



XVIII Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica

SENDI 2008 - 06 a 10 de outubro

Olinda - Pernambuco - Brasil

Desligamentos de redes aéreas de distribuição no verão

Guilherme Filippo Filho
UNESP - Guaratinguetá
gfilippo@feg.unesp.br

João Inocêncio Ávila
Energias do Brasil
joao.avila@enbr.com.br

Lucca Zamboni
Energias do Brasil
lucca.zamboni@enbr.com.br

Palavras chave:

Análise estatística
Bases fusíveis
Desligamentos
Estações transformadoras
Verão

RESUMO

Este trabalho apresenta uma breve análise estatística de desligamentos de bases fusíveis (BF) e estações transformadoras (ET) durante o verão de 2006. Como amostra foram tomadas todas as ocorrências verificadas numa cidade da área de concessão com cerca de 100.000 habitantes, localizada no médio Vale do Paraíba – SP. Os desligamentos foram analisados e quantificados com relação à atribuição de causas, duração e distribuição ao longo dos dias e das horas. Esses dados foram confrontados com as condições meteorológicas observadas numa estação de coleta de dados existente no município. Foram identificados e caracterizados os dias com ocorrências massivas de desligamentos para fins de estabelecimento de seus padrões. Tais informações são relevantes para a otimização da manutenção corretiva.

1. OBJETIVOS

O verão costuma ser um tormento para os responsáveis pela manutenção das redes aéreas de distribuição. As tempestades típicas de verão nas regiões tropicais levam a um aumento extraordinário das ocorrências de desligamentos de chaves fusíveis, tanto de proteção de ramais – bases fusíveis (BF), como de estações transformadoras (ET). As principais causas para o estabelecimento de faltas que levam à atuação dos elos fusíveis de BFs e ETs são os efeitos conseqüentes das descargas atmosféricas e das rajadas de vento.

As rajadas de vento costumam levar vários tipos de objetos a tocarem a rede energizada, notadamente galhos de árvores. Não raro derrubam árvores sobre a rede. Sob certas circunstâncias e, especialmente quando molhados, galhos podem causar faltas entre fases ou entre fase e terra. A condição para o estabelecimento dessas faltas é complexa e só recentemente tem sido estudada em profundidade¹. Em

geral o contato incidental de árvores com a rede não causa correntes de falta. Também é comum o vento carregar chapas ou folhas metálicas de telhados, placas de trânsito e de propaganda em direção à rede causando curto-circuito. Raramente essa situação é identificada com clareza por ocasião do atendimento. As rajadas de vento podem apresentar vórtices que aumentam muito a turbulência. Nesses casos podem promover toques incidentais entre cabos e, até mesmo, causar o rompimento, inclusive de estais.

As descargas atmosféricas que atingem a rede diretamente são vistas como um falta pelo elemento de proteção durante seu curso para a terra². Disjuntores e religadoras atuam abrindo e fechando o circuito em intervalos de tempo suficientes para a dissipação do distúrbio. Esses desligamentos são classificados como “momentâneos” e estão fora do foco deste trabalho. Quando eventos dessa natureza ocorrem num ramal é comum a abertura de BFs, caracterizando um desligamento classificado como “sustentado”. Muitas vezes, descargas atmosféricas nas proximidades da rede têm a capacidade de induzir algum tipo de falta, especialmente na rede secundária, levando à atuação da proteção da ET³.

Independentemente das tempestades sazonais, as redes elétricas de distribuição sofrem desligamentos por uma miríade de outras causas, as quais continuam presentes mesmo na temporada de verão.

Este trabalho apresenta um levantamento dos desligamentos de BFs e ETs entre os meses de novembro de 2005 e maio de 2006, com ênfase especial no período de verão, entre 21/12/05 e 20/03/06. É conveniente observar as ocorrências um pouco antes e pouco depois da estação de verão para fins de comparações.

Para este estudo foi escolhido o município de Guaratinguetá. Trata-se de uma cidade com cerca de 100.000 habitantes localizada no médio Vale do Paraíba – SP, com área aproximada de 720 km². O município apresenta uma economia diversificada com atividades significativas nos setores industrial, comercial, agrícola e de serviços. Foi considerado que essa cidade é bem representativa das características médias da região da concessão, inclusive com relação à extensão de redes urbana e rural, curva de carga, densidade populacional, características topográficas, índice cerâmico, etc.

O sistema de distribuição de energia elétrica é inteiramente aéreo com 9 circuitos mais 1 de socorro. Existem cerca de 2500 transformadores de poste, 450 bases fusíveis e 25 religadoras. Esse sistema apresenta um excelente desempenho com relação aos índices de continuidade de fornecimento. Segundo dados do INPE⁴, a intensidade de descargas atmosféricas entre 2005 e 2006 foi de 4,5 raios/km²/ano.

Outro fator que motivou essa escolha foi a existência de uma estação de coleta de dados meteorológicos do CPTEC – INPE, localizado numa posição privilegiada dentro da zona urbana, no interior do Campus da Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá da UNESP.

2. MÉTODOS

Para essa análise foram coletados dados de duas bases distintas. A primeira, de propriedade da Bandeirante, possui os registros de todas as ocorrências verificadas na rede elétrica de distribuição. A

segunda, de propriedade do INPE, possui registros das observações da estação meteorológica de Guaratinguetá.

Os dados coletados das ocorrências da rede foram: identificação do ponto de desligamento (BF e ET), circuito, data e hora do conhecimento, causa atribuída, duração do desligamento e número de consumidores afetados. A hora do conhecimento é a mais próxima possível do exato momento da ocorrência. É a hora que o centro de operações tomou conhecimento da ocorrência, geralmente a partir da informação do consumidor através do *call center*. A causa do desligamento é atribuída pela equipe de atendimento da ocorrência. Não se trata de uma atribuição determinística. Essa informação tem um certo grau de subjetividade à medida que depende da experiência e sensibilidade da equipe. Portanto, seu caráter é mais orientativo.

Os dados meteorológicos da estação são registrados a cada 3 horas (0:00, 3:00, 6:00,...21:00). Não existe ajuste para horário de verão. Os dados coletados foram: volume de chuva em cada intervalo, temperatura, máxima velocidade de vento (rajada) no intervalo. Não é incomum a perda de algum registro. Em ambas as bases existem uma série de outras informações que não serão utilizadas para o presente estudo.

3. RESULTADOS

3.1. *Quantificação dos desligamentos de verão*

A figura 1 mostra o número médio de desligamentos diários de BFs e ETs entre novembro de 2005 e maio de 2006. No mês de maio não foi registrada nenhuma tempestade. Sendo assim, tomando esse mês como base, observa-se que as ocorrências de desligamentos em janeiro e fevereiro foram cinco vezes maiores, indicando os efeitos deletérios do verão para rede elétrica.

Durante o período de verão, os desligamentos de BFs e ETs praticamente se equivalem em termos absolutos. Em média foram registrados 1,5 desligamento ET/dia e 1,4 desligamento BF/dia. No total foram 267 ocorrências registradas. Entretanto, a taxa de desligamento de BFs (26%) é cerca de cinco vezes superior à de ETs (5,4%). A título de comparação, um levantamento sobre desligamentos de ETs realizado na Flórida⁵ indicou uma taxa anual de 4%.

Não foram registrados desligamentos de BFs em 34 dos 90 dias do verão, ao passo que para as ETs foram apenas 23 dias sem desligamentos. As Figuras 2 e 3 mostram a distribuição dos desligamentos de BFs e ETs ao longo dos dias de verão.

As Figuras 4 e 5 mostram as causas atribuídas aos desligamentos. Quando os desligamentos são atribuídos a causas como “raio”, “vento” e “árvore” em verdade eles são conseqüentes das intempéries. Pode-se observar que 47% dos desligamentos de ETs são conseqüentes das intempéries, enquanto para BFs esse percentual salta para 76%. Essa evidência parece bastante óbvia uma vez que os ramais estão muito mais expostos ao ambiente. Pode-se observar que as ocorrências atribuídas a “árvore” são de 22% para ETs e 44% para BFs. No estudo realizado na Flórida⁵ foi relatado que 25% dos desligamentos das ETs foram causados por descargas atmosféricas. Por aqui, 22% dos desligamentos foram atribuídos a esse mesmo motivo. Algo equivalente ocorreu para BFs, com 25%.

Com relação à duração dos desligamentos foram observados tempos médios de 3,5 horas para ETs e 4,4 horas para BFs. Quando os desligamentos foram atribuídos a “árvore” a duração média foi de 3,5 horas para ETs e 5,1 hora para BFs. Em caso de “raio” a duração média do desligamento foi de 6,1 horas para ETs e 4,3 horas para BFs.

Em certos dias do verão as ocorrências de desligamento aumentam de forma significativa. São dias de desligamentos “massivos”, associados a tempestades.

3.2. Desligamentos massivos

O exame da base de dados de ocorrências mostrou que em apenas 8 dias do período de verão foram registrados 80 desligamentos, que equivale a cerca de 30% de todas as ocorrências da estação. A média de desligamentos nesses dias é três vezes superior à média do período.

Preliminarmente procurou-se identificar se as ocorrências tiveram uma abrangência local ou regional. Para tanto foram levantados todos os desligamentos sustentados de disjuntores de circuitos de todas as subestações da empresa. Isso mostrou que existe acentuada correlação entre os desligamentos de disjuntores de todo o sistema e os desligamentos de BFs e ETs de circuitos vinculados a uma dada subestação. Para o caso específico dos circuitos de Guaratinguetá essa correlação é mostrada na Figura 6. Os dias de desligamentos massivos em Guaratinguetá foram coincidentes com os dias de maior atuação dos disjuntores de todas as subestações do sistema. Portanto, as ocorrências desses dias se devem a eventos climáticos de abrangência regional. Tipicamente são aproximações de frentes frias, caracterizadas por ventos fortes, descargas atmosféricas, redução abrupta da temperatura e, quase sempre seguidas por chuvas.

A tabela 1 mostra de forma sistematizada as ocorrências observadas nesses dias. Primeiramente são quantificadas todas as ocorrências de desligamentos de BFs ETs. Em seguida foram identificados os intervalos horários com maior incidência de desligamentos. Observa-se que a duração média desses intervalos é de 2 horas, sendo que nenhum deles é superior a 3 horas. Todos esses desligamentos tiveram causas atribuídas a “raio”, “vento” e “árvore”. É interessante notar que 72% dos desligamentos de BFs foram concentrados nesses intervalos, enquanto para ETs a concentração ficou em 44%. Em termos absolutos o número de desligamentos de BFs foi praticamente o dobro de desligamentos de ETs. A taxa de desligamentos de BFs (30/450) foi dez vezes superior a taxa de desligamentos de ETs (17/2500).

A parte inferior da tabela mostra as condições meteorológicas registradas o mais próximo possível dos intervalos concentrados de desligamentos. Deve-se recordar que esses registros são feitos a cada 3 horas, sem ajuste para o horário de verão. Estão indicados os valores máximos das rajadas de vento (m/s), volume de chuvas (mm) e queda de temperatura – temperatura diferencial (C). Não existe contador de descargas atmosféricas na estação de coleta de dados. Confrontando as informações coletadas da estação, as causas atribuídas e o desligamento geral de disjuntores, é quase certo que nesses dias houve aproximação de frentes frias.

A absoluta maioria das ocorrências aconteceu entre 17:00 e 20:00 horas. Embora não seja possível precisar o instante da chegada das chuvas e nem o exato momento dos desligamentos, existem fortes

indícios que os desligamentos das BFs ocorrem, em sua maioria, momentos antes ou nos primeiros instantes da chuva. Nos dias 23/jan e 18/fev não foram registradas chuvas e, coincidentemente, não foram registrados desligamentos de BFs no intervalo considerado.

3.3. Características do verão 2006

Não foram registradas ocorrências de chuvas em 42 dias, sendo que em 2 desses dias existiram desligamentos massivos. Foram 24 dias com chuvas inferiores a 10 mm (2 desligamentos), 10 dias com chuvas entre 10 e 20 mm, e 12 dias com volumes superiores a 20 mm (4 dias de desligamentos). Por 2 dias os registros foram perdidos. No total o volume de chuvas foi de 610 mm, aproximadamente. Em 8 dias de chuvas pesadas não aconteceram ocorrências massivas de desligamentos, reforçando a tese da aproximação de frentes como causa principal.

Foram registradas rajadas de vento superiores a 25 m/s (90 km/h) por 26 dias, sendo que em apenas 5 deles houve desligamentos massivos. Os efeitos de rajadas esporádicas não causam grandes transtornos.

Embora não tenham sido coletados dados sobre descargas atmosféricas, existem excelentes trabalhos na literatura que mostram a situação típica para a região do trópico de Capricórnio⁶. Sabe-se que chegam entre 25 e 30 sistemas frontais na região do sudeste do Brasil⁵, donde conclui-se que pelo menos 1/3 deles causam eventos massivos de desligamentos de ETs e, especialmente de BFs.

4. CONCLUSÕES

A sistematização dos resultados encontrados para o verão pode ser assim exposta:

- o mês de maio apresentou o menor índice de desligamentos de BFs e ETs, dada a ausência de tempestades e a baixa atividade de descargas atmosféricas,
- no verão, o índice de desligamentos é, em média, 5 vezes superior ao mês de maio,
- os desligamentos de BFs e ETs ocorrem praticamente na mesma proporção,
- a taxa de desligamentos de BFs é cerca 5 vezes superior à de ETs,
- 76% dos desligamentos de BFs pode ser atribuído às intempéries, enquanto para ETs esse índice é de 44%,
- cerca de 25% dos desligamentos de BFs e ETs são atribuídos às descargas atmosféricas,
- em 10% dos dias de verão ocorrem desligamentos massivos, quando o índice de desligamentos aumenta em cerca de 3 vezes,
- os dias de desligamentos massivos estão associados a tempestades, particularmente devido à chegada de sistemas frontais,
- as BFs são muito mais suscetíveis às tempestades que as ETs, com uma taxa de desligamento cerca de 10 vezes superior,
- chuvas pesadas ou rajadas esporádicas, dissociadas de aproximação de sistemas frontais, não causam grandes transtornos,
- cerca de 1/3 dos sistemas frontais causam desligamentos massivos,
- existe correlação entre os desligamentos de BFs e ETs vinculados a uma SE específica e os desligamentos sustentados de disjuntores do conjunto total de SEs,

- sugere-se investigar se os acentuados gradientes térmicos que ocorrem nos dias de elevadas temperaturas seguido de chuvas poderiam causar o rompimento de elos fusíveis.

5. REFERÊNCIAS

1. Appelt, P. J. & Goodfellow, J. W. Research on how trees cause interruptions – applications to vegetation management. IEEE Rural Electric Power Conference on Scottsdale, Arizona, paper 04C6, 10 p.
2. Heine, P.; Turunen, J.; Lethonen, M. Measured faults during lightning storms. IEEE PowerTech 2005, St. Petersburg, 2005, 5p.
3. Lambert, R.; Xémard, A.; Fleury, G; Tarafy, R.; Zeddami, A. Estimating the expected failure rate of distribution type equipment due to lightning induced overvoltages. IEEE Transactions on Power Delivery, v.14, n° 4, oct 1999. pp. 1394-1400.
4. INPE – *Ranking de incidências de descargas atmosféricas por município do Brasil*. Portal ELAT. www.inpe.br/ranking, acessado em 15 de janeiro de 2008.
5. Parrish, D. E. Lightning-caused distribution transformer outages on a Florida distribution system. IEEE Transactions on Power Delivery, v. 6, n° 2, apr 1991, pp. 880-887.
6. Pinto, O. Jr. et al. A seven-year study about negative cloud-to-ground lightning flash characteristics in Southeastern Brazil. Journal of Atmospheric and Solar Terrestrial Physics, v 65, 2003, pp 739-748.

ANEXO

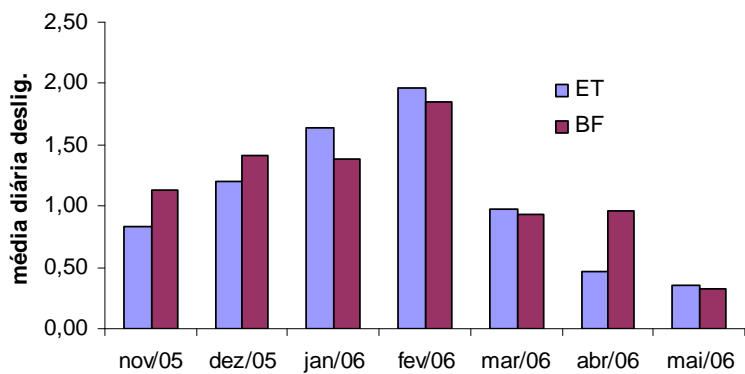


Figura 1: média diária de desligamentos de BFs e ETs entre nov/05 e jun/06

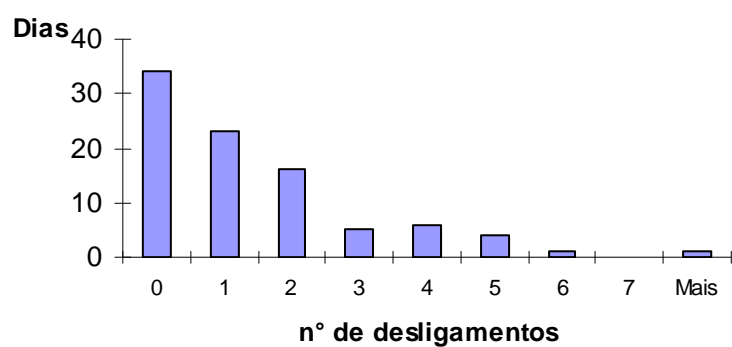


Figura 2: histograma dos desligamentos de BF – verão 2006

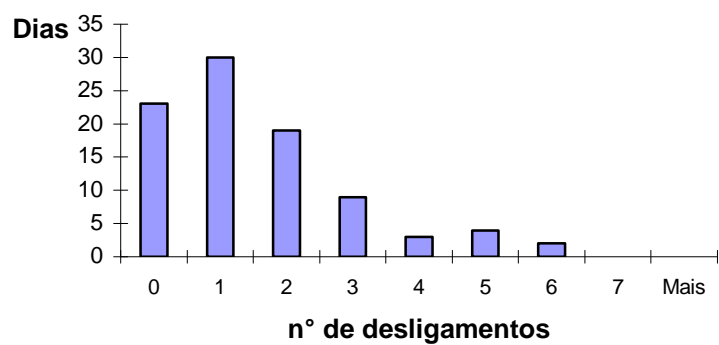


Figura 3: histograma dos desligamentos de ET – verão de 2006

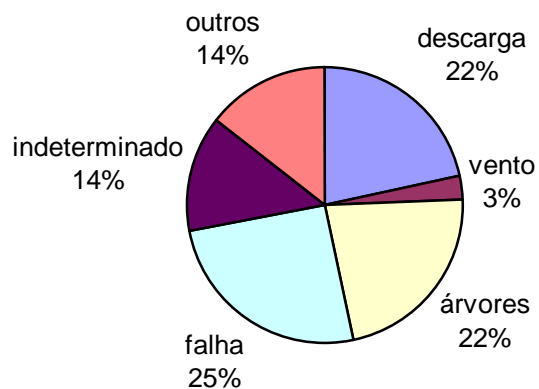


Figura 4: causas de desligamentos de ET – verão 2006

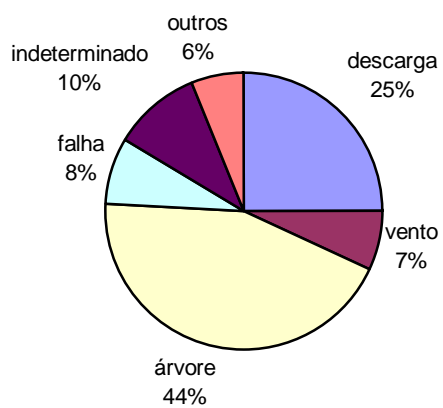


Figura 5: causas de desligamentos de BF – verão 2006

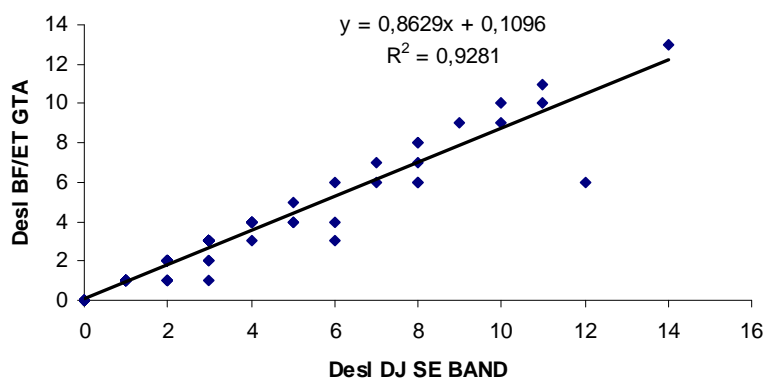


Figura 6: correlação entre desligamentos de DJ (Band) X BF/ET (Gta)

Tabela 1: dados dos dias com desligamentos massivos

	27/dez	8/jan	18/jan	23/jan	25-26/jan(*)	10/fev	18/fev	10/mar
Número de ocorrências registradas no dia								
BF	5	5	6	2	9	8	3	4
ET	3	5	4	6	4	5	6	4
Ocorrências atribuídas a intempéries em intervalo concentrado								
início	17:00	17:30	17:30	18:30	23:00	17:00	15:00	16:30
fim	19:00	19:30	20:30	20:30	00:30	19:30	16:00	18:00
BF	4	5	5	0	5	8	0	3
ET	1	3	1	5	0	3	2	2
Condições meteorológicas mais próximas ao intervalo								
rajada (m/s)	27,9	38,5	23,3	32,1	21,9	32	17,5	33
chuva (mm)	7	22	0,5	0	6	22	0	20
T dif (C)	8	11	13	9	15	10	8	12
(*) máx temp verão = 41C								