

SENDI 2004

**XVI SEMINÁRIO NACIONAL DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

**METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DE CORRELAÇÃO  
ENTRE INTERRUPÇÕES E CAUSAS EM SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA**

<b>C. C. B. de Oliveira</b>	<b>Enerq/EPUSP</b>
<b>C. A. S. Penin</b>	<b>Enerq/EPUSP</b>
<b>A. Méffe</b>	<b>Enerq/EPUSP</b>
<b>H. P. Schmidt</b>	<b>Enerq/EPUSP</b>

<b>J. J. S. Oliveira</b>	<b>Eletropaulo</b>
<b>I. T. Domingues</b>	<b>Eletropaulo</b>

E-mail: [penin@pea.usp.br](mailto:penin@pea.usp.br)

**Palavras-chave:**  
distribuição de energia elétrica  
taxa de falhas  
ocorrências na rede de distribuição  
índices de interrupção

**Brasília, 21 a 24 de novembro de 2004**

## RESUMO

Este artigo apresenta uma metodologia e a implementação de um sistema para estudo de ocorrências na operação de sistemas de distribuição, com a identificação de suas causas mais prováveis.

Devido às grandes dimensões de seu sistema de distribuição, a Eletropaulo Metropolitana registra por volta de 30,000 ocorrências por mês, que são armazenadas, mantendo-se um histórico, em sua base de dados de ocorrências.

A partir dos registros efetuados em campo para cada ocorrência, envolvendo o componente afetado e os serviços executados, e de informações referentes às condições operativas da rede (tipo de rede, horário da ocorrência, carregamento dos equipamentos) e de informações ambientais (ocorrência de chuvas, descargas atmosféricas, vento, grau de poluição), são obtidos vários indicadores de apoio à tomada de decisões, buscando-se a priorização de ações e procedimentos que resultem na otimização dos recursos a serem alocados para melhoria dos índices de interrupção.

Para aumentar a qualidade das informações, também foi desenvolvido um sistema computacional PC-handheld para coletar os dados das ocorrências em campo e, posteriormente, armazená-los em um banco de dados corporativo. A utilização do handheld em uma regional, em substituição às fichas em papel normalmente usadas, possibilitou obter maior agilidade e qualidade na coleta das informações em campo, pois o software orienta a seqüência de informações fornecidas pelo electricista, impedindo que dados inconsistentes ou incompletos sejam fornecidos.

O sistema desenvolvido está sendo aplicado com sucesso na Empresa, e permite obter, dentre outros indicadores:

- taxa de falhas para cada componente/equipamento, para todo o sistema e para grupos de componentes (transformadores, cabos, isoladores, pára raios, etc.);
- causas das ocorrências para cada componente/equipamento (meio ambiente, acidentes, falha interna, serviços programados, vandalismo, etc);
- correlação entre ocorrências e características do sistema;
- correlação entre ocorrências e características ambientais;
- custos das interrupções (energia interrompida, custos de materiais e serviços).

## 1. INTRODUÇÃO

A AES Eletropaulo é a empresa de distribuição de eletricidade da cidade de São Paulo. Supre eletricidade para mais de 4.500.000 de consumidores através de mais de 1500 circuitos primários e 100000 secundários.

São aproximadamente 30000 ocorrências por mês, a maior parte envolvendo interrupção de fornecimento de energia. O sistema de Gerenciamento de Ocorrências da Distribuição (GOD) é responsável pelo gerenciamento de todas as ocorrências, gravando informações detalhadas de cada evento durante 3 anos. Porém, as informações a respeito das causas prováveis das ocorrências é muitas vezes preenchida de forma incorreta pelas equipes de campo, e a digitação posterior desses dados também gera inconsistências. Também não era possível integrar informações meteorológicas e outros dados externos com a base, nem fazer análises estatísticas sobre os dados armazenados, que permitiriam estabelecer relações entre as ocorrências e os parâmetros que podem afetar a rede elétrica.

Os principais objetivos da metodologia proposta podem ser resumidos como segue:

- (i) permitir uma coleta de dados eficiente para as equipes de campo;
- (ii) integrar os dados de ocorrências com os de fontes de informações externas;
- (iii) permitir análises estatísticas para identificar correlações entre as interrupções e suas causas.

A implementação do software leva o nome de Sistema de Correlação (SisCorrela), e entre suas funcionalidades o sistema permite priorizar os planos de manutenção da rede, emite relatórios de taxa de falha de materiais e auxilia o planejador na tomada de decisões no planejamento localizado da rede.

Inicialmente este documento apresenta detalhadamente a metodologia utilizada, incluindo a descrição das fontes externas de informações meteorológicas e ambientais e as características do software. Em seguida, apresenta um bem sucedido exemplo de aplicação da metodologia na empresa, terminando com as conclusões e os tópicos para desenvolvimento posterior.

## 2. METODOLOGIA

### *Fontes de dados*

Os dados de entrada para a metodologia proposta são provenientes de várias fontes independentes, e foram extraídos e finalmente integrados numa base de dados única, parte do sistema desenvolvido.

*Gerência de Ocorrências da Distribuição (GOD)*. Este é o sistema responsável pelo cadastramento e gerenciamento das informações das ocorrências, do cadastro inicial até a consolidação dos dados em diferentes níveis de detalhe. Porém, desenvolvido em plataforma *mainframe*, não permite integração com o pessoal de campo, exigindo diversos procedimentos manuais, feitos em formulários específicos.

*Gerenciamento da Rede de Distribuição (GRADE)*. Esse sistema contém todas as informações da rede elétrica: circuitos BT e MT, localização dos transformadores e demais componentes do sistema, seção dos cabos de rede, localização e características dos equipamentos de proteção, cadastro de consumidores, resultados dos fluxos de potência calculados, entre outros. Também roda em plataforma *mainframe* e não possui interface gráfica, embora todos os valores sejam georeferenciados, possuindo coordenadas UTM.

*Dados de Vento*. No estado de São Paulo, os dados relativos aos ventos e a poluição são coletados pela CETESB [1], que é a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, ligada à Secretaria do Meio Ambiente do governo de São Paulo, que opera 23 estações locais de medição na área metropolitana da cidade de São Paulo. Entre os dados disponíveis está a velocidade máxima do vento (m/s) em intervalos de 1 hora, de interesse direto para os estudos. Para cada ocorrência na rede, o software desenvolvido identifica a estação de medição mais próxima e verifica a velocidade máxima do vento apresentada na hora imediatamente anterior à ocorrência, além da máxima velocidade apresentada nas 24 horas anteriores.

*Dados de poluição do ar*. A CETESB também é responsável pela coleta e processamento dos valores de poluição do ar na cidade de São Paulo. Entre vários valores disponíveis, foram utilizados os valores horários de partículas inaláveis, medidos em  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Para cada ocorrência, o software então identifica a estação mais próxima e computa a média anual e a média dos 30 dias anteriores. Esses valores são então mapeados nas seguintes categorias: baixo (abaixo de  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), médio (entre 50 e  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), e alto (acima de  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

*Dados de chuvas.* O órgão responsável pela coleta e processamento dos dados de chuva é o CTH [2], que disponibiliza os valores a cada 5 minutos, em intervalos pré-determinados de valores (0-5 mm/h, 5-7 mm/h, etc.). Para cada evento gravado, o software identifica a quadrícula correspondente num sistema reticulado, e computa as chuvas acumuladas nos últimos 60 minutos e nas últimas 24 horas.

*Dados de descargas atmosféricas.* Aqui, os dados são fornecidos por um sistema regional chamado SIMEPAR [3]. Para cada descarga atmosférica detectada, diversas informações são disponibilizadas. As seguintes são utilizadas pelo sistema: horário GMT da descarga atmosférica, intensidade e os parâmetros da elipse de influência que provavelmente contém a localização da descarga. Para cada ocorrência, o sistema determina se a localização do evento pertence à elipse de influência de qualquer uma das descargas atmosféricas gravadas, tanto na hora do evento quanto nas 24 horas precedentes. A conversão do horário GMT para o local é feita automaticamente pelo sistema, inclusive considerando correções de horário de verão, quando aplicáveis.

### ***Principais Aspectos Funcionais***

Nos próximos itens serão apresentadas as principais implementações metodológicas do sistema em estudo.

*Aquisição de dados em campo.* A melhoria da qualidade das informações obtidas em campo foi um dos principais aspectos a serem abordados nesse projeto. Os procedimentos manuais para coleta de dados em campo, feitos em papel, usualmente são sujeitos a falhas e inconsistências. Esse processo foi melhorado através da introdução de computadores pessoais portáteis do tipo *Handheld (Palm)*. Foram equipados com software amigável desenvolvido especialmente no âmbito desse projeto, que automaticamente auxilia o usuário através de rotinas pré-estabelecidas para o preenchimento das informações. Vários procedimentos de checagem foram colocados para garantir a confiabilidade das informações coletadas pelos técnicos de campo. A figura 1 mostra a tela de início do procedimento de armazenamento das informações das ocorrências.



Figura 1 – Tela inicial de gravação de ocorrências

*Plataformas, aplicações e transferência de dados.* Ao final da coleta, cada turma de manutenção conecta seu Palm ao computador da sua regional. Todos os dados são transferidos para os computadores de mesa, que executam rotina local e enviam os dados para o banco de dados central da empresa.

O sistema SisCorrela roda localmente nos computadores de cada regional da empresa. Sempre que os usuários abrem uma nova sessão, dados atualizados são transferidos do banco de dados central para a estação que está sendo utilizada. As principais funcionalidades do software serão descritas nas subseções que se seguem.

*Cálculo das Taxas de Falha.* Dada a natureza dos dados associados com as ocorrências, foram incorporadas funções para calcular as taxas de falhas dos diversos componentes das redes de média tensão, considerando cada rede isoladamente ou qualquer conjunto de redes, inclusive a empresa inteira, em qualquer período de tempo.

A taxa de falhas de cabos pode ser obtida para todos os tipos de cabo conjuntamente, ou separada pelo tipo do cabo (nu, coberto, spacer cable, etc). A expressão geral para cálculo da taxa de falha de cabos é dada pela seguinte expressão:

$$TF_{cabo} = \frac{N_e}{L_{tot} \cdot \Delta t}, \quad (1)$$

onde  $TF_{cabo}$  é a taxa de falha do cabo, em falhas por km,  $N_e$  é o número de ocorrências onde o componente identificado foi o cabo,  $L_{tot}$  é o comprimento total do cabo (km) e  $\Delta t$  é o período de tempo para o qual a taxa de falha está sendo estimada. Esse período é usualmente de um ano, porém pode ser um outro período de tempo a escolha.

Os componentes para os quais as taxas de falhas podem ser calculadas são: postes, isoladores, transformadores, reguladores de tensão, bancos de capacitores, braquetes, buchas, muflas, bases fusíveis, chaves seccionalizadoras, medidores de energia, transformadores de tensão e de corrente, espaçadores, pára-raios e conectores, entre outros. Cada um desses componentes pode ser dividido em subtipos de acordo com o tipo de equipamento existente na rede de distribuição. Por exemplo, os pára-raios podem ser do tipo cerâmico ou polimérico. A expressão geral para cálculo da taxa de falha de um componente é dada pela seguinte expressão:

$$TF_{comp} = \frac{N_e}{N_{tot} \cdot \Delta t}, \quad (2)$$

onde  $TF_{comp}$  é a taxa de falha do componente, em número de falhas pela unidade de tempo considerada,  $N_e$  é o número de ocorrências envolvendo o componente,  $N_{tot}$  é o número total de componentes do mesmo tipo sendo considerados, e  $\Delta t$  é o período de tempo para o qual a taxa de falha está sendo estimada.

A taxa de falha para componentes também pode ser calculada tomando o comprimento do alimentador como referência. Nesse caso, uma fórmula similar a Eq. (1) é empregada. A figura 2 mostra um exemplo da taxa de falha calculada por comprimento de rede, nesse caso 700,27 km. As ocorrências de todo o ano de 1999 para a regional 10 (11000 na figura) da empresa foram consideradas nesse exemplo.

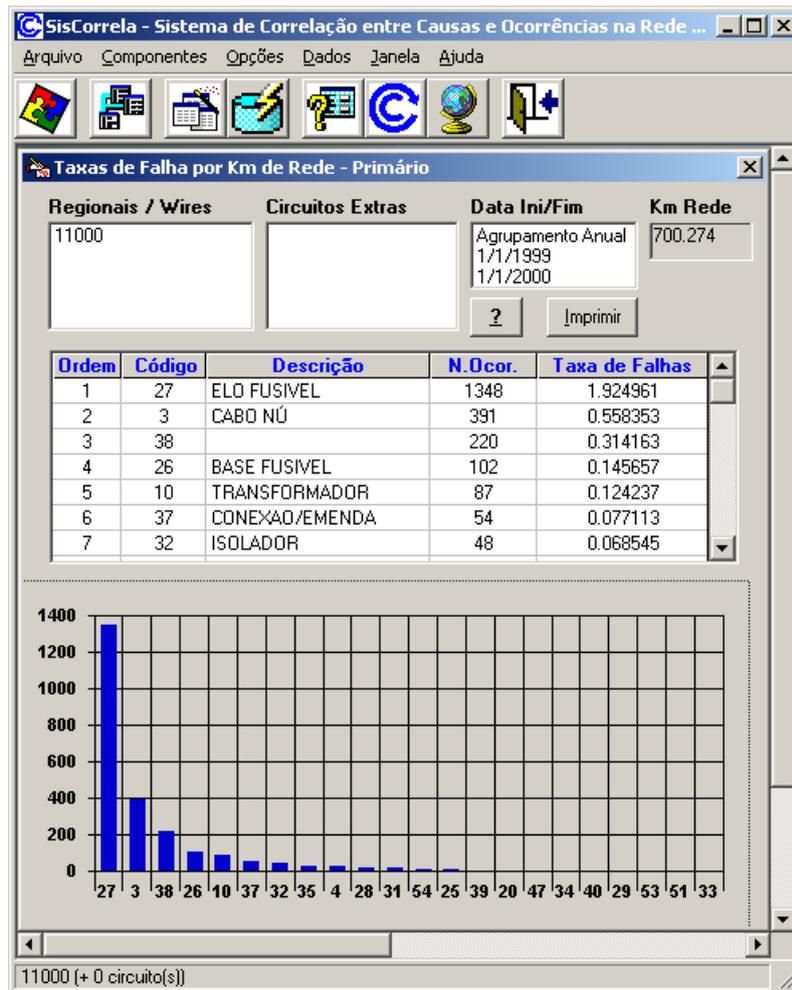


Figura 2 – Exemplo de avaliação da taxa de falhas

*Número de serviços executados na rede.* O software também permite analisar o número de serviços de manutenção executados na rede de distribuição de empresa, agrupados por componente. A figura 3 mostra os resultados para a mesma regional no ano de 1999.

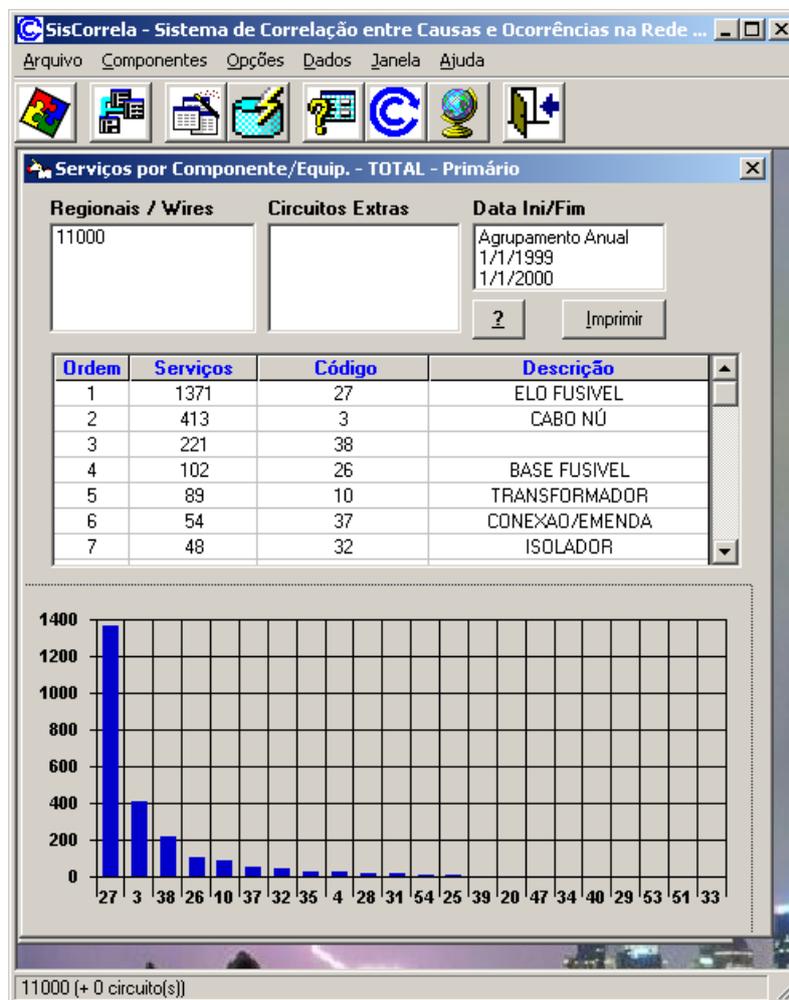


Figura 3 – Número de serviços de manutenção executados na rede em 1999, por componente

*Causas.* Quando abrem uma nova ocorrência, os técnicos de campo reportam a causa baseado na sua observação no local. O sistema permite uma análise quantitativa das ocorrências por causa, como apresentado na figura 4. Note-se que o sistema pode agrupar as causas de acordo com a análise que deseja ser feita (ambiental, manutenção, etc.)

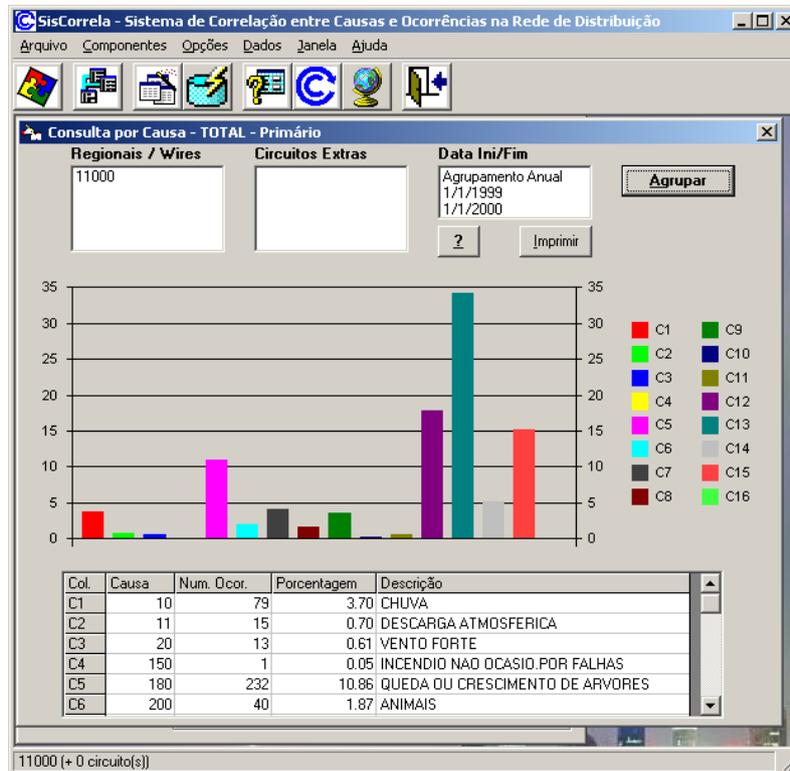


Figura 4 – Ocorrências agrupadas por causa

*Estimativa de custos.* As ocorrências têm sempre uma data inicial e uma data final associada. A duração do evento multiplicada pela correspondente demanda não atendida (disponível no sistema considerando os horários iniciais e finais de atendimento) resulta na energia não distribuída (END) para cada ocorrência. O software calcula esses valores e multiplica pelo custo da END, a ser definido pelo usuário, para calcular o custo total das ocorrências de cada período considerado. Pode levar em consideração também, quando solicitado, o custo do atendimento (mão-de-obra e troca do equipamento) de cada ocorrência, adicionando no valor final. A Figura 5 mostra um exemplo desses cálculos.

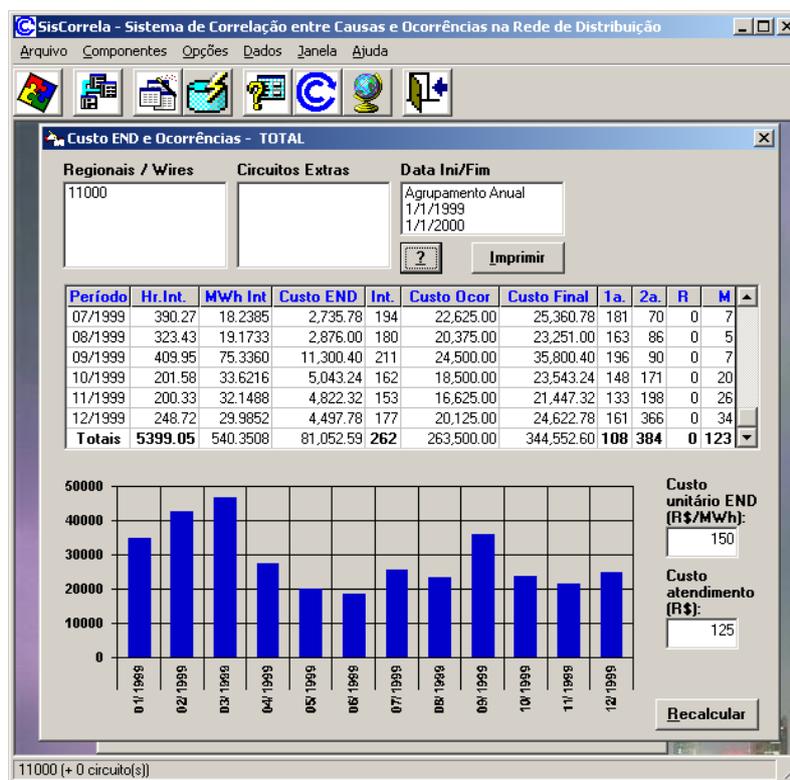


Figura 5 – Custo da END e do atendimento

Estimativa do tempo médio entre falhas - Mean Time Between Failures (MTBF). Para um período definido, a MTBF é simplesmente o período em horas ou dias, dividido pelo número de ocorrências. A Figura 6 mostra a estimativa da MTBF para a mesma regional citada anteriormente, e mesmo ano.

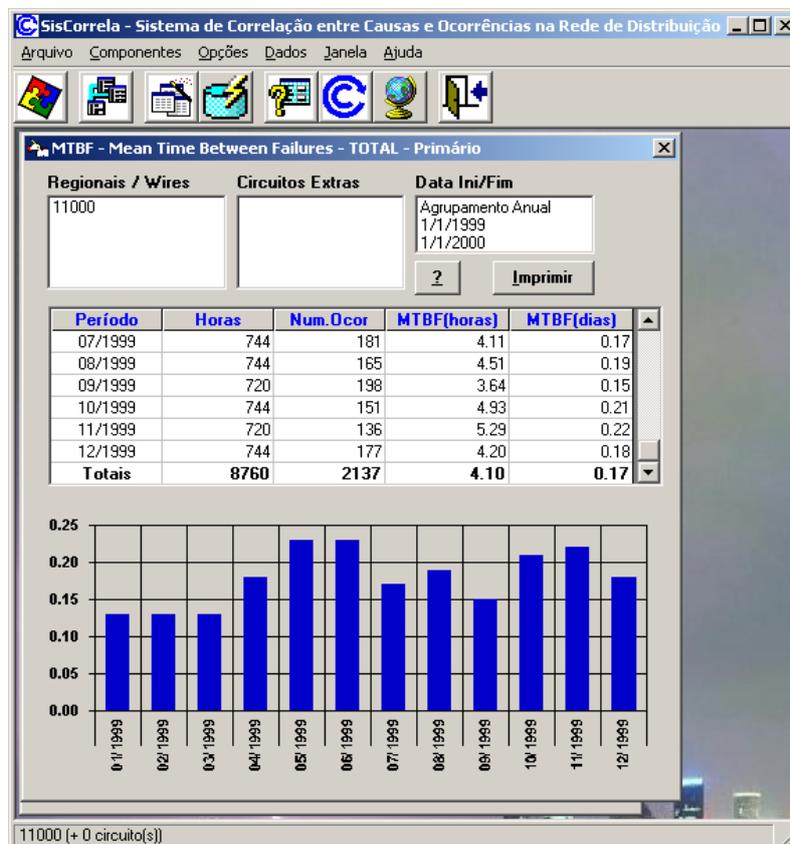


Figura 6 – Cálculo da MTBF

## Estudo De Caso

A Figura 7 mostra outra ferramenta de análise, onde cada circuito primário aparece com sua taxa de falha calculada, para a mesma regional e mesmo ano, em ordem decrescente de valores de taxa de falha.

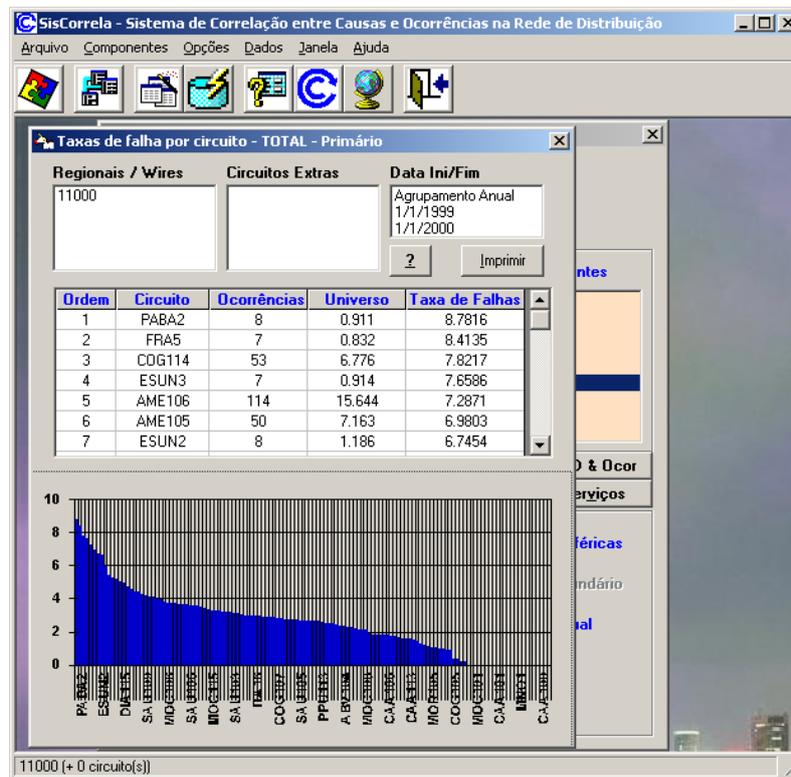


Figura 8 – Taxa de falha por circuito primário

Um desses circuitos, com relativamente alta taxa de falha, mostrou uma causa não usual para as ocorrências, reportada como “animais”. Uma ocorrência foi descrita em detalhes pelo técnico de campo, que identificou pombas mortas sob a região das ocorrências, apontando uma distância insuficiente entre as fases do fly-tap no seu Palm, utilizando o software descrito neste artigo para tal. Uma visita posterior confirmou a informação e também revelou um senhor que alimentava pombas muito próximo ao local das ocorrências. Percebeu-se então que, assim que abriam as asas para pousar próximo ao local da ração, algumas pombas causavam um curto-circuito entre 2 fases, causando a abertura de todo o circuito. As fases foram então afastadas. Considerando o custo médio de manutenção e o custo da alteração realizada, o período de retorno do investimento foi estimado pelo sistema em 131 dias.



Figura 8 - Flay-tap com distância insuficiente entre fases.

### 3. CONCLUSÕES

Este artigo apresentou uma metodologia, com a correspondente implementação computacional, que permite estabelecer relacionamentos causa-efeito para eventos registrados na operação de um sistema de distribuição de energia elétrica de grande porte. A metodologia permite ainda executar análises valiosas voltadas à otimização dos recursos empregados na manutenção do sistema de distribuição, considerando custos de mão-de-obra e de materiais. Resultados preliminares mostram que a metodologia é capaz de revelar problemas crônicos que de outra maneira permaneceriam despercebidos. Um tópico natural para ulterior desenvolvimento é o cálculo de outros índices de confiabilidade, tais como DEC e FEC, uma vez que a informação essencial já se encontra armazenada na base de dados do sistema de gerência de redes da empresa.

### 4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (São Paulo, Brazil).
- [2] CTH - Centro Tecnológico de Hidráulica - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (Brazil).
- [3] SIMEPAR - Sistema Meteorológico do Paraná (Paraná, Brazil).
- [4] R. Billinton, R. N. Allan, 1996, *Reliability evaluation of power systems*, 2<sup>nd</sup> ed., Plenum Press, New York.
- [5] A. U. Antunes. Metodologia para Planejamento Agregado de Investimentos em Redes de Distribuição Secundárias, Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.