



VI SBQEE

21 a 24 de agosto de 2005

Belém – Pará – Brasil



Código: BEL 10 7505

Tópico: Indicadores e Limites

METODOLOGIA PARA ACOMPANHAMENTO DE METAS DOS INDICADORES DE CONTINUIDADE DEC E FEC

Jorge Coelho*, Mauricio Sperandio, Ronyê Mitchell O. Dutra 1

Sílvia M. Nassar, Vítório Mazzola, Carlos A.G. Tibiriçá, Jaqueline Stumm, Fabrícia F. Lemos 2

Cecília M. Borba, Hermes L. Queiroz 3

¹LabPlan - Depto Engenharia Elétrica
UFSC

²INE - Depto de Informática e Estatística
UFSC

³Centrais Elétricas de Santa Catarina
CELESC

RESUMO

É apresentada uma metodologia para a previsão e acompanhamento mensal dos indicadores Duração esperada Equivalente por Consumidor (DEC) e Frequência esperada Equivalente por Consumidor (FEC) de unidades consumidoras de energia elétrica, verificando os meses que tiveram desempenho diferente do valor esperado e observando as causas prováveis de interrupções (exógenas e endógenas). Quando o número de falhas for maior do que o esperado, ações gerenciais e técnicas deverão ser ativadas para que os indicadores acatem os limites legais. Esta metodologia busca a formalização do modelo existente e o desenvolvimento de um sistema de apoio à tomada de decisão utilizando técnicas de inteligência artificial.

PALAVRAS – CHAVE

Confiabilidade, Qualidade do Serviço de Distribuição, Análise de Falhas, Inteligência Artificial.

1.0 INTRODUÇÃO

Com a reestruturação do setor elétrico, a continuidade do fornecimento de energia tornou-

se fator crítico para o sucesso das empresas distribuidoras de energia. O órgão regulador ao definir novos padrões de qualidade e penalidades pelo não atendimento desses padrões, induziu as empresas distribuidoras a reverem a sua metodologia de avaliação e atuação no sistema a fim de atender às novas exigências. Desta forma, faz-se necessário minimizar desligamentos para manutenção, prevenir-se contra interrupções inesperadas e adquirir conhecimento sobre as causas destas interrupções.

Para elaborar seus procedimentos, a área de operação da concessionária adota um sistema participativo com base em encontros por função, grupos de trabalho e pela troca de experiência.

Assim, os procedimentos vão emergindo através da interação entre as pessoas de todos os setores da área de operação até, num determinado momento, se tornarem um padrão. Neste processo ocorre um aprendizado coletivo de modo incremental em que “o aprender fazendo e quem pensa executa” são princípios perseguidos. A metodologia para avaliação da qualidade dos conjuntos está emergindo desse processo. Inicialmente, foram extraídas do banco de dados da concessionária as variáveis relevantes para a análise do desempenho da qualidade de fornecimento de energia elétrica.

A metodologia utilizada pela concessionária para avaliação dos conjuntos de consumidores por

meio dos indicadores técnicos de qualidade divide-se em quatro etapas [1]:

Seleção preliminar dos conjuntos

Análise gráfica

Identificação das causas prováveis

Plano de ação

Considerando essa metodologia, e que pesquisadores de diversas áreas têm proposto modelagens para a dependência temporal da confiabilidade do sistema através de técnicas clássicas [2] e de inteligência artificial e estatística multivariada [3, 4] este artigo apresenta resultados parciais do desenvolvimento de um sistema de apoio à decisão combinando essas técnicas.

2.0 MODELAGEM DO SISTEMA DE APOIO À DECISÃO

Para a modelagem do sistema realizou-se um estudo do problema para identificar as particularidades da metodologia utilizada pela concessionária (Figura 1) em cada uma de suas etapas, de forma a investigar melhorias nos procedimentos e para a análise em tempo real da qualidade de fornecimento nas diferentes unidades consumidoras.

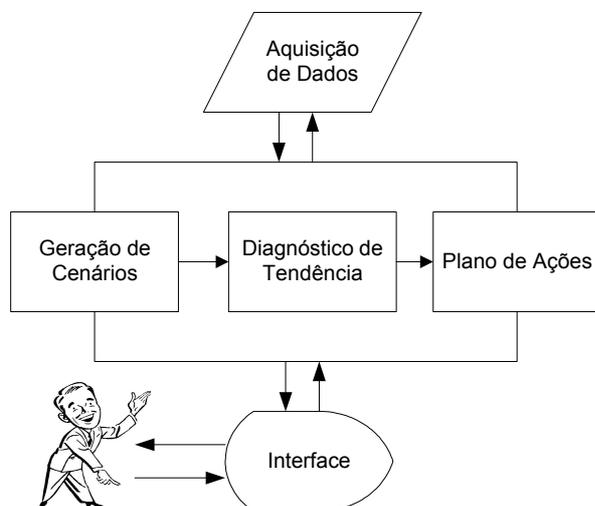


Figura 1. Etapas da metodologia utilizada pela concessionária.

2.1 Aquisição de dados

Os dados extraídos do banco de dados da concessionária são: a identificação do conjunto, o ano, o mês, o DEC mensal, o FEC mensal, o padrão anual da ANEEL para o DEC e FEC.

Na metodologia utilizada pela concessionária são construídos dois cenários: o valor acumulado e a taxa trimestral de DEC e FEC. Nestes cenários é

analisada a taxa de tendência de qualidade recente para cada unidade consumidora.

Para verificar a construção de cenários e o diagnóstico de tendência tomou-se uma unidade consumidora e realizou-se a análise dos dados de DEC e FEC mensais (Figuras 2 a 5).

Observa-se que as séries históricas de DEC e FEC (Figuras 2 e 3) apresentam um comportamento aleatório ao longo dos meses, mas com relativa similaridade entre si. A correlação entre os valores mensais de DEC e FEC variaram de 0,68 a 0,95 neste conjunto de unidades consumidoras analisado. Para realizar a previsão de valores mensais de DEC e FEC podem ser utilizadas técnicas estatísticas de séries temporais e técnicas de redes neurais artificiais.

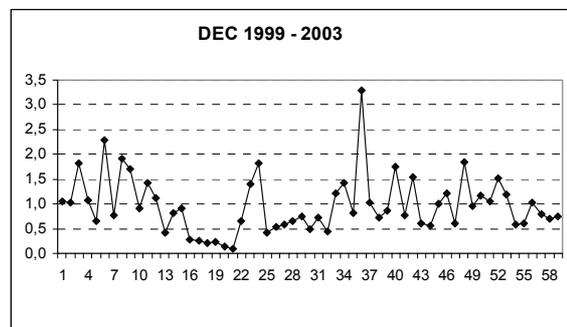


Figura 2. Série histórica mensal de DEC no período 1999 a 2003.

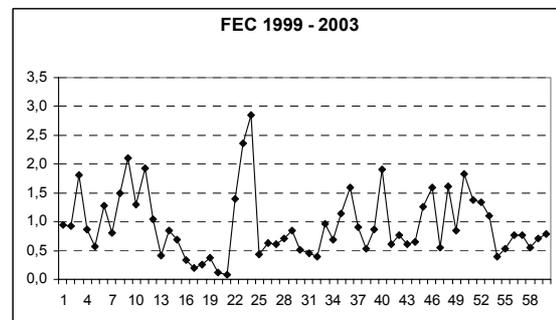


Figura 3. Série histórica mensal de FEC no período 1999 a 2003.

Ao observar o comportamento mensal do DEC sobrepondo os anos de 1999 a 2003 (Figura 4), verifica-se que nos períodos referentes aos meses de janeiro e fevereiro, maio, julho, outubro e novembro houve uma menor variação nos valores. Enquanto que nos meses de março a junho, agosto e setembro, e dezembro houve uma maior variação desse indicador.

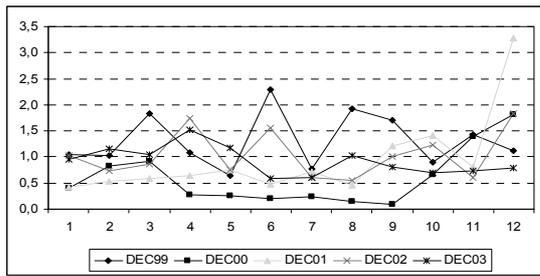


Figura 4. Distribuição mensal de DEC no período 1999 a 2003.

Em relação à variação mensal do índice FEC (Figura 5) nota-se que apenas nos meses de janeiro e julho houve uma pequena variação entre os valores anuais nos 5 anos. Nos demais meses ocorreu uma maior dispersão dos valores de FEC.

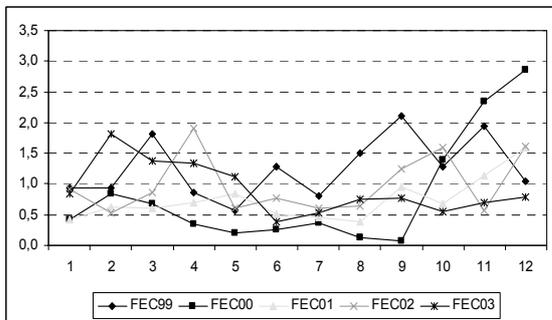


Figura 5. Distribuição mensal de FEC no período de 1999 a 2003.

Essas evidências apontam para uma correlação sazonal e climática, as quais devem ser considerados tanto para a previsão quanto para a geração de cenários.

2.2 Geração de cenários

Em todas as unidades consumidoras é analisada a taxa de tendência de qualidade recente como fator discriminante para formar dois grupos de conjuntos com qualidade de fornecimento: aceitável e crítica. Na metodologia atual são três os critérios ou regras utilizadas nesta etapa:

Quanto maior o valor da violação do padrão, mais crítico é o conjunto.

Quanto mais cenários forem violados para um mesmo indicador, mais crítico é o conjunto.

Quanto maior o valor da taxa, mais crítico é o conjunto.

Desta análise são selecionados os conjuntos com qualidade de fornecimento críticas, que passarão para a etapa da análise gráfica para o diagnóstico de tendência.

2.3 Diagnóstico de tendência

Na metodologia utilizada, uma análise gráfica é feita com base nas informações constantes no gráfico de cenários. Os cenários permitem identificar os conjuntos que poderão violar os padrões definidos pelo órgão regulador (a curto, médio e longo prazo). Os valores mensais auxiliam a identificar as prováveis causas das falhas (mal desempenho).

Na versão atual são dois os cenários básicos utilizados para estimar os valores dos indicadores do conjunto. O primeiro, **Proj_Acum**, considera que o desempenho mensal do conjunto será o mesmo do ano anterior. O segundo, **Proj_Taxa Trim**, considera que o desempenho do sistema seguirá a tendência dos meses precedentes mais recentes.

No sistema em desenvolvimento, o diagnóstico de tendências para previsão de DEC e FEC será realizado por meio de uma rede neural artificial e estatística multivariada [5-7] cujos dados de entrada serão os percentuais mensais de DEC e FEC em relação ao valor anual ocorrido (Tabelas 1 e 2), incluindo variáveis exógenas.

Tabela 1. Distribuição Percentual Mensal de DEC para o período 1999 a 2003.

Mês	1999	2000	2001	2002	2003
1	6,63	5,68	3,71	8,16	8,57
2	6,56	11,36	4,69	5,84	10,47
3	11,59	12,74	5,22	6,96	9,39
4	6,84	3,74	5,75	13,92	13,72
5	4,10	3,46	6,63	6,08	10,65
6	14,50	2,77	4,24	12,40	5,23
7	4,88	3,19	6,37	4,88	5,51
8	12,21	2,08	3,98	4,40	9,30
9	10,82	1,39	10,70	8,00	7,22
10	5,72	9,14	12,56	9,76	6,23
11	9,08	19,25	7,16	4,88	6,68
12	7,06	25,21	29,00	14,72	7,04
Total	100%	100%	100%	100%	100%

Tabela 2. Distribuição Percentual Mensal de FEC para o período 1999 a 2003.

Mês	1999	2000	2001	2002	2003
1	6,20	4,24	4,82	7,68	7,75
2	6,16	8,48	7,05	4,56	16,59
3	12,05	6,86	6,72	7,26	12,58
4	5,70	3,43	7,84	16,03	12,12

5	3,80	2,02	9,41	5,15	10,12
6	8,53	2,62	5,82	6,50	3,56
7	5,35	3,73	5,04	5,06	4,83
8	9,92	1,21	4,37	5,49	6,93
9	13,94	0,81	10,75	10,55	7,02
10	8,54	14,03	7,61	13,42	5,01
11	12,84	23,71	12,77	4,73	6,38
12	6,97	28,86	17,81	13,59	7,11
Total	100%	100%	100%	100%	100%

Esses valores percentuais permitem estimar os valores mensais toleráveis para o cumprimento das metas contratuais com a ANEEL. Os valores previstos de DEC e FEC servem para auxiliar a estabelecer um pré-diagnóstico das causas das interrupções e das ações necessárias para corrigir o problema. As seguintes regras são utilizadas na metodologia atual da concessionária:

Se os valores mensais dos índices no ano corrente são similares aos ocorridos no ano anterior, significa que os procedimentos adotados pela empresa são os rotineiros.

Se os valores mensais dos índices no ano corrente vêm-se constituindo num padrão acima dos valores do ano anterior, uma possibilidade é que a taxa de falha do sistema tenha aumentado e a causa provável pode ser manutenção inadequada.

Se os valores são menores, significa que foram realizadas ações no sistema para levá-lo a um novo padrão, como exemplos: ações de melhoria ou entrada de um novo alimentador.

Se estes valores estão abaixo do valor de referência, o sistema pode assegurar um bom desempenho a médio prazo e tem-se uma folga que pode ser utilizada para realizar desligamentos programados necessários à manutenção, melhoria e reforma.

Assim, além de identificar os conjuntos críticos, esta etapa permite elaborar um pré-diagnóstico das prováveis causas do desempenho e possíveis soluções.

2.4 Plano de ações

Na metodologia atual é realizada a busca da causa mais provável do problema. Por equipamento, são analisados: taxa de falha, configuração do alimentador e a importância (peso) do alimentador para o conjunto instalado.

A análise dos equipamentos é focada no número de atuação por equipamento e na contribuição do índice do equipamento na formação do índice do conjunto.

Na análise da causa da interrupção considera-se o número de interrupções por causa e a contribuição da causa no índice do conjunto. É verificada a causa da falha ou grupo de causas de interrupção mais prováveis do problema.

A taxa de falha do alimentador serve para balizar se o alimentador está dentro dos padrões definidos pela concessionária como adequados. Uma taxa de falha elevada indica uma degradação do alimentador e a necessidade de implementar ações de melhoria, reforma ou manutenção.

Ao final desta etapa pode-se chegar a identificar uma ação a ser realizada ou ainda um conjunto de ações. Neste caso é necessário elaborar um plano contendo as várias ações interligadas considerando um cronograma e a viabilidade financeira.

Portanto, após a análise da metodologia atualmente utilizada pela concessionária, determinaram-se os requisitos necessários ao sistema de apoio à decisão apresentado na Figura 6. Seus módulos, além do processamento numérico, realizarão inferências utilizando redes neurais artificiais e bases de regras [8, 9].

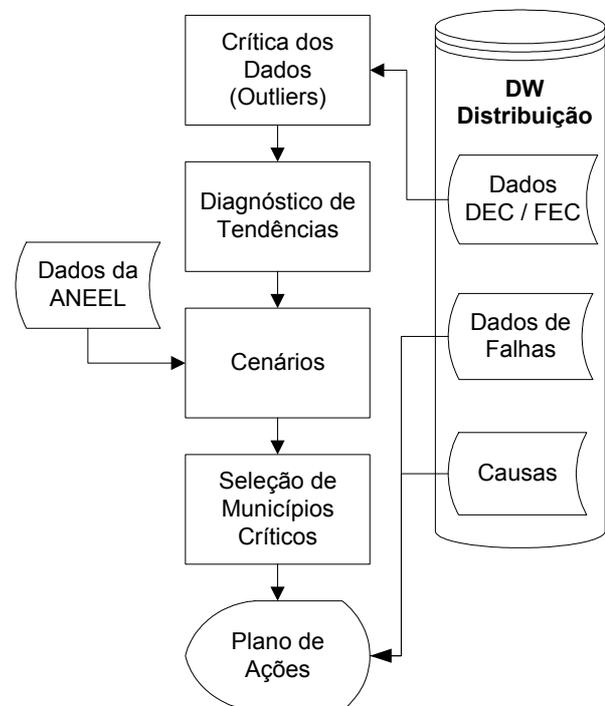


Figura 6. Modelo do Sistema de Apoio à Decisão

3.0 TÉCNICAS DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

3.1 Redes neurais artificiais (RNA)

É grande o número de aplicações em que as Redes Neurais Artificiais (RNAs) apresentam-se como método de inferência de solução para problemas de previsão. As RNAs são também aplicadas na previsão de Séries Temporais, como as séries de valores de DEC e FEC.

Cada Série Temporal é um conjunto de observações ordenadas no tempo e que apresentam dependência serial, entre instantes de tempo.

Assim, a partir do conhecimento histórico das séries de DEC e FEC é possível estimar valores futuros e planejar ações pró-ativas de manutenção, obtendo melhores resultados na redução dos índices e aperfeiçoando o aproveitamento de recursos. Apesar de existirem métodos para a previsão estatística, é interessante um método de previsão que utilize as vantagens consagradas das RNAs. Na previsão de séries temporais é possível utilizar o SOM (*Self Organizing Maps* – Mapas Auto Organizáveis), que é um algoritmo consagrado desenvolvido por Teuvo Kohonen e com as mais variadas aplicações já implementadas. É utilizado no agrupamento de dados (*cluster analysis*), reconhecimento de padrões e também em métodos de previsão de séries temporais.

A previsão baseia-se na busca pelo modelo ideal único, que descreva um dado comportamento de uma série temporal. O método realiza a previsão aproximando vários cenários de modo discreto através da característica de aprendizado por classificação dos mapas, que modela os possíveis padrões de comportamento da série por aproximação da função densidade de probabilidade da base de dados utilizada na fase de treinamento.

O método associa as RNAs do algoritmo SOM à previsão por modelos lineares locais. Denomina-se Modelo de Previsão Local baseado em Redes Neurais. Aplicam-se a este problema as Redes Neurais como um gerador de múltiplos cenários, fazendo-se a previsão linear local.

Esta técnica possui duas vantagens principais:

Melhora o modelo de previsão tradicionalmente utilizado, beneficiando-se da inteligência artificial;
Torna mais fácil o entendimento do raciocínio para chegar à previsão.

Portanto, associam-se vantagens de ambos os métodos de previsão, mantendo-se a

inteligibilidade do método de solução. Este é um fator importante a ser considerado na construção de sistemas de apoio à decisão. O objetivo do método é utilizar modelos locais, ou seja, que evidenciem uma parte das características da série temporal, para fazer a previsão de dados futuros. O método aproveita as capacidades dos mapas de Kohonen como método de quantização vetorial, ferramenta de análise exploratória de dados e suas possibilidades na visualização de dados.

3.2 Sistemas baseados em regras (SBR)

A regra é, em primeira instância, o mecanismo que mais naturalmente descreve o raciocínio humano. Os Sistemas Baseados em Regras são baseados no conhecimento que modela o processo de tomada de decisão por meio de regras do tipo SE – ENTÃO. Segue-se uma linha em que condições levam a conclusões e ações.

Em SBRs utiliza-se um motor de inferência que manipula as regras de forma a produzir novos fatos ou conclusões. Esses fatos ou conclusões podem gerar observações sobre o problema ou a própria solução deste.

As condições podem ser verificadas em forma de *check-lists*, fornecendo conclusões para o caso do preenchimento das condições suficientes, e estão ligadas a uma série de regras, que são disparadas conforme as conclusões, ou combinações delas, são alcançadas.

Os Sistemas Especialistas Baseados em Regras apresentam a vantagem de uma estrutura transparente de raciocínio, com boa inteligibilidade para o usuário, pois sua estrutura de regras assemelha-se ao raciocínio humano natural. Isso é importante para facilitar a formalização do conhecimento da área de atuação do sistema de apoio à decisão.

4.0 CONCLUSÃO

A metodologia de previsão mensal dos indicadores (DEC e FEC) das unidades consumidoras apresenta um modelo de apoio à tomada de decisão da qualidade de serviço para controle e otimização de cerca de 260 conjuntos com cerca de 1,9 milhões de unidades consumidoras atendidas, considerando valores históricos e demais variáveis implícitas. Assim os aspectos relevantes desta metodologia contemplam:

Aquisição e crítica dos dados – estas funções objetivam a captura de dados de distribuição, de falhas e de causas de interrupção.

Geração de Cenários – esta função objetiva disponibilizar cenários mensais a partir da série histórica de DEC e FEC e dos padrões regulatórios da ANEEL.

Diagnóstico de Tendência – este módulo é um sistema especialista utilizando redes neurais artificiais desenvolvido para realizar a previsão de valores de DEC e FEC.

Plano de Ações – é um sistema especialista baseado em regras que considera as falhas e as causas de interrupções para propor ações preventivas.

Informatização da gestão das metas contratuais de desempenho e das ações preventivas no sistema de distribuição por meio da integração das funções anteriormente descritas em um sistema de apoio à decisão.

O desenvolvimento deste sistema de apoio à decisão formalizará o conhecimento de engenheiros do setor por ser composto de módulos especialistas em previsão de DEC e FEC e agregar uma base de conhecimento de estratégias de ações preventivas. Assim, além de oferecer apoio à tomada de decisões, poderá ser utilizado no treinamento de novos profissionais.

5.0 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CELESC – Centrais Elétricas de Santa Catarina – pelo suporte financeiro a este trabalho.

6.0 REFERÊNCIAS

H.L. Queiroz & C.M. Borba. "Metodologia para Avaliação dos Conjuntos de Consumidores por Meio dos Indicadores Técnicos de Qualidade", in *Seminário Internacional sobre Planejamento e Qualidade em Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica*, Puerto Iguazu, Argentina, in CD, 2001.

J. Coelho, "Graphical analysis of time varying failure indices of distribution transformers"; in *Probabilistic Methods Applied to Power Systems – PMAPS*, pp. 85-90, Rio de Janeiro, Brazil, 1994.

J. Coelho, E. Gauche, S.M. Nassar, V.W. Ricardo, H. Queiroz, M. de Lima, "Influence of weather variables in continuity levels of electrical power supply through artificial neural networks", in *VIII SEPOPE*, Brasília, Brazil, in CD, 2002.

J. Coelho, E. Gauche, S.M. Nassar, V.R. Wronscki, H. Queiroz, M. de Lima, M. C. Lourenço "Reliability Diagnosis of Distribution System under Adverse Weather Conditions", in *IEEE Bologna Power Tech*, Italy, in CD, 2003.

W. Buntine, "Operation for learning with graphical models", *Journal of Artificial Intelligent Research*, vol.2, pp.159-225, 1994.

R. A. Johnson and D. W. Wichern, "Applied Multivariate Statistical Analysis", USA: New York, Prentice Hall, 4nd ed., 1998.

L. Lebart, A. Morineau and M. Piron, "Statistique Exploratoire Multidimensionnelle", France: Dunod, 1995.

M. Henriom, J.S. Breese, and E.J. Horvitzm "Decision Analysys and expert systems", *AI Magazine*, vol. 12, no. 4, pp. 64-91, 1991.

P. Spirbes, C. Glymour, and R. Scheines, *Causation, Prediction, and Search*, Springer-Verlag, New York, 1993.

Kohonen, T., "The Self-Organizing Map", *Proceedings of the IEEE*; vol 78; n° 9, 1990.

Vesanto, J., "Using the SOM and Local Models in Time-Series Prediction", *Proc. Workshop on Self-Organizing Maps (WSOM'97)*, Espoo, Finland, pp.209-214, 1997.

Py, M., X., "Sistemas Baseados no Conhecimento: Máquina Dado", Instituto de Informática, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS.