



XVIII Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica

SENDI 2008 - 06 a 10 de outubro

Olinda - Pernambuco - Brasil

RMA – Risco Mínimo do Alimentador

Marcelo Maia
CPFL Piratininga
mmaia@cpfl.com.br

Jefferson Santucci Lopes
CPFL Piratininga
jslopes@cpfl.com.br

PALAVRAS-CHAVE

Eficiência
Experiências
Otimização
Proteção
Sistema

RESUMO

Aplicação de nova metodologia para instalação e adequação de equipamentos de proteção e seccionamento (Chaves fusíveis, religadoras e chaves facas) para um alimentador de distribuição. A idéia foi encontrar no decorrer do alimentador os pontos que oferecessem os melhores desempenhos para instalação dos equipamentos, que na ocorrência de uma falha tivéssemos o menor número de clientes interrompidos. Utilizamos assim a aplicação de um algoritmo matemático, que ponderasse sua extensão e clientes, determinando os pontos ideais para instalação dos equipamentos de proteção e seccionamento. Através da metodologia conseguimos elaborar inúmeras regras que nos ajudaram a conhecer melhor o alimentador e suas implicações e a termos diferentes critérios de priorização na hora de uma eventual manutenção. Constatamos que existem hoje quantidades excessivas de equipamentos instalados na rede, motivado talvez pela busca de melhores indicadores técnicos (DEC/FEC). Esta situação gerou a perda da seletividade, o aumento da taxa de falha e no indicador. Com a aplicação da metodologia otimizamos a instalação, localização e a quantidade dos equipamentos de proteção e seccionamento, com o objetivo de melhorarmos o desempenho e o aproveitamento dos nossos ativos.

1. INTRODUÇÃO

A proposta estudo é apresentar um algoritmo matemático, que propõe a distribuição inteligente dos dispositivos de proteção (chaves fusíveis, religadora, seccionadora etc), em um dado alimentador.

Mostrar a simulação de uma aplicação prática do estudo em um determinado alimentador, demonstrando resultados e aplicações do algoritmo matemático, com a otimização dos equipamentos de proteção e seccionamento, redução de indicadores técnicos (DEC/FEC) sem o incremento de equipamentos de proteção, com baixo investimento financeiro;

Utilizar o algoritmo matemático como ferramenta de priorização de investimentos e manutenção para os alimentadores;

Riscos com a aplicação do algoritmo matemático.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1. Definições

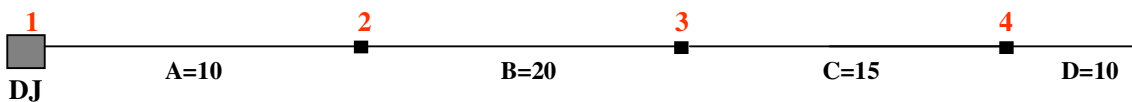
- DEC → Duração equivalente de desligamentos coletivos;
- FEC → Frequência equivalente de desligamentos coletivos;
- RMA → Risco mínimo do alimentador;
- RI → Risco inicial do alimentador;
- Rn → Risco do ponto;
- CI → Clientes interrompidos;
- CT → Clientes totais;
- Caq → Clientes aquém a um determinado ponto;
- Cal → Clientes além a um determinado ponto;
- MT → Comprimento total de um alimentador;
- Maq → Comprimentos aquém a um determinado ponto;
- Mal → Comprimento além a um determinado ponto.

2.2. Algoritmo

Sendo que a maioria dos alimentadores, da concessionária em questão, são radiais e aéreos, entendemos que quanto maior o comprimento do alimentador maior será a probabilidade de ocorrer um defeito (falha). E quanto maior a quantidade de clientes em um alimentador maior será o risco por clientes interrompidos. O algoritmo matemático tem isto como premissas, com o objetivo de obter o menor número de clientes interrompidos em uma falha.

Para melhor compreendermos o algoritmo, criamos um alimentador radial virtual (I), com um disjuntor de entrada (DJ) no ponto (P1), uma extensão linear com quatro trechos (A,B,C e D), com 1 unidade de comprimento e cliente conforme figura, e mais três pontos possíveis para simulação de proteção (P2; P3 e P4).

Alimentador radial virtual(I)



- tendo como proteção fixa e única o disjuntor (P1), vamos simular falhas nos trechos A, B, C e D, e computarmos os clientes interrompidos em cada simulação, tabela (1).

Tabela 1 – Simulação de falhas, como ponto de interrupção apenas o disjuntor

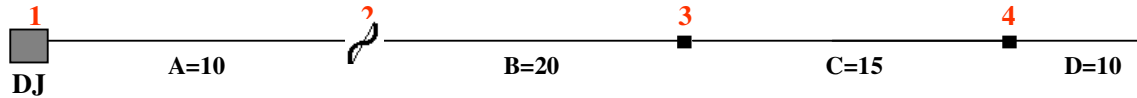
Trecho	Falhas	Ponto de atuação	Clientes interrompidos
A	primeira	Disjuntor (P1)	55
B	segunda	Disjuntor (P1)	55
C	terceira	Disjuntor (P1)	55
D	quarta	Disjuntor (P1)	55
Risco Total			210

- Sendo que umas das probabilidades de ocorrerem os defeitos na rede, a serem consideradas a princípio, depende de seu comprimento, denominaremos este somatório como risco inicial (**RI**) dos alimentadores que também se dá pela multiplicação dos clientes (**Risco** → **CT**) e o comprimento (probabilidade → **MT**), temos:

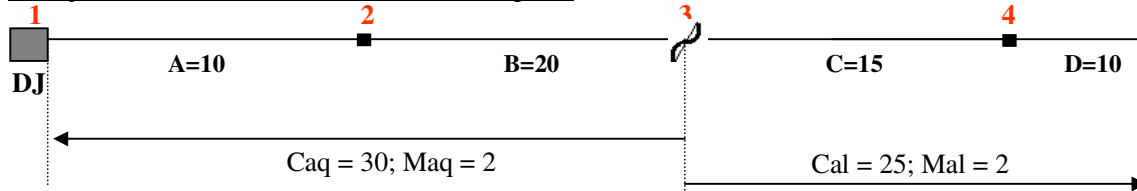
No alimentador (I) → **RI=210** ou **RI=CT*MT** → **RI= 55*4=210**

- Para reduzirmos o RI iremos inserir uma nova proteção no alimentador (I). Para obtermos o menor número de clientes interrompidos por uma falha, **qual seria o melhor ponto para proteção? (P2, P3 ou P4)**.
- acrescentaremos nos pontos P2, P3 e P4, equipamentos de proteção, simulando falhas nos trechos A, B, C e D, e computando os clientes interrompidos em cada situação.

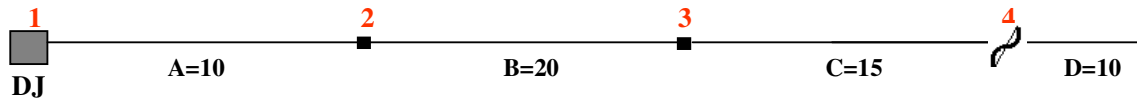
Proteção P2 → 190 Risco de clientes interrompidos



Proteção P3 → 160 Risco de clientes interrompidos



Proteção P4 → 175 Risco clientes interrompidos



Segue tabela (2) de simulação em cada ponto do alimentador (I):

Tabela 2 – Simulações nos pontos P1, P2, P3 e P4

CI		Trechos/Falhas				Total
		A	B	C	D	
Proteção	P1	55	55	55	55	220
	P1 e P2	55	45	45	45	190
	P1 e P3	55	55	25	25	160
	P1 e P4	55	55	55	10	175

- A totalização dos pontos (P2, P3 e P4), entenderemos como a probabilidade de risco em cada um deles, onde for o menor risco é o que oferece o melhor desempenho e o menor número de clientes interrompidos.
- Se fosse necessária apenas uma proteção além do disjuntor, entenderíamos que o ponto **P3** é o que oferece melhor desempenho, nosso RMA – Risco Mínimo do Alimentador.

Com estes princípios formulamos o algoritmo:

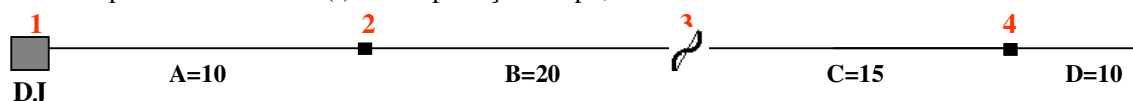
Algoritmo- RMA – Risco Mínimo do Alimentador

$$RMA = RI - Caq * Mal \rightarrow (1)$$

Para compreendermos melhor o algoritmo, determinaremos que:

$$Rn = Caq * Mal \rightarrow (2)$$

Do exemplo do alimentador (I) com a proteção em p3, temos:



$$RMA = RI - Caq * Mal$$

$$RMA = 220 - 30 * 2$$

$$RMA = 160$$

- com o algoritmo relacionamos o risco que temos em perder os clientes aquém ao ponto (Caq) com a probabilidade de ocorrer o defeito através do comprimento além (Mal).
- assim podemos calcular o risco em cada ponto do alimentador e correlacioná-los, identificando qual é o prioritário.
- para acharmos o RMA com inúmeras proteções, faremos o somatório dos riscos dos pontos, temos:

$$RMA = RI - \sum (Rn) \rightarrow (3)$$

2.3. Simulação para um alimentador real

Com a utilização de software, implementamos em um alimentador real a lógica matemática, com a utilização do algoritmo, comparando as diferenças da simulação matemática com a situação real em campo.

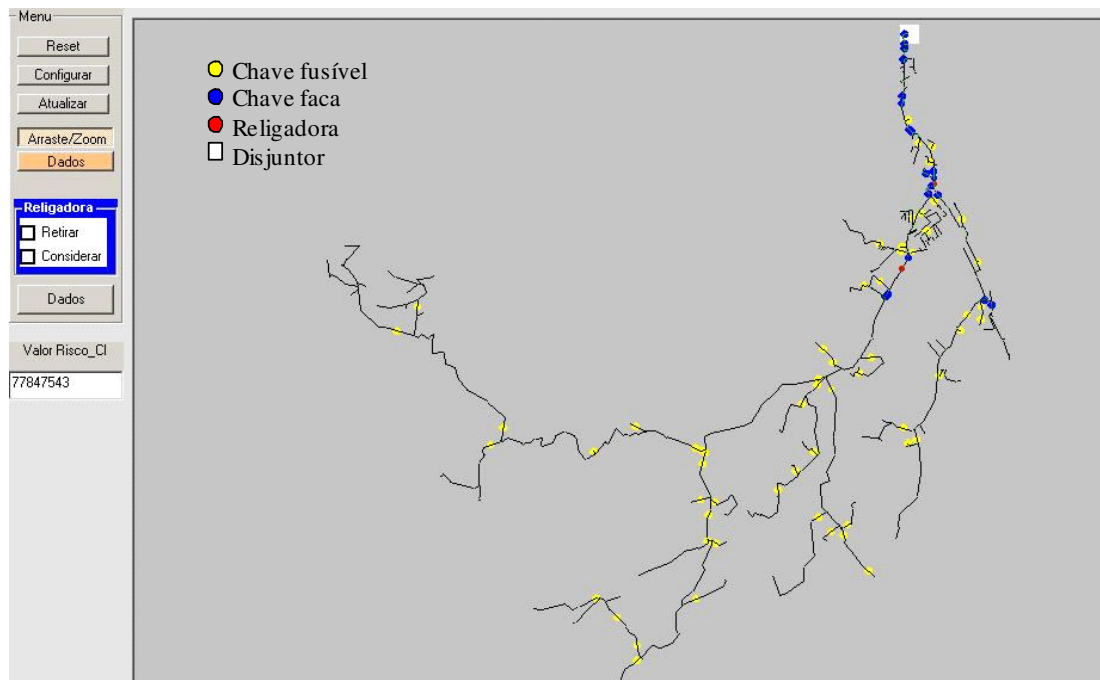


Figura 1. Representação temática de um alimentador - Jundiá.

Dados do alimentador Jundiá:

- 6000 clientes; 90 km; 52 equipamentos de proteção e seccionamento.
- 2560 trechos (média de 35 metros por trecho)

Sendo que o alimentador já dispunha de dispositivos de proteção, devidamente coordenados e seletivos. A simulação matemática fez paralelo com o alimentador virtual (I), entendendo que este alimentador possuía apenas o disjuntor como proteção.

Com a aplicação do algoritmo RMA calculamos para trecho (2560) o valor do risco e determinamos assim o trecho ou o ponto que ofereceu o melhor desempenho ou o menor risco. Continuamos assim, sucessivamente um após o outro até determinamos os 52 pontos, conforme a quantidade de equipamentos já instalados.

Após a simulação fizemos a comparação dos pontos virtual calculados e os pontos reais. Concluímos que muitos deles eram coincidentes, outros estavam próximos e alguns deveriam ser relocados.

2.4. Resultados

2.4.1. Aplicações

Com a utilização do algoritmo matemático (RMA), num alimentador real com inúmeros trechos, conforme vamos adicionando os pontos de proteções ideais (eixo X), percebermos que o ganho percentual de incrementos de proteções segue a curva RMA indicado gráfico (1):

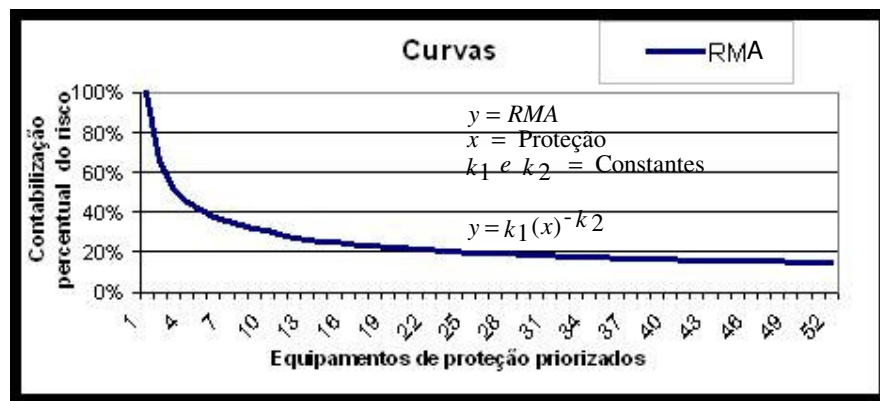


Gráfico 1. Curva RMA

Sendo assim, na hora da escolha dos pontos de proteções e seccionamento do alimentador, poderemos ter como base à curva RMA, que são os pontos ótimos (eficiência máxima) para proteção e seccionamento dos alimentadores.

2.4.2. Otimizar recursos

Conforme vamos protegendo os trechos, percebemos que a curva RMA tende a linearidade e os ganhos percentuais de risco tende a zero, ou seja, o fato de aumentarmos o número de proteções não significa que estamos diminuindo significativamente o risco, conforme gráfico (2).

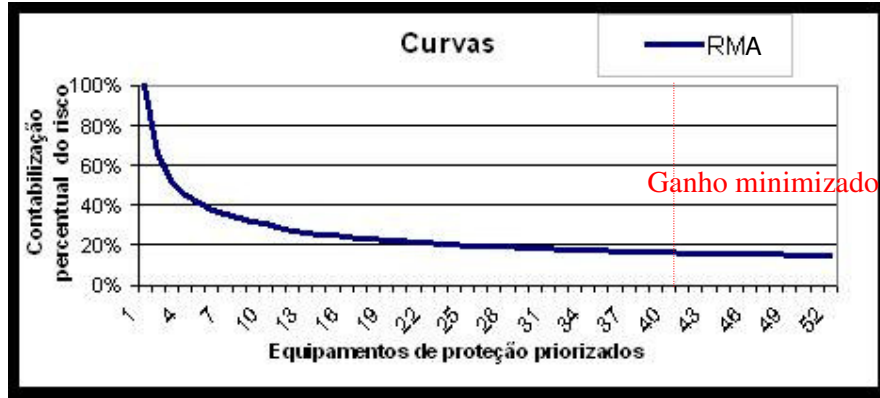


Gráfico 2. Curva RMA

Através da curva conhecemos a quantidade necessária de proteções para cada alimentador.

Com a aplicação do algoritmo matemático para o alimentador, exemplo Jundiá, realizamos a otimização e a reconfiguração dos equipamentos de proteção de 52 para 41 equipamentos. Após alguns meses computamos uma redução média de 0,5 pontos nos indicadores técnicos. Os custos relacionados foram apenas com a retirada e a relocação dos equipamentos de proteção e seccionamento.

Conforme a curva, entendemos que o ganho inicial percentual para cada equipamento instalado é muito grande até que chega em um ponto da curva que temos que instalar diversos equipamentos para um ganho percentual pequeno. Adotamos a seguinte regra para limitar o número de instalação de equipamentos: Quando observássemos um ganho de apenas 1% no risco (eixo Y gráfico 2) para uma quantidade de equipamentos maior que 15% do número já projetado (eixo X gráfico 2), concluiríamos que este seria o limite ideal de proteção para o nosso sistema.

2.4.3. Comparar alimentadores (recursos)

Ao traçarmos a curva RMA das proteções já existentes do alimentador real, encontraremos uma curva semelhante, mais com valor de risco maior do que a curva RMA (ideal), a diferença entre estas curvas representam os ganhos possíveis para os alimentadores reais, ilustrados gráfico (3).

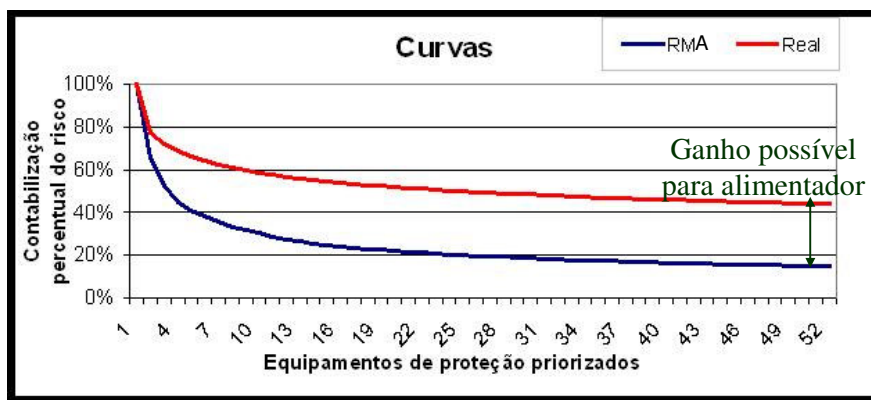


Gráfico 3. Curva RMA e Curva Real

Com os valores dos ganhos absolutos de diversos alimentadores, podemos correlacioná-los de diversas maneiras, ex: Indicadores, priorizar manutenção, desempenho etc.

2.4.4. Configuração dos alimentadores. (tendência)

Com a tendência da curva RMA (ideal) para linearidade, a curva RMA (ideal) tende a valores mínimos de risco, que deduzimos ser o máximo resultado possível em um alimentador. Se este valor for um valor elevado, típicos de alimentadores com volume grande de clientes no final, para estes enxergamos que o incremento de dispositivos de proteção não melhorara o desempenho, mas somente a melhora se dará com nova configuração do sistema, ex: manobras, construção de outro alimentador etc. Demonstração gráfica (4).

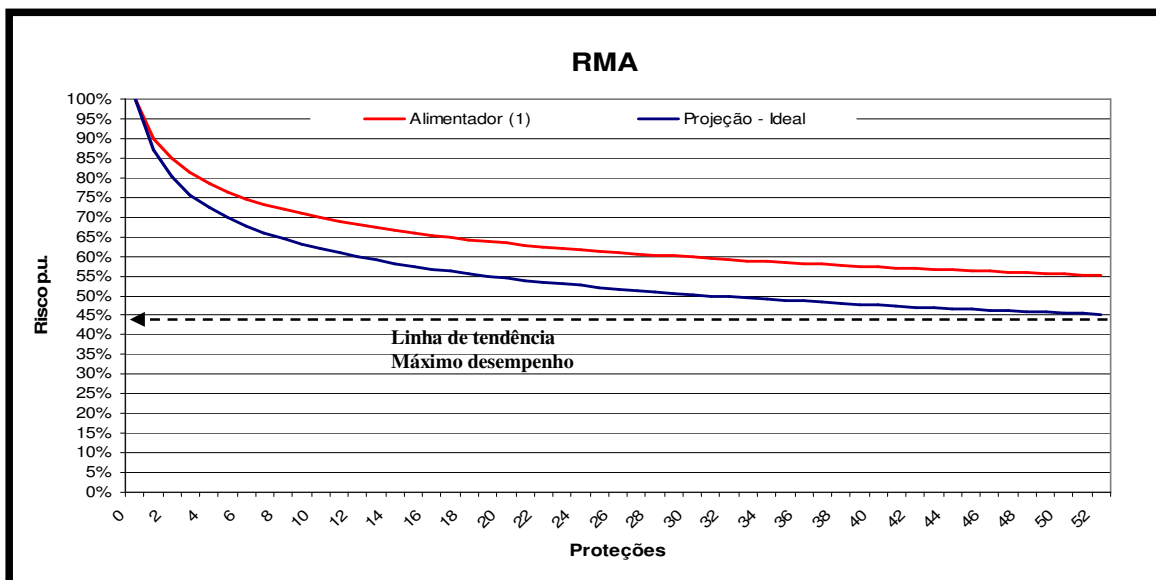


Gráfico 4. Curva RMA tendência

O incremento infinito de dispositivos de proteção não irá melhorar o seu desempenho, pelo contrário, aumentamos apenas a taxa de falha dos dispositivos.

3. CONCLUSÃO

- Com a implementação em campo, observamos que o alimentador manteve ou até as vezes melhorou seu desempenho com relação a configuração anterior de 52 para 41 equipamentos em pontos estratégicos. Entendemos que os resultados devem ser computados e avaliados por um período maior, pois inúmeros fatores, como quantidade de chuvas no período, periodicidade de manutenção, no qual influenciam nos resultados. Independente disto, concluímos que a implementação foi de baixo custo e os resultados ficaram próximos aos simulados. Com o objetivo de aproximar da configuração ideal foram aproveitados inúmeros dispositivos existentes, alguns relocados e inseridos outros.
- A busca do menor número de clientes interrompidos por uma falha, nos proporcionou a diminuição da frequência equivalente das interrupções.
- Conseguimos estimar a quantidade ideal de dispositivos na rede, que possibilitou a otimização destes no sistema.
- Melhoramos o direcionamento de recursos de investimentos e manutenção para os alimentadores através do nível do RMA - risco mínimo do alimentador
- Percebemos que em alguns casos as aplicações integrais dos pontos indicados pelo algoritmo matemático, proporcionariam um alto investimento, por serem pontos de elevada corrente do sistema. Para estes, podemos optar para uma curva de aproximação da ideal. Com o abandono

destes pontos de elevada corrente, perdermos apenas a aderência com a curva ideal, mas reduzimos grandemente os investimentos.

- Este método é aplicável em qualquer alimentador do sistema elétrico, sendo que o princípio é a relação de clientes e o comprimento.
- Para novos alimentadores ou instalações os recursos contábeis necessários são os mais eficientes possíveis, visto que estaremos investindo nos pontos ótimos.
- Esta metodologia é objeto de IPD, que foi submetida para aprovação da ANEEL.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- COELHO dos Santos Coelho, L. Fundamentos, Potencialidades e Aplicações de Algoritmos Evolutivos. Notas em matemática aplicada, SBMAC – Sociedade Brasileira de Matemática Aplicada e Computacional, 2003
- REZENDE. Rezende, S. O. Sistemas Inteligentes – Fundamentos e Aplicações, volume1. Manole, Bariri – SP, 2003
- FOGEL, D. B. Evolutionary computation: the fossil record. Piscataway: IEEE Press, 1998
- FOGEL, L.J.; Owens, A.J.; Walsh, M.J. Artificial intelligence through simulated evolution. New York: Wiley, 1966
- PAUL R. REED JR. Desenvolvendo Aplicativos com Visual Basic e UML
- HINES William W., MONTGOMERY Douglas C., GOLDSMAN David M., BORROR Connie M. Probabilidade e Estatística na Engenharia