



# VI SBQEE

21 a 24 de agosto de 2005

Belém – Pará – Brasil



Código: BEL 10 7519  
Tópico: Indicadores e Limites

## INDICADORES DE DESEMPENHO DE OPERAÇÃO E BANCO DE DADOS ESTATÍSTICOS DE DESLIGAMENTOS: CONCEITOS E TÉCNICAS DE CONSOLIDAÇÃO

MILTON NUNES DA SILVA FILHO

ELETRONORTE.

### RESUMO

O tema “Indicadores de Desempenho” não é novidade. Indicadores são utilizados por grandes empresas há décadas. Entretanto no atual cenário dos sistemas elétricos brasileiros, com seus diversos agentes envolvidos, com o foco para a competitividade, inclusive para as empresas estatais, eles tornaram-se componentes identificadores importantes para as empresas. Muitos indicadores dos Sistemas Elétricos são calculados através de informações de interrupção ou mudança de estado operacional dos equipamentos. A utilização de sistemas de informação robustos com bancos de dados estruturados tornou-se mandatório para as grandes empresas. Este trabalho trata da de uma proposta de estruturação e consolidação de indicadores de desempenho, como podem ser idealizados e implementados. Vamos ilustrar o modelo aqui proposto compartilhando figuras e tabelas retiradas do INFO\_OPR, Sistema de Informações Operacionais desenvolvido pela Eletronorte.

### PALAVRAS-CHAVES

Indicadores de desempenho, sistemas elétricos, informações operacionais, estatísticas de desligamentos.

### 1.0 INTRODUÇÃO

Como representar a eficiência de um Sistema Elétrico ? Em um cenário competitivo ter meios de medir (e divulgar) a competência na operação e manutenção de equipamentos de uma empresa é um bom meio de atrair (ou afastar)

investimentos e reconhecimento. Nestes últimos anos, com a reestruturação do setor elétrico e a inclusão do ONS (Operador Nacional de Sistema), da ANEEL, e com a perspectiva da efetivação do MAE, os indicadores de desempenho tornaram-se importantes instrumentos de avaliação das empresas. Além dos agentes já citados, importantes clientes como MME, ELETROBRÁS, ABRATE, ABRAGE, solicitam constantemente indicadores de desempenho aos seus afiliados. Neste contexto exigente, as empresas elétricas tiveram que se adaptar e desenvolver mecanismos e procedimentos para atender a demanda externa e interna. Mas isto não foi o suficiente. Não bastou somente calcular e enviar os relatórios (torcendo para que não sejam pedidos novamente): a idéia é melhorar continuamente o desempenho. É para isto que servem as centenas de indicadores existentes. Este trabalho pretende mostrar o que é preciso para obter estes indicadores com confiabilidade onde trataremos de: banco de dados de equipamentos, banco de dados de interrupções, banco estatístico de desligamentos, domínios de equipamentos, e banco de indicadores de desempenho.

### 2.0 ESTRUTURA DA CONSOLIDAÇÃO

Para se calcular indicadores precisamos definir uma estrutura de bancos de dados e procedimentos. Atualmente é improvável que uma grande empresa possa obter dados estatísticos sem o auxílio da informática. Portanto vamos utilizar termos básicos como: banco de dados que, simplificando, é uma estrutura com

diversas tabelas inter-relacionadas, onde cada tabela contém um conjunto de registros, com campos identificadores e atributos; e procedimentos que são um conjunto de programas, com suas entradas e saídas. Para se obter indicadores de desempenho de sistemas elétricos, nós propomos a estrutura da Figura 1, que será explicada nos próximos itens.

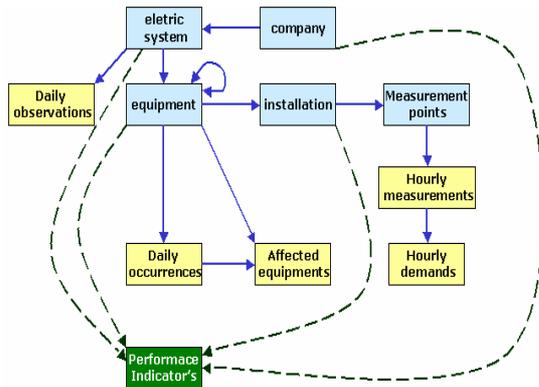


FIG. 1. MODELO DE ENTIDADE X RELACIONAMENTO PARA OBTENÇÃO DE INDICADORES DE DESEMPENHO

### 3.0 BANCO DE DADOS DE EQUIPAMENTOS

Este banco de dados deve representar o melhor possível o diagrama-unifilar do Sistema Elétrico, contendo tabelas de : usinas, subestações, compensadores, reatores, capacitores, transformadores, linhas e geradores. Observe que alimentadores, barras, chaves seccionadoras e disjuntores não estão previstos para cálculo pela ONS e portanto sua inclusão no cadastro é opcional. Além disto precisamos saber a quais instalações os equipamentos estão relacionados e para isto podemos utilizar tabelas de relacionamento ou ponteiros próprios do gerenciador do banco de dados escolhido. Outro detalhe importante é utilizar o próprio código de operação do equipamento/função para representar suas características. Estes relacionamentos e estes códigos serão importantes na escolha do domínio de equipamentos na consolidação. Exemplos de código de operação :

Formato para unidades geradoras:

xxGGG-*nn* onde:

xx é instalação;

GGG, tipo do gerador:

UGA - Gerador Auxiliar

UGD - Gerador a Diesel

UGG - Gerador a Gás

UGH - Gerador Hidráulico

UGV - Gerador a Vapor

*nn*, número seqüencial.

Formato para linhas:

XXYY-LLt-*nn* onde:

xx é instalação;

LL, tipo da linha:

LT - Linha de Transmissão

RT - Ramal de Transmissão

LI - Linha de Interligação

RI - Ramal de Interligação

t, tensão:

*nn*, número seqüencial.

### 4.0 BANCO DE DADOS DE INTERRUPÇÕES

Na realidade este banco de dados deveria se chamar de Estado Operacional do Equipamento/Função. A interrupção normalmente registra abertura e o fechamento do disjuntor. Mas desde 2000, para podermos efetuar os cálculos de parcela variável, precisamos registrar todos os estados operacionais do equipamento com todos os tipos de disponibilidade e indisponibilidade. Com isto o relatório diário de interrupções triplicou de tamanho, mas ficou muito mais rico em informações. Na Tabela I encontra-se uma proposta de estrutura do banco de interrupções.

TABELA I  
BANCO DE INTERRUPÇÕES FEITO EM SQL SERVER 2000

COD_SISTELE	COD_EQUIPAM	DATA_INICIAL	HORA_INICIAL	DATA_FINAL	HORA_FINAL	COD_EMPRESA	COGIGO_REDE	FATOR_PV	PV_OCOR
SMT	CXBC209	20040311	0745	20040311	0752	ELN	PMV	100	
SMT	CXBC209	20040311	0752	20040311	1436	ELN	PRV	100	393,47
SMT	CXBC209	20040311	1436	20040311	1450	ELN	PMV	100	
SMT	CXBC209	20040311	1450	20040312	0851	ELN	DRO	100	
SMT	CXRES01	20040311	0149	20040311	0628	ELN	OPR	100	
SMT	CXRES01	20040311	0628	20040313	1124	ELN	DRO	100	
SMT	CXRES02	20040311	0143	20040311	0628	ELN	OPR	100	
SMT	CXRES02	20040311	0628	20040313	1124	ELN	DRO	100	
SMT	LCNBR1601	20040311	1315	20040311	1318	ELN	DOO	100	
SMT	LCNBR1601	20040311	1318	20040422	0758	ELN	OPR	100	
SMT	NBNMLT601	20040311	1315	20040311	1318	ELN	DIS	100	2,211,23
SMT	NBNMLT601	20040311	1318	20040422	0758	ELN	OPR	100	

Pode-se observar as seguintes colunas:

Código do Sistema Elétrico, código do equipamento, data e hora inicial, (estes todos campos-chave), data e hora final, classificação com o estado operacional. Outros campos podem ser atribuídos, como potência interrompida, corrente, e como demonstra o exemplo: a parcela variável calculada através da duração, da classificação e do pagamento-base mensal.

Observe que para o mesmo equipamento a data final de uma ocorrência é igual à data inicial da próxima. Poderia-se perguntar se não valeria guardar então somente a data inicial do evento, pois o próximo evento não determinaria o fim do anterior? Isto é verdade, e para o cliente final não faria diferença, pois de uma maneira ou outra, poder-se-ia obter a duração da ocorrência. Entretanto veja os exemplos da tabela II.

TABELA II  
EXEMPLOS DE ESTRUTURAS DE BANCOS DE INTERRUPÇÕES

Ocorr.	TABELA 1		TABELA 2
	Início	Fim	Início
1	1/1/04 6:30	1/1/04 6:35	1/1/04 6:30
2	1/1/04 6:35	1/1/04 7:00	1/1/04 6:35
3	1/1/04 7:00	1/1/04 7:30	1/1/04 7:00
4	1/1/04 7:30		1/1/04 7:30

Temos duas tabelas para representar a mesma seqüência de eventos que originaram as ocorrências. Pela tabela 1 e pela tabela 2, nós sabemos que a ocorrência 1 teve 5 minutos de duração. Mas vamos postular que a ocorrência 2 seja perdida por algum motivo, ao se executar a consolidação, pela tabela 2, a ocorrência 1 passará a ter 30 minutos de duração, em termos de parcela variável isto pode acarretar alguns milhares de reais. Outra e principal vantagem da tabela 1 é que, ao perder uma ocorrência, em qualquer momento eu posso verificar que houve uma quebra na seqüência, enquanto na tabela 2 nada indicaria que houve uma quebra. Uma perda destas provavelmente ocorreria no momento do envio das informações pelo cliente ao banco de dados, e neste caso nenhum backup poderá ajudá-lo pois a informação não chegou a ser gravada. Com todos os vírus e rakers existentes é difícil você ter um banco totalmente seguro. Por exemplo: o banco de dados de interrupção da Eletronorte tem 12 anos, com 4 milhões de dados, vindos de 11 unidades descentralizadas, sem este cheque, permitido pela tabela 1, seria virtualmente impossível achar uma ocorrência perdida.

## 5.0 BANCO ESTATÍSTICO DE INTERRUPÇÕES

Tendo o banco de equipamentos e o banco de interrupções associado a ele, podemos compilar diversos produtos relacionados. Um dos produtos, apesar de não ser o principal, é muito utilizado pela Pós-Operação dos Centros de Operação, nós o chamamos de Banco Estatístico de Interrupções. É um banco simples que apresenta duas tabelas baseadas na freqüência das ocorrências e na sua duração. Em outras palavras conta-se quantas vezes e por quanto tempo uma linha, por exemplo, foi desligada por interrupções programadas em um determinado período. Na tabela III um exemplo deste banco de dados.

TABELA III  
BANCO ESTATÍSTICO DE INTERRUPÇÕES FEITO EM SQL SERVER 2000

codigo_sistema	est_ponto_estatistica	ano_estatistica	mes_estatistica	codigo_estatistica	unidade_estatistica	valor_estatistica
ELN	CAPACITORES	2004	00	DT0005	h.dur.ocor.	965,17
ELN	CAPACITORES	2004	00	DUMO	h.dur.ocor.	0,90
ELN	CAPACITORES	2004	00	DUMP	h.dur.ocor.	84,41
ELN	CAPACITORES	2004	00	DURG	h.dur.ocor.	40,38
ELN	CAPACITORES	2004	00	DURP	h.dur.ocor.	32,74
ELN	CAPACITORES	2004	00	NAIP	Num.Ocor.	2
ELN	CAPACITORES	2004	00	INDO	Num.Ocor.	1
ELN	CAPACITORES	2004	00	NDIO	Num.Ocor.	165
ELN	CAPACITORES	2004	00	NDIR	Num.Ocor.	2
ELN	CAPACITORES	2004	00	NDIS	Num.Ocor.	17
ELN	CAPACITORES	2004	00	NDPM	Num.Ocor.	5
ELN	CAPACITORES	2004	00	NDRO	Num.Ocor.	2029

Apesar de ser um banco simples, onde mostramos o código do sistema, a família ou equipamento selecionado, o ano e mês de referência e o tipo de interrupção desejado (programados, não programados, urgência, ...), o modo como fazemos esta contagem pode apresentar resultados surpreendentes.

Basicamente a freqüência e a duração não passam de dois indicadores de desempenho onde a fórmula de obtê-los é a soma. Mas se para estes dois singelos indicadores podemos obter resultados diferentes, utilizando critérios diferentes, qual será então o impacto para indicadores mais complexos com Taxa de Falha por exemplo ?

A seguir um exercício de como os critérios de seleção de um grupo de ocorrências podem afetar a quantificação da duração e do número destas no mesmo período:

Para facilitar vamos fazer algumas suposições :

- Que cada ocorrência tem exatos 30 dias de duração, exceto a ocorrência V que terá 15 dias.
- Que cada mês tem exatos 30 dias.
- Que um ano tenha somente os três meses citados.

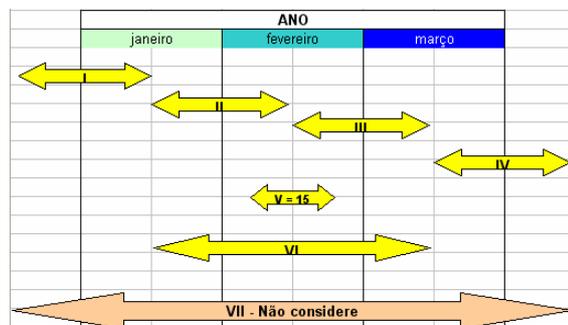


FIG. 2. AMOSTRAGEM DE OCORRÊNCIAS PARA O EXERCÍCIO

Contaremos as ocorrências de acordo com os

critérios abaixo:

Critério 1: Toda ocorrência com início e fim no período.

Critério 2: Toda ocorrência com início no período.

Critério 3: Toda ocorrência que “passe” pelo período.

Critério 4: Para número (frequência): toda ocorrência que inicie no período. Para duração: toda a ocorrência que “passe” pelo período.

Resultados na tabela IV.

TABELA IV  
RESULTADOS DO EXERCÍCIO

	Critério 1		Critério 2		Critério 3		Critério 4	
	Núm.	Duração	Núm.	Duração	Núm.	Duração	Núm.	Duração
Janeiro	3	45	2	30	3	45	2	45
Fevereiro	3	45	2	30	4	75	2	75
Março	3	45	1	45	3	45	1	45
Total	9	135	5	105	10	165	5	165
Ano	6	165	5	150	6	165	5	165

Conclusões:

- O critério 4 parece ser o mais correto.
- Como a duração e a frequência são utilizadas para o cálculo dos indicadores de desempenho, a forma como o usuário fez a pesquisa no banco de interrupções determinará grandes diferenças no valor final do indicador (ainda mais se forem utilizadas milhares de ocorrências).
- Observe a ocorrência VII. Se somente ela existir, mesmo pelo critério 4, teremos o paradoxo de ter zero número de ocorrências mas 180 dias de duração. É difícil explicar em uma reunião de diretoria porque certo mês tem “n” horas de interrupção com zero ocorrência.

Na figura 3 mostramos um dos gráficos resultantes da Base Estatística de Desligamentos.

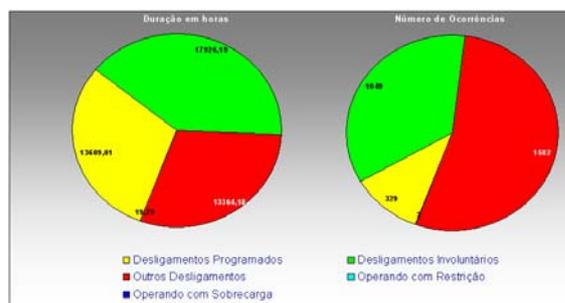


FIG. 3. GRÁFICO RESULTANTE DA BASE ESTATÍSTICA DE DESLIGAMENTO

## 6.0 FÓRMULAS

As fórmulas utilizadas são as definidas pelos procedimentos de rede da ONS. Elas são claras para famílias de equipamentos, como por exemplo o Indicador de Disponibilidade (DISP). O DISP é a relação entre Horas Disponíveis (HD) e as Horas do Período (HP). Para Capacitores, Reatores, Compensadores e Transformadores, ele é a relação simples entre as horas:  $DISPE = HD/HP$ . Para Linhas deve-se levar em conta a extensão em km dividida por 100:  $DISPL = (HD * EXT/100) / (HP * EXT/100)$ . Para geradores são utilizadas as potências:  $DISPG = HD * POT / HP * POT$ . Entretanto para o DISP de Sistema qual será a correlação que melhor irá representar este indicador? Se utilizarmos somente DISP Sistema =  $HD/HP$ , estaremos dando o mesmo peso para todos os equipamentos do Sistema Elétrico. Outrossim, se utilizarmos a ponderação da extensão e da potência ( $DISP \text{ Sistema} = (HD + HD*EXT + HD*POT) / (HP + HP*EXT + HP*POT)$ ), um gerador da UHE Tucuruí, por exemplo, com potência interrompida de 360 MW, terá 90 vezes mais impacto que uma linha de 400 Km no DISP do Sistema. Matematicamente, para o DISP de Sistema, equipamentos que não sejam geradores ou linhas terão pouco impacto no valor final, pois na realidade estamos somando grandezas bem diferentes. A validação do DISP de Sistema ainda precisará ser discutida.

## 7.0 DOMÍNIO DE EQUIPAMENTOS

O domínio de equipamentos refere-se ao grupo de equipamentos selecionado para a consolidação. Vamos manter o exemplo do DISP do Sistema (índice de disponibilidade). Este indicador é constantemente solicitado pelos diversos clientes de uma empresa elétrica. Vamos chamar aqui de clientes os agentes solicitantes dos indicadores da empresa. Vejamos a diferença que existe no DISP de Sistema da ELETRONORTE para grupos de clientes diferentes:

- Para a ELETROBRÁS, MME e a maioria dos clientes o DISP de Sistema inclui: Geradores, Linhas, Transformadores, Capacitores, Reatores e Compensadores.
- Para a ELETRONORTE além dos anteriores inclui também Barras e Alimentadores.
- Para a ONS somente os equipamentos da Rede Básica.
- Para a ABRATE somente os pertencentes à Transmissão.

e. Para a ABRAGE somente os pertencentes à Geração.

Somente com estes grupos podemos ter cinco DISP da ELETRONORTE diferentes baseados na escolha dos domínios de equipamentos. Como os relatórios apresentados raramente detalham qual domínio de equipamento foi utilizado, muitos transtornos são causados em reuniões de todos os níveis, além de aumentar consideravelmente o tempo de processamento e a complexidade de armazenamento dos indicadores.

## 8.0 BANCO DE INDICADORES DE DESEMPENHO

A estrutura de armazenamento do Banco de Indicadores de Desempenho é simples como podemos ver na tabela V. Os campos são: código do sistema elétrico, código do ponto representado, código do indicador, ano e mês referenciado e o valor com sua unidade. O período básico de aferição é o mensal, apesar de termos indicadores anuais, e de termos indicadores mensais como a Taxa de Falha (TF) que considera os últimos doze meses de ocorrências. O mês "00" representa o anual acumulado.

TABELA V  
BANCO DE INDICADORES DE DESEMPENHO FEITO EM SQL SERVER 2000

codigo_sistema	ponto_indice	ano_ind_mes	codigo_indice	unidade_indice	valor_indice
ELN	Total Capacitores 13,8KV ELN.	2004 00	DISP		99,82
ELN	Total Capacitores 13,8KV ELN.	2004 00	DST		98,91
ELN	Total Capacitores 13,8KV ELN.	2004 01	DISP	%	99,82
ELN	Total Capacitores 13,8KV ELN.	2004 01	DST	%	100,00
ELN	Total Capacitores 13,8KV ELN.	2004 01	EXT	Km	0,00
ELN	Total Capacitores 13,8KV ELN.	2004 01	HD	Horas	105460,43
ELN	Total Capacitores 13,8KV ELN.	2004 01	HD_EXT	Horas	0,00
ELN	Total Capacitores 13,8KV ELN.	2004 01	HD_POT	Horas	0,00
ELN	Total Capacitores 13,8KV ELN.	2004 01	HFS	Horas	49348,30

Nas figuras 4 e 5 mostramos gráficos com indicadores de desempenho utilizados na obtenção da Certificação ISO 9001:2000 do Centro de Operação de Sistemas da ELETRONORTE.

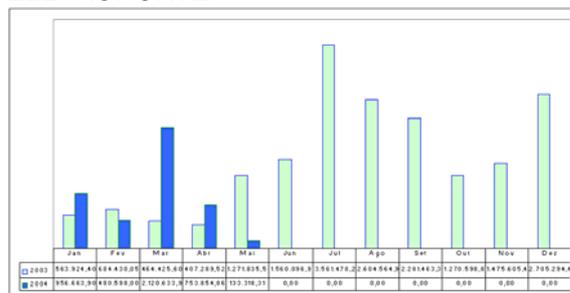


FIG. 4. GRÁFICO MOSTRANDO A PARCELA VARIÁVEL DE 2003/2004 DA ELETRONORTE

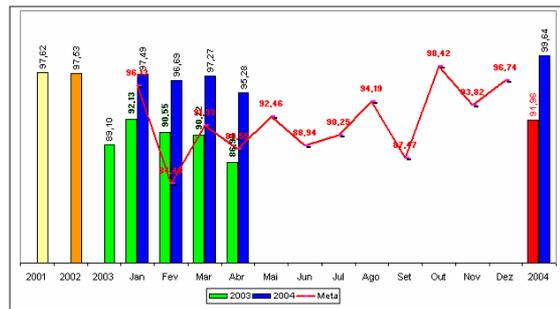


FIG. 5. GRÁFICO MOSTRANDO O DISP DE 2003/2004 DA ELETRONORTE.

## 9.0 SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE INFORMAÇÕES DE OPERAÇÃO - INFO\_OPR

A Eletronorte, através da Diretoria de Produção e Comercialização, Superintendência de Engenharia de Operação e Manutenção da Transmissão desenvolveu e implantou com recursos próprios o Sistema de Gerenciamento de Informações, denominado Informativo Operacional (INFO\_OPR).

Este sistema está em operação desde 1998 em todos os Centros de Operação das Regionais e Subsidiárias da Eletronorte: Acre, Amapá, Manaus Energia, Maranhão, Mato Grosso, Roraima Transmissão, Boa Vista Energia, Rondônia, Usina de Tucuruí, Pará, Tocantins e Brasília, além de atender demandas da ANEEL, ONS, e ELETROBRAS.

O sistema armazena dados realizados de estado operacional dos equipamentos (conforme nova orientação da ONS), demandas, energia e hidrologia. Apresenta relatórios e gráficos padrões diários e mensais e têm como principal recurso a consolidação e cálculo dos indicadores de desempenhos dos sistemas elétricos da empresa. Este sistema foi desenvolvido conforme a teoria apresentada neste trabalho, e é apresentado como um experimento bem sucedido na aplicação das mesmas. Ele executa todas as etapas e procedimentos aqui apresentados. A figura 6 apresenta a tela principal do sistema.

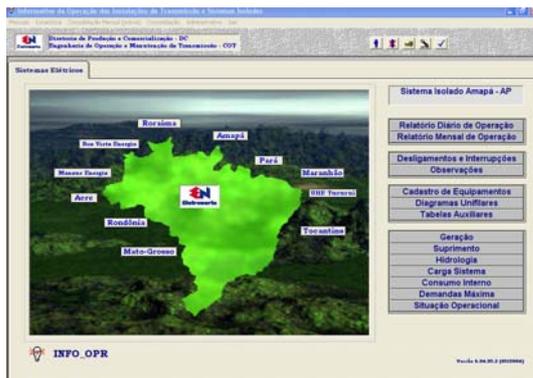


Fig. 6. Tela principal do Sistema INFO\_OPR.

Com a prática constatamos a necessidade da informatização destes processos. , vejamos a experiência da Eletronorte e façamos um simples exercício final:

- a. A empresa tem aproximadamente 4.000 equipamentos monitorados.
- b. Para cada um destes equipamentos são medidos 80 índices diferentes.
- c. Diariamente são gerados algo próximo a 1.500 registros de mudança de estado operacional de equipamentos, ou 45.000 registros mensais.
- d. Portanto são gerados mensalmente 4.000 equipamentos. x 80 índices = 320.000 indicadores.
- e. E para gerar estes indicadores são lidos e relidos 2.600.000 registros de até 1 ano anterior, em um procedimento descentralizado em onze servidores de toda a Região Norte do Brasil que leva algo de 8 horas para executar.

## 10.0 CONCLUSÕES

Após todas as considerações anteriores pode-se perceber que obter um Banco de Indicadores de Desempenho confiável e íntegro não é tarefa simples. Para chegarmos a um bom resultado precisamos que os Centros de Operação e o Pós-despacho atualizem corretamente os bancos de equipamentos e de interrupções. Necessitamos ter fórmulas claras e padronizadas e é fundamental entendermos o critério escolhido para a seleção das ocorrências e o domínio que será utilizado para a consolidação.

Como demonstra a quantidade de cálculos a serem feitos e a complexidade dos procedimentos concluímos que a consolidação de

indicadores precisa da arte da computação. E como são raros ou inexistentes no mercado, softwares especialistas que abordem Indicadores de Desempenho para Sistemas Elétricos, as empresas terão um árduo caminho para obtê-los. Para esta finalidade precisarão reunir especialistas em engenharia de software, analistas de bancos de dados, e interagi-los com estatísticos, engenheiros de operação, engenheiros de manutenção e operadores de sistemas. Mesmo terceirizando este desenvolvimento, precisarão ter certeza que a empresa contratada tenha estes profissionais para não comprometer o produto final. E devemos lembrar que após ter sucesso, e obter um bom banco de indicador, precisarão confiar a especialistas competentes a tarefa de analisá-los e conduzir a empresa para um caminho de eficiência e produtividade.

## 11.0 Referências

- (1) BAJAY, S. V. (2000) Políticas Energéticas, Planejamento e Regulação. In: CENÁRIOS: Curso de Especialização sobre o Novo Ambiente Regulatório Institucional e Organizacional do Setor Elétrico. São Paulo: Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo, 2000. Módulo 4.: Política Energética, Planejamento e Regulação.p.01-
- (2) ELETRONORTE – CENTRAIS ELÉTRICAS DO NORTE DO BRASIL S/A Relatório Mensal de Operação, maio de 2002.
- (3) SILVA FILHO, MILTON NUNES, Sistema de Gerenciamento de Informações – Informativo Operacional (INFO\_OPR), Artigo III SEPOCH – Simpósio Especialistas em Operação de Centrais Hidrelétricas, Foz de Iguaçu, 2002.
- (4) SILVA FILHO, MILTON NUNES, Sistema de Gerenciamento de Informações – Informativo Operacional (INFO\_OPR), Dissertação de Mestrado em Engenharia da Energia da Universidade Federal de Itajubá, 2002
- (5) PALMEIRA, NASSAR Gestão da Transmissão em Ambiente Competitivo: Aspectos de Redução de Perdas e Desempenho de Melhorias, dezembro de 2001, BRASIL S/A Relatório Mensal de Operação, maio de 2002.