

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**  
**Curso de Especialização em Gerencia da Manutenção**

DIEGO AUGUSTO CORRÊA

**APLICAÇÃO DA MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE EM REDE  
DE DISTRIBUIÇÃO AÉREA CONVENCIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA: O CASO  
DO CIRCUITO ALIMENTADOR GUABIROTUBA EM CURITIBA**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

Curitiba, 2012

DIEGO AUGUSTO CORRÊA

**APLICAÇÃO DA MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE EM REDE  
DE DISTRIBUIÇÃO AÉREA CONVENCIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA: O CASO  
DO CIRCUITO ALIMENTADOR GUABIROTUBA EM CURITIBA**

Monografia apresentada ao curso de especialização em Gerencia da Manutenção, para obtenção de certificado de Especialista em Gerencia da Manutenção.

Orientador: Prof. Emerson Rigoni, Dr. Eng.

Curitiba, 2012

## RESUMO

CORRÊA, D. A.; Aplicação da Manutenção Centrada na Confiabilidade em Rede de Distribuição Aérea Convencional de Energia: O Caso do Circuito Alimentador Guabirota em Curitiba. Monografia (Especialização em Gerencia da Manutenção). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2012.

Este trabalho apresenta a metodologia da Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) como ferramenta de manutenção aplicada em uma rede de distribuição de energia elétrica do circuito alimentador Guabirota em Curitiba. A teoria da MCC é apresentada e as etapas do processo são detalhadas, bem como as características e componentes utilizados nas redes de distribuição. O desenvolvimento das etapas da metodologia MCC realizado tem como resultado um programa de MCC para o circuito em análise, contendo as tarefas de manutenção propostas e suas periodicidades para bloqueio dos modos de falha identificados. Para verificar a eficácia do programa desenvolvido são analisadas as falhas ocorridas no circuito em estudo durante um período e verificadas se as mesmas foram identificadas pelo programa de MCC desenvolvido e se as tarefas propostas seriam eficazes para evitar a ocorrência das falhas.

Palavras-chave: Manutenção. Confiabilidade. Rede de Distribuição.

## **ABSTRACT**

CORREA, D. A.; Application of Reliability Centered Maintenance in Distribution Network Conventional Air Power: The Case of Circuit Guabirota in Curitiba. Monografia (Especialização em Gerencia da Manutenção). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2012.

This work shows the methodology of Reliability Centered Maintenance (RCM) as a maintenance tool applied in a network of power distribution circuit Guabirota in Curitiba. The theory is presented to the RCM process steps are detailed as well as the characteristics and components used in distribution networks. The development of the MCC method steps performed results in a RCM program for the circuit under analysis, containing maintenance tasks and their motions for blocking frequencies of the failure modes identified. To verify the effectiveness of the program are developed analyzed the faults in the circuit under study occurred during a period and checked whether they have been identified by the RCM program is developed and the proposed tasks would be effective to prevent the occurrence of failures.

Keywords: Maintenance. Reliability. Distribution Network.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Métodos, Técnicas e Expectativas da Manutenção .....	13
Figura 2 – Classificação da Manutenção.....	15
Figura 3 – Classificação de Falhas .....	21
Figura 4 – Formulário FMEA .....	23
Figura 5 – Diagrama de Decisão.....	30
Figura 6 – Planilha de Decisão.....	31
Figura 7 – Rede de Distribuição Aérea Convencional .....	33
Figura 8 – Poste duplo T .....	34
Figura 9 – Isolador tipo pino .....	35
Figura 10 – Isolador tipo pilar .....	35
Figura 11 – Isolador tipo disco .....	36
Figura 12 – Isolador tipo bastão .....	36
Figura 13 – Cruzeta.....	37
Figura 14 – Para-raio de material polimérico e de porcelana .....	38
Figura 15 – Chave-fusível .....	39
Figura 16 – Chave seccionador unipolar .....	39
Figura 17 – Laço pré-formado .....	40
Figura 18 – Alça pré-formada .....	41
Figura 19 – Conector cunha .....	41
Figura 20 – Grampo de linha viva .....	42
Figura 21 – Adaptador de estribo .....	43
Figura 22 – Cabo de alumínio CA .....	43
Figura 23 – Área de abrangência do alimentador Guabirota .....	45

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Níveis de Detectabilidade de Riscos (SIQUEIRA, 2009).....	26
Tabela 2 – Níveis de Frequência de Modos de Falha .....	26
Tabela 3 – Níveis de Severidade de Risco.....	27
Tabela 4 – Níveis de Aceitabilidade de Risco .....	27
Tabela 5 – Matriz de Riscos .....	27
Tabela 6 – FMEA Para o Subsistema Poste .....	46
Tabela 7 – FMEA Para o Subsistema Isolador.....	47
Tabela 8 – FMEA Para o Subsistema Cruzeta.....	48
Tabela 9 – FMEA Para o Subsistema Para-raios.....	50
Tabela 10 – FMEA Para o Subsistema Chave .....	51
Tabela 11 – FMEA Para o Subsistema Condutor.....	52
Tabela 12 – FMEA Para o Subsistema Conexão .....	53
Tabela 13 – FMEA Para o Subsistema Amarração .....	54
Tabela 14 – Planilha de Decisão Para o Subsistema Poste.....	56
Tabela 15 – Planilha de Decisão Para o Subsistema Isolador .....	57
Tabela 16 – Planilha de Decisão Para o Subsistema Cruzeta .....	58
Tabela 17 – Planilha de Decisão Para o Subsistema Para-raios .....	59
Tabela 18 – Planilha de Decisão Para o Subsistema Chave .....	60
Tabela 19 – Planilha de Decisão Para o Subsistema Condutor .....	61
Tabela 20 – Planilha de Decisão Para o Subsistema Conexão .....	62
Tabela 21 – Planilha de Decisão Para o Subsistema Amarração .....	63
Tabela 22 – Falhas no Circuito Alimentador Guabirota.....	66
Tabela 23 – Tabela Resumo da Análise dos Eventos.....	73

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	8
1.1 JUSTIFICATIVA .....	8
1.2 OBJETIVOS .....	9
1.2.1 Objetivo Geral .....	9
1.2.2 Objetivos Específicos .....	10
1.3 METODOLOGIA .....	10
2 MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE .....	12
2.1 INTRODUÇÃO .....	12
2.2 HISTÓRIA DA MANUTENÇÃO .....	13
2.3 CLASSIFICAÇÃO DA MANUTENÇÃO .....	15
2.4 A METODOLOGIA DA MCC .....	17
2.4.1 Funções .....	18
2.4.2 Falhas .....	19
2.4.3 FMEA .....	22
2.4.4 Modos de Falha .....	23
2.4.5 Causa da Falha .....	24
2.4.6 Efeitos da Falha .....	25
2.4.7 Matriz de Riscos .....	26
2.4.8 Consequências de Falhas .....	28
2.4.9 Diagrama de Decisão .....	29
3 REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA .....	32
3.1 INTRODUÇÃO .....	32
3.2 CARACTERÍSTICAS DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO AÉREA .....	32
3.2.1 Poste .....	33
3.2.2 Isolador Tipo Pino e Pilar .....	34
3.2.3 Isolador de Ancoragem Tipo Disco e Bastão .....	35
3.2.4 Cruzeta .....	37
3.2.5 Pára-raio .....	37
3.2.6 Chave-fusível .....	38
3.2.7 Chave Seccionadora Unipolar .....	39
3.2.8 Laço Pré-formado .....	40
3.2.9 Alça Pré-formada .....	40
3.2.10 Conectores .....	41
3.2.11 Grampo de Linha Viva .....	42
3.2.12 Adaptador de Estribo .....	42
3.2.13 Cabos .....	43
4 DESENVOLVIMENTO DAS ETAPAS DA MCC PARA UMA REDE DE DISTRIBUIÇÃO AÉREA CONVENCIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA .....	44
4.1 INTRODUÇÃO .....	44
4.2 CIRCUITO ALIMENTADOR GUABIROTUBA .....	44
4.3 FMEA E PLANILHAS DE DECISÃO .....	45
5 ANÁLISE DA APLICABILIDADE DA METODOLOGIA MCC EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA .....	65
5.1 INTRODUÇÃO .....	65
5.2 ANÁLISE DOS DADOS .....	65
6 CONCLUSÃO .....	74
6.1 PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS .....	74

## 1 INTRODUÇÃO

O sistema elétrico de energia é composto basicamente por três grandes funções: geração, transmissão e distribuição de energia elétrica. Após esta energia ser gerada e transmitida para a rede primária nos centros consumidores ela precisa ser distribuída em níveis aceitáveis de qualidade e confiabilidade, de acordo com as necessidades dos centros consumidores, e esta distribuição ocorre através das redes de distribuição de energia elétrica.

Uma metodologia de manutenção que pode ser adotada pelas concessionárias distribuidoras de energia em suas redes de distribuição é a Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC), que será o objeto de estudo proposto neste projeto.

A MCC é uma sistemática para o planejamento das atividades de manutenção, fornecendo um método estruturado para selecionar estas atividades, considerando os aspectos de confiabilidade.

O processo de implantação da MCC consiste de um conjunto de passos bem definidos, os quais precisam ser seguidos em forma sequencial para responder às questões formuladas pela MCC e garantir os resultados desejados (SIQUEIRA, 2009).

A aplicação da MCC em programas de manutenção pode trazer muitos benefícios. Diversos casos de sucesso em sua aplicação são verificados, inclusive em programas de manutenção de sistemas e equipamentos elétricos. Entre os principais benefícios proporcionados pelo uso da MCC podemos citar a redução das atividades de manutenção preventiva, redução dos custos dos programas de manutenção, aumento da disponibilidade dos sistemas, aumento da vida útil dos equipamentos, redução do número de itens de sobressalentes, dentre outros.

### 1.1 JUSTIFICATIVA

Atualmente as concessionárias de distribuição de energia elétrica deparam-se cada vez mais com as exigências do mercado, sendo obrigadas a assegurarem



aos seus clientes bons níveis de qualidade, continuidade e confiabilidade no serviço de fornecimento da energia elétrica.

Com o intuito de garantir estes requisitos a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) definiu compensações que devem ser repassados ao consumidor pelas distribuidoras de energia, para o caso de violação dos indicadores de continuidade, através da Resolução Normativa Nº 469/2011 revisão 4.

Diante deste cenário os serviços de manutenção passaram a ser uma ferramenta estratégica das empresas distribuidoras de energia que precisam conhecer todo o seu sistema minuciosamente para agir sobre seus componentes antes que esses venham a falhar, e caso a falha ocorra, agir de forma rápida e eficiente para que não se extrapole os limites de interrupção no fornecimento permitidos na resolução.

Para alcançar este objetivo, além de investir na otimização dos seus sistemas de distribuição, é necessária a aplicação de novas técnicas de manutenção, buscando metodologias que eliminem ou reduzam as possibilidades de interrupções em seus sistemas.

Desta forma, o presente trabalho propõe desenvolver um programa de manutenção fundamentado na metodologia da MCC aplicado à redes de distribuição de energia elétrica, demonstrando a aplicabilidade desta metodologia no planejamento da manutenção para mitigação da descontinuidade do fornecimento. Realizar este trabalho é de suma importância para auxiliar na melhoria do desempenho dos ativos de distribuição de energia, em função da necessidade de redução de custos imposta pela forte regulação que o setor elétrico é submetido.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

Desenvolver um programa de manutenção fundamentado na metodologia MCC aplicado a redes de distribuição de energia elétrica aérea convencional em média tensão do circuito alimentador Guabirotuba da COPEL na cidade de Curitiba e

demonstrar a aplicabilidade desta metodologia no planejamento da manutenção para mitigação da descontinuidade do fornecimento.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Apresentar a metodologia para desenvolvimento de programas de manutenção fundamentados na MCC;
- Apresentar as características e componentes de uma rede de distribuição aérea convencional de energia elétrica;
- Executar as etapas de desenvolvimento de um programa de MCC para uma rede de distribuição de energia elétrica aérea convencional em média tensão do circuito alimentador Guabirota da COPEL na cidade de Curitiba;
- Verificar a aplicabilidade da MCC em redes de distribuição, através da comparação com dados históricos do circuito alimentador escolhido.

## 1.3 METODOLOGIA

Através de pesquisa bibliográfica, será apresentada e fundamentada a metodologia da MCC, bem como apresentado as principais características e componentes de uma rede aérea convencional de energia elétrica.

A estruturação da MCC para uma rede de distribuição aérea convencional de energia elétrica será baseada nas informações armazenadas no banco de dados da Companhia Paranaense de Energia – COPEL, que contém dados históricos de todas as falhas já ocorridas em seus circuitos de distribuição. Outras informações, como às relacionadas aos componentes da rede de distribuição, contidas em manuais, instruções e normas da COPEL também serão utilizadas como base para a realização deste trabalho.

Ao final, será verificada a eficácia da aplicação da metodologia da MCC em redes de distribuição aérea de energia, levantando as informações históricas de interrupções no fornecimento do circuito de distribuição escolhido ocorridas no ano

de 2011 e analisando se a aplicação da MCC desenvolvida neste trabalho poderia evitar a ocorrência das falhas.

## 2 MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE

### 2.1 INTRODUÇÃO

A Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) teve sua origem na década de 60 com a necessidade de revisar como aplicar programas de manutenção na indústria aeronáutica. Segundo Siqueira, ela está relacionada aos processos tecnológicos e sociais que se desenvolveram após a Segunda Guerra Mundial. Na área de tecnologia, as pesquisas relacionadas à indústria bélica, automação industrial e evolução da informática e telecomunicações foram fundamentais para o desenvolvimento da MCC.

A implementação de métodos automáticos de produção resultou em uma dependência da sociedade contemporânea e sua dimensão chegou a interferir no meio ambiente e na própria segurança física dos seres humanos. Em conjunto, houve o crescimento da importância da preservação dos recursos naturais, bem como as questões relacionadas à segurança.

Na atualidade, exige-se que os processos de projeto e manutenção dos meios de produção não só atendam estes anseios, mas que sejam estruturados de forma transparente e auditável, permitindo a sociedade exercer seu papel de promotora e fiscalizadora (SIQUEIRA, 2009).

Alterações na forma de projetar e manter os processos industriais em função das novas demandas eram necessárias, motivando o surgimento da metodologia da Manutenção Centrada na Confiabilidade.

Neste capítulo será apresentada a MCC, uma filosofia que traz uma nova abordagem para a manutenção visando definir uma estratégia com um modelo coerente.

## 2.2 HISTÓRIA DA MANUTENÇÃO

Segundo MOUBRAY (2000), a manutenção vem evoluindo muito nos últimos anos devido a fatores como:

- Projetos muito mais complexos;
- Novas técnicas de manutenção;
- Aumento no número e na diversidade de instalações, que devem ser mantidos ao redor do mundo;
- Novos enfoques sobre a organização e as responsabilidades da manutenção.

A história da manutenção pode ser dividida em 4 gerações, conforme mostrado na Figura 1 (MORTELARI; SIQUEIRA; PIZZATI, 2011).

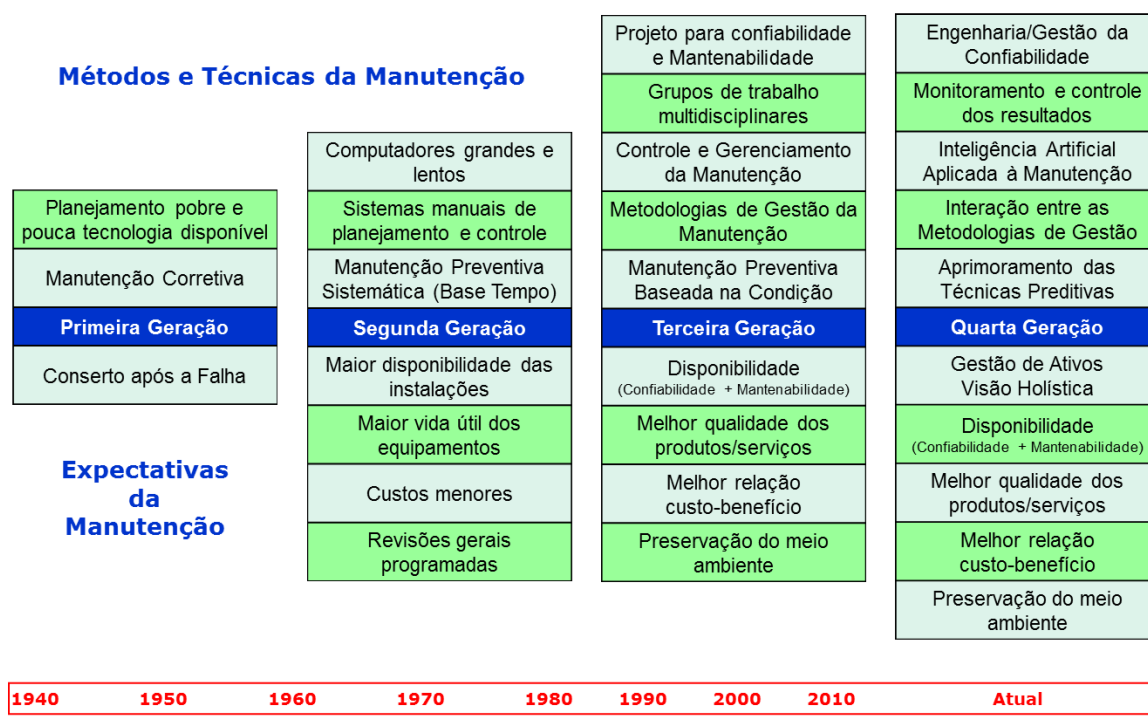


Figura 1 – Métodos, Técnicas e Expectativas da Manutenção  
Fonte: (MORTELARI; SIQUEIRA; PIZZATI, 2011)

### Primeira Geração:

Tem origem no período da Segunda Guerra Mundial. Nesta época, a indústria tinha como característica principal a pouca mecanização e a disponibilidade operativa dos equipamentos não tinha tanta importância. Isto significa que a prevenção da falha dos equipamentos não era prioridade e o período de paralisação para reparos após a ocorrência de falhas não era muito importante. Ao mesmo tempo, a maioria dos equipamentos era de fácil desmontagem e conserto, e o esquema de manutenção caracterizava-se pela adoção da manutenção corretiva.

### Segunda Geração:

Inicia-se após o término da Segunda Guerra Mundial. Com isso, aumentou-se a necessidade de diversos produtos enquanto a oferta de força de trabalho diminuía drasticamente. Isto levou ao aumento da mecanização e, conseqüentemente, aumentava a dependência pelas máquinas. Com isso, as falhas tornaram-se sinônimo de paralisação e a disponibilidade operativa dos equipamentos tornou-se o foco principal. Assim foi criado o conceito de manutenção preventiva, visto que falhas em equipamentos poderiam e deveriam ser evitadas.

### Terceira Geração:

A terceira geração da manutenção evoluiu da incapacidade destas técnicas frente às exigências da automação ocorrida na indústria a partir de 1975 (SIQUEIRA, 2009).

Esta geração, diz respeito aos requisitos característicos, como: disponibilidade, confiabilidade, segurança e vida útil, com ausência de danos ao meio ambiente e ações de manutenções eficazes, aliadas aos custos envolvidos.

Quarta Geração:

A partir do início deste século, a manutenção muda o foco, saindo da visão de aumento de disponibilidade para fazer gestão de ativos e, nesse contexto, a manutenção precisou reorientar sua motivação, tendo que compreender que deve garantir que um equipamento ou instalação ou qualquer processo físico associado a um sistema produtivo continue executando aquilo que os seus usuários desejam que se faça. Esse desejo depende do local, condições de mercado, previsões futuras, etc (LIMA, 2011).

### 2.3 CLASSIFICAÇÃO DA MANUTENÇÃO

Conforme SIQUEIRA (2009), as atividades de manutenção são classificadas de acordo com a forma de programação e com o objetivo das tarefas executadas, conforme a Figura 2.

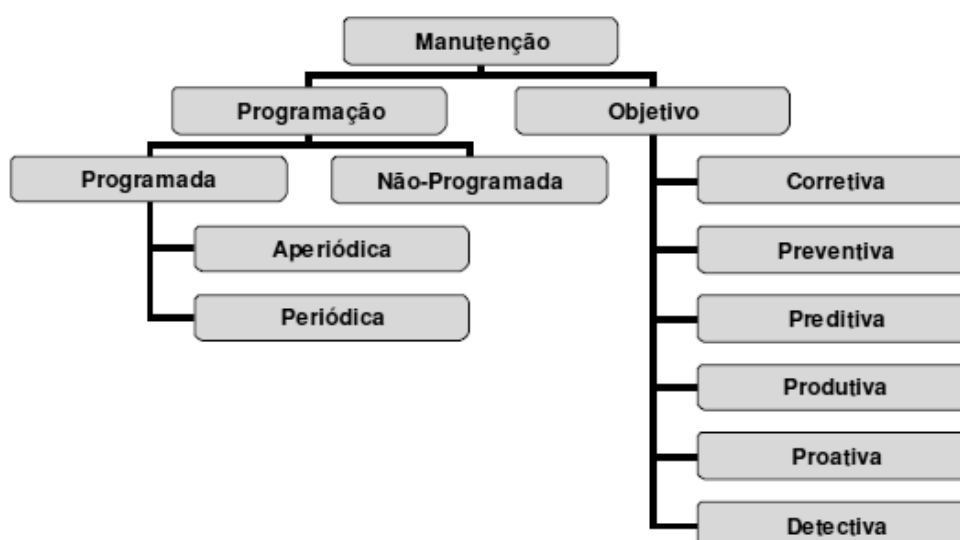


Figura 2 – Classificação da Manutenção  
Fonte: (SIQUEIRA, 2009)

## Quanto à Programação

Com relação à programação, a manutenção pode ser classificada como Manutenção Programada e Manutenção Não-programada. Na Manutenção Programada, as atividades são executadas obedecendo a critérios de tempo e condições pré-definidas e podem ser periódicas, quando são realizadas em intervalos fixos de tempo e aperiódicas, quando realizadas em intervalos variáveis ou dependendo de oportunidades. Na Manutenção Não-programada as atividades são executadas em função da necessidade.

## Quanto aos Objetivos

Segundo SIQUEIRA (2009), a manutenção pode também ser classificada de acordo com a atitude dos usuários em relação às falhas. Existem seis categoriais, são elas:

- Manutenção Corretiva ou Reativa: onde se deseja corrigir falhas que já tenham ocorrido.
- Manutenção Preventiva: tem o propósito de prevenir e evitar as consequências das falhas.
- Manutenção Preditiva: que busca a prevenção ou antecipação da falha, medindo parâmetros que indiquem a evolução de uma falha a tempo de serem corrigidas.
- Manutenção Detectiva: procura identificar falhas que já tenham ocorrido, mas que não sejam percebidas.
- Manutenção Produtiva: objetiva garantir a melhor utilização e maior produtividade dos equipamentos.
- Manutenção Proativa: a experiência é utilizada para otimizar o processo e o projeto de novos equipamentos, em uma atitude proativa de melhoria contínua.



## 2.4 A METODOLOGIA DA MCC

A MCC é uma metodologia sistemática utilizada para otimizar as estratégias de manutenção, visando determinar os requisitos a fim de assegurar que qualquer ativo físico continue a fazer as funções pretendidas por seus usuários no seu contexto operacional e, caso não se possa prever ou mesmo prevenir as falhas, que os esforços sejam direcionados a fim de reduzir o impacto de tais falhas.

Conforme MOUBRAY (2000), antes de serem analisados os requisitos da manutenção dos ativos físicos de uma organização, é necessário saber quais são as instalações e decidir quais delas deverão passar pelo processo da MCC. Portanto, este processo é desenvolvido questionando-se as sete perguntas seguintes sobre cada um dos itens sob análise crítica:

- Quais são as funções e padrões de desempenho associados a um ativo físico no seu presente contexto operacional?
- De que modo este ativo físico falha em cumprir suas funções?
- O que causa cada falha funcional?
- O que acontece quando ocorre cada falha?
- De que forma cada falha importa?
- O que pode ser feito para prevenir cada falha?
- O que deve ser feito se não for encontrada uma tarefa pró-ativa apropriada?

Para responder cada questão, a MCC utiliza muitos métodos e ferramentas de um conjunto aberto de soluções, algumas tradicionais, outras recentes e modernas, segundo uma sequência estruturada e bem documentada, possível de ser auditada (SIQUEIRA, 2009).

A metodologia MCC, segundo SIQUEIRA (2009), adota uma sequência estruturada, composta de sete etapas, a saber:

- Seleção do Sistema e Coleta de Informações;
- Análise de Modos de Falha e Efeitos;
- Seleção de Funções Significantes;
- Seleção de Atividades Aplicáveis;

- Avaliação da Efetividade das Atividades;
- Seleção das atividades Aplicáveis e Efetivas;
- Definição da Periodicidade das Atividades.

A primeira etapa, Seleção do Sistema e Coleta de Informações, objetiva identificar e documentar o sistema ou processo que será submetido à análise. Na etapa de Análise de Modos de Falha e Efeitos são identificadas e documentadas todas as funções e seus modos de falha, assim como os efeitos adversos produzidos por elas, utilizando a metodologia FMEA (Failure Mode and Effects Analysis). Na Seleção de Funções Significantes, utiliza um processo estruturado para analisar cada função identificada na etapa anterior, e determinar se uma falha tem efeito significativo. Na etapa de Seleção de Atividades Aplicáveis, determinam-se as tarefas de manutenção preventiva que sejam tecnicamente aplicáveis para prevenir ou corrigir cada modo de falha. A quinta etapa, Avaliação da Efetividade das Atividades, constitui-se em um processo estruturado para determinar se uma tarefa de manutenção preventiva é efetiva para reduzir, a um nível aceitável, as consequências previstas para uma falha. Na Seleção das Tarefas Aplicáveis e Efetivas, utiliza-se um processo estruturado para determinar a melhor tarefa. Por fim, a sétima etapa estabelece os métodos e critérios para definição da periodicidade de execução das atividades selecionadas (SIQUEIRA, 2009).

#### 2.4.1 Funções

Função é o que o usuário deseja que o item ou sistema faça dentro de um padrão de desempenho especificado. É o principal produto da primeira etapa da metodologia MCC, as definições das funções são necessárias à identificação das atividades de manutenção recomendadas para cada sistema.

Como regra geral, deve-se identificar as funções em sua ordem de importância, observando os seguintes aspectos:

- Segurança pessoal dos operadores e usuários

- Meio ambiente
- Operação da instalação
- Economia do processo
- Instrumentação e controle

A identificação das funções dos sistemas consiste, em geral, de uma descrição textual, que contém obrigatoriamente sua finalidade ou objetivo e, se possível, os limites aceitáveis de qualidade neste objetivo.

As funções podem ser classificadas em funções principais e funções secundárias e o processo da MCC será sempre iniciado pelas funções principais. A função principal de um item físico está associada, principalmente, à razão pela qual o ativo foi adquirido. O objetivo principal da manutenção é assegurar o desempenho mínimo das funções principais. Na maioria das vezes, os itens físicos realizam outras funções além das principais. Essas funções são chamadas funções secundárias e podem ser divididas nas seguintes categorias: integridade ambiental, segurança, integridade estrutural, controle, armazenamento, conforto, aparência, proteção, economia, eficiência, contenção, higiene, medição e supérfluos.

#### 2.4.2 Falhas

Uma falha consiste na interrupção ou alteração da capacidade de um item desempenhar uma função requerida ou esperada (SIQUEIRA, 2009). Prevenir e corrigir falhas constitui os objetivos principais da manutenção. Para isto é necessário conhecer as formas como os sistemas falham. Segundo SIQUEIRA (2009) as falhas podem ser classificadas sobre vários aspectos, conforme Figura 3, tais como:

- Quanto à origem: as falhas podem ter origem primária, quando decorrem de deficiências próprias de um componente, dentro dos limites normais de operação; origem secundária, quando se derivam de operação fora dos limites normais, tais como descarga atmosférica, sobrecargas e etc; ou falhas de comando que se originam de ordens errôneas do operador ou uso inadequado pelo usuário.

- Quanto à extensão: de acordo com sua extensão as falhas podem ser parciais, quando resultam do desvio de alguma característica funcional do item, além dos limites especificados, mas sem perda total de sua funcionalidade; ou completas, quando provocam a perda total da função requerida do item.
  
- Quanto à velocidade: as falhas podem ser graduais, quando podem ser percebidas ou previstas por uma inspeção antes que ocorram; ou falhas repentinas, em caso contrário.
  
- Quanto à manifestação: pode ocorrer por degradação, quando ela ocorre simultaneamente de forma gradual ou parcial, podendo tornar-se completa ao longo do tempo, ao contrário das falhas catastróficas, que ocorrem simultaneamente de forma repentina e completa. E existem ainda as falhas intermitentes, que persiste por tempo limitado, após o qual o item aparentemente se recupera sem qualquer ação externa.
  
- Quanto à criticidade: as falhas críticas seriam aquelas que produzem condições perigosas ou inseguras para quem usa, mantém ou depende do item, ou que podem causar grandes danos materiais ou ambientais, caso contrário, as falhas serão classificadas como não-críticas.
  
- Quanto à idade: podem ser prematuras, quando ocorrem durante o período inicial de vida do equipamento; ou aleatórias, quando ocorrem de maneira imprevisível, durante todo o período de vida útil do equipamento e ainda as falhas podem ser progressivas, ocorrem durante o período de vida útil, como resultado de desgaste, deterioração e envelhecimento do item.

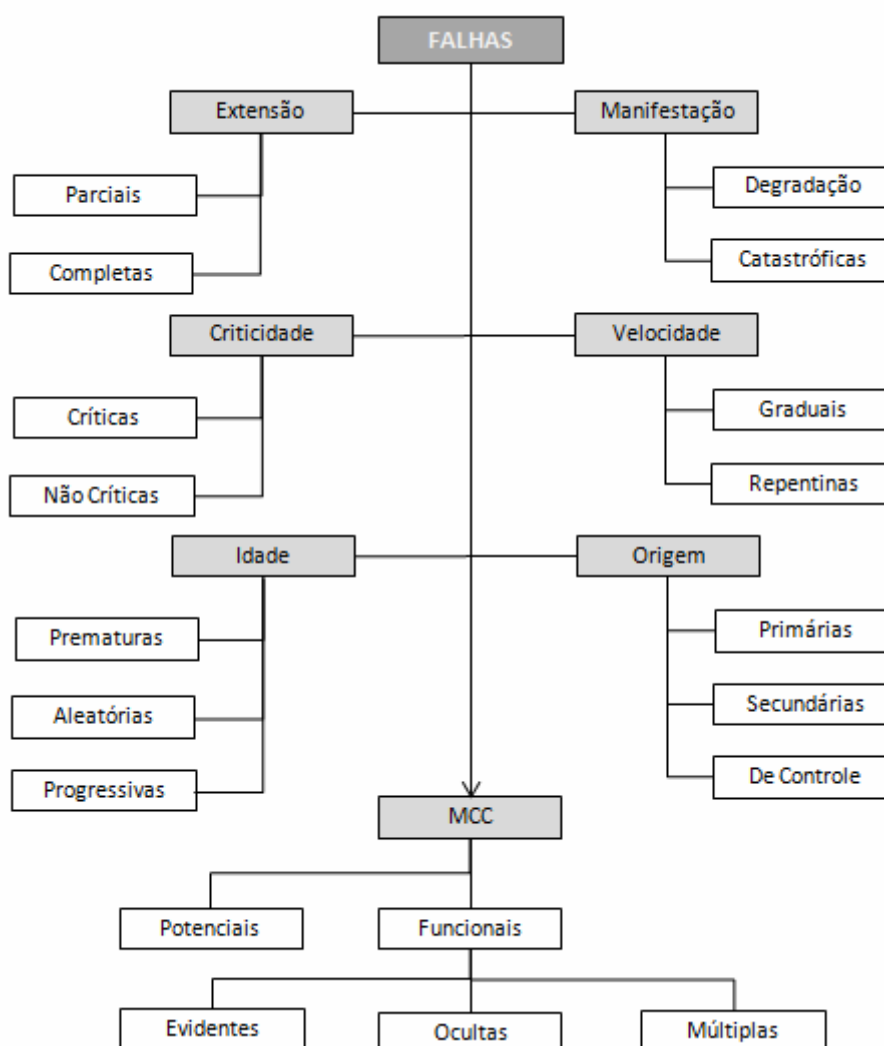


Figura 3 – Classificação de Falhas  
Fonte: (SIQUEIRA, 2009)

Para os objetivos da MCC, as falhas são classificadas, de acordo com o efeito que provocam sobre uma função do sistema a que pertencem, em duas categorias básicas:

- Falha Funcional – definida pela incapacidade de um item de desempenhar uma função específica dentro de limites desejados de performance; e
- Falha Potencial – definida como uma condição identificável e mensurável que indica uma falha funcional pendente ou em processo de ocorrência. (SIQUEIRA, 2009)

As falhas funcionais, por sua vez, são classificadas pela MCC, em três categorias, de acordo com sua visibilidade:

- Falha Evidente – a qual, por si só, é detectada pela equipe de operação durante o trabalho normal;
- Falha Oculta – uma falha que não é detectada pela equipe de operação durante o trabalho normal; e
- Falha Múltipla – uma combinação de uma falha oculta mais uma segunda falha, ou evento, que a torne evidente. (SIQUEIRA, 2009)

### 2.4.3 FMEA

O estudo de FMEA - Failure Mode and Effects Analysis ou, traduzindo para o português, Análise de Modos e Efeitos de Falhas, consiste em identificar as funções de uma instalação ou sistema, os tipos de falhas que podem ocorrer, os efeitos e as possíveis causas desta falha, seguidos da avaliação. Com base nestas avaliações são tomadas as ações necessárias para diminuir esses riscos aumentando a confiabilidade.

Numa FMEA podem ser enfocados tanto os aspectos relacionados com a confiabilidade do sistema como com a segurança da instalação. Assim pode ser avaliada a gravidade dos efeitos das falhas sobre a continuidade operacional do sistema, sobre a segurança dos operadores, da população circunvizinha ou dos demais equipamentos. Entre os objetivos da FMEA estão:

- Identificação dos modos de falha dos componentes de um sistema;
- Avaliação das causas, efeitos e riscos das falhas;
- Aumentar a segurança funcional, operacional e ambiental;
- Aumentar a confiabilidade;
- Melhorar a comunicação interna;
- Como detectar, como corrigir.

Um estudo de FMEA envolve a identificação sistemática dos seguintes aspectos, para cada função de uma instalação:



projeto. O nível de detalhamento da identificação da causa de cada falha é muito importante, devendo ser adequado, isto é, nem demais e nem de menos, evitando-se assim desperdício de tempo e esforço (TOLEDO, 2006).

Segundo BARBOSA (2009), a identificação dos modos de falha de um item físico é um dos passos mais importantes no desenvolvimento de qualquer programa que pretenda assegurar que o ativo continue a executar suas funções previstas. Quando em um sistema ou processo cada modo de falha for identificado, torna-se possível verificar suas consequências e planejar ações para corrigir ou prevenir a falha. Na prática, dependendo da complexidade de um item físico, do contexto operacional e do nível em que está sendo feita a análise, normalmente são listados vários modos de falha como causas da falha funcional. Alguns dos modos de falha típicos que podem gerar falha funcional são: fratura, separação, deformação, desgaste, abrasão, desbalanceamento, rugosidade, desalinhamento, trincamento, deficiências da manutenção, etc.

Para obtenção dos modos de falha de cada componente, de maneira geral utiliza-se as seguintes fontes (SIQUEIRA, 2009):

- Histórico de desempenho e falhas;
- Manuais, desenhos e especificações de projeto;
- Operadores, técnicos e engenheiros do processo;
- Documentação do fabricante, projetista ou fornecedor;
- Listas genéricas de defeitos;
- Outras aplicações idênticas;
- Experiência de projetistas, integradores e mantenedores;
- Normas técnicas, legais e de seguro aplicáveis.

#### 2.4.5 Causa da Falha

De acordo com SIQUEIRA (2009), é importante distinguir modo de falha e causa da falha. O modo descreve *o que* está errado na funcionalidade do item. Já a causa descreve porque está errada a funcionalidade do item.



A causa da falha representa os eventos que geram o aparecimento do modo da falha e pode ser detalhada em diferentes níveis para diferentes situações. A causa da falha pode ser associada a: falha de projeto, defeito do material, deficiências durante o processamento ou fabricação dos componentes, defeitos de instalação e montagem, condições de serviço não previstas ou fora de projeto, erro de montagem ou operação indevida.

É importante que as causas sejam listadas tão completa e concisamente quanto possível para que medidas preventivas possam ser aplicadas às causas pertinentes. Este é um elemento importante do FMEA porque ele aponta a maneira para a ação de prevenção e correção da falha.

#### 2.4.6 Efeitos da Falha

Efeitos da Falha é o que acontece quando um modo de falha se apresenta. Segundo SIQUEIRA (2009), além dos mecanismos dos modos de falha, a MCC baseia a escolha das atividades preventivas e corretivas nos efeitos adversos decorrentes das falhas, e nas consequências sobre a instalação, usuários e meio ambiente. Assim, pesquisar os efeitos de falhas consiste em investigar como os modos de falhas se propagam e influem nos objetivos do sistema em análise e na funcionalidade da instalação.

De acordo com TOLEDO (2006), em um estudo de MCC os efeitos da falha devem ser registrados, descrevendo o que acontece quando ocorre cada modo de falha. Estas devem incluir informações necessárias para dar suporte à avaliação das consequências da falha:

- Qual a evidência de que a falha ocorreu;
- De quê modo ela ameaça a segurança ou o meio-ambiente;
- De quê modo ela afeta a operação;
- Qual dano físico é causado pela falha;
- O quê deve ser feito para reparar a falha.

### 2.4.7 Matriz de Riscos

A matriz de riscos é uma combinação dos níveis de frequência dos modos de falha com os níveis de severidade e aceitabilidade de riscos.

Conforme SIQUEIRA (2009), o efeito de um modo de falha pode ser medido por uma avaliação de risco. Em geral, o risco de um modo de falha é proporcional à frequência com que os eventos ocorrem e à severidade dos danos produzidos por cada evento, podendo ser acrescentado ainda a dificuldade de sua detecção (nível de detectabilidade).

Os níveis de detectabilidade estão associados a atividade necessária para a detecção da falha e pode ser classificados conforme a Tabela 1.

Tabela 1 – Níveis de Detectabilidade de Riscos (SIQUEIRA, 2009)

<b>Nível</b>	<b>Detectabilidade</b>	<b>Descrição</b>
1	Fácil	Falha detectável por procedimento operacional
2	Razoável	Falha detectável por inspeção operacional
3	Difícil	Falha detectável por ensaio funcional
4	Muito Difícil	Falha detectável apenas por desligamento
5	Impossível	Falha totalmente oculta

Fonte: (SIQUEIRA, 2009)

Na matriz de riscos também se utiliza os níveis de frequência, severidade e aceitabilidade do risco que são classificados conforme as Tabelas 2, 3 e 4.

Tabela 2 – Níveis de Frequência de Modos de Falha

<b>Frequência</b>	<b>Descrição</b>
Frequente	Esperado ocorrer frequentemente Falha ocorrerá continuamente
Provável	Ocorrerá várias vezes Falha ocorrerá com frequência
Ocasional	Possível ocorrer várias vezes Falha esperada ocorrer ocasionalmente
Remoto	Possível ocorrer algumas vezes Falha razoavelmente esperada
Improvável	Possível ocorrer, mas improvável Falha ocorrerá excepcionalmente
Inacreditável	Essencialmente inesperada ocorrer Falha praticamente não ocorrerá

Fonte: (SIQUEIRA, 2009)

Tabela 3 – Níveis de Severidade de Risco

Categoria	Severidade	Valor	Dano		
			Ambiental	Pessoal	Econômico
I	Catastrófico	5	Grande	Mortal	Total
II	Crítico	4	Significante	Grave	Parcial
III	Marginal	3	Leve	Leve	Leve
IV	Mínimo	2	Insignificante	Insignificante	Aceitável
V	Insignificante	1	Inexistente	Inexistente	Inexistente

Fonte: (SIQUEIRA, 2009)

Tabela 4 – Níveis de Aceitabilidade de Risco

Aceitabilidade	Descrição	Ação
Intolerável	Inaceitável	Deve ser eliminado
Indesejável	Impraticável reduzir	Exige aprovação
Tolerável	Permite controle adicional	Exige aprovação
Desprezível	Permite controle adicional	Não exige aprovação

Fonte: (SIQUEIRA, 2009)

Depois de definidos os níveis de frequência, severidade e aceitabilidade dos riscos pode-se construir uma matriz de riscos, conforme Tabela 5. Com ela, pode-se definir um nível de aceitabilidade do risco em função da severidade e da frequência.

Tabela 5 – Matriz de Riscos

Severidade → Frequência ↓	Insignificante	Mínima	Marginal	Crítica	Catastrófica
Frequente	Indesejável	Indesejável	Intolerável	Intolerável	Intolerável
Provável	Tolerável	Indesejável	Indesejável	Intolerável	Intolerável
Ocasional	Tolerável	Tolerável	Indesejável	Indesejável	Intolerável
Remoto	Desprezível	Desprezível	Tolerável	Indesejável	Indesejável
Improvável	Desprezível	Desprezível	Desprezível	Tolerável	Tolerável
Inacreditável	Desprezível	Desprezível	Desprezível	Desprezível	Desprezível

Fonte: (SIQUEIRA, 2009)

O NPR (Número de Prioridade de Risco) pode ser utilizado para comparar a criticidade de diferentes modos de falha e assim priorizar as ações corretivas para

os casos mais críticos. É o produto dos índices de Severidade (S), Frequência (F) e Detectabilidade (D):

$$\text{NPR} = \text{Severidade} \times \text{Frequência} \times \text{Detectabilidade}.$$

#### 2.4.8 Consequências de Falhas

Cada falha afeta a organização de alguma forma, podendo afetar a produção, a qualidade do serviço ou do produto, a segurança e o meio ambiente, muitas vezes incorrendo em aumento do custo operacional. A natureza e a severidade dessas consequências orientam a maneira como será vista a falha.

A combinação do contexto operacional, dos padrões de desempenho e dos efeitos, indica que cada falha tem um conjunto específico de consequências a ela associadas. Se tais consequências forem muito severas, grandes esforços deverão ser realizados para evitar ou reduzir a falha.

Segundo TOLEDO (2006), um aspecto muito importante da MCC é a percepção de que as consequências das falhas são muito mais importantes que suas características técnicas. Desta forma, o único motivo para se fazer qualquer tipo de manutenção pró-ativa não é a prevenção da falha, mas sim a eliminação ou minimização de suas consequências. Isto é o que MOUBRAY (2000) denomina de gerenciamento das falhas e não apenas a prevenção indiscriminada de todas elas.

De acordo com SIQUEIRA (2009), uma falha pode gerar impactos e consequências relacionados à segurança, meio ambiente, economia e operação.

- Impactos ambientais e de segurança: as falhas devem oferecer ameaça à vida, à integridade das pessoas ou infringir alguma legislação ou padrão ambiental.
- Impactos econômicos: as falhas devem alterar de alguma forma a produção, gerar deficiências no processo, ameaçar a qualidade do produto ou gerar insatisfação no cliente.
- Impactos operacionais: as falhas devem afetar a operação e não devem impactar na produção, nem gerar deficiências no processo, nem ameaçar a qualidade do produto e não alterar a satisfação do cliente.

O processo de avaliação das consequências conclui que nem todas devem ser evitadas. Desta maneira, são focadas as atividades de manutenção que tem mais efeito no desempenho da organização, desconsiderando aquelas que tem pequeno ou nenhum efeito. Existem duas técnicas de gerenciamento das falhas:

- Tarefas pró-ativas: realizadas antes de uma falha ocorrer, prevenindo a entrada no estado de falha e compreendem as manutenções preditiva e preventiva. As três categorias de tarefas pró-ativas são: tarefas de restauração programada, que consiste em se fazer ou revisar um componente, tarefas de descarte programado, que implica na substituição do equipamento e tarefas sob condição, que visam detectar falhas potenciais tomando ações antes que as consequências ocorram. Neste caso os itens permanecem em serviço.
- Tarefas default: tratam o estado da falha, e são efetuadas quando uma tarefa pró-tiva efetiva não é encontrada. As três principais categorias de ações default são: busca de falha, onde se verifica com certa periodicidade as funções ocultas para verificar se falharam, reprojeto, que consiste em alterar a capacidade de um sistema e nenhuma manutenção programada, que seria permitir que a falha ocorra para então ser reparada.

#### 2.4.9 Diagrama de Decisão

Os diagramas de decisão permitem que as estratégias ou tarefas de manutenção sejam selecionadas para cada modo de falha identificado, considerando o seu contexto operacional e as consequências da falha. Depois de respondidas as sete questões básicas da MCC é necessário integrar todas as informações obtidas durante o processo e definir as atividades de manutenção correspondentes para cada modo de falha. Conforme MOUBRAY (2000), duas condições precisam ser avaliadas: se a tarefa pró-ativa é possível de ser realizada, o que depende das características técnicas da falha a ser prevenida e se a tarefa pró-ativa vale a pena ser realizada, o que depende da sua eficácia e custo em relação à consequência da falha.

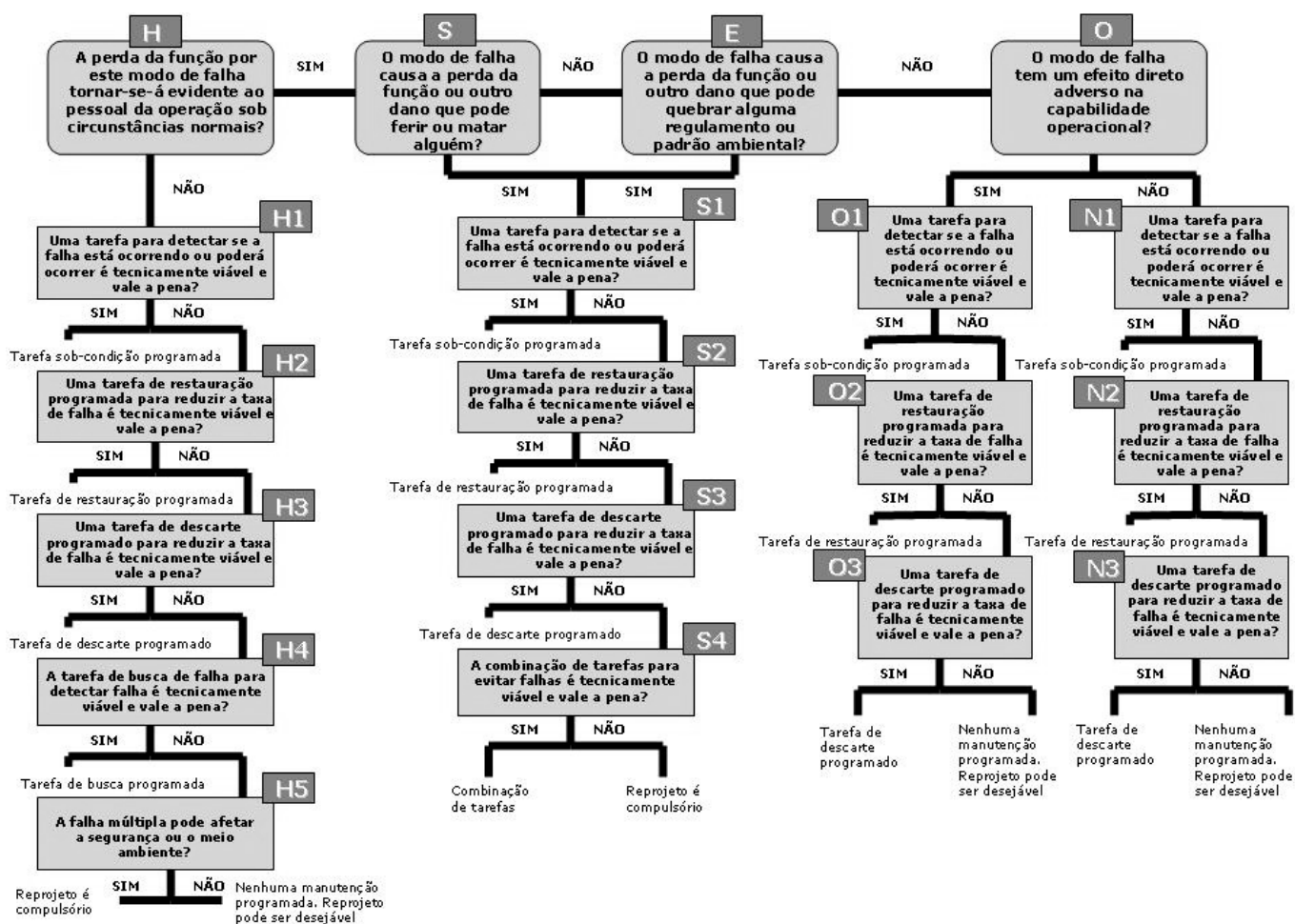


Figura 5 – Diagrama de Decisão  
Fonte: (MOUBRAY, 2000)

As saídas do diagrama de decisão são registradas na planilha de decisão, conforme Figura 6, onde:

- F – Função;
- FF – Falha Funcional;
- FM – Modo de Falha;
- H – Sinaliza se a falha é evidente ou não;
- S – Sinaliza se a falha afeta a segurança;
- E – Sinaliza se a falha afeta o meio ambiente;
- O – Sinaliza se a falha tem consequência operacional;
- H1, H2 e H3 - Sinalizam se uma tarefa pró-ativa foi selecionada;
- H4, H5 e S4 – Referem-se às questões default.



### 3 REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

#### 3.1 INTRODUÇÃO

Um sistema elétrico de energia, em sua concepção geral, é constituído pelos equipamentos e materiais necessários para transportar a energia elétrica desde a geração até os pontos onde ela será utilizada. Este sistema é dividido em três segmentos distintos: geração, transmissão e distribuição.

Em relação às redes de distribuição de energia, existem várias topologias que podem ser aplicadas para seu transporte, tais como a rede de distribuição aérea convencional (RDA), a rede de distribuição aérea compacta protegida (RDC) e a rede de distribuição subterrânea. A primeira topologia é a mais comum e é caracterizada por condutores nus, apoiados sobre isoladores de vidro ou porcelana, fixados horizontalmente sobre cruzetas normalmente de madeira ou concreto nos circuitos de média tensão, sendo esta topologia de rede mais vulnerável à ação de intempéries. Normalmente nas regiões urbanas as redes de distribuição têm seu espaço dividido com árvores, as quais em dias de ventos fortes ou chuvas geralmente provocam danos a estas redes, necessitando então, um trabalho de monitoramento e manutenção bastante acentuado (SALMAZO; SUCHEVICZ; TONETTI, 2007).

Este trabalho trata especificamente das redes de distribuição aéreas convencionais de energia elétrica em média tensão (13,8kV) utilizadas pela Companhia Paranaense de Energia – COPEL.

#### 3.2 CARACTERÍSTICAS DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO AÉREA

A seguir serão apresentados os principais componentes de uma rede de distribuição aérea convencional (RDA). A Figura 7 apresenta o trecho de uma RDA.





Figura 7 – Rede de Distribuição Aérea Convencional

### 3.2.1 Poste

Durante muito tempo os postes de madeira tratada foram largamente utilizados nas redes de distribuição, porém com o passar do tempo e a evolução da engenharia civil, surgiram os postes de concreto circulares. A grande vantagem destes postes estava na resistência superior à dos postes de madeira, além de poderem ser confeccionados de forma rápida, não necessitando de beneficiamento. Porém o poste circular, devido à sua formação geométrica, possui sua estrutura composta por inúmeras barras de aço, encarecendo sua confecção (SALMAZO; SUCHEVICZ; TONETTI, 2007).

Visando a redução de custos foi criado, então, o poste de seção duplo T, que possui características semelhantes ao circular, porém com menos flexibilidade e menor resistência mecânica tanto contra abalroamentos como para a própria tração exercida pelos cabos. Porém, responde satisfatoriamente às necessidades das concessionárias na montagem de redes de distribuição sendo, então, largamente utilizado. Novas tecnologias de postes já foram desenvolvidas com o intuito de baratear ainda mais as obras e torná-las mais fáceis de serem executadas. Pode-se

citar como exemplo os postes de material polimérico ou de fibra de vidro, já disponíveis comercialmente para utilização nas redes de distribuição.



Figura 8 – Poste duplo T

Fonte: <http://www.comperaco.com.br>. Acesso em: 11 mai. 12

### 3.2.2 Isolador Tipo Pino e Pilar

Os isoladores tipo pino são fabricados em porcelana ou vidro e são utilizados em montagem rígida vertical (ou horizontal) em cruzeta ou diretamente no poste, sendo fixados na estrutura por meio de um pino de aço. Apresentam entalhe superior e gola lateral para fixação dos cabos aéreos, sendo normalmente amarrados a estes com laços pré-formados.

De tecnologia mais atual, os isoladores tipo pilar são maciços e podem ser constituídos de porcelana ou material polimérico. Apresentam a característica de suportar maiores esforços mecânicos e de proporcionarem maior dificuldade de perfuração elétrica, evitando a maior fonte de defeitos verificados nos isoladores de pino convencionais que é a perfuração no leito do condutor, de difícil detecção (SALMAZO; SUCHEVICZ; TONETTI, 2007).

Ambos os isoladores são aplicados nas redes de distribuição de média tensão e tem como finalidade principal isolar eletricamente os condutores energizados das estruturas, bem como proporcionar a fixação destes condutores.



Figura 9 – Isolador tipo pino

Fonte: <http://www.germerisoladores.com.br>. Acesso em: 10 mai. 12



Figura 10 – Isolador tipo pilar

Fonte: <http://www.isotrafo.com.br>. Acesso em: 10 mai. 12

### 3.2.3 Isolador de Ancoragem Tipo Disco e Bastão

Os isoladores tipo disco são fabricados em porcelana ou vidro e são utilizados para formação de cadeia de isoladores de ancoragem, fixando-se unidades de isoladores entre si por meio de ferragens.

Os isoladores de ancoragem tipo bastão são fabricados em porcelana ou em material polimérico. Este último apresenta melhor desempenho frente a vandalismos que uma correspondente cadeia de isoladores de disco de vidro ou porcelana.

Ambos os isoladores são aplicados nas redes de distribuição de média tensão e tem como finalidade principal isolar eletricamente os condutores energizados das estruturas, bem como proporcionar o encabeçamento destes condutores.



Figura 11 – Isolador tipo disco

Fonte: <http://www.germerisoladores.com.br>. Acesso em: 10 mai. 12



Figura 12 – Isolador tipo bastão

Fonte: <http://www.nei.com.br>. Acesso em: 10 mai. 12

### 3.2.4 Cruzeta

A cruzeta tem como função sustentar os condutores utilizados no fornecimento de energia. Podem ter sua fabricação realizada com diversos tipos de materiais, tais como madeira, aço, concreto, fibra e materiais poliméricos, porém a predominância nas redes de distribuição são as fabricadas em madeira e concreto.



Figura 13 – Cruzeta

Fonte: <http://www.persico.com.br>. Acesso em: 11 mai. 12

### 3.2.5 Para-raios

Os para-raios são fabricados em porcelana ou material polimérico e tem a função de proteção dos equipamentos das redes de distribuição de energia contra descargas atmosféricas e surtos de manobra. São dotados de desligador automático para que na eventual ocorrência de defeito elétrico do para-raios, este dispositivo possibilite o desligamento rápido e automático do terminal de aterramento, desativando e garantido a continuidade de serviço da rede, além de possibilitar com facilidade a visualização da unidade defeituosa (SALMAZO; SUCHEVICZ; TONETTI, 2007).

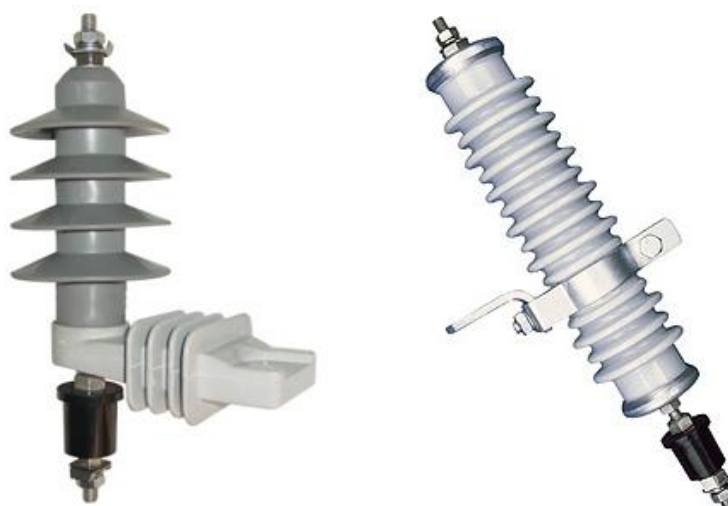


Figura 14 – Para-raios de material polimérico e de porcelana  
Fonte: <http://www.delmar.com.br>. Acesso em: 11 mai. 12

### 3.2.6 Chave-fusível

As chaves-fusíveis são utilizadas na rede de distribuição para proteção de equipamentos e ramais dos circuitos. Elas são providas de um corpo de porcelana ou material polimérico e de um cartucho denominado de porta-fusível, que é o elemento principal e ativo da chave-fusível. Consiste em um tubo de fibra de vidro, dotado de revestimento interno que se constitui na substância principal que gera, em parte, os gases destinados à interrupção do arco elétrico. No seu interior está o elo fusível, elemento metálico no qual é inserido uma parte sensível à correntes elétricas elevadas, conhecido como elemento fusível, que funde-se e rompe-se num intervalo de tempo inversamente proporcional à corrente elétrica (<http://www.fundec.edu.br>. Acesso em: 11 mai. 12). Em alguns casos o porta-fusível pode ser substituído por uma lâmina desligadora.

As chaves-fusíveis foram desenvolvidas apenas para operação sob tensão (à vazio) e não devem ser operadas em carga, devido à inexistência de um sistema de extinção do arco elétrico que se forma durante a manobra da mesma ([http://www.fundec.edu.br/tecnico/seguranca\\_trabalho/trabalhos.php](http://www.fundec.edu.br/tecnico/seguranca_trabalho/trabalhos.php). Acesso em: 11 mai. 12).



Figura 15 – Chave-fusível  
Fonte: <http://www.delmar.com.br>. Acesso em: 11 mai. 12

### 3.2.7 Chave Seccionadora Unipolar

A chave seccionadora unipolar é utilizada em redes de distribuição de energia para manobra do sistema. Possui gancho para utilização de ferramenta de abertura em carga, e seu acionamento é realizado através de vara de manobra. É montada sobre isoladores do tipo suporte, que são fixados em uma base de aço, normalmente galvanizado. A chave também dispõe de trava de segurança contra aberturas acidentais.



Figura 16 – Chave seccionador unipolar  
Fonte: <http://www.delmar.com.br>. Acesso em: 11 mai. 12

### 3.2.8 Laço Pré-formado

Os laços pré-formados são largamente utilizados para a fixação dos condutores nos isoladores em estruturas do tipo passantes ou com pequenas deflexões. São fabricados em aço carbono revestido de alumínio ou galvanizado. A superfície interior das varetas contém elementos abrasivos para melhorar o agarramento sobre o cabo.



Figura 17 – Laço pré-formado  
Fonte: <http://www.emd.com.br>. Acesso em: 11 mai. 12

### 3.2.9 Alça Pré-formada

As alças pré-formadas utilizadas para a fixação dos condutores nos isoladores em estruturas do tipo ancoragem. São fabricados em aço carbono revestido de alumínio ou galvanizado. A superfície interior das varetas contém elementos abrasivos para melhorar o agarramento sobre o cabo.





Figura 18 – Alça pré-formada  
Fonte: <http://www.emd.com.br>. Acesso em: 11 mai. 12

### 3.2.10 Conectores

Existem diversos tipos de conectores aplicados em redes de distribuição aérea, dentre eles os paralelos, de compressão e tipo cunha. Este último é o mais utilizado atualmente, sendo formado por um componente "C" e uma "cunha", ambos feitos em liga de alumínio. A força de contato proporcionada é constante, uniforme e permanente, dificultando a formação de corrosão e protegendo a conexão contra variações de temperatura.



Figura 19 – Conector cunha  
Fonte: <http://www.nei.com.br>. Acesso em: 10 mai. 12

### 3.2.11 Grampo de Linha Viva

Os grampos de linha viva são utilizados nas conexões entre alimentadores, ramais de distribuição, ligações de chaves e transformadores às redes elétricas e nos aterramentos de linhas e equipamentos, durante as manutenções (<http://www.delmar.com.br>. Acesso em: 11 mai. 12). Para sua conexão e desconexão é utilizado um bastão de manobra. É composto pela carcaça principal, mordente, conector e parafuso olhal, podendo ser fabricado em alumínio fundido ou liga de cobre.



Figura 20 – Grampo de linha viva  
Fonte: <http://www.delmar.com.br>. Acesso em: 11 mai. 12

### 3.2.12 Adaptador de Estribo

Este acessório quando fixado nos cabos da RDA permite que se crie um ponto de conexão para a conexão do grampo de linha viva (SALMAZO; SUCHEVICZ; TONETTI, 2007). Pode ter sua conexão realizada com a rede através de conector parafuso, compressão ou cunha. Fabricado em alumínio fundido ou liga de cobre.



Figura 21 – Adaptador de estribo  
Fonte: <http://www.intelli.com.br>. Acesso em: 11 mai. 12

### 3.2.13 Cabos

Na RDA são utilizados cabos de alumínio sem proteção. Nos casos em que a atmosfera do local apresente-se agressiva para o cabo, como no litoral, este deverá ser de cobre ou possuir cobertura especial. Os cabos normalmente utilizados apresentam-se nas bitolas  $35\text{mm}^2$ ,  $70\text{mm}^2$ ,  $120\text{mm}^2$  e  $185\text{mm}^2$ .



Figura 22 – Cabo de alumínio CA  
Fonte: <http://www.walpainstaladora.com.br>. Acesso em: 11 mai. 12

## **4 DESENVOLVIMENTO DAS ETAPAS DA MCC PARA UMA REDE DE DISTRIBUIÇÃO AÉREA CONVENCIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA**

### **4.1 INTRODUÇÃO**

Neste capítulo será apresentado o desenvolvimento das etapas da MCC para uma rede de distribuição aérea convencional de energia elétrica em média tensão (13,8 kV), utilizando os conceitos descritos no capítulo 2. A partir da identificação dos subsistemas, funções, falhas funcionais, componentes, modos de falha e efeito das falhas será preenchido o formulário FMEA, para posterior preenchimento da Planilha de Decisões da MCC, com proposição de ações de manutenção e periodicidade de realização destas ações.

O desenvolvimento das etapas será realizado através de um estudo de caso abordando o circuito de média tensão do alimentador Guabiro tuba da COPEL na cidade de Curitiba (código COPEL 823620006).

A escolha do referido circuito alimentador foi baseada na frequência de desligamento apresentada no ano de 2011. Dentre os alimentadores que atendem os requisitos da proposta deste trabalho (alimentador aéreo em rede convencional), o alimentador Guabiro tuba foi o que apresentou a maior frequência de desligamento no período.

### **4.2 CIRCUITO ALIMENTADOR GUABIROTUBA**

O circuito alimentador Guabiro tuba faz parte da rede de distribuição de energia elétrica da COPEL e está localizado na cidade de Curitiba, na região do bairro Uberaba, conforme mostra a Figura 23 Sua rede aérea de média tensão possui 23,1 km de extensão, atendendo 5676 consumidores. Possui padrão construtivo convencional (estrutura com cruzeta, isolador e cabo nú) e sua tensão de operação é de 13,8 kV.

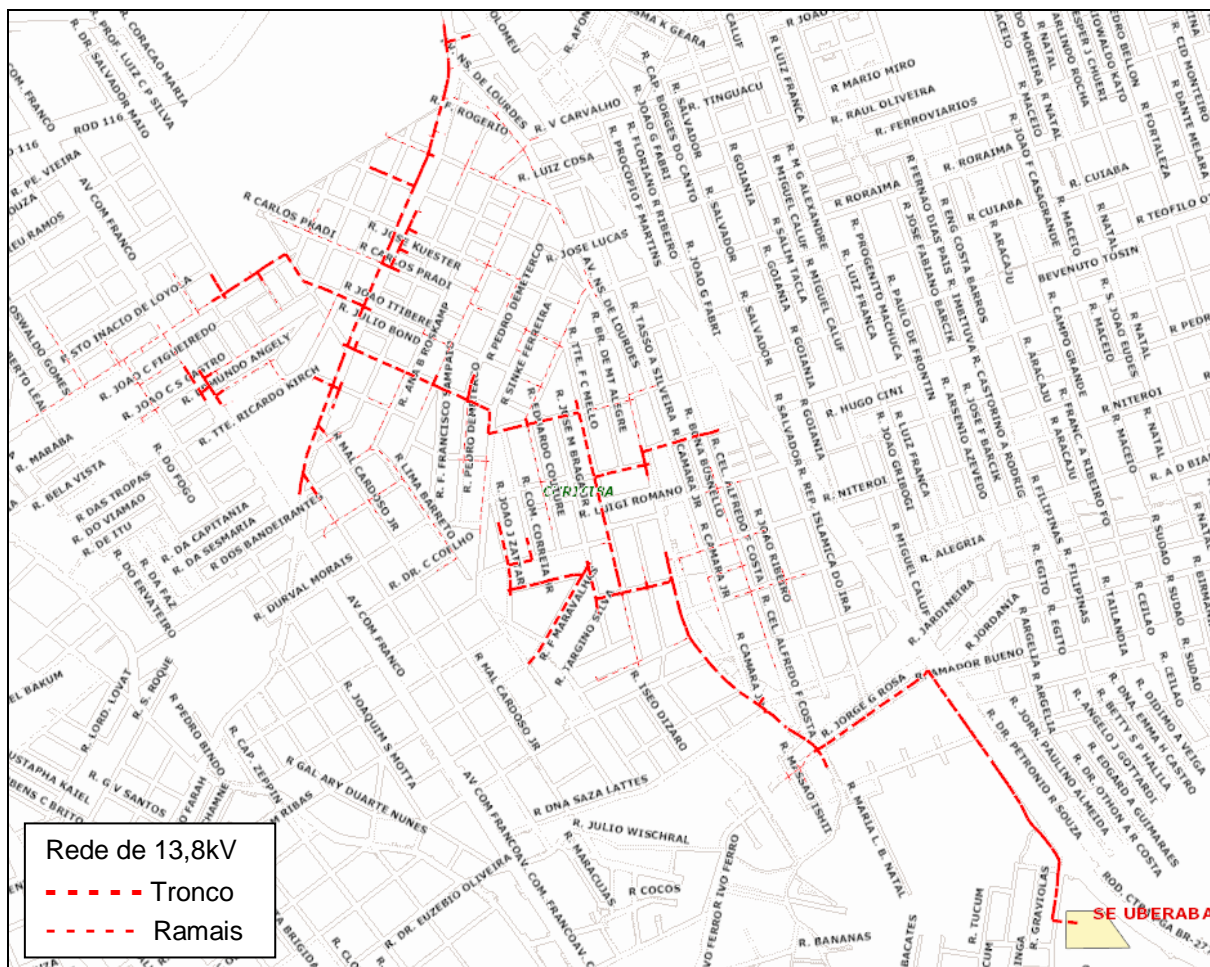


Figura 23 – Área de abrangência do alimentador Guabirotuba  
Fonte: COPEL, sistema Webgeo

### 4.3 FMEA E PLANILHAS DE DECISÃO

Nesta etapa será apresentada a documentação da MCC, seguindo os conceitos explicados nos capítulos anteriores. A identificação dos subsistemas, falhas funcionais, componentes, modos de falha e efeito das falhas estão contemplados no formulário FMEA e respondem as quatro primeiras questões básicas da MCC.





Tabela 8 – FMEA Para o Subsistema Cruzeta

ANÁLISE DE MODOS E EFEITOS DE FALHAS								
Sistema: Alimentador Guabirota				Subsistema: Cruzeta				
	Função		Falha		Componente		Modo de falha	Efeito
1	Sustentar condutores e componentes da rede	1.1	Não sustentar condutores e componentes da rede	A	Cruzeta de concreto	A1	Danificada	Queda de condutores e componentes da rede ao solo e desligamento do alimentador
				B	Cruzeta de madeira	B1	Danificada	Queda de condutores e componentes da rede ao solo e desligamento do alimentador
				C	Cruzeta polimérica	C1	Danificada	Queda de condutores e componentes da rede ao solo e desligamento do alimentador
				D	Parafuso ou cinta de sustentação	D1	Danificado	Queda de condutores e componentes da rede ao solo e desligamento do alimentador
						D2	Falta	Queda de condutores e componentes da rede ao solo e desligamento do alimentador
				E	Mão-francesa	E1	Danificada	Queda de condutores e componentes da rede ao solo e desligamento do alimentador
		1.2	Resistência mecânica comprometida	A, B e C	Cruzeta de concreto, madeira e polimérica	A2, B2 e C2	Quebrada, lascada ou trincada	Flambagem e rebaixamento dos condutores e componentes da rede
				B	Cruzeta de madeira	B3	Podre	Flambagem e rebaixamento dos condutores e componentes da rede
2	Manter distância mínima entre os condutores	2.1	Não manter distância mínima entre os condutores	A, B e C	Cruzeta de concreto, madeira e polimérica	A1, B1 e C1	Danificada	Desligamento do alimentador
3	Possibilitar operação de chaves	3.1	Não possibilitar operação de chaves	A, B e C	Cruzeta de concreto, madeira e polimérica	A2, B2 e C2	Quebrada, lascada ou trincada	Impossibilidade de operação da chave



ANÁLISE DE MODOS E EFEITOS DE FALHAS							
Sistema: Alimentador Guabirota				Subsistema: Cruzeta			
Função	Falha	Componente	Modo de falha	Efeito			
		B	Cruzeta de madeira	B3	Podre	Impossibilidade de operação da chave	
		D	Parafuso ou cinta de sustentação	D1	Danificado	Impossibilidade de operação da chave	
				D2	Falta	Impossibilidade de operação da chave	
				D3	Frouxo	Impossibilidade de operação da chave	
		E	Mão-francesa	E1	Danificada	Impossibilidade de operação da chave	

Tabela 9 – FMEA Para o Subsistema Pára-raios

ANÁLISE DE MODOS E EFEITOS DE FALHAS								
Sistema: Alimentador Guabirota				Subsistema: Para-raios				
	Função		Falha		Componente		Modo de falha	Efeito
1	Manter o isolamento elétrico	1.1	Perda do isolamento elétrico	A	Corpo de porcelana	A1	Danificado	Desligamento do alimentador
						A2	Com poluição excessiva	Desligamento do alimentador
				B	Corpo polimérico	B1	Danificado	Desligamento do alimentador
						B2	Com poluição excessiva	Desligamento do alimentador
		1.2	Redução do isolamento elétrico	A	Corpo de porcelana	A3	Quebrado, lascado, trincado ou perfurado	Redução do isolamento
						A2	Com poluição excessiva	Redução do isolamento
				B	Corpo polimérico	B3	Perfurado	Redução do isolamento
						B2	Com poluição excessiva	Redução do isolamento
2	Proteger equipamentos	2.1	Não proteger equipamentos	C	Desligador automático	C1	Atuado	Queima de equipamentos e desligamento do alimentador
				D	Pára-raios	D1	Danificado	Queima de equipamentos e desligamento do alimentador

Tabela 10 – FMEA Para o Subsistema Chave

ANÁLISE DE MODOS E EFEITOS DE FALHAS								
Sistema: Alimentador Guabirotuba				Subsistema: Chave				
	Função		Falha		Componente		Modo de falha	Efeito
1	Manter o isolamento elétrico	1.1	Perda do isolamento elétrico	A	Corpo de porcelana	A1	Danificado	Desligamento do alimentador
						A2	Com poluição excessiva	Desligamento do alimentador
				B	Corpo polimérico	B1	Danificado	Desligamento do alimentador
						B2	Com poluição excessiva	Desligamento do alimentador
		1.2	Redução do isolamento elétrico	A	Corpo de porcelana	A3	Quebrado	Redução do isolamento
				A e B	Corpo de porcelana ou polimérico	A4 e B3	Perfurado	Redução do isolamento
						A2 e B2	Com poluição excessiva	Redução do isolamento
2	Proteger trecho de circuito	2.1	Não proteger trecho de circuito	C	Chave-fusível	C1	Desregulada / danificada	Queima de equipamentos, rompimento de condutores e desligamento do alimentador
				D	Elo-fusível	D1	Descoordenado	Queima de equipamentos, rompimento de condutores e desligamento do alimentador
						D2	Danificado	Queima de equipamentos, rompimento de condutores e desligamento do alimentador
3	Manter fluxo de energia	3.1	Não manter o fluxo de energia	C	Chave-fusível	C1	Desregulada / danificada	Desligamento do trecho de circuito
				D	Elo-fusível	D2	Danificado	Desligamento do trecho de circuito
				E	Chave-seccionadora	E1	Desregulada / danificada	Desligamento do trecho de circuito
4	Possibilitar manobra no alimentador	4.1	Não possibilitar manobra no alimentador	E	Chave-seccionadora	E1	Desregulada / danificada	Impossibilidade de manobrar alimentador
				C	Chave-fusível	C1	Desregulada / danificada	Impossibilidade de manobrar alimentador

Tabela 11 – FMEA Para o Subsistema Condutor

ANÁLISE DE MODOS E EFEITOS DE FALHAS								
Sistema: Alimentador Guabirota				Subsistema: Condutor				
	Função		Falha		Componente		Modo de falha	Efeito
1	Manter fluxo de energia	1.1	Não manter o fluxo de energia	A	Condutor	A1	Danificado	Queda de condutor ao solo e desligamento do alimentador
						A2	Rompido por vento ou descarga	Queda de condutor ao solo e desligamento do alimentador
						A3	Tento rompido	Aquecimento do condutor
						A4	Árvore ou vegetação em contato	Desligamento do alimentador
								Rompimento do condutor, queda ao solo e desligamento do alimentador
						A5	Objetos / animais em contato	Desligamento do alimentador
								Rompimento do condutor, queda ao solo e desligamento do alimentador

Tabela 12 – FMEA Para o Subsistema Conexão

ANÁLISE DE MODOS E EFEITOS DE FALHAS								
Sistema: Alimentador Guabirota				Subsistema: Conexão				
Função	Falha	Componente	Modo de falha	Efeito				
1 Manter fluxo de energia	1.1 Não manter o fluxo de energia	A Conector	A1 Corrosão	Aquecimento no ponto de conexão, rompimento de condutores e desligamento do alimentador				
			A2 Danificado	Aquecimento no ponto de conexão, rompimento de condutores e desligamento do alimentador				
			A3 Frouxo	Aquecimento no ponto de conexão, rompimento de condutores e desligamento do alimentador				
		B Estribo		B1 Corrosão	Aquecimento no ponto de conexão, rompimento de condutores e desligamento do alimentador			
				B2 Danificado	Aquecimento no ponto de conexão, rompimento de condutores e desligamento do alimentador			
				B3 Frouxo	Aquecimento no ponto de conexão, rompimento de condutores e desligamento do alimentador			
		C Grampo de linha viva		C1 Corrosão	Aquecimento no ponto de conexão, rompimento de condutores e desligamento do alimentador			
				C2 Danificado	Aquecimento no ponto de conexão, rompimento de condutores e desligamento do alimentador			
				C3 Frouxo	Aquecimento no ponto de conexão, rompimento de condutores e desligamento do alimentador			
2 Possibilitar conexão e desconexão com fonte energizada	2.1 Não possibilitar conexão ou desconexão	C Grampo de linha viva	C1 Corrosão	Impossibilidade de desconexão com fonte energizada				
			C2 Danificado	Impossibilidade de desconexão com fonte energizada				
		B Estribo	B1 Corrosão	Impossibilidade de conexão ou desconexão com fonte energizada				
			B2 Danificado	Impossibilidade de conexão ou desconexão com fonte energizada				
			B3 Frouxo	Impossibilidade de conexão ou desconexão com fonte energizada				

Tabela 13 – FMEA Para o Subsistema Amarração  
ANÁLISE DE MODOS E EFEITOS DE FALHAS

Sistema: Alimentador Guabiro tuba				Subsistema: Amarração				
Função	Falha	Componente	Modo de falha	Efeito				
1	Fixar condutor ao isolador	1.1	Não fixar condutor ao isolador	A	Laço pré-formado	A1	Corrosão	Energização da estrutura, rebaixamento dos condutores e desligamento do alimentador
						A2	Danificado	Energização da estrutura, rebaixamento dos condutores e desligamento do alimentador
						A3	Frouxo	Energização da estrutura, rebaixamento dos condutores e desligamento do alimentador
				B	Alça pré-formada	B1	Corrosão	Queda de condutor ao solo e desligamento do alimentador
						B2	Danificada	Queda de condutor ao solo e desligamento do alimentador
						B3	Frouxa	Queda de condutor ao solo e desligamento do alimentador

Com as informações detalhadas nos formulários de FMEA é possível identificar cada subsistema, com seus respectivos modos de falha e os efeitos que eles produzem. Estas informações são necessárias para a elaboração das Planilhas de Decisão, que define as tarefas e as ações de manutenção. A Planilha de Decisão contempla as três últimas questões básicas da MCC. O preenchimento destas planilhas foi feito com base no Diagrama de Decisão mostrado no Capítulo 2.











Tabela 18 – Planilha de Decisão Para o Subsistema Chave

PLANILHA DE DECISÃO															
Sistema: Alimentador Guabirota													Subsistema: Chave		
Referência Informação			Avaliação de consequência				H1	H2	H3	Ação default			Tarefa Proposta	Frequência inicial	Pode ser feito por
							S1	S2	S3						
F	FF	FM	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	S4			
1	1.1	A1				x	O1						Inspeção visual	Anual	SMA
1	1.1	A2				x	O1						Inspeção visual	Anual	SMA
1	1.1	B1				x	O1						Inspeção visual	Anual	SMA
1	1.1	B2				x	O1						Inspeção visual	Anual	SMA
1	1.2	A3	x			x	H1						Inspeção termográfica	Semestral	SMA
1	1.2	A4	x			x	H1						Inspeção termográfica	Semestral	SMA
1	1.2	B3	x			x	H1						Inspeção termográfica	Semestral	SMA
1	1.2	A2	x			x	H1						Inspeção termográfica	Semestral	SMA
1	1.2	B2	x			x	H1						Inspeção termográfica	Semestral	SMA
2	2.1	C1				x							Manutenção corretiva	-	
2	2.1	D1				x							Manutenção corretiva	-	
2	2.1	D2				x							Manutenção corretiva	-	
3	3.1	C1				x	O1						Inspeção visual	Anual	SMA
3	3.1	D2				x							Manutenção corretiva	-	
3	3.1	E1				x	O1						Inspeção visual	Anual	SMA
4	4.1	E1				x	O1						Inspeção visual	Anual	SMA
4	4.1	C1				x	O1						Inspeção visual	Anual	SMA







Abaixo estão descritos os procedimentos das tarefas propostas nas Planilhas de Decisão (Tabelas 14 a 21):

- Inspeção visual: consiste na observação minuciosa da rede de distribuição, visando identificar seus defeitos e/ou anormalidades porventura existentes. Assim os inspetores devem percorrer o alimentador em toda a sua extensão ou parcialmente, dependendo da necessidade, normalmente utilizando-se de veículo e demais equipamento que auxiliem na observação, localização e registro, tais como binóculos, câmeras fotográficas, GPS, etc. Os procedimentos para este tipo de inspeção na COPEL estão definidos no Manual de Instrução Técnicas – MIT nº 160919 – Procedimentos de Inspeção Visual.

- Inspeção termográfica: é uma técnica de inspeção de redes de distribuição à distância que permite a medição de temperatura a partir da intensidade de radiação infravermelha emitida pelos corpos. Para este tipo de inspeção é necessário a utilização de uma câmera de vídeo especial, chamada de câmera termográfica, capaz de captar a radiação emitida. Além da câmera, a inspeção é realizada utilizando-se de veículo e demais equipamento que auxiliem na observação, localização e registro, tais como termo higrômetro, anemômetro, GPS, etc. Os procedimentos para este tipo de inspeção na COPEL estão definidos no Manual de Instrução Técnicas – MIT nº 160915 – Procedimentos de Inspeção Instrumentalizada.



## **5 ANÁLISE DA APLICABILIDADE DA METODOLOGIA MCC EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

### **5.1 INTRODUÇÃO**

Através da metodologia MCC foi elaborada a documentação e identificadas as principais falhas que podem ocorrer em uma rede de distribuição de energia com as características do alimentador em estudo.

As ações propostas na Planilha de Decisão foram sugeridas visando evitar as falhas identificadas pela metodologia. Para verificar a aplicabilidade da MCC em redes de distribuição de energia serão analisadas as falhas ocorridas no circuito alimentador Guabirotuba da COPEL, seguindo os seguintes critérios de seleção:

- Período de apuração: 01/01/2011 à 31/12/2011;
- Falhas que originaram interrupções no fornecimento de energia;
- Falhas ocorridas na rede de média tensão do alimentador em estudo.

### **5.2 ANÁLISE DOS DADOS**

As análises realizadas a seguir verificam se o plano de MCC apresentado seria eficaz para mitigação da descontinuidade no fornecimento de energia elétrica, verificando se as ações propostas na Planilha de Decisão evitariam a ocorrência das falhas e, conseqüentemente, a interrupção no fornecimento.

A Tabela 22 apresenta todas as falhas ocorridas no alimentador baseadas nos critérios de seleção.

Tabela 22 – Falhas no Circuito Alimentador Guabirota

Evento	Ocor.	Início	Término	Descrição Componente	Descrição Causa
1	976183	12/01/11 16:50	12/01/11 18:13	CONDUTOR DE AT	GALHOS TOCANDO A RD
2	998664	07/02/11 01:43	07/02/11 02:39	CONDUTOR DE AT	ÁRVORE CAIU SOBRE A REDE
3	998672	07/02/11 03:19	07/02/11 03:40	CONDUTOR DE AT	GALHOS LANÇADOS NA RD
4	24137	16/03/11 14:17	16/03/11 15:40	PARA-RAIO	COMPON. AVARIADO/DESRREGUL
5	24137	16/03/11 15:06	16/03/11 15:08	CHAVE SECCIONADORA	DESEQUILIBRIO DE CARGA/TENSAO
6	32707	01/04/11 17:08	01/04/11 17:41	CONDUTOR DE AT	VENTO/VENDAVAL
7	32957	01/04/11 17:41	02/04/11 03:29	CONDUTOR DE AT	ARVORE CAIU SOBRE A REDE
8	33354	01/04/11 18:08	02/04/11 06:29	CONDUTOR DE AT	VENTO/VENDAVAL
9	34072	01/04/11 21:33	02/04/11 02:47	CONDUTOR DE AT	ARVORE CAIU SOBRE A REDE
10	34320	02/04/11 00:12	02/04/11 04:44	CONDUTOR DE AT	VENTO/VENDAVAL
11	34531	02/04/11 06:35	02/04/11 13:32	JUMPER	COMPON. AVARIADO/DESRREGUL
12	40043	09/04/11 16:28	09/04/11 16:28	CONDUTOR DE AT	VENTO/VENDAVAL
13	40165	09/04/11 17:20	09/04/11 18:12	CONDUTOR DE AT	DESCARGA ATMOSFERICA
14	45719	18/04/11 17:08	18/04/11 19:07	CONDUTOR DE AT	ARVORE CAIU SOBRE A REDE
15	49523	26/04/11 12:24	26/04/11 13:24	CONDUTOR DE AT	GALHOS LANÇADOS NA RD
16	49678	26/04/11 18:56	26/04/11 19:24	POSTE	ABALROAMENTO
17	51850	01/05/11 14:26	01/05/11 14:33	JUMPER	COMPON. AVARIADO/DESRREGUL
18	85326	15/05/11 11:48	15/05/11 12:52	CONDUTOR DE AT	GALHOS TOCANDO A RD
19	90708	25/05/11 20:08	25/05/11 20:42	ATUAC. ELO FUSIVEL	NAO IDENTIFICADA
20	143739	01/08/11 00:16	01/08/11 00:54	ISOLADOR	ANIMAIS/INSETOS/PASSAROS
21	144690	02/08/11 07:03	02/08/11 09:28	JUMPER	CORROSAO/OXIDACAO/POLUICAO
22	160857	28/08/11 10:36	28/08/11 11:45	CONDUTOR DE AT	GALHOS TOCANDO A RD
23	168298	07/09/11 20:14	07/09/11 20:37	CHAVE SECCIONADORA	COMPON. AVARIADO/DESRREGUL
24	185608	10/10/11 18:22	10/10/11 19:11	CONDUTOR DE AT	DESCARGA ATMOSFERICA
25	196229	30/10/11 14:30	30/10/11 15:53	ATUAC. ELO FUSIVEL	NAO IDENTIFICADA
26	212429	30/11/11 21:26	30/11/11 23:39	CONDUTOR DE AT	GALHOS TOCANDO A RD

Fonte: Sistema de Operação da Distribuição – SOD – COPEL

### Evento 1:

No dia 12/01/11 às 16:50 ocorreu interrupção no fornecimento de energia causada por galhos de árvores tocando os condutores da rede.

O modo de falha foi identificado pela MCC e a ação proposta seria eficaz para evitar a ocorrência desta falha.

Resultado: Eficaz

**Evento 2:**

No dia 07/02/11 às 01:43 ocorreu interrupção no fornecimento de energia causada por árvore que caiu sobre a rede de distribuição de energia por ação do vento e causou o rompimento dos condutores.

O modo de falha foi identificado pela MCC, porém a ação proposta não seria eficaz para evitar a ocorrência desta falha em função da mesma ter sido originada por ação de um agente externo.

Resultado: Não eficaz

**Evento 3:**

No dia 07/02/11 às 03:19 ocorreu interrupção no fornecimento de energia causada por galhos de árvores lançados sobre os condutores por ação do vento.

O modo de falha foi identificado pela MCC, porém a ação proposta não seria eficaz para evitar a ocorrência desta falha em função da mesma ter sido originada por ação de um agente externo.

Resultado: Não eficaz

**Evento 4:**

No dia 16/03/11 às 14:17 ocorreu interrupção no fornecimento de energia causada por para-raios avariado na rede.

O modo de falha foi identificado pela MCC e a ação proposta seria eficaz para evitar a ocorrência desta falha.

Resultado: Eficaz

**Evento 5:**

No dia 16/03/11 às 15:06 ocorreu interrupção no fornecimento de energia causada por falha na operação de chave seccionadora.

O modo de falha não foi identificado pela MCC, portanto não possui ações propostas.

Resultado: Não eficaz

**Evento 6:**

No dia 01/04/11 às 17:08 ocorreu interrupção no fornecimento de energia causada por condutor rompido por ação do vento.

O modo de falha foi identificado pela MCC, porém a ação proposta no plano foi a manutenção corretiva.

Resultado: Não eficaz

**Evento 7:**

No dia 01/04/11 às 17:41 ocorreu interrupção no fornecimento de energia causada por árvore que caiu sobre a rede de distribuição de energia por ação do vento e causou o rompimento dos condutores.

O modo de falha foi identificado pela MCC, porém a ação proposta não seria eficaz para evitar a ocorrência desta falha em função da mesma ter sido originada por ação de um agente externo.

Resultado: Não eficaz

**Evento 8:**

No dia 01/04/11 às 18:08 ocorreu interrupção no fornecimento de energia causada por condutor rompido por ação do vento.

O modo de falha foi identificado pela MCC, porém a ação proposta no plano foi a manutenção corretiva.

Resultado: Não eficaz

**Evento 9:**

No dia 01/04/11 às 21:33 ocorreu interrupção no fornecimento de energia causada por árvore que caiu sobre a rede de distribuição de energia por ação do vento e causou o rompimento dos condutores.

O modo de falha foi identificado pela MCC, porém a ação proposta não seria eficaz para evitar a ocorrência desta falha em função da mesma ter sido originada por ação de um agente externo.

Resultado: Não eficaz

**Evento 10:**

No dia 02/04/11 às 00:12 ocorreu interrupção no fornecimento de energia causada por condutor rompido por ação do vento.

O modo de falha foi identificado pela MCC, porém a ação proposta no plano foi a manutenção corretiva.

Resultado: Não eficaz

**Evento 11:**

No dia 02/04/11 às 06:35 ocorreu interrupção no fornecimento de energia causada por condutor jumper avariado na rede.

O modo de falha foi identificado pela MCC e a ação proposta seria eficaz para evitar a ocorrência desta falha.

Resultado: Eficaz

**Evento 12:**

No dia 09/04/11 às 16:28 ocorreu interrupção no fornecimento de energia causada por condutor rompido por ação do vento.

O modo de falha foi identificado pela MCC, porém a ação proposta no plano foi a manutenção corretiva.

Resultado: Não eficaz

**Evento 13:**

No dia 09/04/11 às 17:20 ocorreu interrupção no fornecimento de energia causada por condutor rompido por ação de descarga atmosférica.

O modo de falha foi identificado pela MCC, porém a ação proposta no plano foi a manutenção corretiva.

Resultado: Não eficaz

**Evento 14:**

No dia 18/04/11 às 17:08 ocorreu interrupção no fornecimento de energia causada por árvore que caiu sobre a rede de distribuição de energia por ação do vento e causou o rompimento dos condutores.

O modo de falha foi identificado pela MCC, porém a ação proposta não seria eficaz para evitar a ocorrência desta falha em função da mesma ter sido originada por ação de um agente externo.

Resultado: Não eficaz

**Evento 15:**

No dia 26/04/11 às 12:24 ocorreu interrupção no fornecimento de energia causada por galhos de árvores lançados sobre os condutores por ação do vento.

O modo de falha foi identificado pela MCC, porém a ação proposta não seria eficaz para evitar a ocorrência desta falha em função da mesma ter sido originada por ação de um agente externo.

Resultado: Não eficaz

**Evento 16:**

No dia 26/04/11 às 18:56 ocorreu interrupção no fornecimento de energia causada por abaloamento de poste.

O modo de falha foi identificado pela MCC, porém a ação proposta no plano foi a manutenção corretiva.

Resultado: Não eficaz

**Evento 17:**

No dia 01/05/11 às 14:26 ocorreu interrupção no fornecimento de energia causada por condutor jumper avariado na rede.

O modo de falha foi identificado pela MCC e a ação proposta seria eficaz para evitar a ocorrência desta falha.

Resultado: Eficaz

**Evento 18:**

No dia 15/05/11 às 11:48 ocorreu interrupção no fornecimento de energia causada por galhos de árvores tocando os condutores da rede.

O modo de falha foi identificado pela MCC e a ação proposta seria eficaz para evitar a ocorrência desta falha.

Resultado: Eficaz

**Evento 19:**

No dia 25/05/11 às 20:08 ocorreu interrupção no fornecimento de energia causado por atuação de elo fusível não identificada em chave.

O modo de falha foi identificado pela MCC, porém a ação proposta no plano foi a manutenção corretiva.

Resultado: Não eficaz

**Evento 20:**

No dia 01/08/11 às 00:16 ocorreu interrupção no fornecimento de energia causada por isolador danificado por ação de animais.

O modo de falha foi identificado pela MCC, porém a ação proposta não seria eficaz para evitar a ocorrência desta falha em função da mesma ter sido originada por ação de um agente externo.

Resultado: Não eficaz

**Evento 21:**

No dia 02/08/11 às 07:03 ocorreu interrupção no fornecimento de energia causada por condutor jumper avariado na rede.

O modo de falha foi identificado pela MCC e a ação proposta seria eficaz para evitar a ocorrência desta falha.

Resultado: Eficaz

**Evento 22:**

No dia 28/08/11 às 10:36 ocorreu interrupção no fornecimento de energia causada por galhos de árvores tocando os condutores da rede.

O modo de falha foi identificado pela MCC e a ação proposta seria eficaz para evitar a ocorrência desta falha.

Resultado: Eficaz

**Evento 23:**

No dia 07/09/11 às 20:14 ocorreu interrupção no fornecimento de energia causada por chave danificada na rede.

O modo de falha foi identificado pela MCC e a ação proposta seria eficaz para evitar a ocorrência desta falha.

Resultado: Eficaz

**Evento 24:**

No dia 10/10/11 às 18:22 ocorreu interrupção no fornecimento de energia causada por condutor rompido por ação de descarga atmosférica.

O modo de falha foi identificado pela MCC, porém a ação proposta no plano foi a manutenção corretiva.

Resultado: Não eficaz

**Evento 25:**

No dia 30/10/11 às 14:30 ocorreu interrupção no fornecimento de energia causada por atuação de elo fusível não identificada em chave.

O modo de falha foi identificado pela MCC, porém a ação proposta no plano foi a manutenção corretiva.

Resultado: Não eficaz

**Evento 26:**

No dia 30/11/11 às 21:26 ocorreu interrupção no fornecimento de energia causada por galhos de árvores tocando os condutores da rede.

O modo de falha foi identificado pela MCC e a ação proposta seria eficaz para evitar a ocorrência desta falha.

Resultado: Eficaz

Verifica-se que os eventos 1, 4, 11, 17, 18, 21, 22, 23 e 26 seriam evitados com as ações propostas no plano de MCC apresentado, proporcionando uma redução de 34,6% na ocorrência de falhas que geram interrupções no fornecimento de energia, conforme pode ser observado na Tabela 23.



Tabela 23 – Tabela Resumo da Análise dos Eventos

Evento	Evento previsto pelo Programa de MCC?		A tarefa proposta seria eficiente?	
	Sim	Não	Sim	Não
1	X		X	
2	X			X
3	X			X
4	X		X	
5		X		X
6	X			X
7	X			X
8		X		X
9	X			X
10	X			X
11	X		X	
12	X			X
13	X			X
14	X			X
15	X			X
16	X			X
17	X		X	
18	X		X	
19	X			X
20	X			X
21	X		X	
22	X		X	
23	X		X	
24	X			X
25	X			X
26	X		X	
Total	24	2	9	17
	26		26	

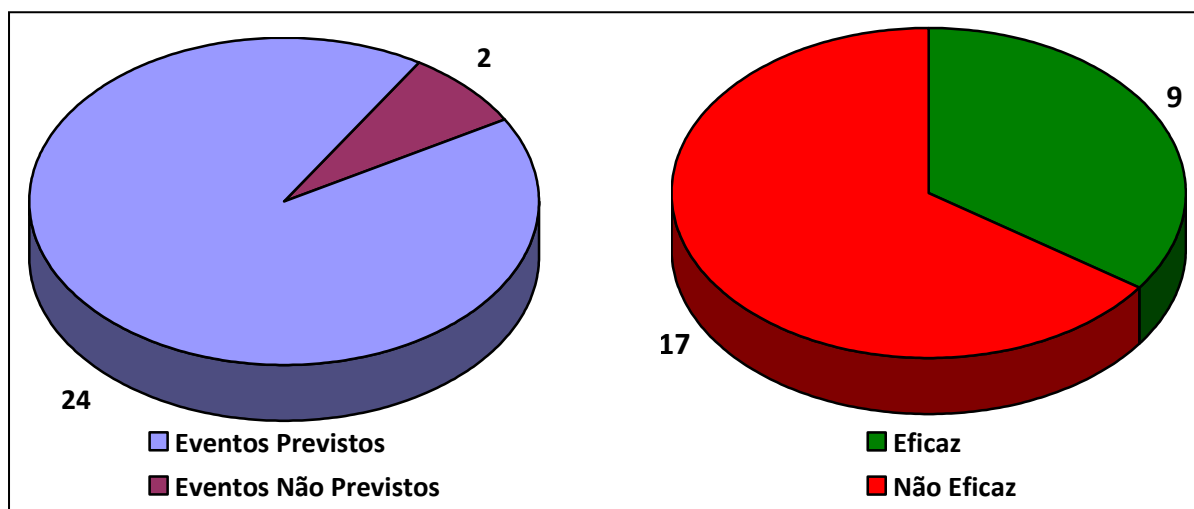


Gráfico 1 – Previsão de Eventos e Eficácia das Tarefas Propostas no Programa

## 6 CONCLUSÃO

A elaboração do presente trabalho permitiu um grande aprendizado no que diz respeito à metodologia MCC e sua aplicação em um sistema de distribuição de energia elétrica.

A utilização da metodologia da MCC auxilia o profissional de manutenção a pensar de forma estruturada, e faz com que os mesmos conheçam o funcionamento de seus sistemas, de forma a compreender as causas dos modos de falhas pertinentes a cada subsistema e permitir selecionar as tarefas adequadas de manutenção direcionada para os modos de falha identificados.

Contudo, a MCC ainda é uma metodologia muito pouco difundida no setor de distribuição de energia elétrica, principalmente quando sua aplicação está voltada para as redes de distribuição de energia. Este fato dificultou o desenvolvimento do trabalho. A solução foi consultar programas de MCC desenvolvidos nas áreas de transmissão de energia elétrica, fazendo correlações quando possível.

Como os sistemas elétricos de distribuição estão sujeitos à ações de agentes externos, tais como ações de terceiros (abalroamento de postes, vandalismos, etc.) e eventos ligados à natureza (tempestades, descargas atmosféricas, vendavais, etc.) a identificação de tarefas da manutenção para eliminação dos modos de falhas relacionados à estes eventos torna-se pouco eficiente.

Após a análise dos dados do alimentador em estudo pode-se verificar que 34,6% das ocorrências de falhas que geram interrupções no fornecimento de energia poderiam ser evitadas com a implantação das ações propostas neste trabalho.

### 6.1 PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS

A MCC elaborada neste trabalho foi baseada no caso de uma rede de distribuição aérea convencional de média tensão de energia elétrica, no entanto as redes de distribuição de energia tem diversas topologias de construção.

Uma análise para outros tipos de redes, como as compactas ou subterrâneas seria uma proposta de estudo complementar a este trabalho, bem como uma abordagem do desenvolvimento aqui realizado contemplando as redes de baixa tensão.

## REFERÊNCIAS

SIQUEIRA, I.P.; Manutenção Centrada na Confiabilidade: Manual de Implementação. 1ª Reimpressão. Qualitymark, Rio de Janeiro, RJ, 2009.

MOUBRAY, J. Manutenção Centrada em Confiabilidade. Edição brasileira, traduzido por Kleber Siqueira, Aladon Ltd, 2000.

TOLEDO, C.C.; Avaliação do Impacto da Parcela Variável na Política de Manutenção do Sistema de Transmissão da Copel. Monografia (Pós-Graduação em Engenharia Elétrica). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2006.

BARBOSA, A.C.; Aplicação da Manutenção Centrada em Confiabilidade na Função Transmissão a Fim de Reduzir o Tempo de Indisponibilidade. TCC (Graduação em Engenharia Elétrica). Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ, 2009.

SALMAZO, F.; SUCHEVICZ, L.; TONETTI, M., Estudo Comparativo Técnico-Econômico Entre Redes de Distribuição Convencional e Compacta Protegida. Estudo de Caso: Alimentadores Urbanos da Superintendência Regional de Distribuição Leste da Copel. TCC (Graduação em Engenharia Elétrica). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2007.

LIMA, J.R.; Conceitos da Metodologia RCM Aplicados a Uma Unidade de Britagem Móvel de Minério de Ferro. Monografia (MBA em Gestão da Manutenção, Produção e Negócios). Instituto de Capacitação Profissional de São João del-Rei, São João del-Rei, MG, 2011.

MORTELARI, D.; SIQUEIRA, K.; PIZZATI, N.; O RCM na Quarta Geração da Manutenção de Ativos. RG Editores, 1ª Edição, 2011

Catálogos Técnicos. Fábrica de Peças Elétricas Delmar Ltda. Disponível em <<http://www.delmar.com.br/catalogos.asp>>, Acesso em: 11 mai. 12

Lista de Produtos. EMD – Electric Material Distributor. Disponível em <<http://www.emd.com.br>>, Acesso em: 11 mai. 12

Procedimentos de Inspeção Visual. Manual de Instruções Técnicas COPEL (MIT). Número 160919. Versão 00. 2012

Procedimentos de Inspeção Instrumentalizada. Manual de Instruções Técnicas COPEL (MIT). Número 160915. Versão 00. 2012