

# Sistema de Gestão da Pós-Operação e Pré-Manutenção para Otimização da Distribuição

J.A.Cipoli, B.E.M.Ferreira, M.A.de Marco, W.H.Bernardelli, C.E.P. Persinoti

**Resumo** - Este projeto apresenta o desenvolvimento e implantação de ferramenta de gestão da manutenção de circuitos de distribuição com base na análise de falhas e em indicadores de qualidade e de confiabilidade, e, o resultado de sua aplicação na revitalização de circuitos.

O aplicativo computacional (SAOM) prioriza os circuitos utilizando os principais indicadores técnicos e econômicos e direciona a manutenção para os blocos com maior significância de falhas. A seleção dos circuitos é feita com o uso da técnica da curva ABC de Pareto.

A estratificação dos circuitos selecionados pode ser feita por causa da falha, equipamento que falhou e serviços realizados, quantitativamente ou em forma de histórico.

O sistema também permite a análise detalhada das interrupções verificadas em cada circuito ou equipamento para estudos da área de engenharia da empresa.

O resultado destas avaliações facilita o planejamento de investimentos e a aplicação da revitalização de circuitos de distribuição, conforme exemplos apresentados neste trabalho.

Em resumo o SAOM equaciona as informações da pós-operação subsidiando de forma objetiva a pré-manutenção.

**Palavras Chave** – Distribuição, Manutenção, Priorização

## I. INTRODUÇÃO

A transição entre a forma tradicional de operação das empresas concessionárias de energia elétrica para a nova forma de operação mais competitiva do mercado de energia, aponta para a necessidade de diminuição gradual dos indicadores de continuidade da energia suprida.

Nos sistemas elétricos de distribuição é cada vez maior o número de problemas relacionados às interrupções da energia suprida. As interrupções têm um impacto maior nas cargas comuns que há alguns anos atrás (microcomputadores e outros tipos de controles digitais), gerando prejuízo econômico para o consumidor e para a concessionária de energia.

A aplicação de novas metodologias de manutenção busca a melhoria dos níveis da qualidade da energia elétrica em circuitos primários e secundários de distribuição, diminuindo sensivelmente o universo de consumidores afetados pelas falhas permanentes.

Considerando a necessidade contínua das empresas na otimização dos investimentos na distribuição, devido à necessidade de manutenção de seu equilíbrio econômico-

financeiro, torna-se imprescindível buscar uma metodologia que dê um grau de prioridade aos investimentos necessários a esta parte do sistema, área potencialmente mais carente e de reflexo direto ao consumidor em sua grande maioria.

O aumento do número de equipamentos, além do aumento da disponibilidade das técnicas de análise preditivas para equipamentos tem sobrecarregado de informações a engenharia de manutenção. Estas informações para serem eficazes e resultarem em ganhos em termos de confiabilidade operacional necessitam de uma análise abrangente e imediata.

A integração de informações, critérios e práticas, unificando do modo mais abrangente possível informações técnicas e históricos de intervenções, especialmente em termos de arquitetura de sistema de informações, possibilita criar uma consistência maior na prática da engenharia de manutenção.

## II. ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO

As áreas de engenharia, operação e manutenção das empresas concessionárias de energia elétrica, em geral, carecem de instrumentos que facilitem o gerenciamento da manutenção de circuitos de distribuição.

A base de informações processadas pelo pessoal de operação precisa ser completa e consistente e os sistemas informacionais corporativos nem sempre coincidem com a necessidade do pessoal da manutenção.

O homem da manutenção está constantemente atarefado com as atividades de campo, mas necessita também realizar um bom planejamento de manutenção, visando a boa "saúde" do sistema.

A solução deste paradoxo é o emprego de aplicativos computacionais de apoio para a tomada de decisão, integrados com os sistemas corporativos da empresa.

Um novo conceito de manutenção é o emprego de análise de confiabilidade para a tomada de decisão. A manutenção baseada em confiabilidade é centrada na análise de falhas.

## III. METODOLOGIA

O objetivo da Manutenção pressupõe que qualquer tipo de falha ou indisponibilidade do sistema seja indesejável, a um dado custo.

O elemento que determina os rumos da manutenção não é a falha de um dado equipamento ou componente, mas as consequências das falhas como um todo ou seus impactos na segurança do pessoal.

A análise dos equipamentos envolvidos nas falhas, as causas e as consequências das falhas, permitem classificar a importância das falhas e direcionar a ação da manutenção.

Falhas repetitivas ou no mesmo equipamento delimitam a ação da manutenção, permitindo reduzir os custos de uma intervenção.

A análise da base de informações deve possibilitar responder as seguintes questões:

- Como a falha ocorreu?

J. A. Cipoli - engenheiro eletricista EPUSP/69, atualmente é professor e pesquisador da Universidade Mackenzie, cipoli@lexxa.com.br.

B.E.M.Ferreira – engenheiro eletricista UNESP/75, atualmente é pesquisador da Universidade Mackenzie.

M.A.de Marco – engenheiro eletricista EFEI/75, atualmente é pesquisador da Universidade Mackenzie.

W.H.Bernardelli – engenheiro eletricista, FEB, atualmente é gerente de engenharia da CMS.

C.E.P.Persinoti - engenheiro eletricista, UNIFEI, atualmente é engenheiro do Departamento de Engenharia da CMS

- Quais as conseqüências da falha?
- Existia algum sintoma presente antes do início da falha?
- Como pode ser a falha melhor prevenida?
- Qual a maneira mais fácil de se rastrear os problemas e sintomas da falha?
- Como podemos utilizar nossos conhecimentos para programarmos a futura manutenção preventiva de forma eficiente?

O aplicativo SAOM – Sistema de Análise de Ocorrências para Manutenção, aplica os conceitos de priorização e análise de falhas apresentando os resultados em histogramas e/ou de relatórios.

O módulo de priorização dos circuitos utiliza os indicadores de qualidade, confiabilidade e custos. A seleção dos circuitos priorizados é feita com a aplicação da técnica da curva ABC de Pareto. O peso de cada indicador do circuito é ponderado em relação ao valor médio do respectivo indicador na empresa. Utiliza-se o histórico de ocorrências dos últimos 12 meses.

O direcionamento da manutenção é realizado com a análise de falhas por equipamento e o detalhamento do bloco no circuito.

#### A – Indicadores para Priorização

Vários indicadores podem ser utilizados para avaliação e priorização de circuitos. Os indicadores devem representar tanto a variável técnica quanto a variável econômica.

Exemplos de indicadores utilizados na manutenção da distribuição:

#### Confiabilidade (modelo exponencial)

É utilizado em tratamentos estatísticos. Aplica-se quando se dispõe de um número suficiente de dados históricos de manutenção, provenientes de populações apreciáveis de equipamentos de características semelhantes.

$$R = e^{-\lambda t}$$

onde,  $\lambda$  = taxa de falhas;  $t$  = tempo

#### Disponibilidade

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

onde, MTBF = tempo médio entre falhas

MTTR = tempo médio de reparo

#### Tempo médio entre falhas

$$MTBF = 1 / \lambda$$

#### Taxa de Falhas por km

O estabelecimento de taxas de falhas por quilometro para o caso de redes se constitui em rápida, importante e objetiva ferramenta de supervisão e de direcionamento de ações de correção por parte dos responsáveis pela operação e pela manutenção de redes.

$$TF = \frac{NF}{Km \text{ (circuito)}}$$

onde, NF = número de falhas;

km = kilometros de rede primária + secundária

#### Indicadores de Continuidade

$$FEC = \frac{\sum Ca(i)}{C}$$

$$DEC = \frac{\sum Ca(i) * t}{C}$$

Onde, Ca(i) = consumidores atingidos

t = tempo de interrupção

C = número total de consumidores

#### Percentual de Energia vendida

$$\%E_v = \left( \frac{kWh_{circuito}}{kWh_{conjunto}} \right) * 100$$

#### Custo médio de falhas por km

$$Cf_{km} = Cmf * TF_{km}$$

$$Cmf = \frac{Ctf}{NF * t}$$

Onde, Cmf = custo médio falhas

TF<sub>km</sub> = taxa de falhas por km

Ctf = custo total de falhas no período

NF = número de falhas no período

t = período de observação

#### Rentabilidade

$$R = \frac{Re_{circuito}}{Dm_{circuito} * t}$$

Onde, Re = Receita

Dm = Despesas de manutenção

#### B – Análise de Falhas

A análise das falhas permite estabelecer, priorizar e direcionar as ações para blocos, de forma que as mesmas sejam eficientes.

Além do mais a análise sistemática desses dados possibilita acompanhar a evolução e as mudanças das características dos tipos de ocorrência permitindo uma modificação dinâmica e eficiente das ações prioritárias e seus reais efeitos na melhoria do processo, pois a realimentação do processo é dinâmica.

O SAOM estratifica as ocorrências de cada circuito por causa, equipamento que falhou e serviço de manutenção. O resultado pode ser apresentado em forma de histogramas cumulativos ou em forma de histórico.

#### C – Revitalização de Circuitos

Com base nos resultados do SAOM a área de manutenção consegue identificar problemas e propor melhorias.

A estratégia que foi empregada neste projeto passa pela apresentação imediata de ações para a melhoria do desempenho do sistema CMS Energy

Ao conjunto de ações propostas para melhoria imediata do sistema de distribuição, denominou-se “Revitalização de Circuitos”.

#### IV. SAOM – SISTEMA DE ANÁLISE DE OCORRÊNCIAS PARA MANUTENÇÃO

É uma ferramenta computacional de apoio ao gerenciamento da manutenção de sistemas de distribuição de energia elétrica.

O aplicativo desenvolvido em plataforma windows fornece um tratamento estatístico das informações de ocorrências no sistema, facilitando a observação das falhas e suas causas, e a priorização de circuitos para a manutenção.

O SAOM utiliza a base de dados do sistema corporativo SGD, para classificar os elementos que representam a fração mais importante das falhas, estabelecer indicadores de desempenho e elaborar as análises detalhadas de interrupções – ADI.

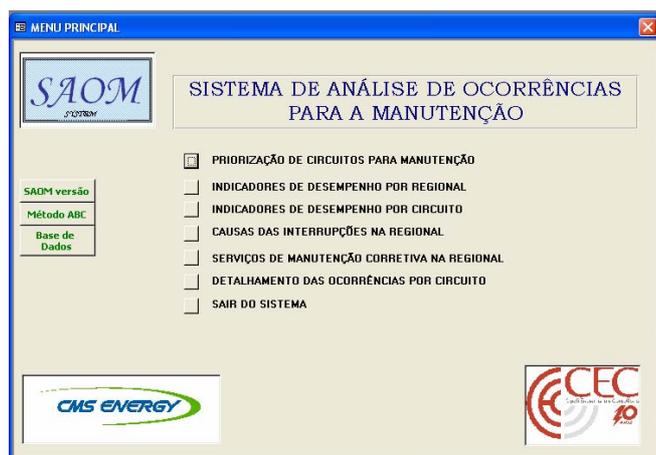


Figura 1 – Tela de entrada

O SAOM utiliza 8 indicadores de desempenho para a priorização dos circuitos: FEC, DEC, Taxa de falhas por km, Relação clientes especiais / clientes atingidos, Número de interrupções, Cliente-hora interrompido, kWh fornecido e kWh interrompido. A classificação é obtida em função da somatória das relações entre cada indicador e seu valor médio por empresa (regional).

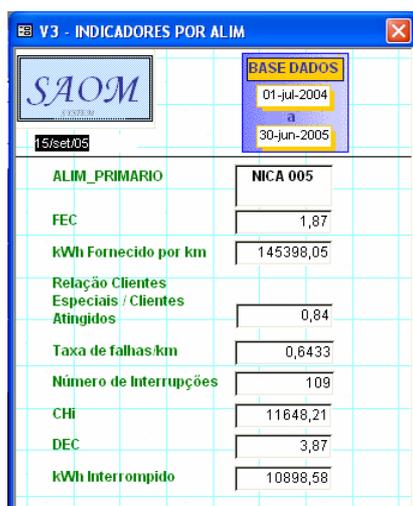


Figura 2 – Indicadores para priorização



Figura 3 – Exemplo de priorização de circuitos

A seleção dos circuitos prioritários é realizada utilizando os conceitos da curva ABC de Pareto.

Os circuitos de prioridade A serão aqueles que possuem valores dos indicadores estabelecidos acima da média e do desvio padrão da empresa (regional).

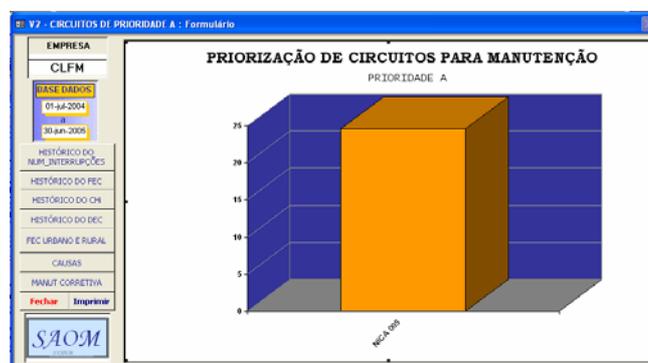


Figura 4 – Prioridade A da regional

A priorização dos circuitos é complementada com a análise do histórico dos principais indicadores, pela análise das causas das falhas e pela análise dos serviços de manutenção realizados, sendo somente então definidos os circuitos prioritários para manutenção.



Figura 5 – Histórico do número de interrupções

Uma vez definido os circuitos prioritários para manutenção é feita a análise das falhas. A análise das falhas permite direcionar as ações para blocos do circuito, de forma que as mesmas sejam eficientes, evitando ações desnecessárias em outras partes do circuito.

São disponibilizadas informações de causas das falhas, serviços de manutenção realizados e equipamentos que tiveram o maior número de interrupções.

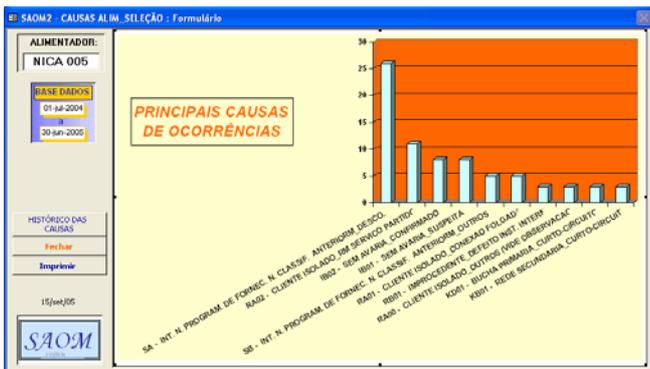


Figura 6 – Análise das causas das falhas



Figura 7 – Análise do histórico da causa

A análise dos serviços realizados ajuda a elaborar um panorama dos efeitos das falhas e colabora para entender as falhas com as causas anotadas como desconhecidas ou outros.

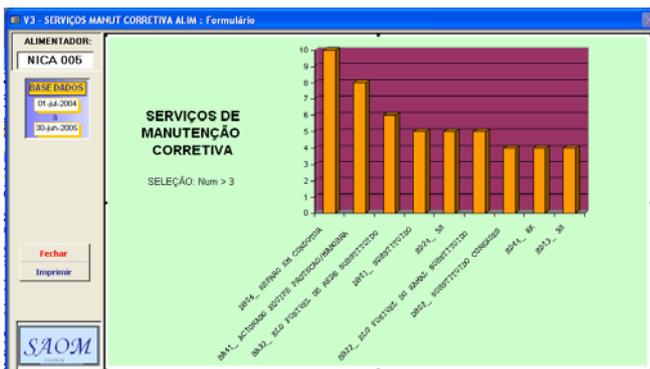


Figura 8 – Análise dos serviços de manutenção corretiva

O módulo “Análise de Equipamentos” segmenta a análise dos circuitos priorizados, a nível de equipamentos, visando definir os blocos com maior número de problemas.

Com a utilização da técnica da curva ABC, é feita a seleção dos equipamentos com maior número de interrupções estratificando as informações por histórico do número de interrupções, causa e serviço realizado.



Figura 9 – Análise de equipamentos

A identificação de causas importantes pode levar a estudos específicos ao nível da empresa (regional). O SAOM permite a avaliação do impacto das causas e serviços de manutenção na empresa (regional)

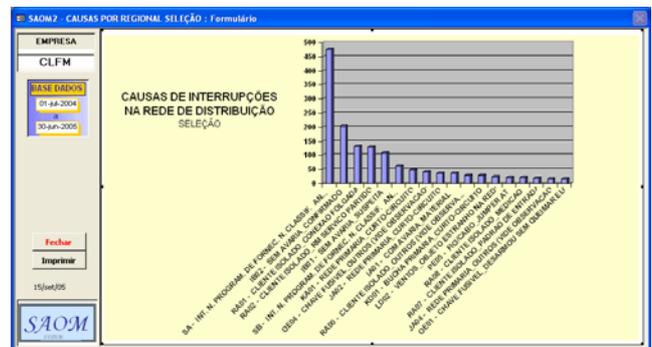


Figura 10 – Análise das causas por regional

Visando subsidiar os estudos de engenharia de manutenção foi desenvolvido o módulo ADI – Análises Detalhadas de Interrupções, que estratifica as informações ao nível de ocorrência e equipamento.



Figura 11 – Tela do módulo ADI

M_OCORREN	DH_INICIAL	TIPO_OCORR	ALIM_PRIMARIO	DESCRICAO
13188	27/5/2005 18:00:00	N	SMA 153	SAO MIGUEL ARCANJO
12817	25/5/2005 08:18:00	N	SMA 153	SAO MIGUEL ARCANJO
5457	25/2/2005 21:28:00	N	SMA 153	SAO MIGUEL ARCANJO
4354	18/2/2005 07:23:00	N	SMA 153	SAO MIGUEL ARCANJO
3499	5/2/2005 07:14:00	N	SMA 153	SAO MIGUEL ARCANJO
2753	26/1/2005 14:31:00	N	SMA 153	SAO MIGUEL ARCANJO
2712	26/1/2005 10:02:00	N	SMA 153	SAO MIGUEL ARCANJO
27516	11/1/2004 08:26:00	N	SMA 153	SAO MIGUEL ARCANJO
27291	9/1/2004 17:15:00	N	SMA 153	SAO MIGUEL ARCANJO

Figura 12 – Exemplo de ADI

NUM\_OCORRENCIA: 2712 ALIM\_PRIMARIO: SMA 153  
 NUM\_OCORR\_VINC: 0 HOME\_USUARIO: RSANTOS  
 TIPO\_OCORR: N CLIENTES\_ATINGIDOS: 6  
 CONDICAOES\_TEMPO: A CLIENTES\_ESPECIAIS: 1  
 NIVEL\_TENSAO: 2 CLIENTES\_VIP: 0  
 ABRANGENCIA: C KWH\_ISOLADO: 0  
 DEFEITO\_FALHA: 3031664 NUMERO\_COMUNICAC: 1  
 X\_DEFEITO\_FALHA: 812416 EQUIPE: 150  
 Y\_DEFEITO\_FALHA: 342700 DH\_INICIAL: 26/1/2005 10:02:00  
 LOCALIZACAO: R DH\_FINAL: 26/1/2005 10:59:00  
 DESCRIÇÃO DA CAUSA: IB02 - SEM AVARIA\_CONFIRMADO  
 TIPO\_ENCERRAMENTO: 1 CLIXHORA\_URB: 0  
 CLDXHORA\_RUR: 5 DURACAO: 0,95  
 LOCAL\_FALHA: SERVICIO: BD27  
 MANUTENÇÃO: FASE B - ELO FUSIVEL SUBSTITUIDO \_10K  
 16/se05 MOSTRAR OBSERVAÇÕES

Figura 13 – Detalhamento da Ocorrência

O detalhamento da ocorrência permite verificar as principais informações do histórico de interrupções inclusive as observações dos operadores que muitas vezes propiciam melhor entendimento dos eventos em decorrência de falhas na anotação das causas.

NUM\_OCORRENCIA: 27005

ANO_OCORRENCIA	TIPO_OBSERVACAO	OBSERVACAO
2005	1	Perturbação com desligamento do NICA 009. Atuou a proteção de sobrecorrente temporizada fase B.
2005	2	M.A.V. fechou curto rede AT/BT e trançou cabos fechando curto e danificando C.O. Feltro B.O. 214805
2005	3	Perturbação com desligamento do NICA 009, atuou a proteção de sobrecorrente temporizada fase B, avinou caia sobre rede AT e fechou curto na mesma partida cabos e danificando C.O. 001 4009. Foram feitas

Figura 14 – Detalhamento das observações da interrupção

O resultado do estudo da engenharia de manutenção pode ser armazenado na base de dados do SAOM, de forma que fica disponibilizado aos usuários do sistema e agrega o histórico da manutenção.

V3 - ADI ENCERRAMENTO : Formulário  
 Número da ADI: 23 Data da ADI: 20/5/2004  
 Equipamento Escolhido: 3033581  
 Responsável pela ADI: Data Encerramento:  
 Conclusão do estudo:  
 Causa principal identificada:  
 Serviço Realizado:  
 Registro: 1 de 26

Figura 15 – Conclusão da ADI

## V. AÇÕES PARA OTIMIZAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO

A utilização do SAOM contribuiu para uma melhor interação entre as áreas de operação, pós-operação, pré-manutenção, engenharia de manutenção e as áreas regionais de operação e manutenção das empresas da CMS Energy, tanto no tratamento das informações e na aplicação das investigações.

Aliados aos demais fatores decisórios da CMS as análises das informações de ocorrências possibilitaram a implantação imediata de várias ações em trechos específicos da rede de distribuição, com conseqüente melhoria do desempenho do sistema, e da efficientização da manutenção, quais foram:

### A. Utilização de Espaçadores de PVC na rede secundária

Benefícios: Redução de interrupções na baixa tensão (melhoria do DEC e do FEC), disponibilização das equipes de plantão para outras atividades, redução da ocorrência de cabos partidos (aumento da segurança), redução da queima de transformadores, redução da queima de aparelhos dos consumidores (durante o curto ocorrem sobretensões nos consumidores), redução na queima de elos fusíveis (a queima de um só elo provoca subtensões em alguns trechos da rede, podendo causar falhas nos equipamentos dos consumidores).



Figura 16 – Instalação de espaçadores

- B. Utilização de Loadbuster
- C. Implementação do uso de Redes Compactas
- D. Instalação de pára-raios
- E. Melhoria de aterramentos
- F. Implementação do uso de conectores tipo cunha na baixa tensão
- G. Implementação de melhoria do programa de poda de vegetação

H. *Utilização de Chaves Fusíveis Religadoras*  
Benefícios: Redução de interrupções transitórias na média tensão (melhoria do DEC e do FEC), Disponibilização das equipes de plantão para outras atividades, Redução da queima de aparelhos dos consumidores (a queima de um só elo provoca subtensões em alguns trechos da rede, podendo causar falhas nos equipamentos dos consumidores).  
A instalação de religadores automáticos é sempre recomendada do ponto de vista técnico. Porém, em função do alto custo, em certos locais, a instalação de chaves fusíveis religadoras é uma alternativa viável.



Figura 17 – Chave fusível religadora

- I. *Otimização da metodologia de programação de inspeção e manutenção preventiva de redes de distribuição*
- J. *Implementação de workshops envolvendo as áreas de manutenção para propostas de melhoria e planos de ação para o sistema de distribuição, tendo como base pesquisa e fundamentação o sistema SAOM.*
- K. *Validação e implantação do módulo de manutenção do sistema corporativo da CMS.*

## VI. CONCLUSÃO

A priorização técnico-econômica dos circuitos e a análise de ocorrências trouxeram claros benefícios para a manutenção da CMS Energy, dirigindo os recursos humanos e financeiros da empresa para os trechos da rede de distribuição que mais necessitavam, evitando a dispersão de esforços, que tradicionalmente é uma dificuldade da manutenção. As ações de revitalização de circuitos, decorrente destas análises, também permitiram a redução do FEC e DEC. A melhoria contínua do DEC e FEC das empresas demonstram o acerto das diretrizes de operação e manutenção que vem sendo implementadas.  
A tabela abaixo mostra a situação dos indicadores de desempenho das empresas do grupo CMS, nos últimos 3 anos.

Tabela 1 – DEC e FEC das empresas da CMS Energy

Ano	CPEE		CSPE		CJE		CLFM	
	DEC	FEC	DEC	FEC	DEC	FEC	DEC	FEC
2002	12,71	12,77	17,42	16,63	12,37	9,48	7,4	9,48
2003	5,46	7,94	8,59	6,85	4,19	4,73	8,2	7,25
2004	6,35	7,15	7,42	7,01	4,89	4,85	5,5	7,13

## VII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

*Livros:*

[1] J. A. Cipoli, “Engenharia de Distribuição”, Rio de Janeiro: Qualitymark, 1993, capítulo 7

[2] Livro Volume 04 - Coleção Distribuição de Energia Elétrica - Manutenção e Operação de Sistemas de Distribuição - Editora CAMPUS/ELETOBRAS - Rio de Janeiro - 1982.  
[3] SHIBASAKI, MÁRIO YUKIO - GERENCIAMENTO DA MANUTENÇÃO - ABRAMAN (Associação Brasileira de Manutenção)  
[4] F. Monchy - "A FUNÇÃO MANUTENÇÃO" - Editora Durban, 1989

*Relatórios Técnicos:*

[2] Eletrobrás, Informação Técnica – “CMD – Centro de Manutenção da Distribuição”  
[3] Abradee, CODI SCOM 18-01, 18-02, 18-03, 21-01 e 21-02, referentes à Turmas, Ferramentas e Viaturas de Manutenção  
[4] A. K. Pinto, “Manutenção – Novos Rumos para o Ano 2000, Abraman  
[5] M. Y. Shibasaki, “Gerenciamento da Manutenção”, A-braman  
[6] R. Esdras, “PQUEN – Programa de Qualidade na Engenharia de Manutenção”  
[7] L. M. Piotto, “Manutenção Preditiva – Implantação e Resultados obtidos”  
[8] IEEE, “Applied Reliability Assessment in Electric Power System”, 1994  
[9] A. Sanchez, G. Clemente, J. Sanz e S. Martorell - Evaluación de la confiabilidad de equipos mediante el seguimiento de indicadores, Revista Eletrônica Ingeniería de Planta no. 52 - Nov/2003  
[10] L. F. P. Gonçalves, O. L. D. Vesconi, K. Katterman e J. C. K. Serrano - Maximizando a disponibilidade dos ativos através da integração de técnicas preditivas e variáveis de processo - 12º. Congresso Iberoamericano e 18º. Congresso Brasileiro de Manutenção - Abraman 2003  
[11] M. S. de Souza - O&MBC - Operação e Manutenção baseada em Confiabilidade - 1º. Congresso Mundial de Manutenção e 17º. Congresso Brasileiro de Manutenção - A-braman 2002  
[12] G. Y. Saiki, J.A. Jardini, L.C. Magrini - "A System For The Evaluation Of Continuity Indicators In Electric Energy Distribution" - IEEE - T&D 2002 Latin America - São Paulo .  
[13] Piotto, L. Marcelo - "Manutenção Preditiva - Implantação E Resultados Obtidos" - ABRAMAN (Associação Brasileira de Manutenção)