

Rede Neural de Ativação Interativa Competitiva-IAC para Auxílio à Tomada de Decisão sobre Responsabilidade por Danos em Consumidores de Energia Elétrica

J. N. Garcez – UFPA, R. C. L. Oliveira – UFPA, L. A. H. G. Oliveira – UFPA,
M. E. Tostes – UFPA, J. R. B. Moraes – UFPA, A. N. P. Santos – UFPA, A. A. A. Tupiassu – CELPA,
D. P. Santos – CELPA, E. Muller - CELPA

RESUMO

Este trabalho apresenta um Sistema Inteligente para auxílio à tomada de decisões, pela área técnica da CELPA quanto à responsabilidade de danos provocados em equipamentos de consumidores por perda de qualidade de fornecimento de energia elétrica pela Concessionária.

O sistema consta de interfaces para registro e caracterização de ocorrências de danos ao consumidor, ocorrências de perturbações de qualidade de energia na rede de distribuição e um módulo inteligente para apoio a tomada de decisão quanto à responsabilidade por danos elétricos em equipamentos do consumidor, baseado em Rede Neural Artificial tipo IAC – Interactive Activation and Competition. Estudos de casos são apresentados atestando a adequação do sistema desenvolvido à determinação das responsabilidades para ressarcimentos causados por possíveis anormalidades na prestação de serviços de energia elétrica da Concessionária.

PALAVRAS-CHAVE

Qualidade de Energia – Inteligência Artificial – Redes Neurais – Danos Elétricos – Responsabilidade Civil.

I. INTRODUÇÃO

Dentro da nova estrutura do sistema elétrico brasileiro, as empresas concessionárias e permissionárias dos serviços de energia elétrica têm a obrigação da prestação adequada e segura dos serviços, consubstanciados na satisfação dos indicadores da qualidade do fornecimento.

A ocorrência de danos em aparelhos e equipamentos dos consumidores, a relação de causalidade entre a ação ou omissão do concessionário e o prejuízo produz uma presunção de culpa, surgindo o direito ao ressarcimento[1].

Os pedidos de ressarcimento por danos são formalizados em função de ocorrências no sistema da concessionária, de origem elétrica ou mecânica e na prestação de serviços.[2]

Os autores externam seus agradecimentos a REDE CELPA, pelo apoio financeiro. A. A. A. Tupiassu, D. P. Santos, E. Muller são engenheiros da REDE CELPA. J. N. Garcez, R. C. L. Oliveira, L. A. H. G. Oliveira, M. E. Tostes, J. R. B. Moraes, A. N. P. Santos são pesquisadores do NESC – UFPA (email: nesc@ufpa.br).

As concessionárias dispõem de Manuais de Normas e Procedimentos para determinar responsabilidades, estabelecer critérios e procedimentos a serem seguidos quando da tramitação, análise e parecer técnico da solicitação de ressarcimento, por parte do consumidor, por danos causados por possíveis anormalidades na prestação de serviços de energia elétrica, envolvendo setores do Tele-atendimento, escritórios, departamentos técnicos, buscando a identificação das possíveis causas que levaram a danificação dos equipamentos reclamada pelo consumidor.

O NESC - Núcleo de Energia, Sistemas e Comunicações do Departamento de Engenharia Elétrica e Computação da UFPA desenvolveu um sistema informatizado de análise e suporte técnico para atendimento de solicitações de ressarcimento de danos materiais a consumidores da CELPA – Centrais Elétricas do Pará, concessionária dos serviços de distribuição da energia elétrica em Belém. O sistema, em versão final consta de um módulo de consulta inteligente baseado em Rede Neural Artificial, tipo IAC – Interactive Activation and Competition, uma rede dinâmica que trabalha através de um mecanismo de ativações e interações, inspirada em sistema biológico, um banco de dados de ocorrências na rede e um banco de dados de ocorrências no consumidor.

O sistema desenvolvido permitirá reparar os danos sofridos por consumidores a um menor custo para a concessionária e ao mesmo tempo evitará o desgaste na imagem da empresa, o ônus de um processo judicial, bem como autuações administrativas pelos órgãos de defesa do consumidor e agentes reguladores.

II. MODELO DA REDE NEURAL - IAC

A arquitetura da Rede IAC é composta, basicamente, de unidades de processamento arranjadas em grupos (representando conceitos similares) que interagem entre si. Esta interação ocorre dentro dos grupos em que as unidades se encontram organizadas e divididas e, também, entre os diferentes grupos.[3]

Existem conexões excitatórias entre unidades de diferentes grupos e conexões inibitórias entre unidades de mesmo grupo.

As conexões excitatórias, aqui atuando entre diferentes neurônios, de diferentes grupos, são bidirecionais, ou seja, existindo uma conexão excitatória da unidade i para a unidade j existirá também uma conexão excitatória da unidade j para a unidade i . O fato de estas conexões excitatórias serem bidirecionais acabará criando condições para o surgimento de um processamento iterativo, pois o processamento em um determinado grupo influenciará e também será influenciado pelo processamento que ocorre em outros grupos da rede. As conexões inibitórias, geralmente são transferidas de cada unidade para todas as outras unidades de processamento competitivo. Em dado grupo, todas as unidades são mutuamente inibitórias. A Fig. 1 mostra um modelo de Rede IAC com 4 grupos de elementos processadores.

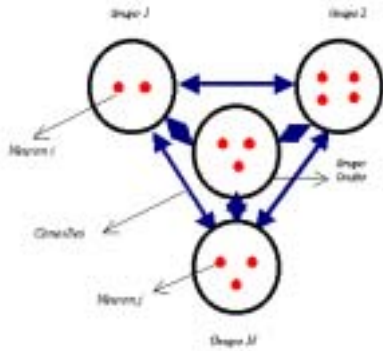


FIGURA 1. Modelo de Rede IAC com 4 grupos de elementos processadores

A rede apresenta, ainda, dois tipos de grupos competitivos: grupos visíveis (unidades que recebem entradas do exterior) e grupos escondidos (unidades que não podem receber entradas do exterior). Portanto, deve-se especificar um padrão de entrada somente para os grupos visíveis.

Pode-se observar, ainda, que no modelo IAC, as entradas positivas da rede tenderão sempre a excitar as unidades, enquanto que as entradas negativas da rede tenderão sempre a inibi-las.

As unidades em uma rede IAC mudam suas ativações de acordo com uma função que considera tanto a ativação atual da unidade, como também a entrada da rede procedente de outras unidades ou oriunda de fora da rede para esta unidade.

Na maioria dos modelos de Redes Neurais, a entrada da rede, para uma unidade particular i , é considerada a mesma, ou seja, é simplesmente a soma das influências de todas as outras unidades de processamento da rede mais alguma entrada externa. Esta influência criada por alguma outra unidade, considerada unidade j , é apenas o produto da saída da unidade pelo peso da conexão da unidade j para a unidade i .

Equacionando o que foi descrito acima, chega-se a seguinte relação característica da entrada de uma unidade

i , considerando um modelo de uma rede IAC, para operação em tempo discreto e no modo síncrono:

$$net_i(k) = \sum_j w_{ij} y_j(k) + ext_i(k) \quad (1)$$

$$a_i(k+1) = f[a_i(k), net_i(k)] \quad (2)$$

$$y_i(k+1) = g[a_i(k+1)] \quad (3)$$

Onde:

- net_i(k) – entrada líquida na unidade i ;
- ext_i(k) - entrada externa;
- w_{ij} - peso da conexão entre as unidades i e j ;
- a_i(k) - ativação da unidade i ;
- f [] – função ativação
- g [] – função saída
- k – índice de iteração

O modelo da Rede IAC apresenta as seguintes propriedades:[4]

1. Os valores da ativação a_i devem permanecer entre dois limites, dados pelos parâmetros max e min, onde

$$\min \leq 0 < \max \quad (4)$$

2. Quando a rede é inicializada, todos os valores de ativação encontram-se em repouso, em um valor dado por rest, onde

$$\min \leq rest \leq 0 \quad (5)$$

3. Quando a entrada líquida para uma dada unidade é positiva, seu valor de ativação tende para o limite superior, max ;
4. Quando a entrada líquida para uma dada unidade é negativa, seu valor de ativação deve tende para um limite inferior, min;
5. Quando a entrada líquida para uma dada unidade é zero, seu valor de ativação tende para o valor de repouso, rest , com uma velocidade ajustável dada pelo parâmetro decay, positivo. Para atender as propriedades anteriores Rumelhart e McClelland propuseram as seguintes funções f(.) e g(.):

Se $net_i(k) \geq 0$

$$\Delta a_i(k) = a_i(k+1) - a_i(k) = [\max - a_i(k)] net_i(k) - decay[a_i(k) - rest] \quad (6)$$

Se $net_i(k) < 0$

$$\Delta a_i(k) = [a_i(k) - \min] net_i(k) - decay[a_i(k) - rest] \quad (7)$$

$$y_i(k) = \begin{cases} a_i(k) & \text{se } a_i(k) \geq 0 \\ 0 & \text{outros} \end{cases} \quad (8)$$

Utilizam-se os seguintes valores típicos para os parâmetros:

$\max=1$; $\min=-0.2$; $\text{rest}=-0.1$; $\text{decay}=0.1$; $\text{exti}=0$ ou 0.4 ; $\text{wij}=-0.1, 0$ ou 0.1

Pode-se dizer que alguns parâmetros citados acima têm significado biológico. Por exemplo, o decaimento (decay) refere-se ao esquecimento dos seres humanos e o parâmetro rest significa que, geralmente, não se tem esquecimento total.

Como a rede IAC é também uma rede realimentada, o tempo é discreto, pois o processamento é dividido em sequência de passos, ou ciclos. Cada ciclo inicia com todas as unidades possuindo um valor de ativação determinado no final do ciclo precedente, e os novos valores de ativação são considerados somente em um novo ciclo. Então, o processo de atualização de cada unidade é síncrono.

O princípio de operação é semelhante à rede de Hopfield, isto é, não existe uma fase de aprendizado e o usuário estabelece a topologia e o estado inicial da rede.[5]

Um problema que pode ser observado no modelo de Rumelhart está relacionado aos passos de ativação em cada ciclo, pois quando estes são grandes, a aproximação de tempo discreto pode gerar instabilidades no processamento.

Uma forma de eliminar este problema e ao mesmo tempo obter uma aproximação ao caso contínuo, é utilizar passos pequenos em cada ciclo

III. SISTEMA DE APOIO A DECISÃO SOBRE RESPONSABILIDADE POR DANOS ELÉTRICOS

O Sistema informatizado de análise e suporte técnico para atendimento de casos de pedidos de indenização consta fundamentalmente de:

■ **Tela Principal** funciona como porta de entrada, possuindo um Menu de Opções para as funcionalidades do programa:

- Arquivo/Ocorrência/Inserir, que cadastra as ocorrências de pedido de ressarcimento;
 - Análise/Consulta, que faz a análise da ocorrência;
 - Relatório, que emite relatórios sobre as ocorrências que foram deferidas ou indeferidas;
 - Gráficos, que dá uma noção visual das ocorrências deferidas ou indeferidas;
 - Ajuda, que fornece uma noção das funções do programa.
- A tela também fornece pequenos comentários de suas funções com o passar do mouse, assim como a hora atual, conforme a Fig. 2

■ **Tela de Cadastro de Clientes** – criada para cadastramento do consumidor responsável pelo pedido de ressarcimento, contendo informações técnicas sobre o Transformador, Circuito Alimentador e Unidade Monitoradora associada ao reclamante, conforme ilustrado na Fig. 3

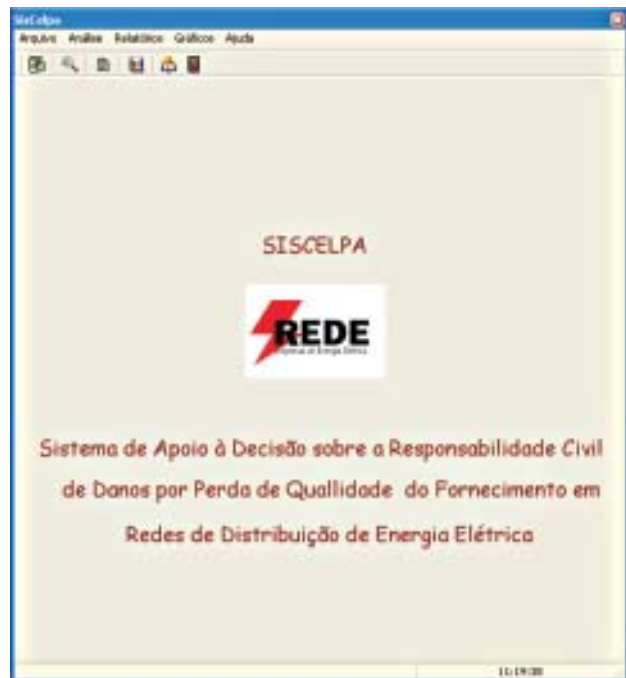


FIGURA 2. Tela Principal



FIGURA 3. Tela de Cadastro de Clientes

■ **Tela de Cadastro de Ocorrências de Danos** – Usada para cadastrar os dados de determinada ocorrência de danos em um consumidor, especificar dados dos aparelhos ou equipamentos danificados, conforme ilustrado na Fig. 4.



FIGURA 4. Tela de Cadastro de Ocorrências.

■ **Tela Módulo de Consulta** – A esta tela estão associados 3 grupos de elementos processadores da Rede IAC: Sintomas (Danos ao Consumidor), Problemas de Qualidade e defeitos na Rede Elétrica, conforme ilustrado na Fig. 5

■ **Tela Procedimentos Mitigatórios**

O sistema disponibiliza ao engenheiro ou responsável técnico pela análise de causalidade de danos em equipamentos ligados à rede de energia elétrica um conjunto de procedimentos mitigatórios que podem servir de auxílio na solução dos problemas de qualidade de energia elétrica. A Fig. 6 apresenta a janela onde se pode observar duas grades de dados. A grade superior mostra todos os problemas de qualidade de energia cadastrados e a inferior apresenta os respectivos procedimentos mitigatórios.

Nesta figura observa-se que tendo como entrada, isto é, como problema de qualidade: transitórios impulsivos, têm-se Como possíveis soluções, a utilização de: transformadores de isolamento, supressores de surtos e filtro de linha. Este recurso é importante para que a empresa concessionária de energia disponha de um meio automático para auxílio na manutenção da qualidade de seu serviço.

A utilização do recurso apresentado acima é bastante simples. Seleciona-se um item na grade de problemas, dando-se um clique como botão esquerdo do mouse sobre o mesmo, e automaticamente os procedimentos para a solução do problema aparecem, caso existam, na grade inferior. Para acessar este recurso mostrados na Tela de Procedimentos Mitigatórios, basta clicar no item Soluções na Tela Módulo de Consulta.

■ **Tela de Seleção de Relatórios**

Permite delimitar o intervalo de interesse para a impressão de relatórios, assim como a forma como serão ordenados os itens do relatório. Estes itens podem ser ordenados pelo código da ocorrência, ID, pela unidade consumidora, UC e pela descrição do equipamento. Esta opção pode ser acessada ao clicar no menu Relatórios/Ocorrências na Tela Principal ou na Barra de Ferramentas clicando no ícone que representa um relatório. Esta tela está ilustrada na Fig 7.

■ **Tela Tipos de Relatórios**

Esta tela mostra um exemplo de Relatório que pode ser obtido a partir do Banco de Dados, conforme Fig 8.

A rede IAC projetada está instalada na área técnica da Concessionária sendo caracterizada por três grupos de elementos processadores: grupo de sintomas, grupo de defeitos na rede e grupo de problemas de qualidade .

Grupo de Sintomas (representando reclamações do usuário à Empresa concessionária);

Grupo de Defeitos na Rede (representando as alterações de funcionamento normal da rede de distribuição);

Grupo de Problemas de Qualidade (representando os eventos que realmente ocasionaram problemas na rede de distribuição).

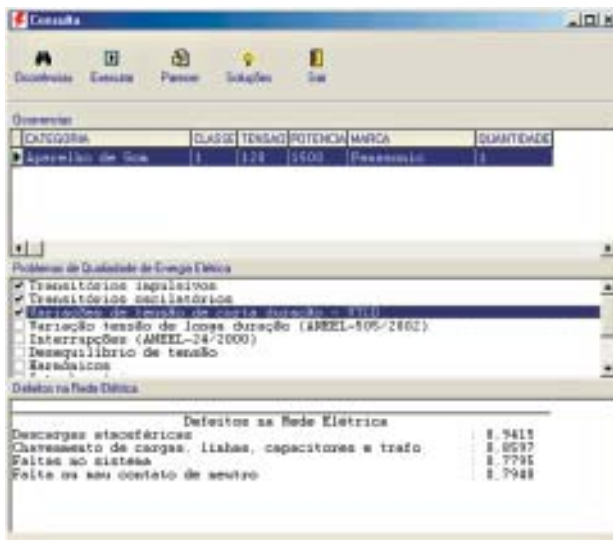


FIGURA 5. Tela de Módulo de Consulta.

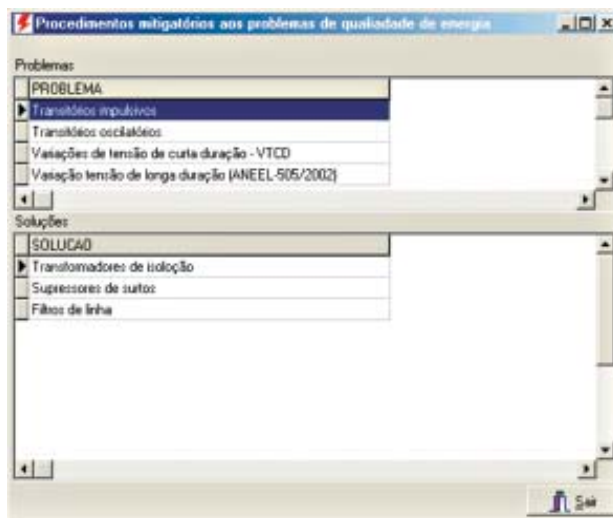


FIGURA 6. Tela de Procedimentos Mitigatórios.



FIGURA 7. Tela de Seleção de Relatórios

ID	UC	Data	Cód Aparelho	Equipamento	Tensão (V)	Potência (W)	Marca	Situação
66	11111112	30/11/88	REN2	Resis	110	1000	CCB	
64	20232023	12/12/2001	ADSP	Atenuador de Freq	220	2000	Embr&Davi	
65	11111112	30/11/88	REN2	Resis	110	1000	CCB	

FIGURA 8. Tela Tipos de Relatórios.

A Tabela 1 mostra os 3 grupos da Rede Neural com a identificação de seus neurônios ou elementos processadores.

TABELA 1

Grupos de elementos processadores da rede IAC

GRUPO: SINTOMAS

Danos em equipamentos eletrônicos:
 Danos em motores: Danos em equipamentos de aquecimento:
 Mau funcionamento de ASD – Acionadores com Velocidade Variável:
 Mau funcionamento de Controladores Eletrônicos:
 Redução da vida útil de equipamentos eletromecânicos:
 Operação indevida de relés de proteção:
 Desligamento de equipamentos: Sobre-aquecimento de cabos:
 Sobre-aquecimento de equipamentos eletromecânicos:
 Mau funcionamento de equipamentos com MPU e MCU – Microprocessadores e Microcomputadores:
 Interferência em Sistemas de Comunicação:
 Cintilação:

GRUPO: PROBLEMAS DE QUALIDADE DE ENERGIA

Transitórios impulsivos:
 Transitórios oscilatórios:
 Variações de Tensão de Curta Duração – VTCD:
 Variações de Tensão de Longa Duração (ANEEL - 505/2002):
 Interrupções (ANEEL – 24/2002):
 Desequilíbrio de tensão: Harmônicos:
 Inter-Harmônicos: Eventos Repetitivos:
 Flutuação de Tensão:
 Ruídos:

GRUPO: DEFEITOS NA REDE ELÉTRICA

Descargas atmosféricas:
 Chaveamento de cargas, linhas, capacitores e trafo:
 Faltas no sistema:
 Partidas de motores:
 Sobre-cargas:
 Mau ajuste de TAPs:
 Atuação indevida de relés: Ação de operadores:
 Parada programada:
 Dispositivos não lineares no sistema:
 Presença de conversores de eletrônica de potência:
 Radiação Eletromagnética Chaveamento de equipamentos eletrônicos:
 Falta ou mau contato no neutro:
 Presença de equipamentos a arco:

Foi desenvolvido um programa utilizando a linguagem DELPHI 5.0 para a solução das Equações de 6 a 8, que calcula os níveis de atividades associados aos elementos processadores. Uma vez excitado um neurônio correspondente a um determinado sintoma, a Rede IAC indica os mais prováveis problemas de qualidade de energia associados ao dano bem como os possíveis defeitos na rede elétrica. Se os distúrbios na qualidade foram obtidos a partir de uma rede de monitoramento de qualidade da energia, instalada na distribuição obter-se-á uma indicação mais precisa da ocorrência do defeito no sistema elétrico

IV. ESTUDOS DE CASOS

Os exemplos apresentados ilustram o procedimento de pedidos de ressarcimento por danos a um consumidor devido a problema na rede de distribuição da concessionária, REDE-CELPA.

O consumidor solicita ressarcimento por danos causados por anormalidade de prestação de serviços de energia elétrica. O pedido é cadastrado no Sistema Comercial e encaminhado para a vistoria para a obtenção das informações relativas aos danos nos equipamentos e situação da rede elétrica. O processo é encaminhado à área técnica para análise e emissão de parecer quanto ao nexos causal e atribuição de responsabilidades.

Para mostrar o desempenho da Rede-IAC são apresentados 3 casos:

1º caso :

Consumidor solicita ressarcimento de danos por queima de equipamento de som classificado pela ABRADDEE – Associação Brasileira de Empresas de Distribuição de Energia Elétrica como equipamentos de potência variável. A entrada do neurônio na Rede IAC, no grupo de sintomas correspondente a Danos em Equipamentos Elétricos é excitada. A Rede responde fornecendo os mais prováveis Problemas de Qualidade associados e os prováveis defeitos na Rede Elétrica, conforme mostra a Tabela 2.

TABELA 2

Ressarcimento de danos em equipamento eletrônicos

SINTOMAS

Danos em equipamentos eletrônicos	0,969
Danos em motores	0,9343
Mau funcionamento de ASD	0,8870

PROBLEMAS DE QUALIDADE DE ENERGIA

Transitórios impulsivos	0,8867
Transitórios oscilatórios	0,8404
Variações de Tensão de Curta Duração - VTCD	0,9475

DEFEITOS NA REDE ELÉTRICA

Descargas atmosféricas	0,9419
Faltas no sistema	0,8387
Falta ou mau contato de neutro	0,8222

2º caso:

Consumidor solicita ressarcimento de danos por queima de geladeira, classificado pela ABRADDEE como equipamentos de potência constante. A entrada do neurônio na Rede IAC, correspondente a Danos em Motores no grupo de Sintomas é excitada e a Rede responde com os prováveis problemas de qualidade de energia e defeitos na Rede Elétrica, conforme mostra a Tabela 3.

TABELA 3

Ressarcimento de danos em equipamento motor

SINTOMAS	
Danos em equipamentos eletrônicos	0,9565
Danos em motores	0,9614
Desligamento de Equipamentos	0,8222
PROBLEMAS DE QUALIDADE DE ENERGIA	
Transitórios impulsivos	0,3332
Variações de Tensão de Curta Duração - VTCD	0,9554
Variações de Tensão de Longa Duração-(ANEEL-505/02)	0,9325
DEFEITOS NA REDE ELÉTRICA	
Descargas atmosféricas	0,8258
Faltas no sistema	0,8881
Falta ou mau contato de neutro	0,9027

3º caso:

Consumidor solicita ressarcimento por danos a chuveiro elétrico classificado pela ABRADDEE como equipamentos de aquecimento. O neurônio no grupo de Sintomas associado Danos em equipamentos de Aquecimento é excitado e a Rede IAC fornece os problemas de qualidade de energia e defeitos na Rede Elétrica, conforme mostra a Tabela 4.

TABELA 4

Ressarcimento de danos em equipamento aquecimento

SINTOMAS	
Danos em equipamentos eletrônicos	0,9585
Danos em motores	0,9299
Danos em equipamentos de aquecimento	0,9412
PROBLEMAS DE QUALIDADE DE ENERGIA	
Transitórios impulsivos	0,9130
Transitórios oscilatórios	0,9181
Variações de Tensão de Curta Duração-VTCD	0,8524
DEFEITOS NA REDE ELÉTRICA	
Descargas atmosféricas	0,9361
Chaveamento descargas, linhas, capacitores e trafo	0,8464
Falta ou mau contato de neutro	0,9153

Nos três casos, a coluna numérica à direita das tabelas apresenta os níveis de atividades associados às possibilidades de ocorrência dos elementos dos grupos, que serve de auxílio à tomada de decisão por parte da área técnica.

Observa-se assim o bom desempenho da Rede nos 3 casos ilustrados, pois a apresentação em sua entrada do sintoma correspondente a uma ocorrência de dano no consumidor reclamante terá automaticamente informações sobre possíveis problemas ocorridos quanto à perda de qualidade de energia no sistema e defeitos na rede de distribuição.

Deve-se ressaltar ainda que a disponibilização de informações sobre problemas da qualidade de energia na Rede Elétrica através de uma rede de instrumentos monitoradores de perturbação, em desenvolvimento pelo NESC com recursos do Programa de PD do Setor Elétrico da Rede CELPA, contribuirá para o aperfeiçoamento do sistema proposto, com uma melhor caracterização das ocorrências e

responsabilidades pelos prejuízos causados devido à perda da qualidade do fornecimento.

V. CONCLUSÃO

Um sistema automático para dirimir questões relacionadas à responsabilidade civil por danos a consumidores de redes de distribuição de energia elétrica é uma ferramenta importante para a diminuição de custos e deteriorização da imagem da concessionária de serviços de energia. O sistema apresentado permite o auxílio à área técnica da Concessionária na análise e tomada de decisão quanto ao ressarcimento por danos aos consumidores industriais, comerciais e residenciais devido à perda da qualidade da energia fornecida. A integração da Rede IAC desenvolvida com o Banco de Dados de Ocorrência na Rede e Sistema de Monitoramento da Qualidade de Energia desenvolvido pelo NESC para a concessionária atenderá a demanda crescente do consumidor por melhores padrões de qualidade do fornecimento

VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Bronzeado H; Cavalcante, B; Neto, S, D. C; Cavalcante, K; Lim & Falc – S. C – “Discussão sobre a Responsabilidade Civil a Danos Decorrentes de Problemas Associados à Qualidade do Fornecimento da Energia Elétrica” – Anais do III Seminário Brasileiro sobre Qualidade da Energia Elétrica – Brasília - DF” pp 351-359– (1999)
- [2] Tanure, J. E. P. S; Hassin, E. S; Filho. A. S – “Indicadores de Qualidade da Energia Elétrica – Aspectos Contratuais e de Proteção ao Consumidor” – Anais do II Seminário Brasileiro sobre Qualidade de Energia Elétrica – Brasília, DF – pp. 237-243.– (1999).
- [3] Sigaki, N.A; De Azevedo, F. M; J. M.– Enhancing Connectionist Expert Systems Using IAC Models Through Real Cases – Proceeding Bof The ICANNGA 97- 3TH International Conference on Artificial Neural Networks and Genetic Algorithms – Norwick, UK – (1997)
- [4] Rumelhart, D. E et alii (1986) – “Learning Internal Representations by Error Propagation – Parallel Distributed Processing” Vol 1, nº 2 Foundation – MIT Press – Cambridge, Mass.
- [5] Hopfield, J. J (1982) – “Neural Networks and System with Emergent Collective Computational Abilities” Proc Nato Academy Science Vol 79, nº 8, Ap. – pp 2554 - 2558.