

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA INTELIGENTE PARA APOIO A TOMADA DE DECISÃO EM RESSARCIMENTO POR DANOS EM EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS UTILIZANDO O ALGORITMO DE CLASSIFICAÇÃO KNN

Maria da C. Fonseca¹
mconcei@yahoo.com.br

Jose Adolfo da S. Sena³
jose.sena@eletronorte.gov.br

Antonio J. B. Carvalho¹
ajbc@ufpa.br

Marcus G. da Rocha¹
mgrochaufpa@yahoo.com.br

Jefferson M. Morais¹
jmoraes@ufpa.br

Luiz Miguel M. Lobo¹
lzmello51@yahoo.com.br

Marcus V. A. Nunes¹
mvan@ufpa.br

Ubiratan H. Bezerra¹
bira@ufpa.br

Jurandyr N. Garcez¹
jgarcez@ufpa.br

Aldebaro B. Klautau¹
aldebaro@ufpa.br

Francerdey M. Pinheiro²
francerdey.pinheiro@redecelpa.com.br

Luiz H. Pereira²
luiz.pereira@redecelpa.com.br

¹Universidade Federal do Pará
NESC – Núcleo de Energia, Sistemas e Comunicações

²Centrais Elétricas do Pará
Grupo Rede

³Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A.
ELETRONORTE

Resumo – O presente artigo descreve um sistema inteligente para o apoio a tomada de decisão quanto aonexo causal entre as perdas da qualidade da energia fornecida nas barras do sistema elétrico de uma distribuidora de energia, e os danos causados ao próprio sistema elétrico e as unidades consumidoras, devido a ocorrência de perturbações no sistema elétrico. Este sistema é composto de banco de dados de monitoramento, simulação no ATP (Alternative Transients Program) e ANAFAS (Programa de Análise de Falhas Simultâneas), dado de suportabilidade de equipamento e módulo de análise de dados. Estes auxiliarão na determinação da consequência que uma subtensão pode causar em equipamento elétrico, utilizando para isso uma técnica inteligente de classificação com o algoritmo KNN (K-Nearest Neighbors).

Palavras Chave – Distribuição de energia, monitoramento, qualidade de energia, simulação, sistemas de apoio a decisão, sistema de banco de dados, sistemas inteligentes..

Abstract – This paper describe a intelligent system to support the decision making about the causal nexus between quality losses of the supplied energy in electrical system buses of an electricity distribution company and the damages caused in the electrical system and in costumers units, due an occurrence of disturbs in the electrical system. This system is composed by a monitoring database, ATP and ANAFAS simulations, equipment supportability database and data analyze module. Those will support in the determinations of the consequence that an under

voltage can cause in an electrical equipment, using for this a classify intelligent technique with the KNN algorithm..

Keyword - Database systems, decision support systems, energy distribution, intelligent systems, monitoring, power quality, simulation.

I. INTRODUÇÃO

Os sistemas de suprimento de energia elétrica não têm acompanhado o rápido avanço tecnológico dos processos e equipamentos industriais, provocando assim alguns problemas que impacta diretamente no nível de qualidade da energia elétrica fornecido pelo sistema supridor em resposta ao padrão exigido por tais processos. Dentro deste contexto, tem-se identificado um grande aumento de problemas relacionados à qualidade da energia elétrica nas instalações residenciais, comerciais e principalmente nas industriais, ocasionando interrupções de produção e prejuízos de natureza técnica e econômica para os consumidores de modo geral que em alguns casos podem chegar a valores incalculáveis [1].

Como as redes de distribuição correspondem ao elo final da interconexão entre os sistemas de potência e os consumidores, cada vez mais as empresas concessionárias de energia elétrica têm sido incentivadas a melhorar a qualidade do serviço prestado aos seus clientes, seja pelo rigor das metas de continuidade, definidas pelo órgão regulador, ou pela busca da excelência no atendimento aos seus consumidores, frente a outras distribuidoras [2].

O objetivo dos estudos descritos neste artigo visa estabelecer diretrizes para a atribuição de responsabilidades

por danos em instalações consumidoras devido às contingências no sistema de distribuição [1]

Neste artigo será apresentado o desenvolvimento de um aplicativo composto por banco de dados de simulação, formado por um conjunto de informações provenientes de: simulações computacionais desenvolvidas nos programas ATP (Alternative Transients Program) e ANAFAS (Programa de Análise de Falhas Simultâneas); banco de dados de monitoramento, composto por aquisições de distúrbios de variações de tensão relativas à má qualidade de energia; banco de dados de suportabilidade de equipamentos elétricos e um módulo de análise de dados desenvolvido para fazer o relacionamento entre as características dos distúrbios com os dados de suportabilidade de equipamento, que através de uma técnica inteligente de classificação, identifica que possível consequência ocorreu no equipamento do consumidor na presença de distúrbios no sistema elétrico.

II. METODOLOGIA PROPOSTA

O ponto chave deste aplicativo consiste em fornecer uma ferramenta para auxiliar na tomada de decisão em processos de responsabilidade por danos, em equipamentos de consumidores conectados à rede de distribuição de uma determinada concessionária de energia.

A metodologia adotada na implementação deste aplicativo consistiu em desenvolver um sistema inteligente, baseado no classificador KNN (K-Nearest Neighbors), que pudessem fazer o relacionamento entre os distúrbios ocorridos na sistema elétrico com o danos em equipamentos elétricos dos consumidores, utilizando dados de eventos na rede de transmissão, subtransmissão e distribuição, provenientes tanto de monitoradores, quanto de simulações das contingências.

Na Figura 1, é apresentado um fluxograma que explica o funcionamento do sistema de software, onde é possível observar que este possui três bancos de dados distintos, que são os de monitoramento, simulação e de suportabilidade de equipamentos elétricos, que serão brevemente explicados na subseção ‘A’ deste presente trabalho.

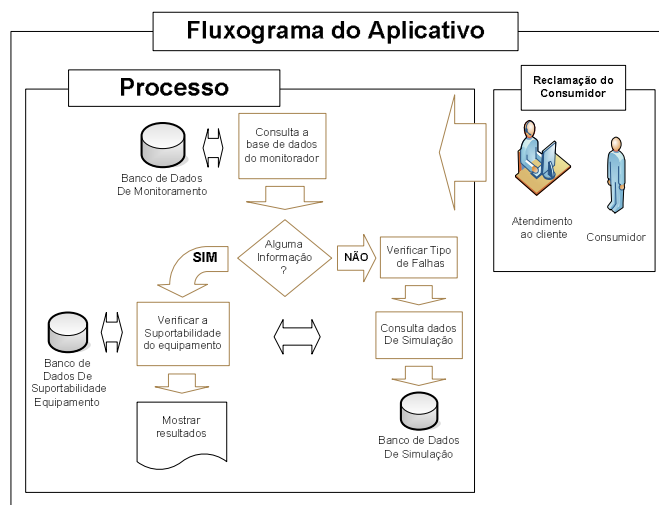


Fig. 1. Fluxograma do Aplicativo

A. Bancos de Dados

Os bancos de dados que compõe este aplicativo exercem um papel fundamental no correto funcionamento deste, sendo assim, devem ser cuidadosamente manipulados, e sempre atualizados. Estes são:

1) *Banco de Dados de Monitoramento* – Este banco contém dados de medidores instalados na rede de distribuição;

2) *Banco de Dados de Simulação* - Contém dados providos de simulações realizadas nos softwares ATP e ANAFAS com a finalidade de identificar os possíveis distúrbios em locais onde não há monitoradores instalados;

3) *Banco de Dados de Suportabilidade de Equipamentos* – Neste banco são armazenadas as consequências que um determinado equipamento vem a sofrer quando exposto a variações de tensão de curta duração e as faixas de amplitude em p.u, e duração em ciclos que caracteriza a curva de suportabilidade do equipamento.

B. Monitoramento

O monitoramento da qualidade de energia é um procedimento essencial para avaliação e aprimoramento de desempenho de sistemas elétricos. A fim de estabelecer uma base de dados com os reais níveis de qualidade de energia, e a partir das características encontradas, identificar eventuais áreas de problemas, faz-se necessário assegurar padrões adequados de desempenho do sistema inteligente aqui proposto.

O sistema de monitoramento desenvolvido neste estudo objetivou avaliar o impacto da presença de distúrbios, no sistema de distribuição da CELPA – Centrais Elétricas do Pará, nas barras onde estão instalados os instrumentos de medição. Esse instrumento é um monitorador de tensão trifásico composto por três entradas de tensão, neutro e terra, que conectado as três fases do sistema até 600 Vac pode registrar em memória não volátil, eventos do tipo: variações de tensão de curta duração a partir de ½ ciclo de duração, ocorrências de variações de tensão entre neutro e terra, Harmônicos até a 49º ordem, interrupções de energia de acordo com a Resolução 024 – ANEEL [3] e transitórios rápidos a partir de 130 microssegundos. Os mesmos foram adquiridos no mercado nacional, modelo CCK 4100P (2000) fabricados pela CCK – Automação [4].

Os dados monitorados foram armazenados no banco de dados de monitoramento para posterior verificação do nexo causal entre o pedido de ressarcimento e os distúrbios identificados nos medidores.

Esses dados monitorados também foram úteis para a validação do modelo elétrico utilizado nas simulações, na medida em que foi possível comparar eventos simulados no ATP e ANAFAS com distúrbios monitorados pelos instrumentos de medição.

C. Simulação

Durante o desenvolvimento das simulações foram adotados alguns procedimentos comuns para modelagem nos programas de análise transitória e regime permanente. O banco de dados formado com as simulações para a rede elétrica em estudo, contempla somente as consequências

devido as contingências de curto-circuito, devido as mesmas ocorrerem com maior frequência no sistema elétrico. Os procedimentos de simulação utilizados nos programas ANAFAS e ATP, foram:

1) *Tipos de defeito* - Diversas situações de curto-circuito (FT, FF, FFT, FFF e FFFT);

2) *Aplicação do Método do Curto Deslizante* - Foram simulados curtos-circuitos ao longo do sistema de transmissão, subtransmissão e distribuição (alimentadores das SEs Tapajós e Santarém), variando-se a localização da falta em trechos em cada 10% da linha, da barra de origem para a barra de destino, em todo o sistema elétrico.

3) *Barras de Interesse* - Foram consideradas todas as barras das subestações, em 230/138/13,8 kV, inclusive as barras de distribuição referentes aos alimentadores das subestações de Santarém e Tapajós [1].

D. Suportabilidade de Equipamentos

Os dados de suportabilidade de equipamento são essenciais para o correto funcionamento do aplicativo. Neste, são armazenados um conjunto de informações sobre equipamentos e os efeitos de eventos do sistema, de forma que se possa identificar qual a consequência de um determinado evento, utilizando as características de amplitude e duração, ou no caso de transitórios eletromagnéticos, a consequência de um determinado pico de tensão ou taxa de crescimento da tensão no equipamento.

Os dados que se encontram armazenados neste foram frutos de pesquisas em projeto de pesquisa e desenvolvimento [2] e [5,6], sendo que essas informações são:

- Nome do Equipamento;
- Evento (SAG, SWELL ou Transitório);
- Duração e Amplitude do Evento, para o caso de SAG e SWELL;
- Pico de Tensão e Taxa de Crescimento da Tensão, para o caso de Transitórios Eletromagnéticos
- Consequência, que podem ser
 - Comportamento Irregular;
 - Interrompe Funcionamento;
 - Queima de Equipamento;
 - Sem Alteração de Comportamento.

E. Sistema inteligente

Existem inúmeras técnicas inteligentes aplicadas a diversos problemas em sistemas de potência. Dentro das possibilidades, foi necessário fazer um estudo para se identificar, qual a técnica mais se adequava ao problema.

Após inúmeros estudos, constatou-se que, no banco de dados de suportabilidade de equipamento as consequências sofridas pelos equipamentos quando foram submetidos a variações de tensão de curta duração poderiam ser agrupadas em classes. Desta forma o algoritmo KNN foi o mais adequado para o estudo e será apresentado no item “1” desta subseção, e no item “2”, maiores detalhes sobre a implementação são brevemente dissertadas.

Sendo assim, o sistema funciona tomando como base os dados contidos no banco de dados de suportabilidade de

equipamentos, desenvolvendo um modelo para o classificador, e utilizando como dados de entrada os dados armazenados nos bancos de dados de simulação ou monitoramento, assim, obtém-se com sucesso o que provavelmente pode acontecer quando um determinado equipamento é exposto a uma contingência na rede de distribuição.

1) *K-Nearest Neighbors (KNN)* - O KNN é um método de classificação supervisionado e não – paramétrico, onde um padrão é dito pertencer a uma classe de acordo com a quantidade de vizinhos que pertençam a essa classe, conforme um critério de distância, que podem ser à distância de Manhattan (2), Minkowski (3) e Euclidiana (4), sendo esta última mais adotada pela comunidade científica [7, 8].

O critério de distância Euclidiana pode ser brevemente definido da seguinte forma, suponhamos um conjunto de treinamento com M exemplos

$$X = \{(x_1, y_1), \dots, (x_M, y_M)\} \quad (1)$$

Onde: $y \in \{1, \dots, Y\}$ é rótulo ou classe do padrão.

Seja $Z = (z_1, \dots, z_k)$ um novo padrão, ainda não classificado. A fim de classificá-lo, calculam-se as distâncias, através de uma medida de similaridade, entre Z e todos os exemplos do conjunto de treinamento e consideram-se os K exemplos mais próximos (com menores distâncias) em relação à Z . Verifica-se então, qual a classe que aparece com mais frequência, entre os K vizinhos encontrados. O padrão Z será classificado de acordo com a classe y mais frequente dentre os K padrões encontrados [9].

A distância entre dois padrões é calculada utilizando-se a distância Euclidiana (2), como medida de similaridade, que pode ser definida da seguinte forma:

$$d(Z, X) = \sqrt{\sum_{i=1}^k (z_i - x_i)^2} \quad (2)$$

2) *Detalhes da Implementação* - Através de pesquisas em bibliografias existentes sobre a suportabilidade de equipamentos, observou-se que os danos causados nestes poderiam ser basicamente organizados em quatro classes de consequências que seriam:

- *Comportamento Irregular*: Esta classe deve conter todos os danos no comportamento do equipamento durante um determinado evento, como por exemplo: alteração na iluminação de uma lâmpada, diminuição na velocidade de um motor, ruído no funcionamento de um condicionador de ar etc.
- *Interrompe Funcionamento*: Esta classe corresponde à situação em que o equipamento, quando sujeito a um determinado evento, interrompe seu funcionamento;
- *Queima de Equipamento*: Nesta deve ser incluída as situações em que um determinado equipamento queima, durante ou após o evento.
- *Sem alteração de Comportamento*: Esta é a situação em que mesmo sujeito a um evento, o funcionamento do equipamento nem vem a ser prejudicado.

Com as classes do problema em questão definidas, e tendo como requisito da ferramenta a possibilidade de inclusão de novos equipamentos no banco de dados de suportabilidade, percebeu-se a necessidade de utilizar um método de classificação que atendesse de forma ótima esses requisitos. Sendo assim, entendeu-se que o **KNN é o mais recomendado para situações como estas, visto que este não necessita de processamento na fase de treinamento**, e que o uso de outros métodos como Redes Neurais Artificiais, não garantiriam a confiabilidade das respostas fornecidas pela ferramenta, visto que não seria possível desenvolver um modelo generalista o suficiente para abranger todos os equipamentos existentes.

III. APLICAÇÃO DO SISTEMA PROPOSTO

A. Descrição da Rede

A rede elétrica utilizada nas simulações, e ilustrada na Figura 2, pertence em parte à ELETRONORTE – Centrais Elétricas do Norte do Brasil, conhecido como sistema TRAMOESTE, que faz parte integrante da Rede Básica do SIN (Sistema Interligado Nacional). Este sistema é composto por um sistema radial com único circuito 230 kV, entre as subestações de Tucuruí e Rurópolis.

A outra parte da rede elétrica, que é a área de interesse deste estudo, refere-se aos sistemas de subtransmissão (138 kV) e distribuição (13,8 kV), pertencente à CELPA, que é composto pelas subestações de Rurópolis, Itaituba, Tapajós e Santarém.

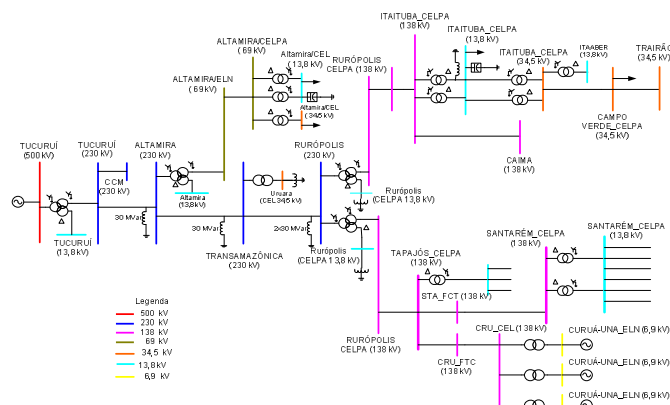


Fig. 2. Diagrama Unifilar da rede em estudo.

B. Descrição do Monitoramento e Simulação

O objetivo de monitorar e simular o sistema elétrico para a criação de uma base de dados, originou-se da necessidade das concessionárias de dispor de recursos para avaliar o desempenho de seu sistema elétrico quanto à qualidade da energia, face às exigências regulamentadoras do setor elétrico, bem como da legislação que ampara os consumidores. Outra finalidade é identificar as perturbações, geradas por faltas no sistema elétrico, difíceis de serem percebidas, devido principalmente, serem de curta duração, mas extremamente nocivas a equipamentos eletroeletrônicos.

As bases de dados, originadas tanto dos equipamentos de monitoramento como de simulações, foram a principal fonte para efetivação desse trabalho. Aqui estão descritas nos seguintes tópicos chamados de monitoramento e simulação:

1) *Monitoramento* – Para a realização desta tarefa utilizou-se dados provenientes de quatro instrumentos monitoradores, dois instalados em sistemas de subtransmissão de 138 kV e os outros dois na distribuição em 13,8 kV, estruturados para a aquisição e processamento de informações destinadas a mensuração de indicadores de qualidade da energia. A Figura 3 mostra um instrumento sendo instalado no alimentador 13,8 kV de Santarém (SN04).



Fig. 3. Medidor sendo instalado no alimentador em 13,8 kV

Estes instrumentos, previamente programados, passaram a monitorar o sistema elétrico com o intuito de detectar certos fenômenos que afetem de forma significativa a forma de onda da tensão fornecida, gerando arquivos de dados que passaram a ser objeto de estudos do software que auxiliará os engenheiros na tomada de decisão quanto ao pedido de ressarcimento, já que apenas pelos relatórios de falhas, faltas e manobras não é possível identificar distúrbios de curta duração, pois estes são os principais vilões para os equipamentos eletroeletrônicos.

2) *Simulação* – Devido à aleatoriedade das ocorrências das contingências na rede elétrica interligada ao sistema elétrico de distribuição, os programas de simulação têm sido empregados como uma boa alternativa para se obter os parâmetros dos distúrbios de qualidade de energia, evitando-se despender grandes recursos financeiros e longos períodos de medição. Essas informações simuladas podem ser usadas para orientar futuros investimentos, correspondentes a obras de reforço no sistema ou instalação de equipamentos específicos para a mitigação dos problemas, garantindo um nível de qualidade adequado, de vital importância para a concessionária, especialmente em um mercado aberto e competitivo. Sendo assim, a simulação foi extremamente útil no desenvolvimento deste trabalho.

O processo de análise de dados no sistema inteligente foi desenvolvido baseado em dados tanto monitorados como nos simulados pelos programas ATP e ANAFAS, estes foram executados através de modelos do sistema elétrico, que foram validados através de comparações com os dados monitorados, o que pode-se considerar confiáveis para este estudo.

C. Estudo de Caso

Para teste e validação do aplicativo proposto, foram realizadas várias simulações no software de situações de

supostos danos em equipamento, incluindo tanto dados monitorados como simulados. Entretanto, para este artigo, como estudo de caso, será exemplificada apenas uma análise dos resultados de um arquivo de monitoramento gerado pelo registrador instalado no alimentador de Santarém – SN04, que monitorou a rede elétrica no período que vai de 25/08/2007 a 17/10/2007.

Para esta análise de monitoramento, avaliam-se as características dos distúrbios que afetam o sistema elétrico na barra SN04, diminuindo a qualidade da energia elétrica fornecida pela concessionária a seus clientes.

As principais observações são no sentido de verificar a existência de distúrbios que pudessem ocasionar danos em equipamentos elétricos; quais os tipos destes eventos; a existência denexo causal entre os dados monitorados e o dano no equipamento, no período identificado pelo consumidor.

Para a visualização e entendimento de como são identificados os eventos registrados no equipamento, apresenta-se as Figuras 4 e 5, que representam as formas de onda trifásicas instantânea e RMS da tensão.

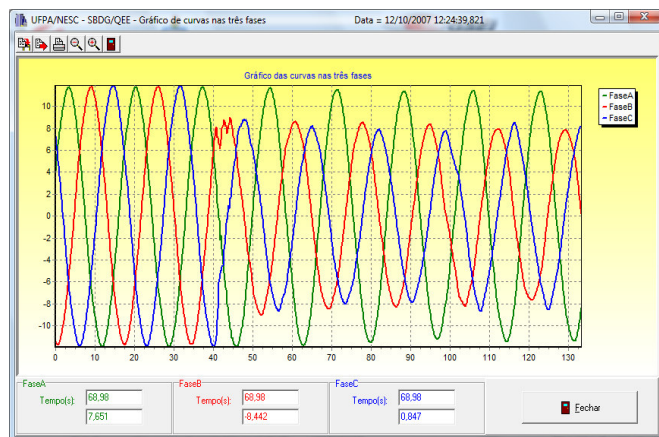


Fig. 4. Forma de onda instantânea em 13.8 kV

Estas figuras são ilustrações de um mesmo evento, ou seja, um afundamento de tensão, onde as fases B e C em vermelho e azul, respectivamente, foram as mais atingidas. A ocorrência foi registrada no dia 12/10/2007 às 12:24:39,821, sendo que as fases A, B e C afundaram até 7,41 kV (0,94 p.u), 5,68kV (0,71 p.u) e 5,45kV (0,68 p.u), respectivamente, com duração de 9,6 ciclos.

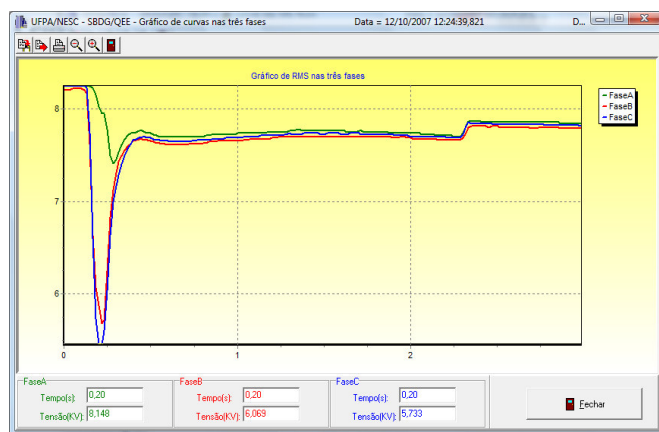


Fig. 5. Forma de onda RMS em 13.8 kV

De posse da identificação do arquivo monitorado com os possíveis distúrbios no período desejado, verifica-se, através do algoritmo de classificação KNN, as possíveis ocorrências do distúrbio, nas fases monitoradas, relacionando suas características, como duração e amplitude, para serem relacionados com as mesmas características de suportabilidade de equipamento, onde estes estão dispostos no banco de dados de suportabilidade, distribuídos em faixas de amplitude e duração. O algoritmo de classificação KNN identifica, em relação à suportabilidade do equipamento, as características de “vizinhança” mais próxima das características reais do evento identificado. Desta forma, é possível classificar o dano que este evento pode causar em determinado equipamento do consumidor.

Para este caso, utilizou-se como reclamação um condicionador de ar de 120 V, cujo usuário é alimentado na barra SN04 de Santarém, onde o monitorador está instalado. A ocorrência identificada pelo cliente foi no dia 12/10/2007.

De acordo com o processo utilizado pelo aplicativo, já descrito anteriormente, foi identificado no banco de dados de monitoramento, a ocorrência de distúrbios, no período identificado pelo cliente. Sendo que, o resultado pode ser observado na Figura 6, referente a uma das telas do software, onde nesta são apresentadas, todos os eventos registrado pelo monitoramento para o período identificado pelo cliente.

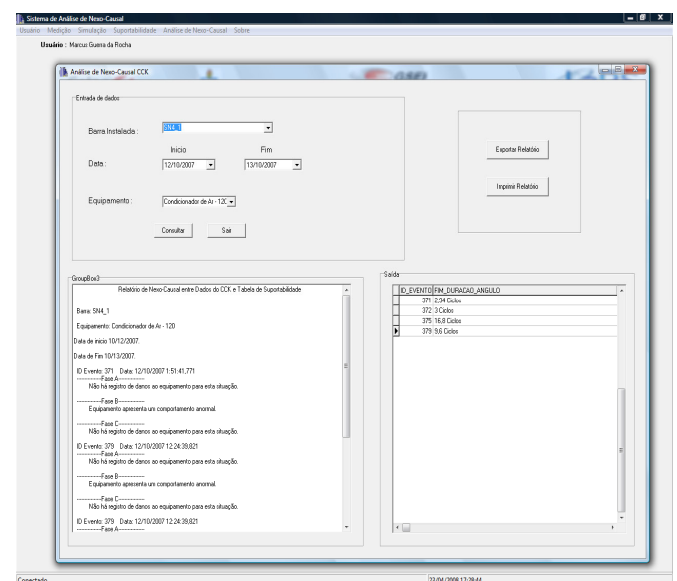


Fig. 6. Tela dos eventos identificados pelo instrumento.

Na Figura 7 está ilustra uma versão do relatório de saída do aplicativo. Este relatório será anexado pelo engenheiro no processo de pedido de ressarcimento.

Para este estudo de caso, o equipamento analisado é um condicionador de ar de 120 V, identificado na Figura 7 pela primeira circunferência, em vermelho. Enquanto, na segunda circunferência, em azul, estão identificadas as consequências da existência do distúrbio no equipamento, para o período reclamado, onde é possível verificar que na fase A não há registro de danos para este equipamento, na fase B e C o equipamento apresenta um comportamento anormal.

Esses resultados confirmam o que foi monitorado, pois na Figura 4 e 5 foi verificado que apenas as fases B e C que sofreram afundamento de tensão.

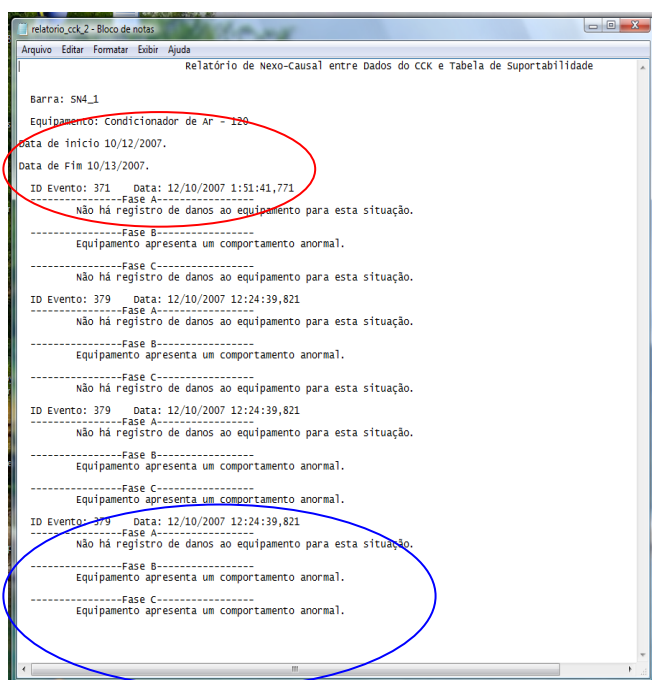


Fig. 7. Tela representando o resultado da análise dos dados monitorados no sistema inteligente.

Esses resultados, juntamente com outras análises por parte dos responsáveis do processo, irão influenciar na decisão do ressarcimento por dano em equipamento do consumidor.

IV. CONCLUSÃO

Este trabalho teve o propósito de apresentar o desenvolvimento de um sistema inteligente, baseado em algoritmo de classificação KNN, com a finalidade de auxiliar engenheiros no estudo e mitigação dos fenômenos que afetam a qualidade da energia elétrica e identificação de responsabilidade em pedidos de ressarcimento por danos em equipamentos elétricos.

O sistema inteligente apresentado consiste em um banco de dados de monitoramento, um banco de dados de simulação, banco de dados de suportabilidade de equipamentos. Dentre suas características principais destaca-se: a capacidade de armazenar informações referentes ao monitoramento da rede elétrica, visando alcançar maior versatilidade nos estudos relacionados à identificação, análise e mitigação dos distúrbios.

Também, faz parte do sistema de software a utilização de dados provenientes de simulações de distúrbios no sistema elétrico e informações sobre faixas de suportabilidade de equipamentos, com extração de informações utilizadas na identificação de possíveis danos causados a estes dispositivos elétricos.

Por fim, o desenvolvimento de uma ferramenta inteligente, para o estudo da qualidade da energia e apoio aos processos de pedido de ressarcimento por danos em equipamentos elétricos, serve como auxílio tanto para empresas distribuidoras de energia, quanto para as que utilizam essa energia, pois a base de dados possibilitará realizar os ajustes necessários aos requisitos da qualidade exigidos. Também motivará as empresas distribuidoras de energia a investirem em melhorias de processo, garantindo

assim um melhor relacionamento entre concessionária de energia e consumidor.

AGRADECIMENTO

Agradecemos às Centrais Elétricas do Pará S.A - CELPA pelo incentivo através do projeto de pesquisa e desenvolvimento (P&D) e ao CNPq e a FAPESPA pelo auxílio financeiro.

REFERENCIAS

- [1] A. J. Carvalho, M. C. P. Fonseca, M. G. Rocha, J. Morais, F. S. Brasil, L. M. Mello, M. V. A. Nunes, U. H. Bezerra, J. N. Garcez, A. B. Klautau and C. A. Mattos, "Sistema inteligente de apoio à tomada de decisões baseado na análise das perturbações na tensão e frequência no sistema santarém provocadas por contingências locais e no sistema TRAMOESTE", Universidade Federal do Pará, Belém, PA, Tech. Rep. TR-1688, Dec 2008.
- [2] N. Kagan, E. L. Ferrari, N. M. Matsuo, S. X. Duarte, A. Rocco, L. C. Magrini, P. Loureiro, F. Crispino, A. J. Monteiro, I. T. Domingues and S. Jonathan, "Metodologia para suporte à análise de pedidos de indenização em queima de aparelhos", Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Tech. Rep. Sep. 2001.
- [3] Resolução Nº 024 - ANEEL, de 27 de janeiro de 2000. Acesso em 30/06/2006. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/cedoc/RES2000024.PDF>.
- [4] Manual de Instalação e Operação do Programa SW CCK 4100/P, CCK - Automação.
- [5] M.D. Teixeira, R.L. Araújo, N.S.R. Quoirin, L.M. Ardjmand, A.R. Aoki, P. Sgobero, "Avaliação dos Limites de Parâmetros de Qualidade de Energia Aceitáveis para Prevenir Danos em Eletrodomésticos", II Seminário Paranaense de Energia Elétrica, Setembro 2004.
- [6] G. G. Karady, "Effects of Voltage Sags on Loads in a Distribution System", Power Systems Engineering Research Center (PSERC), Arizona State University, 2005.
- [7] I. H. Witten, E. Frank, Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques, John Wiley & Sons, 2nd Edition, 2005.
- [8] R. Duda, P. Hart, and D. Stork. Pattern classification. Wiley, 2001.
- [9] J. R. Quinlan. Improved use of continuous attributes in C4.5. Journal of Artificial Intelligence Research, pages 77-90, 1996.

BIOGRAFIAS

Maria da Conceição Pereira Fonseca recebeu o grau de Bacharel em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Pará (UFPA) em 2006 e atualmente é aluna de mestrado do Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica da UFPA. Suas principais linhas de pesquisas são: Qualidade de Energia, Sistema de Distribuição, Dinâmica e Controle de Sistemas de Potências, Mineração de Dados, Inteligência Artificial e Computação Aplicada a Sistemas de Potências.

José Adolfo da Silva Sena graduado em Engenharia Elétrica na Universidade Federal do Pará em 1999. Mestre em Instrumentação Eletrônica pela Universidade Federal de Campina Grande em 2001. Atualmente é aluno de doutorado em Engenharia Elétrica na Universidade Federal do Pará. Trabalhou como professor do quadro efetivo no Instituto de Estudos Superiores da Amazônia (IESAM) no curso de Engenharia de Telecomunicações. Atuou como professor substituto na Universidade Federal do Pará e como professor assistente na mesma instituição no curso de Engenharia Elétrica. Atualmente é Engenheiro de Manutenção Eletrônica nas Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A. Trabalhou em inúmeros projetos envolvendo o desenvolvimento de instrumentos de monitoramento

de qualidade de energia elétrica e estudos de fluxo de potência e transitórios eletromecânicos em sistemas elétricos de potência. Suas áreas de interesse são o desenvolvimento de dispositivos eletrônicos para medição e gerenciamento de energia elétrica, projeto e implantação de sistemas de monitoramento de equipamentos de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica e simulação de sistemas elétricos de potência.

Antônio de Jesus Barra de Carvalho recebeu o grau de Bacharel em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Pará, em 1999, o grau de Mestre em 2007 pela UFPA. Atualmente é aluno de doutorado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica na UFPA. Suas principais linhas de pesquisa são: Qualidade de Energia, Sistemas Elétricos de Potência e Transitórios Eletromagnéticos.

Marcus Guerra da Rocha recebeu o grau de Bacharel em Engenharia de Computação pela Universidade Federal do Pará (UFPA) em 2006 e atualmente é aluno de mestrado do Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica da UFPA. Suas principais linhas de pesquisa são: Mineração de Dados, Inteligência Artificial e Computação Aplicada a Sistemas de Potências.

Jefferson Magalhães de Moraes nasceu em Belém, Brasil, 1981, graduou-se em Ciências da Computação no Centro Universitário do Pará, Belém, em 2005. Mestre em Engenharia Elétrica na Universidade Federal do Pará (UFPA), em 2007. Estudante de doutorado no Programa de Pós-Graduação da UFPA. Sua área de pesquisa é Inteligência Artificial e Mineração de Dados.

Luiz Miguel Melo Lobo atualmente cursa sua graduação em Engenharia Elétrica na Universidade Federal do Pará, com conclusão do curso prevista para dezembro de 2009.

Marcus Vinícius Alves Nunes possui graduação Engenharia Elétrica na Universidade Federal do Pará (UFPA), Belém, Brasil, em 1994. Recebeu o título de Mestre pela UFPA em 1996 e o Doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil em 2003. Atualmente, Professor Adjunto na Faculdade de Engenharia Elétrica da UFPA. Suas principais áreas de interesses são focadas em: Análises Dinâmicas de Sistema de Potência, Máquinas Elétricas, Eletrônica de Potência e Geração de Energias Renováveis, tal como Energia Eólica.

Ubiratan Holanda Bezerra recebeu o grau de Bacharel em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Pará (UFPA) em 1976, o grau de Mestre na Universidade Federal de Itajubá em 1980, e o grau de Dr. na Universidade Federal do Rio de Janeiro em 1988, todos em engenharia elétrica. Desde 1977, é professor da Faculdade de Engenharia Elétrica da UFPA, atualmente encontra-se como professor titular. Suas linhas de pesquisa são: Qualidade de Energia, Geração de Energia Renovável e Avaliação de Segurança Dinâmica e Estática de Sistemas de Potências.

Jurandyr Nascimento Garcez nascido em Belém do Pará em 1939, graduado em Engenharia Elétrica pelo Instituto de Tecnologia da Aeronáutica (ITA) em 1963. Mestre em Engenharia Elétrica pelo ITA e Livre Docente, Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Pará (UFPA). Contemplado com o título honorífico de Professor Emérito da UFPA, exercendo atualmente a função de Pesquisador Sênior do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. Obteve outros Títulos Honoríficos do CREA - Conselho Regional de Engenharia e Arquitetura e Clube de Engenharia do Pará, sendo diretor da J. Garcez Consultoria e Inovações Tecnológicas. Atua nas áreas de Dinâmico Controle e Operação de Sistemas de Energia Elétrica, usando metodologias avançadas de Inteligência Computacional.

Aldebaro B. da Rocha Klautau possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Pará (UFPA, 1990), mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC, 1993) e doutorado em Electrical and Computer Engineering pela University of California at San Diego (UCSD, 2003). Atualmente é professor adjunto da Universidade Federal do Pará. Tem experiência em processamento digital de sinais, inteligência computacional e telecomunicações, atuando principalmente em: processamento de voz, DSL, rádio em software e mineração de dados de séries temporais.

Francerdey Marlos Menezes Pinheiro especializado em Sistemas Elétricos de Potência na Universidade Federal do Pará, Belém, graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Pará. Acumulou experiência nas Centrais Elétricas do Pará e Universidade Luterana do Brasil. Seu campo de interesse inclui distribuição de energia elétrica e estabilidade de sistemas elétricos de potência, com ênfase para conexão de geração distribuída em sistemas interligados.

Luiz Henrique Pereira graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Pará. Atualmente trabalha nas Centrais Elétricas do Pará. Entre suas área de interesse está: qualidade de energia e sistema de proteção.