



XVIII Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica

SENDI 2008 - 06 a 10 de outubro

Olinda - Pernambuco - Brasil

Influência das Descargas Atmosféricas Diretas em Redes Aéreas de Distribuição

Danusia De Oliveira De Lima	Vilson Luiz Coelho	Adroaldo Raizer
RGE	UFSC	UFSC
dlima@rge-rs.com.br	Wilson.coelho@gmail.com	adroaldo.raizer@gmail.com
José Osvaldo S. Paulino	Viviane Berri Coelho	
UFMG	UFSC	
josvaldo@eee.ufmg.br	vivi.berri@gmail.com	

Palavras-chave

Descargas Atmosféricas
Desempenho
Proteção
Rede de Distribuição
Sobretensões

Resumo

Com o objetivo de melhorar o desempenho do sistema de distribuição e conseqüentemente a satisfação dos seus clientes, a RGE desenvolveu um estudo detalhado dos seus índices de continuidade de fornecimento relacionando-os às características das redes e do ambiente onde estão inseridas. Os resultados indicaram que boa parte dos problemas enfrentados pela RGE deve-se as condições severas impostas pela natureza às redes de distribuição do seu sistema. Neste trabalho estão apresentados, metodologia adotada e resultados do diagnóstico do sistema de distribuição, análise técnica destes resultados e avaliação de possíveis soluções, conclusões e recomendações para futuros estudos. Entre os resultados das análises, destaca-se a constatação que entre as principais causas de interrupções no sistema de distribuição RGE está o contato direto de raios com os condutores das redes. A análise das possíveis soluções para este problema, através de ferramenta computacional, indica que as metodologias de proteção atualmente utilizadas ou não são efetivas ou representam investimentos adicionais significativos à Concessionária no processo de implantação/melhoria de redes.

1. Introdução

Os levantamentos de dados, análises, constatações e conclusões apresentadas neste trabalho fazem parte de um projeto de pesquisa¹ contratado pela RGE junto a UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina, objetivando a melhoria dos índices de continuidade de fornecimento e conseqüentemente a satisfação dos seus clientes. De acordo com informações da Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica – ABRADDEE², a RGE tem recebido excelente avaliação dos seus clientes nas pesquisas realizadas para o Prêmio ABRADDEE nos últimos anos. Porém, contrastando com este desempenho, observou-se também que os índices de continuidade de fornecimento da Empresa apresentavam-se em patamares elevados, se comparados com as principais concessionárias do país.

Desta forma, um estudo detalhado dos indicadores de desempenho, relacionando-os às características das redes e do ambiente onde estão inseridas, foi implementado e indicou que boa parte dos problemas enfrentados pela RGE deve-se as condições severas impostas pela natureza às redes de distribuição (RD) do seu sistema. São inúmeras tempestades que assolam boa parte da região de concessão resultando em elevados índices de interrupções por ventos fortes e descargas atmosféricas. A região das Missões localizada a oeste da região de concessão apresenta valores de densidade de descargas para a terra entre os maiores registrados no País.

A grande maioria dos estudos relacionados às sobretensões de origem atmosférica em redes de distribuição prioriza as descargas atmosféricas indiretas, ou seja, abordam os efeitos das tensões induzidas nas redes por raios que atingem pontos próximos a elas. Teoricamente, as linhas de transmissão (LT), instaladas em torres de alturas consideráveis e localizadas na sua grande maioria em regiões não urbanas é que são submetidas às descargas diretas com maior frequência. Em redes de distribuição, que apresentam baixos níveis de isolamento e estão normalmente localizadas em regiões urbanas, que proporcionam uma blindagem natural contra descargas diretas, a maioria dos casos de rompimento da isolação das estruturas suporte seria provocada pelas tensões induzidas. No entanto, os resultados dos estudos e análises apresentados neste trabalho constata que o contato direto das descargas atmosféricas com os condutores das redes, representam uma das principais causas de interrupção de energia elétrica do sistema RGE. Assim como em diversos outros sistemas de distribuição no Brasil, as redes de distribuição localizadas em regiões rurais representam a grande maioria das redes RGE e boa parte destas localiza-se em regiões de planalto destinadas ao plantio de cereais ou a criação de gado, livres de florestas e conseqüentemente com baixo fator de blindagem para as descargas diretas.

Nos capítulos seguintes estão apresentadas resumidamente as diversas etapas necessárias ao desenvolvimento deste trabalho. Metodologia adotada e resultados do diagnóstico do sistema de distribuição, análise técnica destes resultados e avaliação das possíveis soluções, com o auxílio de ferramenta computacional, conclusões e recomendações para futuros estudos.

2. Desempenho do Sistema RGE de Distribuição de Energia

Considerações Iniciais

A metodologia na obtenção e no tratamento dos índices de qualidade de fornecimento de energia da RGE sofreu diversas alterações nos últimos anos, visando principalmente à melhoria da qualidade das informações. Por este motivo, neste estudo serão avaliadas apenas informações com maior confiabilidade, que são aquelas obtidas a partir de relatórios de janeiro de 2003 em diante.

No tratamento e análise de dados foram consideradas as técnicas de análise e solução de problemas recomendadas por Campos³.

Principais Causas de Interrupção

Avaliados os relatórios de interrupção do sistema RGE no período de janeiro de 2003 a setembro de 2005, chega-se ao gráfico da figura 1. Uma análise deste indica que apenas nove (9) causas são responsáveis por quase 70% da média anual de interrupções, próxima de 114.000. A principal causa de interrupção é a de código 610 e que indica desligamentos provocados por má conexão. A segunda é a de código 509, e que representa interrupção por causa desconhecida. A terceira é *Descarga Atmosférica* (DA), representada pelo código 303 e responsável por uma média superior a 12.000 interrupções/ano.

Períodos de Maior Ocorrência

Diferentemente de muitos sistemas, percebe-se que os problemas provocados pelas descargas atmosféricas nas redes de distribuição RGE, apesar de mais frequentes na primavera e verão,

permanecem significativos nas demais estações do ano. Outra constatação está relacionada com a causa 509, *Improcedente*, cujo comportamento é similar ao da causa 303, o que indica possível correlação.

Pontos de Ocorrência

Para o desenvolvimento de ações que venham contribuir para a redução dos desligamentos provocados pelas DA, é necessário localizar os principais pontos de ocorrência. Isto pôde ser feito através do gráfico da figura 2 que relaciona as interrupções de um ano de cada supervisão com a quantidade de rede primária existente. Neste percebe-se que existe uma grande concentração de desligamentos nas supervisões de Santo Ângelo e Cruz Alta que apresentam índice de interrupção por DA superior a 50 interrupções/100 km de RD/ano contra uma média geral do sistema igual a 27.

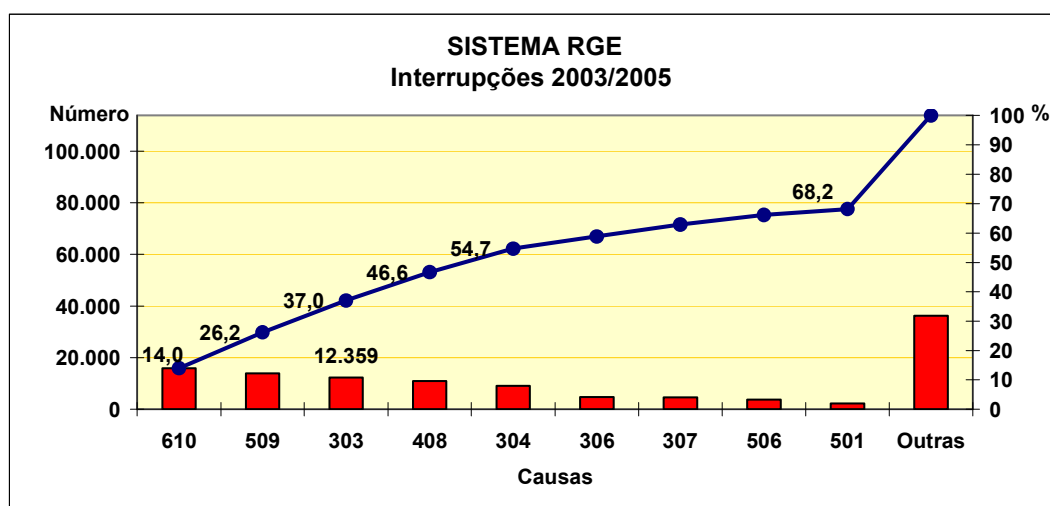


Figura 1

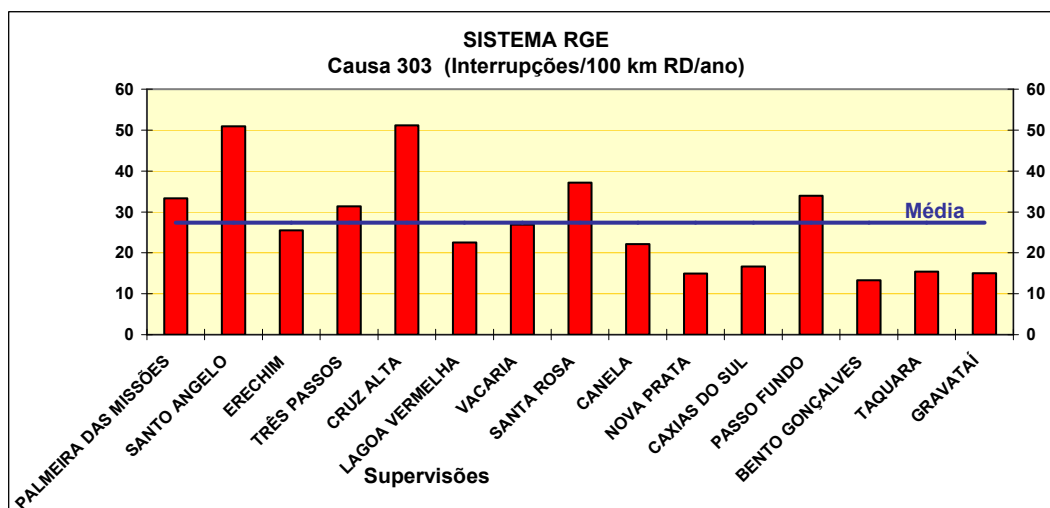


Figura 2

3. Características do Sistema RGE de Distribuição

Características Gerais

A área de cobertura da Rio Grande Energia divide-se em cinco Departamentos de Operação: Metropolitano, Serra, Planalto, Noroeste e Missões. Os Departamentos Regionais por sua vez, estão divididos em Supervisões como mostram a figura 3 que apresenta um mapa com a localização geográfica de cada uma delas e a tabela 1, com as suas principais características.

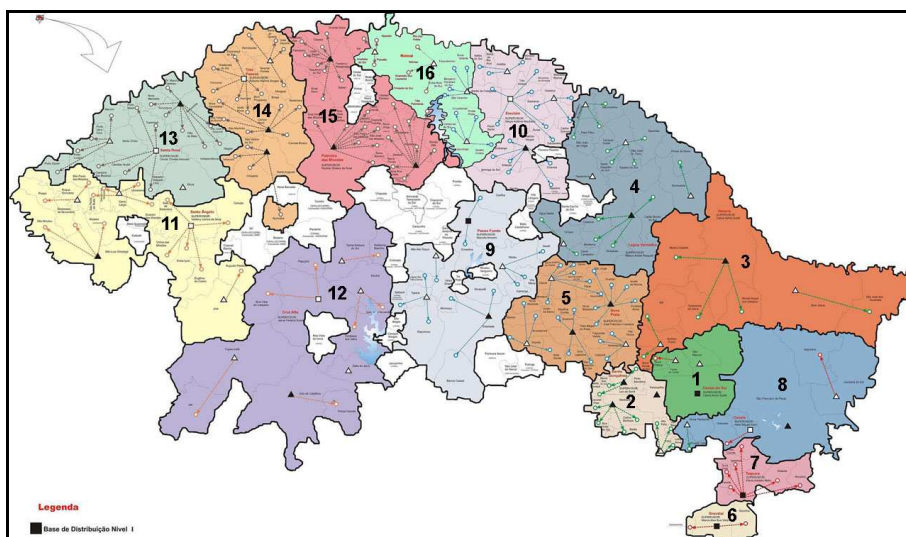


Figura 3

Tabela 1

SUPERVISÃO	Tensão Nominal (kV)	Municípios (n.º)	Área (km ²)	Consumidores		Rede de Distribuição MT (km)		
				(n.º)	Urbanos (%)	Urbana	Rural	Total
1 CAXIAS DO SUL	13,8	4	2.276,1	167.868	89,4	806,928	1.958,408	2.765,336
2 BENTO GONÇALVES	13,8/23,1	13	1.823,2	93.937	76,0	485,012	1.755,160	2.240,172
3 VACARIA	23,1	9	6.955,2	37.911	70,0	241,328	3.340,546	3.581,874
4 LAGOA VERMELHA	23,1	20	7.161,4	38.799	52,8	206,644	3.989,308	4.195,952
5 NOVA PRATA	23,1	28	4.663,5	58.244	52,6	370,203	2.928,241	3.298,444
6 GRAVATAÍ	23,1	3	831,2	119.541	90,6	522,425	656,564	1.178,989
7 TAQUARA	13,8	7	1.487,3	70.281	77,0	381,671	1.254,359	1.636,030
8 CANELA	13,8/23,1	7	6.261,7	52.559	73,9	335,053	2.606,673	2.941,726
9 PASSO FUNDO	13,8/23,1	17	6.788,5	102.907	74,6	519,997	620,415	1.140,412
10 ERECHIM	13,8	22	4.609,2	68.054	67,5	361,215	3.263,167	3.624,382
11 SANTO ANGELO	23,1	22	9.173,0	64.434	62,5	340,452	2.293,721	2.634,173
12 CRUZ ALTA	23,1	13	11.003,5	52.095	66,1	291,272	1.690,838	1.982,110
13 SANTA ROSA	23,1	20	5.618,8	64.017	51,3	365,832	1.388,126	1.753,958
14 TRÊS PASSOS	23,1	23	4.901,0	51.773	47,6	249,513	3.470,048	3.719,561
15 PALMEIRA DAS MISSÕES	23,1	29	6.098,0	59.240	52,4	303,057	3.266,849	3.569,906
16 NONOAI	23,1	18	3.758,4	24.938	58,1	123,373	2.466,937	2.590,310
Total		255	83.410	1.126.598	29,0	5.903,975	36.949,360	42.853,335

Materiais e Equipamentos da Rede de Distribuição

Nos itens seguintes estão apresentadas as principais características dos materiais e equipamentos de distribuição utilizados pela RGE, que podem interferir no desempenho do sistema frente às descargas atmosféricas.

Pára-Raios

Os pára-raios atualmente padronizados no sistema RGE são do tipo óxido de zinco (ZnO), invólucro em material polimérico e tensões nominais de 12 e 21 kV com características conforme norma IEC 60099-4⁴.

Estruturas

As redes de distribuição do Sistema RGE são compostas basicamente por estruturas do tipo Normal, Beco, Meio-Beco e Triangular, com cruzetas de 2 e 2,4 metros em madeira de lei ou aço e postes de eucalipto tratado ou concreto com comprimento variando de 9 a 13 metros. O valor médio da impedância de surto para estas estruturas é de 300 Ω.

Os isoladores padronizados são do tipo pino e pilar para estruturas tangentes e disco ou bastões poliméricos para estruturas de ancoragem. Os níveis de isolamento variam entre 95 kV e 150 kV, dependendo do tipo e sistema onde é aplicado.

Levantamentos de campo indicam que o nível de isolamento das estruturas, representado pela tensão disruptiva crítica (*CFO – Critical Impulse Flashover Voltage*) têm uma distribuição de frequência conforme tabela 2.

Tabela 2

CFO (kV)	f (%)	p (%)
Até 125	3,41	3,41
125 a 150	28,13	31,54
150 a 200	4,32	35,86
200 a 500	-	35,86
Acima de 500	64,14	100,00
Total	100,00	

Aterramento

O condutor de aterramento padronizado pela RGE é o fio 6 de cobre. As hastes de aterramento padronizadas são do tipo aço-cobre, diâmetro 13 mm e hastes do tipo cantoneira em aço, ambas com comprimento de 2,4 metros. A configuração de aterramento padronizada é do tipo hastes alinhadas sugerindo um número mínimo de três (3) hastes e interligação da malha ao cabo de descida através da haste central.

Medições de resistividade do solo na região de concessão da RGE, durante os trabalhos de campo resultaram na tabela 3. Nesta estão apresentados valores máximos, mínimos e médios de resistividade aparente e resistência de aterramento para sistemas com 1 e 3 hastes alinhadas.

Tabela 3

Resistividade (ohm x metro)	ρ 1H	ρ 3H	R1H	R3H
Valores Mínimos	67	67	25	12
Valores Máximos	2.713	2.418	1.012	418
Valores Médios	676	663	252	115

Características Ambientais

Situado na Zona Subtropical Sul, entre os Trópicos de Capricórnio e o Círculo Polar Antártico, o Rio Grande do Sul é o maior estado da Região Sul, com uma área de 282.184 Km², incluindo 14.656 km² de águas interiores dos grandes lagos que o caracterizam.

Privatizada em outubro de 1997 a Rio Grande Energia atende 254 municípios gaúchos, localizados na região norte-nordeste do estado do Rio Grande do Sul, totalizando uma área de 90.896 km² e população de 3.441.341 habitantes. Esta região apresenta um dos melhores índices sócio-econômicos do Brasil e é responsável também pelo maior pólo agrícola, pecuário, industrial e turístico do Estado⁵.

Clima

Predomina no estado do Rio Grande do Sul o clima subtropical, sendo que na região do planalto Serrano o clima é subtropical de altitude, com temperaturas médias inferiores a 20° C e chuvas abundantes, regularmente distribuídas. Devido à latitude, na região do pampa gaúcho as médias térmicas são inferiores a 18°C e as chuvas são relativamente escassas. A região dos lagos no litoral caracteriza-se pela escassez de chuvas⁶.

Relevo

O relevo do Rio Grande apresenta três regiões naturais, que podem ser facilmente identificadas: o planalto Serrano, o pampa e a região de lagunas. O planalto Serrano ocupa mais da metade do território do estado, estendendo-se por toda a parte setentrional em direção ao sudoeste. Na região serrana, localizada a nordeste, encontram-se altitudes de 900 a 1.000 metros, chegando a apenas 100 metros no vale médio do rio Uruguai. O pampa gaúcho localiza-se na parte centro-meridional do estado e corresponde a um planalto de ondulações suaves, com altitudes inferiores a 500 metros.

Vegetação

A vegetação do Estado consiste de campos (campanha gaúcha) a Sul e Oeste, floresta tropical a Leste, matas de araucárias a Norte e mangues litorâneos⁶. Na região noroeste são abundantes as áreas de plantio de soja e milho ficando as áreas de floresta limitadas a pequenos *capões*. A figura 4 mostra imagem de satélite com a delimitação da área de concessão RGE, onde é possível identificar as extensas áreas de plantio (verde claro).



Figura 4

Densidade de Descargas

Para estudos de proteção contra descargas atmosféricas é fundamental conhecer a densidade de descargas para a terra por quilômetro quadrado por ano. Durante as duas últimas décadas, descargas nuvem-solo têm sido detectadas e mapeadas em tempo real em grandes regiões por vários sistemas de detecção. Alguns países, como os Estados Unidos, o Japão e o Canadá, estão inteiramente cobertos por tais sistemas. Outros países como o Brasil, estão parcialmente cobertos. As concessionárias de energia elétrica do sul do Brasil, entre elas a RGE, implantaram conjuntamente um sistema de detecção, SIDDEM - Sistema Integrado de Detecção de Descargas Atmosféricas e Eventos Críticos, o qual está sendo interligado com outros sistemas já existentes. Com isto grande parte do território brasileiro passou a ser monitorada com maior precisão a partir de 2006⁷

Especificamente para descargas nuvem solo, dados disponibilizados pelo INPE⁸, indicam que os valores de densidade de descargas para a região de concessão da RGE variam entre 2,4 e 8, com um valor médio para o sistema geral em torno de 4,5 (raios/km²/ano). O mapa da figura 5 representa a atividade atmosférica na região de concessão RGE no ano de 2006.

GFD 2006														
Latitude (°)	Longitude (°)													
	56	55,5	55	54,5	54	53,5	53	52,5	52	51,5	51	50,5	50	49,76
27,04	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
27,5	2	4,48	3,65	3,50	2,66	2,41	2,05	1,5	1,22	1,16	1,29	1,54	1,89	2,44
28	3	4,24	3,70	3,38	2,92	2,92	2,44	1,89	1,58	1,19	1,37	1,76	1,82	2,41
28,5	4	4,92	4,87	3,80	3,02	2,66	2,3	2,1	1,66	1,55	1,45	1,49	1,72	1,80
29	5	6,34	6,05	4,68	3,49	2,58	2,22	2,00	1,92	1,82	1,95	2,02	2,15	1,82
29,5	6	6,32	7,40	5,39	3,75	2,12	1,08	2,12	2,14	2,36	2,48	1,69	1,67	1,41
29,96	7	5,83	5,59	4,74	4,00	2,80	2,39	2,50	2,09	1,64	1,4	1,47	1,37	0,86

Figura 5

4. Análise dos Dados

Considerações Sobre as Regiões Críticas

Os índices mais críticos relativos à causa DA ocorrem principalmente nas regiões Noroeste e Centro Ocidental do Estado. Alguns conjuntos localizados nestas regiões apresentam índices de desligamentos muitíssimo acima da média do sistema. Os valores médios de interrupção registrados para as supervisões de Santo Ângelo e Cruz Alta ultrapassam 50 interrupções/100 km de RD/ano, com alguns conjuntos apresentando valores superiores a 200 interrupções/100 km de RD/ano.

A posição geográfica destas regiões coincide com pontos indicados nos mapas de densidade de descargas como sendo de elevada atividade atmosférica.

Comparação com Sistemas de Outras Regiões

Com vistas a se fazer uma análise comparativa, foi realizada uma pesquisa bibliográfica sobre desempenho de redes aéreas de distribuição frente a descargas atmosféricas em diferentes locais. Foram selecionados três (3) artigos⁹⁻¹¹ e uma dissertação de mestrado⁷ que apresentam dados referentes ao número de desligamentos de redes em regiões do Brasil e do mundo.

O gráfico da figura 6 apresenta dados de interrupções devido à causa DA correlacionados com a densidade de descargas para os diversos sistemas levantados e para as supervisões regionais da RGE e sistema RGE como um todo para o ano de 2006. Neste ano a RGE computou 9.895 interrupções que representaram 23,1 interrupções/100 km de RD/ano, com um *GFD* (*ground flash density*) médio de 2.2 raios/km²/ano.

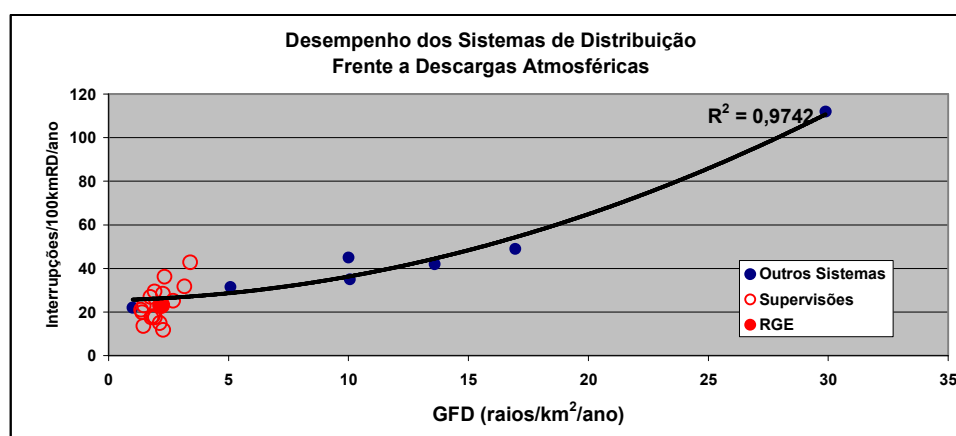


Figura 6

Percebe-se uma excelente correlação entre os valores, inclusive com a média RGE classificando-se dentro da normalidade (valor muito próximo da linha de tendência), se comparada com estes. No entanto, dados de algumas regionais localizam-se bem acima da média, com Santo Ângelo e Cruz Alta apresentando valores de desligamentos equivalentes a densidades de descargas muito altas (superiores a 10 raios/km²/ano).

Análise de Interrupções com o Auxílio de *ELF.xls*

Com o objetivo de facilitar a análise de dados e resultados, no processo de decisão em projetos de redes aéreas de distribuição de energia elétrica, a UFSC desenvolveu para a RGE uma ferramenta computacional denominada *ELF - Estimating Lightning Faults*. Trata-se de uma planilha de cálculo baseada nas recomendações de cálculo do guia IEEE 1410¹² que tem como dados de saída, estimativas de desligamentos e respectivos custos, em função das características das redes e do ambiente onde estão inseridas.

A tabela 4 apresenta estimativas de desligamentos obtidas com o auxílio desta planilha para as regionais com índices mais críticos e para o sistema RGE de forma geral. As condições de cálculo

utilizadas foram obtidas de informações dos bancos de dados da Empresa ou de levantamentos de dados efetuados em campo, para o ano de 2006.

Tabela 4

SUPERVISÃO	Tensão (kV)	Rede de Distribuição MT (km)			IDA _{DIR}	IDA _{IND}	IDA _{Tot}
		Urbana	Rural	Total			
SANTO ANGELO	23,10	340,45	2.293,72	2.634,17	1.400	127	1.528
CRUZ ALTA	23,10	291,27	1.690,84	1.982,11	888	88	976
RGE	13,80	2.625,44	10.404,61	13.030,05	2.254	371	2.625
	23,10	3.278,54	26.544,75	29.823,29	5.749	417	6.166
	Total	5.903,98	36.949,36	42.853,34	8.003	788	8.791

Percebe-se que para as duas regionais com desempenho crítico devido à causa DA, as interrupções creditadas às descargas atmosféricas diretas nas redes rurais (IDA_{DIR}) representam mais de 90% do total previsto (IDA_{TOT}) e resultam em índice superior a 50 interrupções/100 km RD/ano. Isto deve-se principalmente ao elevado nível de isolamento das redes rurais RGE que em sua grande maioria, são construídas com estruturas do tipo T, com poste e cruzeta de madeira, e pelo baixo coeficiente de blindagem proporcionado pelas características ambientais. Além disso, a proporção de redes com características urbanas nestas regionais é muito pequena, ou seja, menos de 15%.

Estas conclusões também se aplicam aos resultados obtidos nas simulações efetuadas para o sistema RGE geral. Das 8.791 interrupções previstas para o ano de 2006, estima-se que cerca de 8.000 seriam provocadas por descargas diretas nas redes. A diferença de cerca de 10% entre os desligamentos reais, 9.895 e os desligamentos estimados 8791, considerando-se o GFD médio, pode ser creditada principalmente ao sistema de identificação de causas de desligamentos. Considerando que as descargas atmosféricas são provenientes de trovoadas que muitas vezes são acompanhadas de fortes ventos e chuvas, é inevitável que interrupções provocadas por estes fatores sejam muitas vezes consideradas como provenientes das ações das descargas atmosféricas.

5. Ações para Melhoria no Desempenho do Sistema

Ao contrário do desenvolvimento matemático necessário para os cálculos das sobretensões e estimativas de interrupções provocadas por descargas atmosféricas que atingem pontos próximos as redes, que são bastante complexos, as ações para redução destas interrupções são bastante simples e muitas vezes de custo relativamente baixo a ponto de justificar economicamente suas aplicações. No entanto, nos casos de melhoria do desempenho de redes de distribuição frente a descargas atmosféricas diretas, as soluções atuais não são baratas nem simples e o retorno do investimento necessário nestas dependerá de diversos fatores, entre eles a importância das cargas.

Para a avaliação das soluções possíveis para o sistema RGE, apresentadas a seguir, utilizou-se novamente a ferramenta computacional *ELF*.

Aumento do Nível de Isolamento das Estruturas

O aumento do nível de isolamento das estruturas suporte é uma solução possível e muitas vezes economicamente viável para a melhoria do desempenho de redes de distribuição frente a tensões induzidas. No caso de descargas atmosféricas diretas, esta solução não é viável. Uma descarga com valor de corrente de pico relativamente baixo, como por exemplo, 5 kA (99% das descargas apresentam valor de pico superior a 5 kA), provoca uma tensão na rede de distribuição próxima de 750 kV, valor este muito superior aos níveis de isolamento usuais em redes de distribuição, que dificilmente ultrapassam 200 kV. No caso específico da RGE, as estruturas tipo T, são estaiadas com cabos de aço, a aproximadamente cada 8 vãos. Com isto o nível de isolamento das redes de 23,1 kV pode ser considerado como próximo de 200 kV.

Uso de Pára-Raios de Distribuição

Os supressores de surto ou pára-raios de distribuição são utilizados normalmente para proteger equipamentos importantes das redes de distribuição, tais como, transformadores, religadores e reguladores. Funcionam como altas impedâncias em condições normais e como baixas impedâncias frente a impulsos de tensão, conduzindo a corrente para a terra e limitando a sobretensão a níveis aceitáveis pelos equipamentos.

Da mesma forma que no item anterior, a simples utilização de pára-raios em redes aéreas com o objetivo de reduzir o índice de desligamentos somente tem resultados positivos quando o foco é tensão induzida. Os elevados valores de corrente desenvolvidos durante uma descarga direta provocam ruptura no isolamento das estruturas sem pára-raios. Com isto o uso de pára-raios para a proteção contra descargas diretas somente é efetivo se instalado em todas as estruturas da rede que se pretende proteger. Além disso, os elevados níveis de energia a que são submetidos os pára-raios elevam significativamente a taxa de falhas deste equipamento. O gráfico da figura 7 mostra o comportamento dos desligamentos de redes rurais e urbanas (tensão nominal de 23,1 kV) em função do número de pára-raios utilizados.

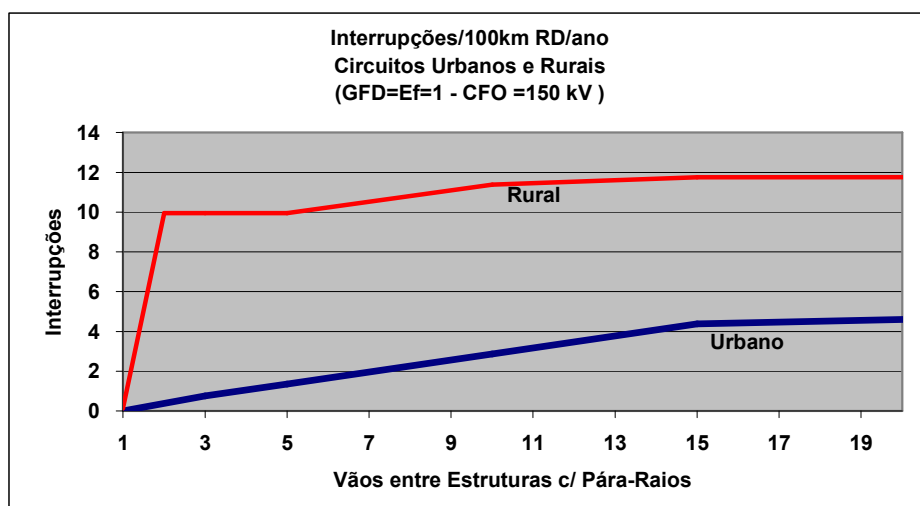


Figura 7

Uso de Cabo Guarda ou Cobertura

Cabos de cobertura são condutores aterrados, instalados acima dos condutores fase, com o objetivo de interceptar as descargas diretas que eventualmente cairiam sobre estes. Para que os cabos de cobertura tenham desempenho satisfatório alguns cuidados devem ser tomados no projeto e instalação:

- Utilizar aterramento em toda estrutura;
- Ter bom projeto de estrutura de forma que haja boa isolamento entre o condutor de aterramento (descida) e os condutores fase;
- Apresentar ângulo de proteção inferior a 45° para eliminar a possibilidade de descargas diretas nas fases;
- Apresentar baixos valores de resistência de aterramento para reduzir as reflexões e conseqüentemente as tensões induzidas nas fases.

Apesar do solo da região de concessão da RGE, apresentar valores médios de resistividade ($700 \Omega \times m$) muito inferiores à maioria das regiões brasileiras que apresentam condições críticas frente às descargas atmosféricas, o uso dos aterramentos convencionais utilizados na distribuição não são suficientes para melhorar o desempenho das redes com cabo guarda. O gráfico da figura 8 mostra os desligamentos por 100 km de RD previstos para uma rede com cabo de cobertura na região crítica em função do número de hastes do sistema de aterramento com hastes alinhadas. O ponto *PI* indica o

número de desligamentos com a utilização de estruturas convencionais e a linha *Pcc* indica os desligamentos previstos para redes com cabo de cobertura. Importante salientar que a metodologia utilizada não considera a influência das dimensões do aterramento quando da passagem do surto. No entanto, pelos resultados percebe-se que mesmo com esta simplificação o aumento do número de hastes nos aterramentos não implica em mudanças significativas no desempenho da rede.

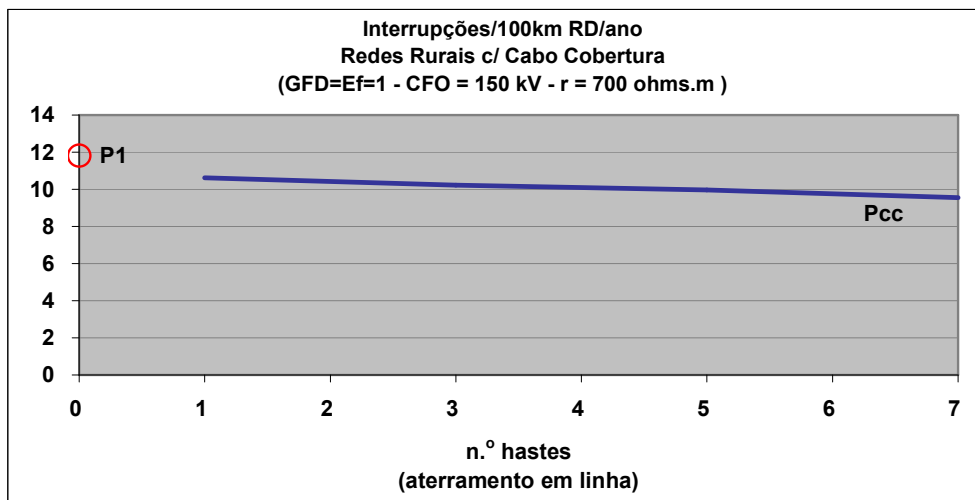


Figura 8

Uso de Cabo Guarda em Conjunto com Pára-Raios

Com um bom projeto de estrutura, o uso do cabo guarda pode eliminar totalmente a possibilidade de descarga direta nos condutores fase da rede e com isto, reduzir significativamente os valores máximos de sobretensões desenvolvidos sobre estes. Conseqüentemente, dependendo das características da rede a aplicação conjunta de pára-raios pode implicar em melhorias consideráveis no seu desempenho. O gráfico da figura 9 mostra o comportamento de uma rede com estruturas tipo *P_{CC}* (rede com isoladores do tipo pilar instalados diretamente em postes de concreto com cabo de cobertura) em uma região com resistividade igual $700 \Omega \times m$ em função do número de pára-raios. Neste percebe-se que para uma rede com estas características a utilização de pára-raios pode ser viável. Utilizando-se um conjunto de pára-raios a cada 5 vãos pode-se reduzir pela metade o número de interrupções inicialmente previsto e reduzindo-se este intervalo e instalando-se pára-raios a cada dois postes as interrupções seriam reduzidas a zero.

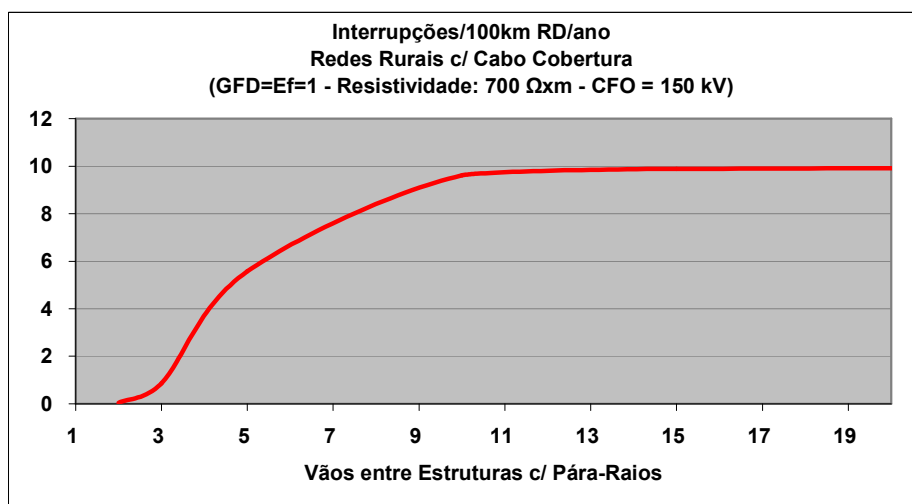


Figura 9

6. Conclusões

Observações Gerais do Sistema

Neste estudo confirmou-se que as causas ambientais são as principais responsáveis pelos elevados índices de desligamentos da RGE e em termos de DEC a causa 303, DA, representa o segundo maior índice contribuindo com 3,72 horas para a formação do DEC total da Empresa, o que corresponde a mais de 12%. Detectou-se também que apesar de ocorrerem com maior frequência nos meses de primavera e verão, os problemas devido às DA acontecem significativamente nos outros meses do ano, o que difere da maioria dos sistemas de distribuição de outras regiões.

Os índices mais críticos relativos à causa 303 ocorrem principalmente nas regiões Noroeste e Centro Ocidental do Estado coincidindo com pontos indicados nos mapas de densidade de descargas da como sendo de elevada atividade atmosférica.

Descargas Diretas na Rede

Há evidências de que a principal causa de desligamentos em muitas regiões do sistema RGE é a descarga atmosférica direta na rede. As redes consideradas não urbanas representam 86% do total de redes e são comuns as ocorrências de postes e cruzetas destruídos por descargas. Outra constatação freqüente é que apesar dos elevados índices de desligamentos por descarga atmosférica, os alimentadores críticos que estão sempre localizados em áreas de pouca vegetação, e apresentam muitos pára-raios antigos com invólucro em porcelana aparentando boas condições de funcionamento. Isto aparentemente indica que os mesmos estão sendo pouco solicitados.

Os cálculos efetuados com a planilha ELF, confirmam que pelo nível de isolamento das redes rurais, a maior parcela dos desligamentos deve ser proveniente das descargas diretas. Isto se deve às características geográficas e a grande área de plantio localizada na região de concessão, ou seja, alta densidade de descargas e baixo fator de blindagem.

Redes com Cabo de Cobertura

Pelos resultados obtidos nas simulações feitas através da planilha *ELF* percebe-se que o uso simples de cabos de cobertura não deverá reduzir os índices de desligamentos das redes. Com os valores médios de resistividade do solo da região de concessão e o padrão de aterramento da Empresa, redes com cabo de cobertura somente terão efeito positivo se protegidas também com pára-raios. Isto deverá aumentar significativamente o custo de implantação de redes e sua utilização deve ser condicionada a estudos que comprovem sua viabilidade econômica.

Recomendações para Futuros Estudos

Proteção Contra Descargas Diretas

Considerando que a cada ano o nível de exigência de consumidores e órgão regulador vem aumentando sugere-se a implantação de estudos que busquem soluções economicamente viáveis para o problema das descargas diretas em regiões com baixo fator de blindagem. Além disso, tendo em vista a complexidade dos cálculos, as metodologias de cálculo em uso fazem muitas simplificações tornando os modelos conservadores. Estudos considerando os efeitos corona e ionização do solo que atuam na atenuação das sobretensões podem trazer resultados positivos.

Atualização dos Dados

Considerando-se que está se tratando com um fenômeno da natureza cujo comportamento é aleatório, quanto maior o período de observação e análise dos dados, maior será a precisão nos resultados alcançados. Por isto a atualização constante dos dados de descargas poderá auxiliar na obtenção ou atualização de metodologias de proteção.

Metodologia de Identificação de Causas de Interrupções

Trabalhos de avaliação dos dados de interrupções relacionando-os com os relatórios de ocorrência de descargas poderão aferir a atual metodologia de identificação de faltas adotada pela Concessionária. Há evidências que a atual metodologia apresenta muitas incertezas.

7. Referências bibliográficas

- 1 RAIZER, A., PAULINO J.O., COELHO V. L., et al, “Desenvolvimento de Modelo de Proteção Contra Sobretensões em Redes de Distribuição (MT/BT) Devido a Descargas Atmosféricas”, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis – SC, Projeto ANEEL 0397-025-2005 – Relatório Final, Jul 2007.
- 2 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE DISTRIBUIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA – ABRADÉE; <http://abradee.org.br/>. Acesso em 22/09/2005.
- 3 CAMPOS, V. F., Controle da Qualidade Total. Fundação Christiano Ottoni/Bloch Editores S.A., Belo Horizonte – MG, 1992.
- 4 Metal-oxide surge arresters without gap for a.c. systems, IEC International Standard 60099_4 Second edition 2004-05.
- 5 RIO GRANDE ENERGIA – RGE, <http://www.rge.com.br>. Acesso em 26/09/2005.
- 6 PIMENTA, R., Brasil República, www.Brasilrepublica.com.br. Acesso em 25/11/2005.
- 7 COELHO, V.L., Influência das descargas atmosféricas no desempenho de sistemas aéreos de distribuição de energia elétrica. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, 14 de outubro de 2005.
- 8 INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE, ELAT – Grupo de Eletricidade Atmosférica, <http://www.dge.inpe.br/elat>. Acesso em 11/04/2004.
- 9 PARRISH, D.E., KVALTINE, D.J.; Lightning faults on distribution lines. IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 4, N.o 4, October 1989.
- 10 CINIERI, E., MUZI, F., Lightning induced overvoltages. Improvement in quality of service in MV distribution lines by addition of shield wires. IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 11, No 1, January 1996.
- 11 HIDAYAT, S.; HARYANTO, N., SRYATMO, E.; Lightning characteristics and performance of distribution system around Jakarta. 0-7803-7525-4-2002 IEEE.
- 12 IEEE Guide for Improving the Lightning Performance of Electric Power Overhead Distribution lines. Approved 09 February 2004, IEEE Standards Board. IEEE Std 1410TM. ISBN 0-7381-3991-2, SS95218.