



**XXI SNPTTEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

Versão 1.0
23 a 26 de Outubro de 2011
Florianópolis - SC

GRUPO – 012

GRUPO DE ESTUDO DE ASPECTOS TÉCNICOS E GERENCIAIS DA MANUTENÇÃO – GMI

**DEFINIÇÃO DE ZONAS CRÍTICAS DE MANUTENÇÃO UTILIZANDO SISTEMAS ESPECIALISTAS
PROBABILÍSTICOS E TEORIA MULTI-CRITÉRIO**

Raimundo C. G. Teive(*)
UNIVALI

Thales Lange
UNIVALI

João C. M. Lucio
IFSC

Jorge Coelho
UFSC

Rubipiara C. Fernandes
IFSC

Juliano Bachmann
CELESC

Paulo A. Argenton
CELESC

Elsa da Silva Costa
CELESC

RESUMO

A busca pela melhor aplicação dos recursos da manutenção é um desafio para os gestores da distribuição de energia elétrica, em virtude da extensão do sistema, quantidade de equipamentos, tipos de consumidores, e, principalmente, a necessidade de adequar os planos de manutenção às restrições orçamentárias. Para auxiliar a gestão na elaboração desses planos, apresenta-se um Sistema de Suporte à Decisão (SSD) que determina o *ranking* das zonas críticas de confiabilidade. O SSD baseia-se na aplicação de uma Rede Bayesiana (RB) que avalia dados das zonas críticas de confiabilidade, em nível de alimentadores, ramais e transformadores; tais como: indicadores de continuidade, informações da rede, consumo, entre outros. Para adequar o *ranking* aos objetivos dos gestores da manutenção, definiu-se um índice de desempenho chamado de RPN* (*Risk Priority Number*), que leva em consideração aspectos ligados à detecção, ocorrência e severidade das falhas, além de aspectos estratégicos, sendo determinado pela teoria multi-critério. Como validação da metodologia, apresenta-se o *ranking* dos alimentadores mais prioritários do sistema de distribuição de energia elétrica de uma concessionária, utilizando-se a análise multi-critério estabelecida pelos próprios gestores da manutenção.

Palavras-chave

Sistema de distribuição, Gestão da manutenção, Sistema especialista probabilístico, Redes Bayesianas.

1.0 - INTRODUÇÃO

O atendimento aos índices de continuidade impostos pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), é um desafio constante para as concessionárias de energia elétrica, introduzindo um caráter estratégico às atividades de manutenção das redes de energia, em particular as redes de distribuição. A atividade de manutenção executada de forma eficaz contribui para a não ocorrência de falhas e/ou para a redução da severidade das mesmas, afetando diretamente, de forma positiva, os índices de continuidade.

Planos eficazes de manutenção podem ser sugeridos por sistemas computacionais projetados para o auxílio a tomada de decisão. Assim, um SSD deve gerar informações úteis para que os técnicos responsáveis pela

(*) Endereço do autor responsável: Rua Paula Ramos n° 1390 – CEP 88.080-401 Florianópolis, SC, – Brasil
Tel: (+55 48) 3244 6859 – email: rteive@univali.br

elaboração dos programas de manutenção estabeleçam prioridades, pois sabe-se que a manutenção sujeita-se às restrições orçamentárias.

Em [1], apresentam-se os principais desafios enfrentados pelos gestores da manutenção: a seleção das técnicas mais apropriadas; o tratamento de cada tipo de processo de falha; o preenchimento de todas as expectativas dos proprietários das instalações, de seus usuários e da sociedade como um todo; a maior efetividade, em termos de custos, e garantia de funcionamento adequado; e o suporte ativo e a cooperação de todo o pessoal envolvido.

Os SSD visam auxiliar os gestores a enfrentar tais desafios. No caso desse artigo, o SSD é embasado na técnica de Inteligência Artificial, Redes Bayesianas, nos princípios da técnica de avaliação da confiabilidade de sistemas complexos, FMECA (*Failure Modes, Effects and Criticality Analysis*) e índice RPN*; e na teoria multi-critério.

A questão da priorização de investimento na gestão da manutenção da distribuição, considerando-se restrições orçamentárias, é fundamentada neste artigo na definição de zonas críticas de confiabilidade, as quais mereceriam maior investimento. O SSD desenvolvido permite análise do sistema de distribuição, com vistas à definição das zonas críticas, em nível de alimentadores, ramais e transformadores.

Conforme o exposto anteriormente, surgiu a motivação para a implementação de um SSD para a priorização das atividades de manutenção em uma concessionária de distribuição de energia elétrica, conforme será apresentado nas seções seguintes.

2.0 - REDES BAYESIANAS

As RB possibilitam, no âmbito da Inteligência Artificial, o raciocínio sob condições de incerteza [2]. As RB tornam-se pertinentes quando não se tem o conhecimento total sobre o problema em análise e, sim, informações caracterizadas pela incerteza, dada por frequência de ocorrência e probabilidades. Desse modo, considera-se a possibilidade de aplicação no problema de planejamento da manutenção, pois vários fatores relevantes são conhecidos e mensuráveis, mas em função da falta do entendimento completo e da inviabilidade de mensurar alguns eventos, evidenciam-se os fatores de incerteza.

As Redes Bayesianas apresentam como características [3]: conjunto de variáveis e arestas direcionadas entre as variáveis; cada variável tem um número finito de estados mutuamente exclusivos; as variáveis em conjunto com as arestas direcionadas, formam um grafo acíclico direcionado e cada variável A com “pais” B1, ..., Bn, associa-se uma tabela P (A | B1, ..., Bn) de probabilidades condicionais.

2.1. Redes Causais

Uma das formas de representação de Rede Bayesianas mais usuais são as Redes Causais. Conforme [4], nas Redes Causais, os nós representam as variáveis do problema, podendo assumir n estados finitos mutuamente exclusivos. As arestas direcionadas entre os nós representam as relações de causa e efeito entre as variáveis.

Por exemplo, na Figura 1 ilustra-se parte da rede causal (subgrafo Transformador), que foi implementada para aplicação nos estudos de planejamento da manutenção. Observe, por exemplo, que a variável “(Tra.) Indicadores técnicos” é influenciada por outras quatro variáveis.

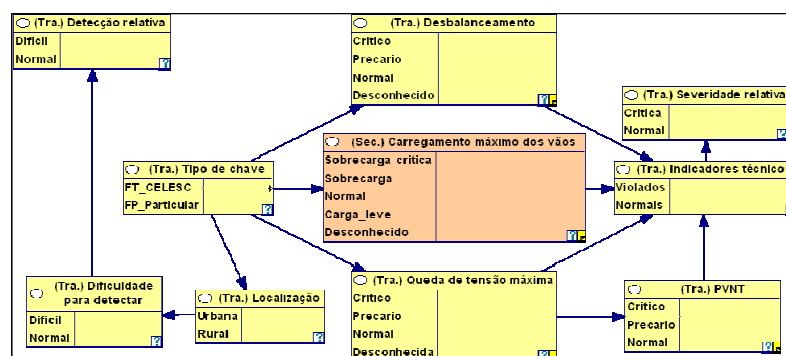


FIGURA 1 - Rede Causal para análise dos transformadores e do secundário da distribuição

2.2. Probabilidades incondicionais e condicionais

Conforme [4], a probabilidade incondicional está associada às variáveis da rede que não possuem nós antecedentes, como, por exemplo, a variável “(Tra.) Tipo de chave”. Quando uma variável da rede possui um ou mais nós antecedentes, as probabilidades são ditas condicionais, pois os estados estão condicionados aos estados da(s) variável(is) que a antecede, como no caso da variável “(Tra.) Indicadores técnicos”.

2.3. Evidências e propagação de evidências

Uma evidência é a crença de que determinada variável A esteja no estado a_n . Se a variável A possui estados a_1 , a_2 , a_3 e a_4 , sendo os mesmos mutuamente exclusivos, se essa variável está no estado a_3 , então pode-se afirmar que a probabilidade dos demais estados é nula.

A propagação de evidências é definida pelo cálculo da distribuição de probabilidades marginais para um conjunto de variáveis de consulta, dado algum evento observado [4]. De acordo com [2], a propagação de evidências promove a fusão e a propagação de novas evidências e crenças por meio da Rede Bayesiana, de modo que para cada proposição será atribuída uma medida consistente, conforme os axiomas da teoria da probabilidade.

3.0 - METODOLOGIA

Esse capítulo apresenta o modelo proposto para a Rede Bayesiana, que avalia as zonas de confiabilidade, e a metodologia que estabelece o *ranking* das zonas críticas de confiabilidade.

3.1. Rede Bayesiana proposta

Na Figura 2, apresenta-se a forma compacta da rede implementada, composta por cinco subgrafos. Essa Rede Bayesiana avalia quatro grandes aspectos das zonas de confiabilidade do sistema de distribuição: transformadores, consumidores, interrupções e o primário. Por outro lado, o subgrafo RPN* encarrega-se por resumir a avaliação de todos dos aspectos em quatro variáveis, conforme pode-se visualizar na Figura 3.

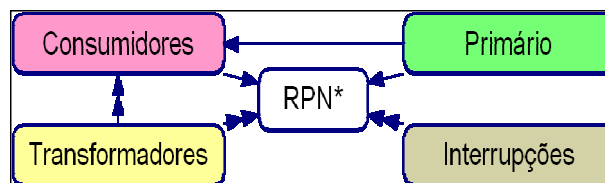


FIGURA 2 - Rede casual agrupada por subgrafos

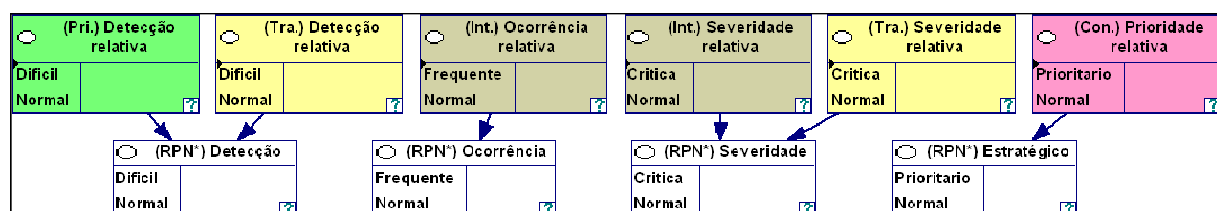


FIGURA 3 - Variáveis utilizadas para determinar o índice RPN* e variáveis pais

As variáveis “(RPN*) Detecção”, “(RPN*) Ocorrência” e “(RPN*) Severidade”, ilustradas Figura 3, representam as três variáveis avaliadas no FMECA. Essa técnica sistematiza a investigação de “fraquezas” potenciais nos sistemas, examinando as maneiras pelas quais as falhas ocorrem, os efeitos dessas no desempenho do sistema, os perigos à segurança e a severidade desses eventos [5].

Ainda na Figura 3, existe a variável “(RPN*) Estratégico”, que resume toda a avaliação dos aspectos estratégicos, conforme o ponto de vista do próprio agente distribuidor. Essa análise é embasada na sistemática do mercado de

distribuição de energia elétrica, à possibilidade de existir grandes consumidores, as diferenças de faturamento em relação aos diferentes tipos de consumidores, além de integrar a missão da concessionária na avaliação.

A seguir descrevem-se as quatro variáveis utilizadas no cálculo do índice RPN*:

- Detecção: capacidade de localizar uma falha após sua ocorrência, ou mesmo a capacidade detectá-la antes de sua ocorrência [6];
- Ocorrência: frequência dos modos de falha [5];
- Severidade: consequências dos modos de falha e indicadores elétricos dos transformadores. A severidade considera o pior potencial de consequências das falhas, determinado pelo grau de fatalidade e danos ao sistema [7]; e
- Estratégico: critérios estratégicos do agente distribuidor para avaliar o perfil de consumo. Destacam-se os seguintes critérios: consumo total, consumo por categoria de consumidor e prioridade de corte de carga do alimentador.

Os subgrafos que compõem a Rede Bayesiana proposta são compostos por um determinado número de variáveis e possuem como variável filho, direta ou indiretamente, pelo menos uma das quatro variáveis que definem o índice RPN*, conforme pode-se verificar nas Figuras 4 (a) e (b), que mostram as variáveis dos subgrafos primário e consumidores, respectivamente, e as variáveis limítrofes pertencentes aos demais subgrafos.

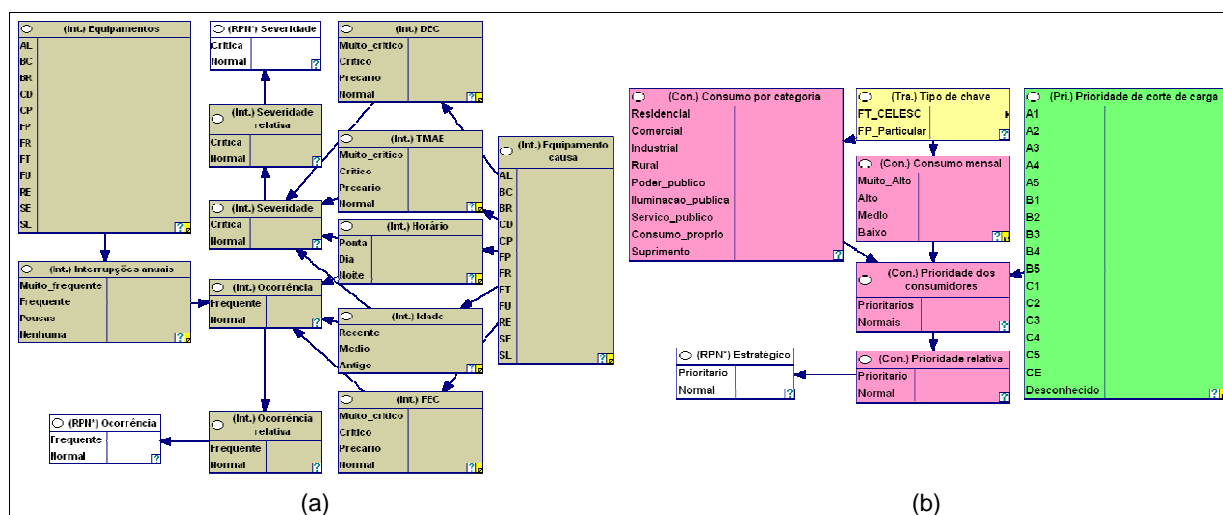


FIGURA 4 - Subgrafos: (a) primário e (b) consumidores

3.2. Base de conhecimento

Os dados quantitativos necessários para compor a rede causal foram obtidos diretamente dos bancos de dados e sistemas computacionais da empresa. Neste caso, foram utilizados os sistemas SIMO e Genesis, os quais constituem as principais ferramentas utilizadas pela Celesc para atendimento a clientes e cadastro georeferenciado da rede elétrica. Entre os dados utilizados, destacam-se: reclamação do nível de tensão, localização, carregamento, desbalanceamento entre fase dos transformadores e consumo mensal dos consumidores. Além disso, existem dados de caráter qualitativo cuja aquisição é mais complexa, exigindo a utilização de técnicas apropriadas para elicitar de forma confiável o conhecimento dos especialistas.

Para os dados quantitativos utilizam-se descritores com o objetivo de garantir que tais dados sejam fornecidos na forma correta para a aplicação no SSD. Na Tabela 1, por exemplo, apresentam-se os descritores definidos para os dados associados às variáveis quantitativas do subgrafo Transformador.

TABELA 1 - Dados para o subgrafo Transformador

Variável	Descritor
(Tra.) Tipo de chave	Sigla do tipo de chave. Permite distinguir os transformadores em duas categorias: os que pertencem ao agente distribuidor e os particulares
(Tra.) Localização	Região em que o transformador se localiza (urbana ou rural)
(Sec.) Carregamento máximo dos vãos	Nível de carregamento das fases de cada vão do secundário (baixa tensão)
(Tra.) Desbalanceamento	Nível de desbalanceamento de corrente entre fases do secundário
(Tra.) Queda de tensão máxima	Nível de queda de tensão máxima das fases
(Tra.) PVNT	Quantidade de Pedidos de Verificação de Nível de Tensão (PVNT)

Para os dados qualitativos, utiliza-se uma metodologia de elicitação do conhecimento baseada na atribuição de valores numéricos (“pesos”) que representam a relevância de cada estado das variáveis pais em prol da priorização da zona de confiabilidade. Essas probabilidades condicionais permanecem as mesmas para todas as zonas do sistema de distribuição, pois essas variáveis atuam como elementos especializados em julgar/avaliar os estados (probabilidades marginais) das variáveis pais.

Como principais premissas para elaboração dessa metodologia, pode-se citar:

- aquisição rápida e intuitiva do conhecimento. Deseja-se elicitar o conhecimento rapidamente, pois o contrário pode resultar em aversão; e
- reduzir a quantidade de informações necessárias. Variáveis condicionais que possuam vários pais podem ter Tabelas de Probabilidade Condicionais com muitos elementos, o que torna o processo de elicitação lento, até mesmo inviável. Além de que o preenchimento dessa, conforme a experiência dos autores, facilmente pode conduzir a um raciocínio contraditório.

Conforme a metodologia, o especialista deve atribuir um valor inteiro entre [0,5] para cada estado de cada variável pai (pode-se utilizar escalas diferentes). O valor 0 significa que o estado da variável pai não contribui para a priorização da zona, portanto o valor da probabilidade marginal desse estado da variável pai contribuirá para diminuição da prioridade da zona. Por outro lado, o valor 5 significa o contrário, a probabilidade marginal associada ao estado da variável pai terá contribuição máxima para a criticidade da zona.

A avaliação da relevância dos estados não precisa de uma distribuição uniforme, estados podem ser avaliados com valores numéricos idênticos, se necessário, podem existir estados com relevância máxima e/ou mínima.

Para exemplificar o uso dessa metodologia, suponha a elicitação das probabilidades condicionais da variável “(RPN*) Detecção”, ilustrada na Figura 5. Como primeira tarefa, por exemplo, precisa-se pedir aos especialistas que definam, na escala de [0,5], o quão relevante é o estado “Difícil” da variável “(Tra.) Detecção”. Esse procedimento deve ser realizado para cada estado de cada variável pai, e ao final, se obteriam relevâncias como as apresentadas na Tabela 2.

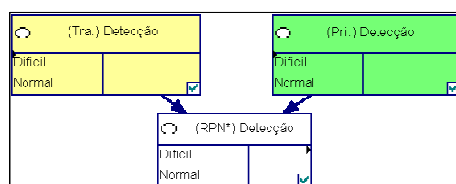


FIGURA 5 - Para da rede causal designada para avaliação da detecção

TABELA 2 - Relevância das variáveis pais de “(RPN*) Detecção”

Variáveis pais	Relevância dos estados	
	Difícil	Normal
(Tra.) Detecção	3	0
(Pri.) Detecção	5	0

Depois de elicitado a relevância dos estados das variáveis pais, encerra-se a participação dos especialistas. Para determinar as probabilidades condicionais de uma variável, utiliza-se (1), onde A é variável em processo de elicitação, B_i a variável pai, R[B_i] a relevância do estado do pai, R_{Máx}[B_i] o valor máximo de relevância atribuído aos estados do pai e n o número de pais.

$$P(A|B_1, \dots, B_n) = \frac{\sum_{i=1}^n R[B_i]}{\sum_{i=1}^n R_{Máx.}[B_i]} \quad (1)$$

Para o cálculo do outro estado da variável em processo de elicitación, utiliza-se (2). Observe que todas as variáveis elicitadas por esse método precisam possuir dois estados. Depois de realizado o cálculo de todos os elementos, obtém-se a tabela de probabilidades condicionais da Tabela 3.

$$P(A_{Estado_2}|B_1, \dots, B_N) = 1 - P(A_{Estado_1}|B_1, \dots, B_N) \quad (2)$$

TABELA 3 - Tabela de probabilidades condicionais da variável (RPN*) Detecção

(Pri.) Detecção	Difícil		Normal	
(Tra.) Detecção	Difícil	Normal	Difícil	Normal
Difícil	1,000	0,625	0,375	0,000
Normal	0,000	0,375	0,625	1,000

3.3. Cálculo do Índice RPN*

A metodologia proposta é baseada na definição de uma função de valor, conforme a teoria do apoio à decisão multicritério. Sua aplicação visa estabelecer uma pontuação e posteriormente um *ranking* entre diversas alternativas de solução de um problema multicritério, levando em conta o desempenho de cada alternativa em cada aspecto de avaliação, bem como o grau de importância (peso) de cada aspecto no contexto geral do problema.

A função de valor é definida, para cada alternativa de solução i e nc critérios de avaliação, como:

$$FV_i = \sum_{j=1}^{(nc)} v_{ij} * w_j, \text{ em que: } \begin{array}{l} v_{ij} = \text{desempenho da alternativa } i \text{ no critério de avaliação } j \\ w_j = \text{grau de importância (peso) do critério de avaliação } j \end{array} \quad (3)$$

O índice RPN* é resultado do produtório das variáveis detecção, ocorrência, severidade e estratégico. Como estas variáveis na Rede Bayesiana possuem dois estados, cada uma; para o cálculo deste índice é proposto neste trabalho a utilização de uma análise multi-critério. Para guiar a explicação, apresenta-se na Tabela 4 o resumo das matrizes e vetores utilizados.

TABELA 4 - Matrizes e vetores necessários para o cálculo do índice RPN*

Sigla	Nome da matriz ou vetor	Tamanho	Descrição
MC	Matriz de Criticidade	16 x 4	Matriz fixa que determina o quão crítico é a combinação dos estados das variáveis do índice RPN*
VI	Vetor Importância	4 x 1	Grau de importância das variáveis do índice RPN*. Definido pelo gestor da manutenção. Escala de [0, 10], onde 0 significa irrelevante e 10 importância máxima
VIC	Vetor Índice de Criticidade	16 x 1	Matriz resultante da multiplicação das matrizes MC e VI
MCP	Matriz de Combinação das Probabilidades	N x 16	Matriz do número de alimentadores versus a combinação dos estados das variáveis do índice RPN*
V _{RPN*}	Vetor dos índices RPN*	N x 1	Vetor que contém o índice RPN* de cada zona

Como primeira etapa, o gestor da manutenção precisa determinar o Vetor Importância (VI), e seus valores são organizados na forma apresentada em (4). Destaca-se que o Vetor Importância é a única interferência direta do gestor da manutenção no método de cálculo.

$$VI = \begin{bmatrix} I_{\text{Detecção}} \\ I_{\text{Ocorrência}} \\ I_{\text{Severidade}} \\ I_{\text{Estratégico}} \end{bmatrix}_{4 \times 1} \quad MC = \begin{bmatrix} D_{\text{Difícil}} & O_{\text{Frequente}} & S_{\text{Crítica}} & E_{\text{Prioritário}} \\ D_{\text{Difícil}} & O_{\text{Frequente}} & S_{\text{Crítica}} & E_{\text{Normal}} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ D_{\text{Normal}} & O_{\text{Normal}} & S_{\text{Normal}} & E_{\text{Normal}} \end{bmatrix}_{16 \times 4} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}_{16 \times 4} \quad \text{onde: } \begin{matrix} I = \text{Importância} \\ D = \text{Detecção} \\ O = \text{Ocorrência} \\ S = \text{Severidade} \\ E = \text{Estratégico} \end{matrix} \quad (4)$$

Depois de definido o VI, multiplica-se a Matriz de Criticidade (MC) e o VI para obtenção do Vetor Índice de Criticidade (VIC). Em relação ao MC, pode-se observar em (4), que o MC é constante e seus valores são binários. Em suma, o MC representa a importância padrão, entretanto ao multiplicá-la pelo VI, obtém-se a importância das variáveis conforme a visão do gestor da manutenção.

Em sequência, necessita-se calcular a Matriz Combinação das Probabilidades (MCP). Para esse cálculo, parte-se da premissa que a Rede Bayesiana já avaliou os alimentadores, portanto as probabilidades marginais dos estados das variáveis detecção, ocorrência, severidade e estratégico estão disponíveis. O cálculo procede conforme o apresentado em (5). Em suma, cada linha da MCP refere-se a um alimentador e cada coluna representa a multiplicação de cada combinação de probabilidades marginais dos estados das variáveis. Observa-se que pelo fato do índice RPN* ser composto por 4 variáveis e cada uma delas possuir 2 estados, o MCP tem 16 colunas.

$$MCP = \begin{bmatrix} elem(x_1, 1) & elem(x_1, 2) & \dots & elem(x_1, 16) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ elem(x_n, 1) & elem(x_n, 2) & \dots & elem(x_n, 16) \end{bmatrix}_{n \times 16} \quad \text{onde: } \begin{matrix} D = \text{Detecção} \\ O = \text{Ocorrência} \\ S = \text{Severidade} \\ E = \text{Estratégico} \end{matrix} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} elem_{x,1} &= Prob_x(D_{\text{Difícil}}) * Prob_x(O_{\text{Frequente}}) * Prob_x(S_{\text{Crítica}}) * Prob_x(E_{\text{Prioritário}}) \\ elem_{x,2} &= Prob_x(D_{\text{Difícil}}) * Prob_x(O_{\text{Frequente}}) * Prob_x(S_{\text{Crítica}}) * Prob_x(E_{\text{Normal}}) \\ &\dots \\ elem_{x,16} &= Prob_x(D_{\text{Normal}}) * Prob_x(O_{\text{Normal}}) * Prob_x(S_{\text{Normal}}) * Prob_x(E_{\text{Normal}}) \end{aligned}$$

$Prob$ = probabilidade marginal
 x = zona de confiabilidade
 n = quantidade de zonas

Depois de determinado o MCP e o VIC, basta realizar a multiplicação descrita em (6) para estabelecer o Vetor RPN* (V_{RPN^*}). Para determinar o *ranking* das zonas críticas de confiabilidade, apenas necessita-se ordenar de forma descendente o V_{RPN^*} , pois quanto maior for o valor do índice RPN* de um alimentador, mais prioritário para a manutenção ele é.

$$V_{RPN^*} = MCP_{n \times 16} \times VIC_{16 \times 1} = \begin{bmatrix} RPN^*_{\text{alimentador 1}} \\ RPN^*_{\text{alimentador 2}} \\ \dots \\ RPN^*_{\text{alimentador n}} \end{bmatrix}_{n \times 1} \quad \text{onde, } n \text{ é a quantidade de alimentadores} \quad (6)$$

4.0 - ESTUDO DE CASO

Como estudo de caso da metodologia, apresenta-se o *ranking* dos alimentadores mais prioritários do sistema de distribuição gerido pela regional da Celesc em Blumenau. Para elaborar o *ranking*, optou-se pela análise multicritério descrita na Tabela 5, que foi estabelecida por especialistas, também co-autores desse artigo e responsáveis pela gestão da manutenção do sistema estudo de caso.

TABELA 5 - Importância das variáveis, conforme os especialistas

Detecção	Ocorrência	Severidade	Estratégico
7,0	8,5	8,0	4,5

A elaboração do *ranking* dos alimentadores mais prioritários nesse sistema de distribuição é complexo, em virtude do sistema de distribuição possuir o seguinte perfil: 78 alimentadores, aproximadamente 14 mil transformadores, o banco de interrupções referente ao período de Janeiro/2009 até Abril/2010 e 16 conjuntos de unidades consumidoras que juntos somam 267 mil unidades consumidoras, representados pelos 16 municípios atendidos pela Regional Blumenau.

Mesmo diante de um problema complexo, a metodologia determinou o *ranking* dos alimentadores de acordo com a avaliação multi-critério dos próprios gestores da manutenção, como pode-se observar no *ranking* apresentado na Tabela 6. Percebe-se no *ranking*, que o alimentador 34202 é o mais prioritário dentre todos, com o valor do índice RPN* significativamente superior ao segundo colocado. Por outro lado, o alimentador 30608 é o alimentador que menos necessita investimentos por parte da manutenção, considerando esta avaliação.

TABELA 6 - *Ranking* dos alimentadores

Prioridade	Índice RPN*	Alimentador	Cidade da subestação
1	13,5162	34202	Indaial
2	8,8893	31517	Blumenau
3	8,2444	31806	Timbó
4	7,7278	32807	Brusque
5	7,5410	31807	Timbó
...
77	0,0192	32704	Blumenau
78	0,0159	30608	Brusque

5.0 - CONCLUSÃO

O objetivo central deste projeto foi o desenvolvimento de um Sistema de Suporte à Decisão para a definição de zonas críticas de confiabilidade, considerando questões da manutenção da distribuição de energia elétrica. A análise se restringiu às zonas de confiabilidade: alimentador, ramal e transformador.

O índice de desempenho adotado nesta metodologia para definição das zonas críticas de confiabilidade, baseado na técnica de Redes Bayesianas e na metodologia FMECA, se mostrou totalmente aderente aos objetivos pretendidos pela manutenção, além de possibilitar a alocação otimizada de recursos, considerando principalmente os padrões de continuidade estabelecidos pela ANEEL.

Nesse trabalho, o índice de desempenho leva em consideração as três parcelas usuais do FMECA mais a análise estratégica. Ao utilizar uma avaliação múlti-critério nessas quatro parcelas, permite-se aos especialistas Celesc a elaboração de *rankings* que considerem a prioridade dos objetivos pretendidos pela manutenção.

Considera-se que os objetivos propostos neste trabalho foram satisfeitos, tendo-se confiança que o Sistema de Suporte à Decisão resultante deste trabalho será de grande utilidade para o setor de planejamento da manutenção da distribuição da Celesc. Resultados preliminares já apontam para a grande aplicabilidade prática deste sistema computacional, sendo efetivamente uma ferramenta computacional promissora para guiar ações na área de manutenção da Celesc.

6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) MOUBRAY, J. **Reliability-Centered Maintenance**. 2ª ed. Industrial Press Inc, 1997.
- (2) PEARL, Judia. Probabilistic reasoning in intelligent systems: networks of plausible inference. 2 ed. San Francisco: Elsevier, 1988.
- (3) JENSEN, Finn Verner. **Bayesian Networks and Decision Graphs**. 1ª ed. New York: Springer-Verlag, 2001.
- (4) RUSSELL, S. J.; NORVIG, P. Raciocínio probabilístico. In: _____. **Inteligência Artificial**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004. cap. 14. p. 479-517.
- (5) BLANCHARD, B. S.; VERMA, D.; PERTERSON, E. L. **Maintainability: a key to effective serviceability and maintenance management**. New York: John Wiley & Sons, 1995.
- (6) BS 5760 *et al.* Appendix III: Overview of the key tools and techniques. In: BOOKER, J. D.; RAINES, M.; SWIFT, K. G. **Designing Capable and Reliable Products**. Woburn: Butterworth-Heinemann, 2001. p. 295-312
- (7) DOD (Department Of Defense). MIL-STD-1629A : Procedures for performing a Failure Mode, Effects, and Criticality Analysis. Washington: Department of Defense, 1984. p. 3-5.

7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Raimundo C. G. Teive. Nascido em Orleans - SC (1963). Possui graduação em engenharia elétrica pela Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC (1985), mestrado (1991) e doutorado (1997) pela mesma UFSC. É professor titular da Universidade do Vale do Itajaí – UNIVALI, atuando no mestrado em Computação Aplicada desta instituição. É pesquisador do laboratório de planejamento de sistemas elétricos da UFSC. Tem experiência nos seguintes temas: planejamento da distribuição e transmissão de energia elétrica, comercialização de energia elétrica, manutenção de sistemas de energia e inteligência artificial aplicada.

Thales Lange, nascido em Não-Me-Toque – RS (1987), graduado em Engenharia de Computação pela Universidade do Vale do Itajaí - UNIVALI (2008) e, mestrado em Computação Aplicada – UNIVALI (2011). Tem experiência com: desenvolvimento de sistemas computacionais, banco de dados, inteligência artificial aplicada, programação linear, comercialização de energia, confiabilidade e manutenção de sistemas de energia.

João Carlos Martins Lúcio - Possui Graduação (1987), Mestrado (1990) e Doutorado (2009) em Engenharia Elétrica, pela Universidade Federal de Santa Catarina. É professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina - IFSC, desde 1995. Na área de pesquisa, tem experiência no Planejamento da Expansão de Sistemas de Geração e de Transmissão de Energia Elétrica e no Gerenciamento de Ativos, Sistemas Especialistas e Lógica Fuzzy.

Jorge Coelho. Possui graduação pela Universidade Federal de Santa Catarina (1977), mestrado pela UFSC (1980) e doutorado pela PUC_RJ (1990). Dr. Coelho é coordenador de vários P&Ds em várias empresas do setor elétrico brasileiro e é professor titular da Universidade Federal de Santa Catarina. Tem experiência nas áreas de Confiabilidade e Distribuição, atuando principalmente nos seguintes temas: Transmissão e Distribuição, Qualidade da Energia, Confiabilidade, Modelagem de Incertezas, Sistemas de Grande Porte.

Rubipiara Cavalcante Fernandes, nascido em Santarém – Pará (1962), graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC (1985), mestrado (1995) e doutorado (2006) em Engenharia Elétrica - UFSC. Pesquisador do Laboratório de Planejamento de Sistemas de Energia Elétrica (LabPlan/UFSC) e Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina (IFSC). Possui experiência nas áreas de Regulação e Mercado de Energia Elétrica, Geração, Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica, Sistemas Hidrotérmicos, Operação de Subestações e Eficiência Energética.

Juliano Bachmann, possui graduação em Engenharia Industrial Elétrica pela Fundação Universidade Regional de Blumenau (2004). Está escrevendo tese no programa de mestrado da UFSC (2008). Atualmente é Chefe da Supervisão de Engenharia da Regional de Blumenau da CELESC - Centrais Elétricas de Santa Catarina e Pesquisador da Fundação Universidade Regional de Blumenau grupo Selmag do Departamento de Engenharia Elétrica, atuando principalmente nos seguintes temas: Manutenção, Construção e Planejamento de redes de distribuição, localização de faltas pelo método de ondas viajantes e simulação de transitórios.

Elsa Angelita Branco da Silva Costa, nascida em Lages, SC - Técnica Industrial habilitação em Eletrotécnica pelo Colégio Industrial de Lages (1987) e Graduação em Sistemas de Informação pela Uniasselvi (2005). Atuando na Celesc nas atividades de análise, acompanhamento e controle de Indicadores de Continuidade através do Sistema Integrado de Operação e Manutenção - SIMO, emissão de relatórios técnicos visando subsidiar as áreas de gestão e planejamento da empresa e integrante de Equipe de Trabalho para desenvolvimento de nova versão deste Sistema.

Paulo Augusto Argenton, possui graduação em Bacharel Em Ciências Da Computação pela Universidade Regional de Blumenau (1996). Atuando na CELESC (Centrais Elétricas de Santa Catarina) Agência Regional de Blumenau, na atividade de coordenador do Sistema Genesis (Banco de dados Geo-referenciado de redes de distribuição). Tendo como funções principais implantar e dar suporte ao Sistema, capacitando e orientando o pessoal técnico da regional para a utilização do mesmo, também responsável pelo controle da atualização da base e pela aferição da confiabilidade da mesma.