



Grupo de Estudo de Proteção, Medição, Controle e Automação em Sistemas de Potência-GPC

Determinação de Padrões de Perturbações para auxílio à definição de Gatilhos de Registradores Oscilográficos de Período Dinâmico.

**JONAS ROBERTO PESENTE(1); RODRIGO ANDRADE RAMOS(2);
MIGUEL MORETO(3); ISABELA AGUIAR DIAS(4);**

IB(1); USP(2); UFSC(3); FPTI(4);

RESUMO

Este trabalho propõe um método para classificação de registros de longo termo que possam ser empregados na definição dos gatilhos de registradores de perturbações. Ao contrário do usual, onde uma abordagem determinística é empregada, o processo de decisão é aqui fundamentado em uma árvore de decisão treinada levando em consideração um conjunto de condições iniciais prováveis e parâmetros de perturbações. A estrutura proposta resulta em valores absolutos e taxas de variação de grandezas que conduzem a uma classificação de alto grau de precisão e podem ser diretamente utilizadas na definição dos gatilhos de registradores de perturbações.

PALAVRAS-CHAVE

Padrões de Perturbações em Sistemas Elétricos, Análise Automática de Perturbações.

1.0 - INTRODUÇÃO

Condições de falta são situações críticas nos sistemas elétricos, onde um conjunto de dispositivos automáticos (tais como relés de proteção e disjuntores, por exemplo) devem atuar precisamente para garantir que nenhum equipamento seja danificado e para restabelecer uma condição operativa de segurança para o sistema (ANDERSON, 1998).

Esta atividade se torna ainda mais complexa com o aumento das tecnologias de microeletrônica embarcada, assim como seu barateamento, porque o número de dispositivos tais como os registradores digitais de perturbações (*Digital Fault Recorders* - DFR), relés digitais de proteção e unidades de medição fasorial (*Phasor Measurement Units* - PMU) têm crescido de forma significativa nos últimos anos, resultando em um montante elevado de dados sendo gerados e armazenados continuamente (KEZUNOVIC et al., 2013).

Adicionalmente, foi reconhecido que, mesmo empregando esforço considerável, é impraticável que os engenheiros dos sistemas elétricos possam analisar esses conjuntos de dados, o que, por outro lado, considerando que na sua maioria se tratam de dados digitais, estes podem ser processados por rotinas computacionais (KEZUNOVIC et al., 2013).

Este contexto conduziu os pesquisadores a desenvolver várias abordagens para realizar a análise de faltas automaticamente, como por exemplo, Hossack et al. (2003) e Kezunovic et al. (1993). Um dos assuntos mais estudados é a classificação de eventos e, junto com as abordagens propostas, a investigação dos padrões para a determinação das possíveis variáveis e valores dos disparos para registrar seletivamente os eventos desejados.

Tipicamente, a classificação de eventos é baseada na definição das variáveis de disparo fundamentada na experiência do engenheiro ou em um conjunto de simulações considerando os eventos a serem registrados (IBRAHIM, 2011). Os estudos mais comuns que figuram na bibliografia consideram o emprego de sistemas especialistas na identificação das magnitudes das grandezas elétricas após faltas (KEZUNOVIC et al., 1993, STYVAKTAKIS et al., 2002, PRADHAN et al., 2004). Uma investigação do uso da decomposição *wavelet* associada a um classificador *fuzzy* é apresentado em Gaouda et al. (2002) e uma comparação de classificadores fundamentados nas técnicas de k-Vizinhos-mais-Próximos, Redes Neurais Artificiais e mínima distância euclidiana aplicadas aos sinais de tensão e corrente decompostos por *wavelet* são apresentados em Olguin et al. (2005).

A despeito da alta precisão da maior parte destas abordagens, muitas delas estão propensas à classificações incorretas ou à incertezas associadas às condições operativas de regime dos sistemas elétricos, resistência de falta e/ou localização da falta. Comparações de eficiência, aplicações e métodos simplificados para melhorar o entendimento de procedimentos de classificação também são comuns na bibliografia (PRADHAN et al., 2004, GAUDA et al., 2002, OLGUIN et al., 2005), e podem, adicionalmente, esclarecer relações entre perturbações, grandezas e condições operativas.

Sobretudo, na operação dos sistemas elétricos, quantidades tais como carregamento, fluxos de potência e níveis de tensão alteram-se randomicamente dentro de certos limites, resultando em um número elevado de combinações que dificilmente podem ser representadas pela análise convencional, deixando uma carência de entendimento dos efeitos destas condições sobre as trajetórias das grandezas armazenadas nos registradores oscilográficos. Este fato sugere o uso de abordagens estatísticas, que são mais adequadas à análise de tal comportamento que as técnicas determinísticas.

Neste trabalho, uma abordagem empregando árvores de decisão na definição dos padrões de perturbações, considerando a estatística do histórico operacional e diferentes eventos, é proposta. No seu treinamento e avaliação, registros de longa duração de um registrador de período dinâmico (*Dynamic Recorder - DR*) foram usados em conjunto com respostas simuladas do sistema elétrico empregando simulações eletromecânicas.

O artigo está estruturado como segue: a Seção 2.0 apresenta uma visão geral das classes típicas de registradores de falta que orientam o desenvolvimento da abordagem. Os fundamentos de relevância da simulação de Monte Carlo e das árvores de decisão, juntamente com o arcabouço teórico da proposta são descritos na Seção 3.0. A Seção 4.0 mostra os resultados obtidos de simulações de um sistema teste e a Seção 5.0 apresenta as conclusões deste trabalho.

2.0 - PERTURBAÇÕES EM SISTEMAS ELÉTRICOS E REGISTROS DE PERTURBAÇÕES

A análise pós-operativa de eventos - tais como os que podem conduzir um sistema elétrico à instabilidade, causar dano a equipamentos (tais como curtos-circuitos e sobretensões) ou que podem conduzir o estado operativo à um estado indesejado e até causar o mau funcionamento de equipamentos (como, por exemplo, condições de desbalanço de carga) - são uma prática comum e importante na melhoria da operação e performance dos sistemas elétricos.

Para realizar esta tarefa, condições de falta e outras grandezas de interesse são tipicamente registradas nas subestações modernas por um conjunto extenso de equipamentos, os quais podem ser amplamente classificados nas famílias de a) *registros de curta duração*, usualmente compostos de DFRs e relés de proteção digitais; b) *registros de longa duração*, tipicamente compostos de registradores de período dinâmico; e c) *registradores do estado de regime permanente*, na sua maioria consistindo de históricos dos sistemas de supervisão e controle (IEEE, 2015). Evidencia-se que as unidades de medição fasorial (PMUs) também podem ser empregadas para monitorar tanto a dinâmica dos sistemas elétricos quanto as grandezas de regime permanente.

Uma síntese destas famílias, tipo de registros, suas funcionalidades e propósitos são apresentados na Tabela 1, onde cada tipo tem por objetivo capturar diferentes fenômenos e seus detalhes de acordo com o período compreendido no registro (MORETO e ROLIM, 2011)¹.

¹ Na Tabela 1, os registros incluindo faltas e sua extinção pela operação do disjuntor correspondente, que comumente duram não mais que 16 ciclos, e os registros que incluem operações como religamento e possuem duração de 20 a 60 ciclos (onde aspectos relacionados à estabilidade não são o foco principal da análise), e que são discriminados pelo Comitê de Proteção dos Sistemas Elétricos do IEEE, são classificados neste trabalho todos como registros de curta duração.

Tabela 1 – Tipo de registros e propósito na análise de perturbações

| Classe | Comprimento do registro | Taxa de amostragem | Propósito | Tipo de registro |
|-------------------------------------|-------------------------|--------------------|--|---------------------------------|
| Registros de Curto Termo (DFR, IED) | 1-5[s] | 4-8 [kHz] | Desempenho da proteção, localização de faltas ou validação de parâmetros | Forma de onda |
| Registros de Longo Termo (DR, PMU) | 60-180[s] | 25-120[Hz] | Desempenho, análise da operação e validação de parâmetros do sistema | Valores Eficazes (ou fasoriais) |
| Regime Permanente (SCADA, PMU) | Dias, meses até anos | 0,25-0,5[Hz] | Recuperação do estado de regime e análise de tendências | Médias de grandezas analógicas |

Todos os dispositivos de registro, com exceção das PMUs (as quais monitoram continuamente as grandezas do sistema elétrico), empregam métodos de disparo para geração de registro de eventos. Estes métodos consideram usualmente valores de magnitude (gatilhos superior e inferior), taxa de variação (positiva ou negativa), mudança de estados digitais (que correspondem a elementos chaveáveis monitorados), disparo cruzado (através do disparo de outro registrador da mesma rede) e entrada manual (usualmente para teste do funcionamento).

Estes métodos são sensibilizados sobre muitas situações normais que geram variações abruptas de grandezas elétricas, tais como chaveamento de elementos de controle de tensão ou de linhas de transmissão, por exemplo, produzindo um número elevado de registros sem informação útil.

Adicionalmente, algumas formas de onda, tais como abertura de linhas após a existência de curtos-circuitos, pode apresentar resultados muito similares à aberturas normais de linhas de transmissão, dificultando sua discriminação através de uma única métrica de disparo.

No intuito de efetuar tal discriminação, classificadores baseados em um conjunto de regras podem ser aplicados para processar os dados, identificar condições de falta, avaliar o desempenho da proteção e analisar a performance do sistema de energia elétrica. Tal conjunto de regras são usualmente testadas em um grande, porém bem definido (determinístico), número de condições iniciais e parâmetros de perturbação, comumente baseado na hipótese de testar as condições extremas (piores-casos) para validar as regras de classificação.

Como citado previamente, esta abordagem determinística baseada nos cenários de piores-casos está sujeita à falha de classificação em casos reais. Na próxima seção, este trabalho propõe um classificador baseado no conceito de árvore de decisão, treinado por casos gerados com base na estatística das condições operacionais mais prováveis, resultando em relações entrada-saída que permitem suplantam a falha de classificação considerando, também, os casos problemáticos.

3.0 - SIMULAÇÕES DE MONTE CARLO E ÁRVORES DE DECISÃO

Está bem estabelecido que o tipo da falta, carregamento do sistema, ângulo de incidência, ponto e resistência de falta são parâmetros que afetam diretamente as tensões e correntes de falta. Usualmente, para garantir a efetividade do diagnóstico da falta e dos métodos de classificação, estes são testados usando um conjunto de simulações que consideram tantas combinações dos referidos parâmetros quanto for possível.

Na prática, entretanto, a tentativa de gerar um sub-conjunto de combinações com significado prático destes parâmetros conduz a uma explosão combinatória, então a abordagem estatística é uma alternativa adequada para a modelagem destas incertezas (tais como tempos de extinção de falta, resistências de falta e condições operacionais do sistema) através de uma distribuição probabilística.

Esta abordagem foi desenvolvida para, inicialmente, definir um conjunto de parâmetros selecionados (os quais influenciam tensões e correntes do sistema elétrico durante e após a falta, e são configurados por comparar uma variável randômica à sua distribuição de probabilidade) e, então, simular um conjunto de perturbações selecionadas e o consequente treinamento do classificador.

As simulações são então realizadas até que uma função de teste atinja um valor dentro de um intervalo de confiança, definido para uma distribuição estatística para os parâmetros selecionados, tal que resulte em um número suficiente de simulações que representem o conjunto principal de variações das grandezas registradas, que são utilizadas para treinar o classificador.

Nesse contexto, o método de Monte Carlo é reconhecido como uma técnica congruente, a qual provê soluções aproximadas que garantem atingir um número de simulações que represente de forma fiável a totalidade das simulações possíveis, incorporando a natureza estatística do processo a partir do histórico existente (RUBINSTEIN e KROESE, 2016).

Esta abordagem é também baseada no conhecido método chamado árvore de decisão. A técnica de árvore é baseada na definição de atributos de classificação, que neste caso devem ser iguais aos parâmetros ajustáveis nos registradores de perturbação. Sua aplicação resulta nos valores dos atributos que permitem discriminar se o registro faz parte de uma ou outra classe. Dentre as vantagens das árvores de decisão, com relação a outros métodos de classificação, é possível citar o fato que elas não estão atreladas a nenhuma distribuição particular dos dados, sendo portanto, adequadas para construção de modelos para qualquer função probabilística (desde que um número suficiente de amostras/simulações seja fornecido).

4.0 - CARACTERÍSTICAS OPERACIONAIS DE ITAIPU

O sistema empregado para o teste do método é um modelo eletromecânico equivalente do sistema elétrico brasileiro baseado nos dados disponibilizados pelo Operador Nacional do Sistema elétrico brasileiro (ONS), orientado, mais especificamente, aos registros de longa duração de Itaipu 60Hz, como ilustrado na Figura 1.

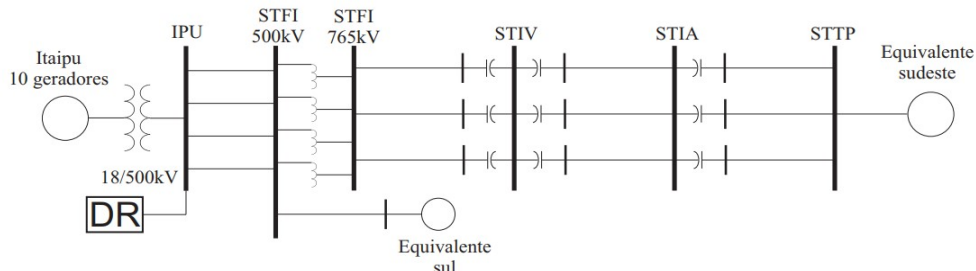


Figura 1 – Ilustração da vizinhança elétrica do registrador de longa duração investigado.

É relevante notar que o sistema empregado inclui a uma empresa a qual os registros de perturbação têm sido usados para analisar blecautes no sistema elétrico brasileiro por mais de 20 anos.

Em Itaipu, registros de período dinâmico são mais frequentemente gerados por faltas no sistema de transmissão, chaveamentos normais (tais como curtos-circuitos nas linhas de 765kV indicadas, sua energização e desenergização, ou mudança de estados dos reatores das subestações STIV e STIA), alívios de carga ou alterações abruptas do fluxo de potência na rede.

A resposta dinâmica do sistema e, portanto, os registros obtidos são altamente afetados pelas condições de regime permanente antes da perturbação, assim como pelos parâmetros que configuram o evento. Do histórico de dados, é possível concluir que a operação desta usina está mais sujeita à certas condições do que outras (basicamente porque faz parte do conjunto de usinas de base do sistema elétrico brasileiro). Tais condições foram caracterizadas em termos da probabilidade do número de geradores em operação, sua geração ativa, a tensão na subestação isolada à gás (no lado de alta tensão dos transformadores-elevadores da usina), e da configuração do sistema de transmissão.

Neste contexto, a Figura 2 apresenta a função de densidade da distribuição probabilística da geração ativa do ano de 2016, a qual foi aproximada por uma distribuição normal Gaussiana, resultante no valor médio de 4.566MW e no desvio padrão de 965MW (16815 amostras, efetuadas a cada 30 minutos).

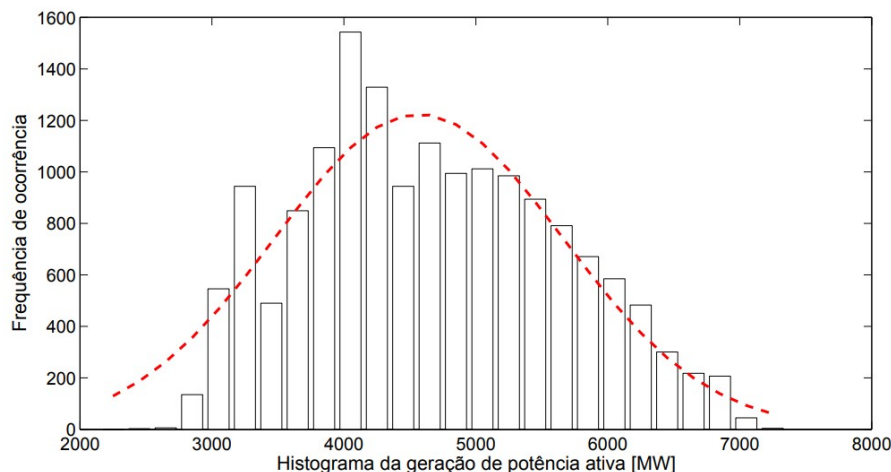


Figura 2 – Distribuição de probabilidade do estado da geração de potência ativa de Itaipu, baseada no histórico.

O número de geradores e de linhas de transmissão foi tratado como variáveis que podem assumir apenas valores finitos, com probabilidade constante de ocorrência, iguais à sua disponibilidade ou indisponibilidade (0 ou 1, respectivamente), tal como apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 – Tipo de registros e propósito na análise de perturbações

| Número de geradores | | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-------------------------------|-------------------|-------|-------|-------|-------|
| Probabilidade [%] | | 36,56 | 21,82 | 28,17 | 13,45 |
| Número de linhas por circuito | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| IPU-STFI | Probabilidade [%] | N | N | 1,97 | 98,03 |
| STFI-STIV | Probabilidade [%] | 2,65 | 6,85 | 90,50 | I |
| STIV-STIA | Probabilidade [%] | N | 1,08 | 98,92 | I |
| STIA-STTP | Probabilidade [%] | N | 1,08 | 98,92 | I |

Da Tabela 2, por exemplo, a probabilidade combinada da usina operar com 9 geradores, 4 linhas de transmissão entre IPU-STFI, 3 linhas entre STFI-STIV, 3 linhas entre STIV e STIA, e 3 linhas entre STIA e STTP, é de $100 \cdot 0,2817 \cdot 0,9803 \cdot 0,905 \cdot 0,9892 \cdot 0,9892 = 24,45\%$.

Na Tabela 2, “N” significa negligenciável (menor que 10^{-5}) e “I” significa impossível. Condições com menos de 7 geradores podem ocorrer, porém são tratadas como a menor quantidade para operação normal.

A tensão da subestação foi também tratada da mesma maneira, porque tem um comportamento estritamente regular. As probabilidades de ocorrência de tensão são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 – Probabilidade da ocorrência da tensão terminal

| Tensão [kV] | Probabilidade [%] |
|-------------|-------------------|
| 500 | 13,42 |
| 502,5 | 4,69 |
| 505 | 12,7 |
| 507,5 | 4,87 |
| 510 | 11,9 |
| 512,5 | 3,87 |
| 515 | 17,00 |
| 517,5 | 5,41 |
| 520 | 14,60 |
| 522,5 | 5,42 |
| 525 | 6,12 |

5.0 - EXPERIMENTOS E RESULTADOS

Nesta seção, a aplicação da abordagem proposta para o sistema teste é apresentada e discutida. Inicialmente um conjunto de simulações empregando o método de Monte Carlo é utilizado para avaliação da proposta – parte dos casos simulados é utilizado para treinamento da árvore de decisão e um segundo conjunto é utilizado para avaliar a efetividade da classificação empregando os valores obtidos para os atributos.

Juntamente aos dados de regime permanente (aos quais foram inseridos variações randômicas de grandezas baseadas na estatística de registros de longo termo em regime permanente), foram simuladas aberturas de linhas do sistema de transmissão por manobra, curto-circuito em uma linha de 765kV entre STFI e STIA seguida do desligamento da linha por atuação da proteção, rejeições de carga no ponto de recepção do sistema de transmissão, energização e desenergização de reatores do sistema de transmissão. As simulações emulam registros de longa duração, com duração de 160 segundos e amostragem de 20Hz. Tais registros contêm medidas de potência ativa e reativa, frequência e tensão de sequência positiva da subestação.

Os atributos existentes nos registradores são valores absolutos (mínimo e máximo) e taxas de variação das grandezas disponíveis. Nesta etapa, todos esses atributos são empregados na construção da árvore de decisão.

Referente à configuração da simulação, além da condição de regime permanente pré-perturbação, são consideradas ainda variações na duração da falta, sua localização e resistência (no caso de um curto-circuito), e o montante de rejeição de carga no caso de corte de carga. As hipóteses assumidas para a distribuição estatística de tais parâmetros são as seguintes:

- Resistência de Falta (R_f): nas simulações, os valores deste parâmetro são escolhidos de acordo com uma distribuição normal de probabilidade, de valores máximo e mínimo de 100Ω e 15Ω , respectivamente, tal como citado em De Andrade e Sorrentino (2010), valor médio de $67,5 \Omega$ e desvio padrão de 10Ω .
- Duração da perturbação (t_d): a escolha de t_d é feita com base em uma função de distribuição normal, dentro da faixa compreendida entre 33ms e 92ms, com valor médio de 40ms e desvio padrão de 5ms.
- Localização de Falta (L_f): L_f é escolhida de acordo com uma distribuição uniforme de probabilidade, entre 1 e 99% do comprimento da linha de transmissão.

- Corte de carga (L_C): de forma similar a R_f e t_d , L_C também foi definido por uma função de distribuição normal. Os valores escolhidos entre L_{\min} e L_{\max} , os quais são definidos como 50% menor e 50% maior do que o valor médio (800MW), respectivamente. O desvio padrão utilizado para esta função de probabilidade foi igual à 100MW.

O processo de emulação dos registros de longa duração em Itaipu por simulações considerando a abordagem estatística descrita é ilustrada na Figura 3.

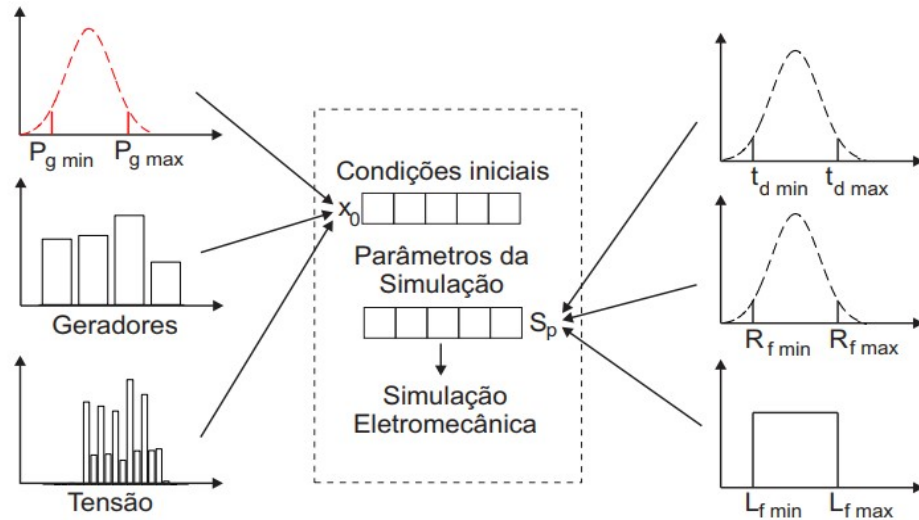


Figura 3 – Composição dos parâmetros de simulação para geração da base de dados.

O treinamento da árvore de decisão é iniciado com 10 simulações de cada tipo de evento (totalizando 70 registros), e a efetividade dos atributos é avaliada com relação à uma base arbitrária de 300 registros de cada tipo de evento (2100 registros). Ao conjunto de treinamento são incorporados novos registros até que o conjunto de classificação atinja a precisão arbitrária de 99%.

Neste experimento, foram necessários 295 registros para atingir essa precisão, como ilustrado na Figura 4.

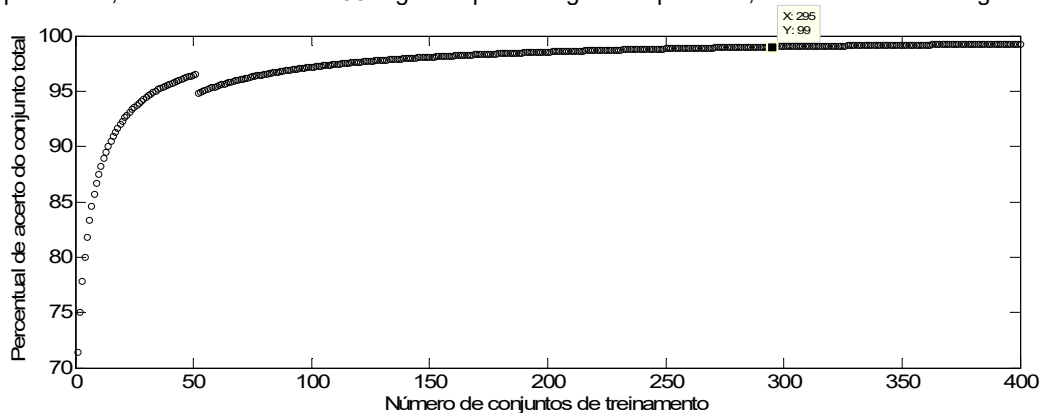


Figura 4 – Ilustração do número de registros necessário para obtenção da precisão de classificação desejada.

De forma comparativa, se fossem considerados simular todos os casos considerando cada parâmetro com 10 valores, somente para o caso de curto circuito seriam necessárias $4,7 \cdot 10^6$ simulações. O método proposto então é eficiente em reduzir o esforço necessário para obter os valores dos atributos para classificação.

O treinamento da árvore de decisão resultou nos seguintes valores discriminadores e regras de classificação:

Se o máximo $f \geq 60,13\text{Hz}$, então

Se a taxa de variação de $P_e \geq 142,3\text{MW/ms}$, então curto-circuito,

Se a taxa de variação de $P_e < 142,3\text{MW/ms}$, então abertura de linha de transmissão,

Se o máximo $f < 60,13\text{Hz}$, então

Se a variação de V com relação ao seu valor de regime permanente $\geq 2,9 \cdot 10^{-3}$ pu, então

Se a taxa de variação de $V \geq 0,56$ pu/s, então reator de STIA desenergizado,

Se a taxa de variação de $V < 0,56$ pu/s, então

Se a taxa de variação de $Q_e \geq 24,7\text{Mvar/ms}$, então reator de STIA energizado,

- Se a taxa de variação de $Q_e < 24,7\text{Mvar/ms}$, então reator de STIV energizado,
 Se a variação de V com relação ao seu valor de regime permanente $< 2.9 \cdot 10^{-3}$ pu, então
 Se o máximo de $f \geq 60,12$ Hz, então alívio de carga,
 Se o máximo de $f < 60,12$ Hz, então
 Se a taxa de variação de $P_e \geq 3718\text{MW/s}$, então reator de STIV desenergizado,
 Se a taxa de variação de $P_e < 3718\text{MW/s}$, então reator de STIV energizado

As regras acima demonstram que a grandeza mais importante para classificar os eventos registrados em Itaipu são a frequência máxima, a taxa de variação da potência ativa e a variação da tensão em regime permanente.

A boa performance do classificador baseado na árvore de decisão é devida à determinação de limites bem estabelecidos para as grandezas avaliadas em cada tipo de perturbação. Tais limites bem definidos são ilustrados na Figura 5 para os agrupamentos da máxima taxa de variação de potência reativa e a máxima taxa de variação da potência ativa (apenas 2 das 8 grandezas empregadas na classificação), de onde se pode perceber que cada evento ocupa uma região específica referente à tais atributos.

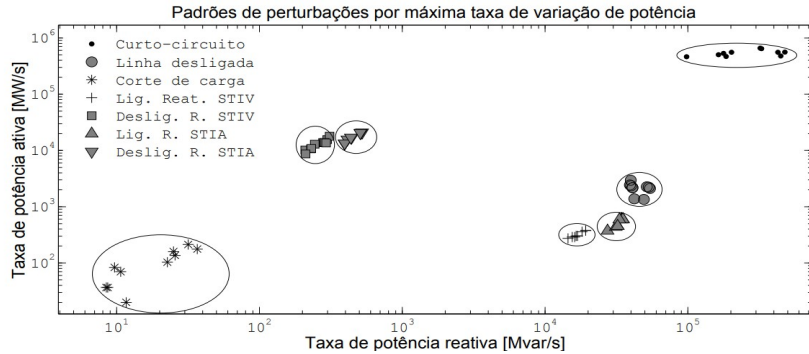


Figura 5 - Padrões das perturbações simuladas com relação à taxa de variação da potência ativa e reativa

No caso da definição dos gatilhos dos registradores de Itaipu, a única classificação necessária é a separação dos registros de perturbação dos de regime permanente, simplificando o processo. A Figura 6 apresenta a distribuição estatística das taxas de variação no caso de registros de perturbação e de regime permanente, mostrando que há regiões bem definidas em cada caso.

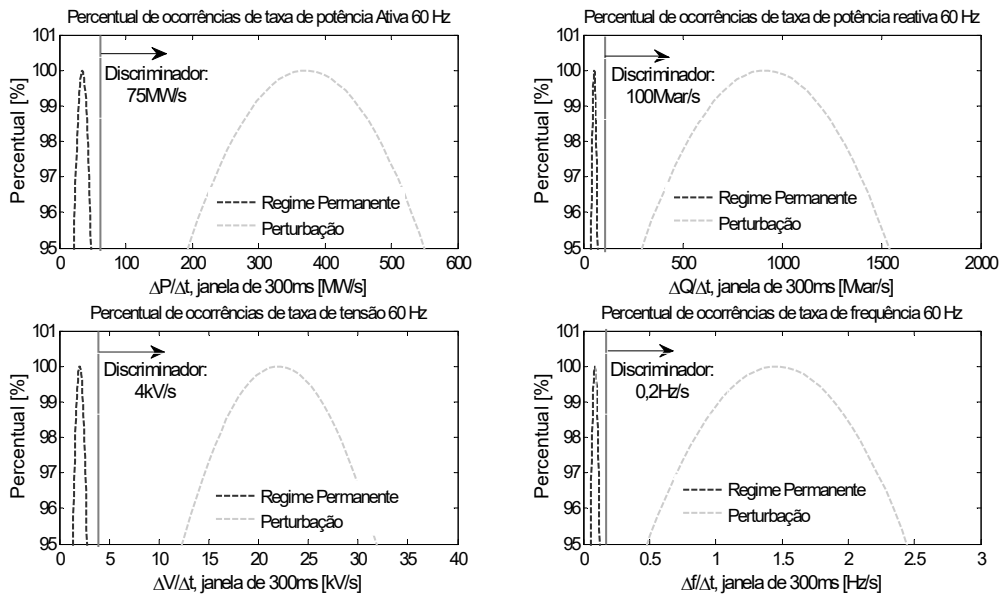


Figura 6 – Distribuição estatística das taxas de variação no caso de perturbação e de regime permanente.

A regularidade das taxas de variação das grandezas em casos de perturbação e de regime permanente apresentadas na Figura 6 permite a definição de um limiar discriminador de perturbação e regime permanente, como indicado pela reta vertical em cada caso. Este limiar corresponde ao valor de ajuste do gatilho do registrador de perturbações de longa duração, e no caso de Itaipu corresponde à 75MW/s , 100Mvar/s , 4kV/s e $0,2\text{Hz/s}$, para cada grandeza, respectivamente. Esses valores foram consistidos com os eventos simulados no caso dos experimentos computacionais.

6.0 - CONCLUSÃO

Este trabalho propôs uma abordagem para aplicação de árvores de decisão na construção de classificadores de registros de perturbação de longa duração. Esta abordagem considera a natureza estatística dos parâmetros que afetam as respostas das grandezas dos sistemas de energia elétrica após diferentes perturbações. Uma vez que o objetivo da aplicação foi classificar registros de Itaipu, o número de unidades, topologia do sistema de transmissão, geração de potência ativa e tensão da subestação foram considerados. Todas essas quantidades foram representados com suas características probabilísticas.

Os resultados obtidos demonstraram que a consideração do comportamento estatístico é importante porque o classificador proposto gera um conjunto de regras de comparação das quantidades à valores constantes. Estes valores podem ser aplicados diretamente à configuração dos disparadores dos registradores, discriminando os eventos de interesse e evitando que sejam armazenados e analisados um montante elevado de registros sem informação útil.

Demonstrou-se, adicionalmente, que índices simples como valores particulares das variáveis dos registradores podem ser usadas para identificar corretamente um número de diferentes eventos causados considerando a associação de um conjunto de variáveis com distribuição estatística.

7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) ANDERSON, P. Power System Protection, Wiley-IEEE Press; 1st edition, 1998.
- (2) KEZUNOVIC, M., XIE, L., GRIJALVA, S. The Role of Big Data in Improving Power System Operation and Protection, IX IREP Symposium-Bulk Power System Dynamics and Control, Rethymnon, Greece, 2013.
- (3) HOSSACK, J., MENAL, J., MCARTHUR, S., MCDONALD, J. A Multi-agent Architecture for Protection Engineering Diagnostic Assistance, IEEE Trans. on Power System, Vol. 18, 2003.
- (4) KEZUNOVIC, M., SPASOJEVIC, P., FROMEN, C., SEVCIK, D. An expert system for transmission substation event analysis. IEEE Transactions on Power Delivery, IEEE PES, USA, v. 8, n. 4, p. 1942–1949, 1993.
- (5) IBRAHIM, M. A. Disturbance Analysis for Power Systems, pp. 736, Wiley-IEEE Press, 2011.
- (6) UKIL, A., ZIVANOVIC, R. Automated Analysis of Power Systems Disturbance Records: Smart Grid Big Data Perspective, IEEE Innovative Smart Grid Technologies, 2014.
- (7) IEEE POWER SYSTEM RELAYING COMMITTEE. Considerations for use of Disturbance Records. Available on www.pes-psrc.org, accessed in 09/15/2015.
- (8) MORETO, M., ROLIM, J. Using phasor data records and sequence of events to automate the classification of disturbances of power generating units. Electric Power Systems Research, v. 81, n. 7, p. 1266-1273, 2011.
- (9) STYVAKTAKIS, E., BOLLEN, M., GU, I. Expert system for classification and analysis of power system events. IEEE Trans. on Power Delivery, v. 17, n. 2, p. 423–428, Apr. 2002.
- (10) PRADHAN, A., ROUTRAY, A., PATI, A., PRADHAN, D. Wavelet fuzzy combined approach for fault classification of a series-compensated transmission line. IEEE Transactions on Power Delivery, v. 19, n. 4, p. 1612–1618, Oct. 2004.
- (11) GAOUDA, A., KANOUN, S., SALAMA, M., CHIKHANI, A. A Wavelet based signal processing for disturbance classification and measurement. IEE Proceedings on Generation Transmission and Distribution, v. 149, n. 3, p. 310–319, May. 2002.
- (12) OLGUIN, G., KARLSSON, D., LEBORGNE, R.C. Stochastic assessment of voltage dips (Sags): The method of fault positions versus a Monte Carlo simulation approach in Proc. PowerTech St. Petersburg, Russia, 2005.
- (13) RUBINSTEIN, R.Y., KROESE, D.P. Simulation and the Monte Carlo Method. Wiley's Series in Probability and Statistics. John Wiley & Sons, In New Jersey, USA, 2nd edition, Feb. 2008.
- (14) WU, X., KUMAR, V., QUINLAN, J., GHOSH, J., YANG, Q., MOTODA, H., MCLACHLAN, G., LIU, B., YU, P., ZHOU, Z., STEINBACH, M., HAND, D., STEINBERG, D. Top 10 algorithms in data mining. Springer Knowledge Information and Systems (2008)14:1–37.
- (15) ANDRADE, V., SORRENTINO, E. Typical Expected Values of the Fault Resistance in Power Systems. IEEE Transmission and Distribution Conference and Exposition: Latin America, 2010.
- (16) BREIMAN, L., FRIEDMAN, J.H., OLSHEN, R.A., STONE, C.J. Classification and regression trees. Wadsworth, Belmont, 1984.

8.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Jonas Pesente é colaborador da divisão de Estudos Elétricos/Normas de Itaipu Binacional. É formado em engenharia elétrica pela Unioeste em 2006, mestre em engenharia mecânica-aeronáutica pelo Instituto Tecnológico da Aeronáutica em 2009, e doutor pela Universidade Federal de Santa Catarina em 2018.