, EDUARDO C. SENER
- BT/PEA/0302 – Dimensionamento da Infra-Estrutura para Automação de Terminais de Granéis Sólidos – FABIO DEL PAPA, EDUARDO MARIO DIAS
- BT/PEA/0203 – Desenvolvimento e Aplicação de Metodologia para Estudos de Viabilidade de Plantas de Cogeração – RICARDO SHEIGI ABE, SERGIO LUIZ PEREIRA
- BT/PEA/0304 – Applying Object-Oriental Technology to Project Hydroelectric Power Plant SCADA Systems – CARLOS ALBERTO VILLACORTA CARDOSO, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/0305 – Impactos Econômicos Causados pelos Distúrbios na Rede Básica de Energia Elétrica – JOSÉ JULIO DE ALMEIDA LINS LEITÃO, LINEI BELICO DOS REIS
- BT/PEA/0306 – Fault Location in Transmission Lines Using One Terminal Post Fault Voltage Data – CARLOS EDUARDO DE MORAIS PEREIRA, LUIZ CERA ZANETTA JR.
- BT/PEA/0307 – Impactos da Aplicação de Lâmpadas Fluorescentes Compactas em Habitações de Baixa Renda no Sistema de Distribuição de Energia Elétrica – LUIS VENTURA CASTELLS PEÑA, CARLOS MÁRCIO VIEIRA TAHAN
- BT/PEA/0308 – Análise e Melhoria do Controle Automático de Concentração de uma Planta de Ácido Nítrico Diluído – ELCIO RODRIGUES ARANHA, CÍCERO COUTO DE MORAES
- BT/PEA/0309 – Criação de Valor na Avaliação de Projetos Termelétricos sob Condições de Risco no Mercado Brasileiro de Energia Elétrica – WAGNER DA SILVA LIMA, DOREL SOARES RAMOS
- BT/PEA/0310 – Zoneamento Sócio-Econômico-Ecológico como Instrumento de Apoio a Regulação da Energia Elétrica – LUIZ MARIO TORTORELLO, MARCOS ROBERTO GOUVÊA
- BT/PEA/0311 – Análise de Transientes em Motor de Indução Modelo ABC/abc Aplicado ao Modelamento e Simulação de Soft-Starters - LUIS CARLOS RIBEIRO DOS SANTOS – CLOVIS GOLDEMBERG
- BT/PEA/0312 – Modelamento Matemático e Análise do Funcionamento do Acionamento para Motores de Anéis em Cadeia Sub-Síncrona – SÉRGIO LUIZ VOLPIANO – CLOVIS GOLDEMBERG
- BT/PEA/0313 – Considerações do Ambiente Eletromagnético Urbano na Análise de Interferências Eletromagnéticas em Veículos Automotores – GLÁUCIO SANTOS – CARLOS ANTONIO FRANÇA SARTORI
- BT/PEA/0314 – Contribuição a Aplicação das Wavelets na Eletrostática – ALDO ARTUR BELARDI, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/0315 – Avaliação Ponderada da Hidreletricidade e Termeletricidade Através dos Custos Completos – JULIO HENRIQUE BOARATI, MIGUEL EDGAR MORALES UDAETA

