

---

---

# Comunicação

## Breve

---

---

## SISTEMA MÓVEL ANALISADOR DE FALTA EM LINHAS DE ALTA TENSÃO

---

---

JORGE, David Calhau. – Universidade Federal do Triângulo Mineiro  
MARTINS, Jefferson Beethoven. – Instituto Federal do Triângulo Mineiro  
SOUZA, André Luiz. – Universidade Federal do Triângulo Mineiro  
ANJO, Luiz Fernando Resende dos Santos. – Universidade Federal do Triângulo Mineiro

---

---

### RESUMO

Este trabalho apresenta uma ferramenta móvel desenvolvida para simular um relé de distância, dispositivo muito utilizado para acusar falhas em linhas de alta tensão. Os dados colhidos da rede elétrica são simulados por um microcontrolador, sendo posteriormente enviados a um celular com sistema operacional Android versão 2.3. Através de uma transmissão GSM (Sistema Global para Comunicações Móveis) os dados podem ser recebidos em qualquer lugar sendo encaminhados a uma rede neural que mostrará se a falta está em determinado trecho de proteção. O objetivo do trabalho não é mostrar apenas o software Android ou a rede neural, mas como a mobilidade pode dar significativa contribuição para o setor de energia elétrica. Além de simular o relé de distância, através da rede neural, os dados adquiridos são inseridos em um banco de dados, o que produz um repositório que traz informações sobre as falhas em uma rede de alta tensão. Através da geração de gráficos, torna-se possível analisar o histórico de eventos em determinada rede elétrica e até mesmo alterar os parâmetros de funcionamento do microcontrolador. O intuito do trabalho é mostrar que as redes neurais artificiais podem substituir, com eficiência, o tradicional cálculo de faltas em linhas e mostrar, também, que o atual estágio de software/hardware dos dispositivos móveis já permite executar aplicações pesadas, a priori utilizadas em computadores pessoais. Cálculos outrora feitos em desktops e *mainframes* podem migrar para plataformas móveis, o que traz mobilidade. Inúmeros aplicativos, como os jogos, exploram o poder de processamento destas novas gerações, porém ainda são poucos os programas focados em sistemas elétricos de potência que estão presentes em plataformas móveis. O uso de redes neurais artificiais aliadas aos dispositivos móveis representa grandes ganhos às empresas fornecedoras de energia, as quais realizam inúmeros cálculos, como o relé de distância, baseando-se, tradicionalmente em um modelo matemático (caixa-branca).

**Palavras-chave:** Sistemas elétricos de potência; Relés de distância; Sistemas móveis.

### MOBILE SYSTEM ANALYZER OF FAILURES IN HIGH VOLTAGE LINES

### ABSTRACT

This study presents a tool developed to simulate a distance relay, a common device used to indicate faults in high tension lines. The data collected from the electrical network are simulated by a microcontroller and subsequently sent to a mobile phone with Android operating system, version 2.3. Through a GSM (Global System for Mobile Communications) transmission, data can be received anywhere and sent to a neural network that will show if the fault is in the protected section. The aim of this work is not only to show the Android software or the neural network, but how mobility can give an important contribution to the electric power sector. In addition to simulate the distance relay through the neural network, the acquired data are inserted into a database which produces a repository containing information about the faults in a high voltage grid. Through the graphics generation it is possible to analyze the historical events

in a specific electric network and even change the operating parameters of the microcontroller. The main objective of this work is to show that artificial neural networks can substitute, efficiently, the traditional fault calculations in lines and also to show that the current state of software and hardware of mobile devices allows the execution of applications normally used in personal computers. Calculations made once in desktops can now be executed in mobile platforms, which brings mobility. Several applications, such as games, explore the processing power of these new generations, but there are still few softwares in mobile platforms dedicated to electric power systems. The use of artificial neural networks together with mobile devices represents great gains to the companies which provide energy, that do many calculations with the distance relay, based traditionally in a mathematical model (white-box).

**Keywords:** Electric power systems; Distance relays; Mobile systems.

## INTRODUÇÃO

A preocupação com a qualidade da energia elétrica tem crescido muito nas últimas décadas. Tal fato ocorre, pois a cada dia surgem equipamentos que possuem seu bom funcionamento diretamente ligado à qualidade da rede elétrica na qual está inserido. As falhas precoce de equipamentos, as perdas de matéria prima e os riscos de acidentes são apenas alguns aspectos que podem estar ligados à qualidade da energia elétrica, o que obriga empresas e governos a investir para manter o fornecimento dentro de indicadores minuciosamente estabelecidos. Fornecer energia elétrica sem interrupções é extremamente importante, mas um conjunto de outros aspectos deve ser perseguido para que haja a qualidade requerida pelo consumidor atual. Para auxiliar na importante tarefa do isolamento de falhas, foram criados os relés de distância, hábeis equipamentos que, mesmo com algumas limitações (devido às interferências da rede), auxiliam a

identificação de faltas em uma linha de alta tensão.

Segundo Kagan (2009), o Brasil tem estruturado diversas normas que visam a regular as atividades energéticas no Brasil. Através da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) o Estado busca a qualidade de energia necessária ao crescimento econômico e atende à demanda das indústrias que adquirem novos equipamentos e que são afetadas pelos problemas na rede elétrica. Tanto o governo quanto os consumidores precisam efetuar ações que garantam o acompanhamento da qualidade da rede elétrica, consolidando políticas que tragam ganhos para toda a sociedade.

As concessionárias de energia são encarregadas da tomada de decisões em situações de falha. Uma malha pode se constituir em um complexo sistema com inúmeros fenômenos físicos envolvidos, o que dificulta o uso de equipamentos e políticas que, mesmo em caso de falhas, permitam a continuidade do fornecimento de energia elétrica. Os relés de distância fazem parte deste grande grupo de dispositivos que atuam em caso de falha. Eles utilizam comparações de tensão e distância (impedância na linha) para determinar se uma falha está em determinado lugar geométrico. A falha ocorrida na rede normalmente é comunicada a uma central de operações, pois os dados são digitalizados e encaminhados a um computador de comando da concessionária. A proposta do presente trabalho é simular a aquisição de dados feita na rede elétrica através de um microcontrolador 16F877A Microchip, além de enviar os dados para um celular com sistema operacional Android (o dispositivo móvel simula o relé de distância através da rede neural).

Uma das vantagens é a ausência de fios, ou seja, através de uma transmissão GSM é possível enviar os dados para qualquer lugar. Os dados são recebidos em um celular Android e uma rede, previamente treinada, verifica se o relé deve atuar ou não. A rede neural é treinada no próprio celular, o que permite ao gestor do sistema alterar os parâmetros de treinamento e buscar uma nova

configuração, melhorando o desempenho do tratamento de falhas sem, necessariamente, estar no local da análise.

Os dados referentes às falhas se tornam um histórico para futuras análises, verificando a evolução de determinado trecho de uma linha de alta tensão. O presente trabalho não possui enfoque apenas no funcionamento das redes neurais ou dos microcontroladores, e sim na mobilidade proporcionada pelos sistemas móveis modernos. As atividades de cálculo realizadas por diversos setores de engenharia elétrica podem migrar dos computadores pessoais para os celulares, permitindo o surgimento de uma vantagem importante e desejável: a mobilidade. Toda a rede neural foi desenvolvida em Java para dispositivos móveis Android, ou seja, não foi utilizado nenhum tipo de toolbox ou funções prontas para auxílio.

## METODOLOGIA

O presente trabalho possui o intuito de mostrar os ganhos trazidos ao monitoramento de sistemas elétricos através do uso de dispositivos móveis. As redes neurais artificiais são ferramentas que ilustram o poder computacional dos celulares modernos, pois exigem grande esforço computacional. A rede neural do presente trabalho foi desenvolvida em Java (Android), com treinamento feito de maneira supervisionada. Após, aproximadamente, 6700 ciclos, a rede foi treinada e um novo grupo de valores foi utilizado para os testes. A rede neural final conta com seis entradas, dez camadas intermediárias e apenas uma saída.

Através do uso de microcontroladores é possível receber dados da rede elétrica (após adequações) e, em seguida, podem ser realizados cálculos que tragam importantes informações sobre falhas. Neste trabalho, utilizou-se o microcontrolador PIC Microchip 16F877A para simular a aquisição de dados na rede elétrica. O microcontrolador possui valores predefinidos para a simulação (tensão e corrente) e, através de seu programa, envia os dados para o celular. Para que isso fosse possível,

foi utilizado o modem G24 Motorola GSM, sendo conectado ao microcontrolador através de sua entrada serial (RS232).

O sistema GSM permite que, em qualquer lugar, os dados sejam recebidos, pois o número do celular é configurado no microcontrolador e pode ser facilmente mudado (mesmo remotamente). Através de comandos *AT* verifica-se a qualidade do sinal, configura-se o modem para modo texto e são enviados os dados para um número predefinido, sendo recebidos no celular *Android* que processa as informações e as salva no banco de dados. O sistema GSM foi escolhido pela simplicidade, porém existem inúmeros outros meios para realizar a comunicação entre o local de aquisição dos dados da rede elétrica e o dispositivo móvel que irá tratá-los.

Para que todo o processo fosse desenvolvido foi necessário montar um circuito inicial e simular a rede elétrica real via *software*. Através da falta simulada é possível extrair dados confiáveis que são utilizados no treinamento da rede neural. A rede neural deve operar como um relé de distância, recebendo valores de tensão e corrente e decidindo se a falha está no seu trecho de atuação ou não (zona de proteção).

O programa simulador de falhas *TEER* é um *software escrito em Fortran* conhecido por sua eficácia, utilizado na Escola de Engenharia de São Carlos (USP) no início dos anos 90. O *software* foi usado para gerar dados para uma rede de seis entradas (3 valores de corrente e 3 valores de tensão) e uma saída (está na zona de proteção ou não está). O circuito utilizado foi desenvolvido no *TEER* pelo orientador deste projeto (David Calhau Jorge, orientador no programa de mestrado PMPIT-UFTM), entretanto o software foi descontinuado e possui poucas informações a seu respeito. A linha de transmissão simulada possui 100 km de comprimento e tensão igual a 400KV, sendo do tipo fase-terra a falta levada em consideração. A rede neural possui o objetivo de apontar o local de falta, ou seja, a distância entre um ponto específico

e a falha ocorrida (a área protegida é de 80 km). A rede deve possuir apenas uma saída que informa a atuação ou não atuação do relé simulado pela rede neural (a figura 1 mostra um esboço genérico de uma RNA). Inicialmente utilizou-se a função de ativação logística, tendo a saída 0 ou 1; porém o desempenho da função logística bipolar se mostrou melhor, sendo adotada para o presente trabalho. As saídas da função logística bipolar são -1 ou 1; se a falha estiver dentro da área de proteção do relé, a saída será -1 (a proteção atua); caso contrário, a saída será 1 (a proteção não atua). A rede neural utilizada conta com 6 entradas, 35 padrões de treinamento, 1 saída, 10 neurônios na camada escondida, função de ativação logística bipolar, 18 padrões de testes e 93.33% de acerto.

O treinamento foi feito de maneira supervisionada, ou seja, um grupo de valores gerados pelo *TEER* foi utilizado para que a rede conhecesse o padrão a ser seguido. Como já citado, após 6700 ciclos, a rede foi treinada e um novo grupo de valores foi utilizado para os testes (grupo de treinamento / grupo de validação). A rede neural final possui seis entradas, dez camadas intermediárias e apenas uma saída. A figura 2 traz, circulado em vermelho, os principais pontos trabalhados no projeto.

A figura 3 traz uma visão geral do projeto (fluxograma), em que os dados gerados pelo *TEER* são utilizados no treinamento da rede neural em um celular Galaxy Y S5360. O passo seguinte foi verificar a taxa de acerto da rede e, em seguida, testar todo o sistema onde o microcontrolador envia os valores lidos para o celular e a “equação de pesos”, gerada pelo treinamento da rede. A resposta da rede neural e o momento em que a falha ocorreu são inseridos no banco de dados, permitindo a composição de gráficos.

O programa do microcontrolador deve ser configurado para que seja realizada a comunicação via serial (RS232), utilizando uma taxa de 9600 Kbps para efetuar as trocas com o modem G24 Motorola. Os testes podem ser simulados através do software Isis Proteus, em que é possível enviar

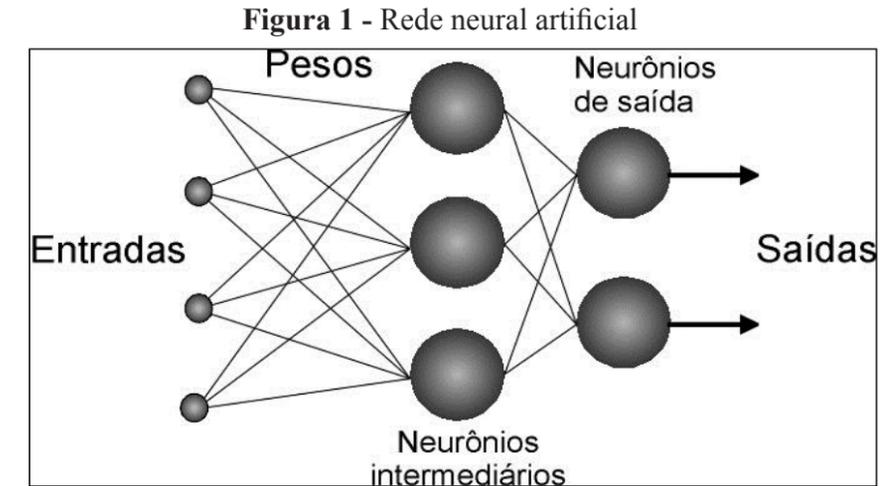
os dados via porta serial (real) e testar o modem. O software Isis Proteus foi desenvolvido pela empresa Labcenter Electronics sendo mundialmente usado para circuitos elétricos (desde a concepção/testes até a confecção da placa de circuito impresso).

O módulo G24 Motorola recebe os dados e utiliza um cartão SIM habilitado em qualquer operadora. O módulo funciona como um celular comum, pois possui um cartão SIM 128kb e, conseqüentemente, efetua chamadas, recebe e envia mensagens. A figura 4 mostra o protótipo testado no simulador (Isis Proteus)

Após a saída dos dados oriundos do *hardware* é necessário recebê-los no celular. O *Android* permite que aplicativos nativos tenham o mesmo “nível” que os *softwares* criados por um desenvolvedor, ou seja, a interação entre programas do próprio celular e programas desenvolvidos para determinado celular podem, não apenas trocar informações entre si, mas alterar um ao outro. Um usuário de um Galaxy Y, por exemplo, pode criar programas que acessem a sua agenda, bem como alterá-la diretamente. Tal liberdade é extremamente importante para o desenvolvimento de sistemas complexos. Este foi o principal motivo que fez com que o *Android* fosse utilizado como plataforma móvel neste trabalho.

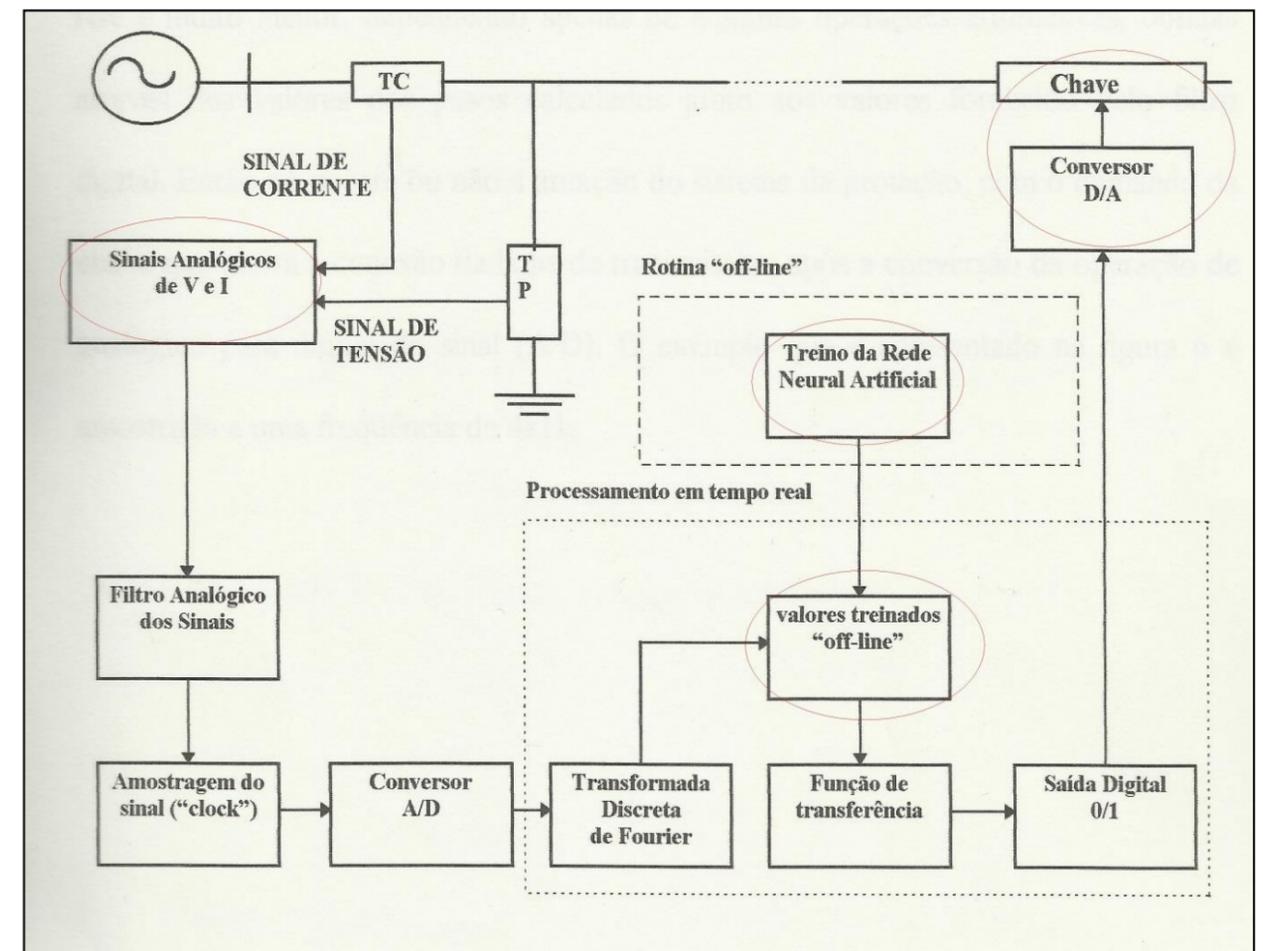
O citado acesso é desejável para que seja possível interceptar uma dada mensagem recebida pelo celular e verificar se o número de origem corresponde ao cartão SIM do circuito. O programa desenvolvido deve rodar em *background* durante todo tempo, aguardando a chegada de uma mensagem. Ao receber o estímulo, o *software* deve utilizar os pesos já determinados para saber qual será a saída da rede neural. Todo o treinamento é efetuado no dispositivo móvel, o que dá a possibilidade de alterar parâmetros e reestruturar a rede.

Para que seja possível receber dados via *SMS* é necessário estruturar o código no *Android*. Para isso, cria-se uma classe filha de *BroadcastReceiver*, ou seja, os métodos da classe mãe serão implementados pela classe filha, herdando suas capacidades.



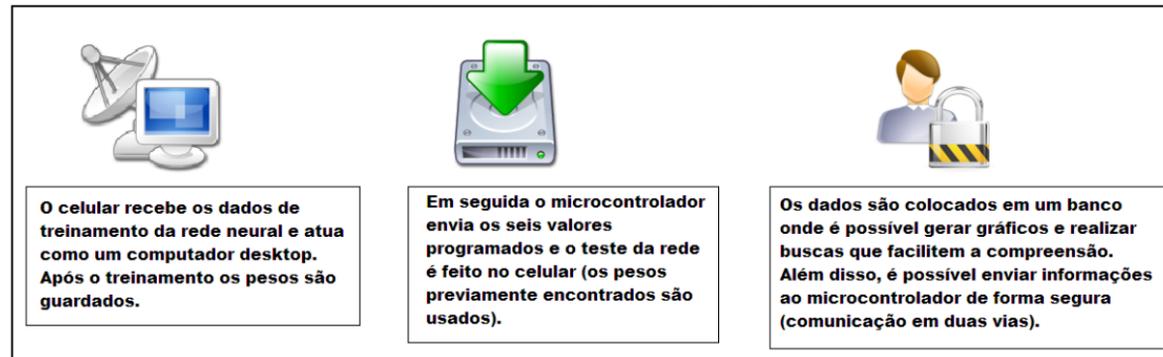
Fonte: <http://www.polbr.med.br>

Figura 2 - Esquema da rede elétrica utilizada no projeto



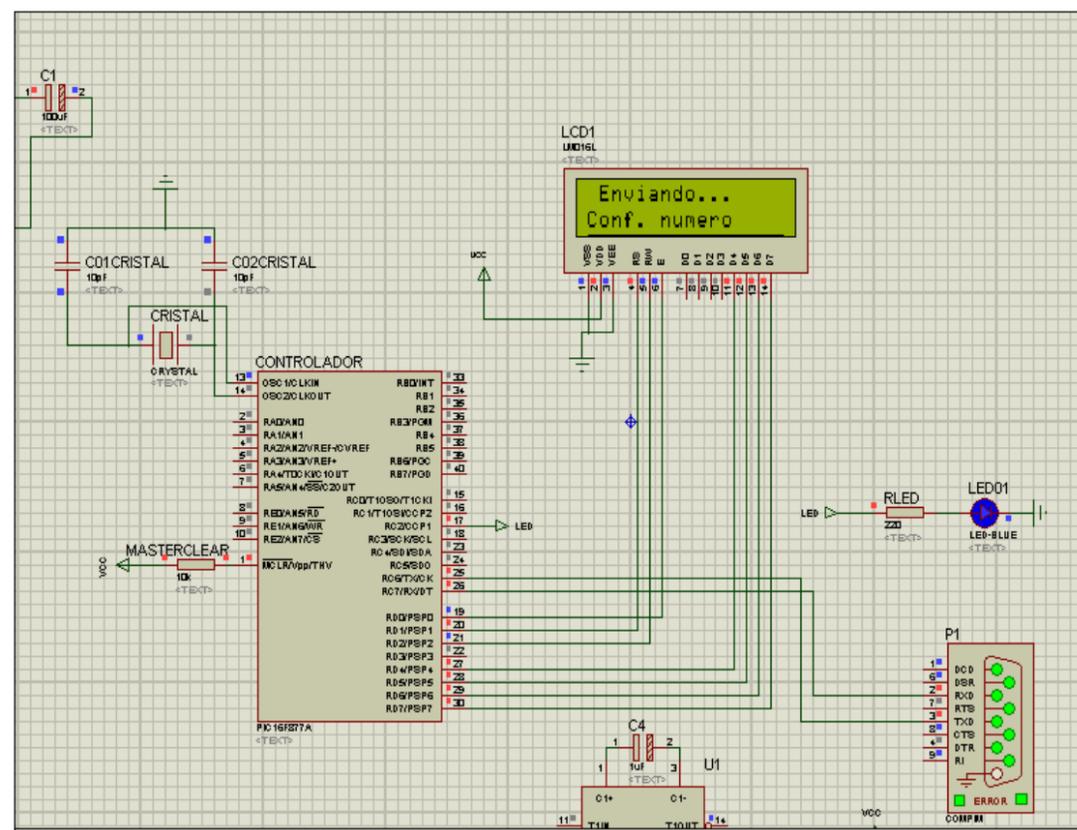
Fonte: David Calhau Jorge, 1997.

Figura 3 - Fluxograma do projeto



Fonte: Autor, 2016.

Figura 4 - Teste efetuado direto na porta serial física do computador



Os dados oriundos da mensagem podem ser recuperados através de um objeto da classe *Bundle*, também usada para passar dados entre telas diferentes.

A mensagem que chega até o celular é tratada como um *Intent* comum (assim como uma nova

tela que é chamada). Em seguida, é convertida até alcançar o formato do qual é possível extrair o número de origem e a mensagem recebida. O número deve ser testado para ter certeza de que o *modem* foi o emissor dos valores. Em seguida, é possível chamar o método *verificaSaidaRede(mensagem)*

passando por parâmetro os dados enviados pelo microcontrolador. Os pesos, encontrados após o treinamento, serão utilizados para que a saída seja formada e inserida no banco de dados.

Caso o número de origem não esteja correto, uma mensagem é mostrada ao usuário e o acesso não é permitido. Tal fato traz segurança ao projeto, pois dificulta a possibilidade do uso de uma mensagem oriunda de outro celular ou, até mesmo, de outro dispositivo. É necessário lembrar que em uma estrutura real existirão vários microcontroladores atuando como relés de distância. Um único dispositivo móvel pode fazer toda a gestão da malha.

A rede deve ser previamente treinada para que o sistema funcione plenamente. Todo o processo de treinamento foi efetuado no próprio celular e tal situação merece destaque, pois a qualquer instante o gestor poderá alterar importantes parâmetros da rede (como pesos e erro admissível), buscando um novo treinamento e consequentemente novos valores de pesos sinápticos. Através da comunicação em duas vias, permitida pelo modem G24, o usuário pode enviar informações ao microcontrolador e alterar configurações necessária ao seu funcionamento. Tal modelo pode ser utilizado não apenas para o exemplo deste trabalho, mas para inúmeras situações em que o engenheiro eletricista deseja adquirir dados e interferir no funcionamento de determinado sistema, mesmo estando longe do local de trabalho (mobilidade e flexibilidade para a realização de tarefas ligadas a sistemas de energia elétrica). Em larga escala, diversos equipamentos de monitoramento e atuação do sistema elétrico podem ser parametrizados via celular.

O treinamento da rede também pode ser efetuado pelo microcontrolador, pois as novas famílias de microcontroladores possuem grandes habilidades, porém ainda estão muito distantes das memórias e processadores presentes nos atuais celulares. A grande desvantagem seria o tempo tomado para o treinamento, sendo mais fácil efetuá-lo no celular e enviar os dados para microcontrolador através do

modem G24, ficando clara a desejável possibilidade de parametrizar determinado dispositivo a distância. A decisão de atuar na rede pode ser feita pelo próprio microcontrolador, isso não aumenta a complexidade do trabalho e torna a ação mais rápida sobre o sistema elétrico; porém é desejável realizar o pesado treinamento da rede em um dispositivo com maior poder computacional (celular).

Após a chegada dos dados no celular e teste com os pesos predeterminados, há uma saída (-1 ou +1) que deve ser armazenada para futuras análises. Os problemas acusados são inseridos no banco de dados *SQLite* e formam um histórico que pode ser trabalhado através de gráficos. Dessa forma, o engenheiro eletricista não só interfere na parametrização do microcontrolador, mas também se baseia em dados anteriores para decidir a melhor estratégia de atuação.

O último passo é gerar um gráfico que mostre ao gestor o problema mais comum encontrado na rede. Através da *Google Chart API* torna-se possível criar gráficos rapidamente, passando por parâmetros quais são os dados necessários para a montagem da tela. Os primeiros testes foram efetuados com informações simplificadas, como a escolha de determinada semana e a visualização do número de falhas ocorridas a cada dia. Este teste abre uma passagem para inúmeros outros, permitindo ao usuário escolher os parâmetros de busca como: falhas por dia, falhas por mês, sinais dentro da área de atuação do relé, sinais fora da área de atuação do relé. O banco de dados, feito de maneira simplificada, também pode receber novos dados como os valores dos pesos utilizados para a configuração vigente da rede e até mesmo as configurações antigas. Os valores que chegam até o celular também podem ser armazenados e analisados posteriormente.

### RESULTADOS E DISCUSSÕES

Ao final do processo a rede neural obteve acerto de 93,33% sendo um valor com ótima aceitabilidade para a atividade proposta(proposta

(as características da rede neural utilizada são descritas na tabela 1). A operação da rede neural gerou um conjunto de pesos que são inseridos em um arquivo de texto. A rede neural possui grande contribuição ao trabalho, devido ao seu pesado processamento. O grupo de dados utilizados para validação possuem dois tipos de saída (relé atua ou não atua) e a rede neural desenvolvida demonstrou a sua capacidade de aprendizado da dinâmica do sistema através do índice de acerto, ou seja, em qual trecho haveria a falha. Os valores levantados são utilizados para a composição do histórico e análises futuras. As figuras 5 e 6 mostram o software no celular e o hardware após a confecção da placa de circuito impresso definitiva e o software executado em plataforma Android através do celular Galaxy Y. A figura 7 mostra os testes da rede neural efetuados no simulador Eclipse Java e, sem seguida, no celular

Galaxy Y Samsung. Após breves estudos sobre usabilidade de sistemas, o layout foi alterado, sendo mostrado, parte dele, na figura 8.

O presente trabalho apresenta um novo conceito que interpreta os problemas presentes na rede elétrica. Mais funcionalidades podem ser agregadas e forma-se um novo produto. Assim como o *Smart Grid* (dispositivo que coleta os dados da rede e permite analisar as suas características), o projeto apresentado mostra como diversos dados oriundos da rede elétrica podem se tornar informações na era digital. Tal tendência se confirma a cada dia, pois a domótica (automação residencial) vem crescendo e cria interfaces computacionais para inúmeros eletrodomésticos. A mesma preocupação com as residências está presente nas indústrias e hidrelétricas.

Supõe-se que, no futuro, existirão dispositivos

Tabela 1- Principais características da rede neural artificial.

Informações da rede neural	Valores/característica
Erro total admissível	0,05
Número de entradas	6
Padrões de treinamento	35
Número de saídas	1
Número de camadas escondidas	10
Variação dos pesos	de -0,5 a +0,5
Função de ativação	Logística bipolar
Padrões de teste	18
Índice de acerto da rede	93,33%
Tempo médio de treinamento - Desktop	04:26 - 10 tentativas
Tempo médio de treinamento - Galaxy Y	00:39 - 10 tentativas

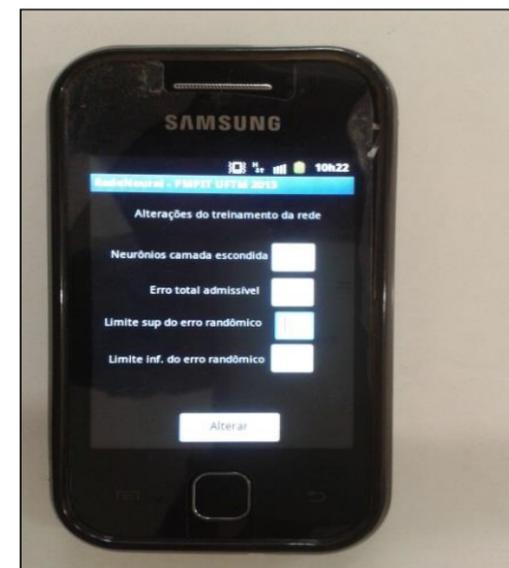
Fonte: Autor, 2013.

inteligentes nos processos de geração, transmissão, distribuição e uso da energia elétrica. As concessionárias de energia poderão verificar a qualidade do seu produto, bem como as agências reguladoras e os próprios consumidores. Gargalos serão combatidos e os conceitos de sustentabilidade

e esforço ambiental estarão cada vez mais presentes no cotidiano do setor energético. Diante de todos os desafios supracitados, elucida-se que os dispositivos móveis se apresentam como fortes aliados.

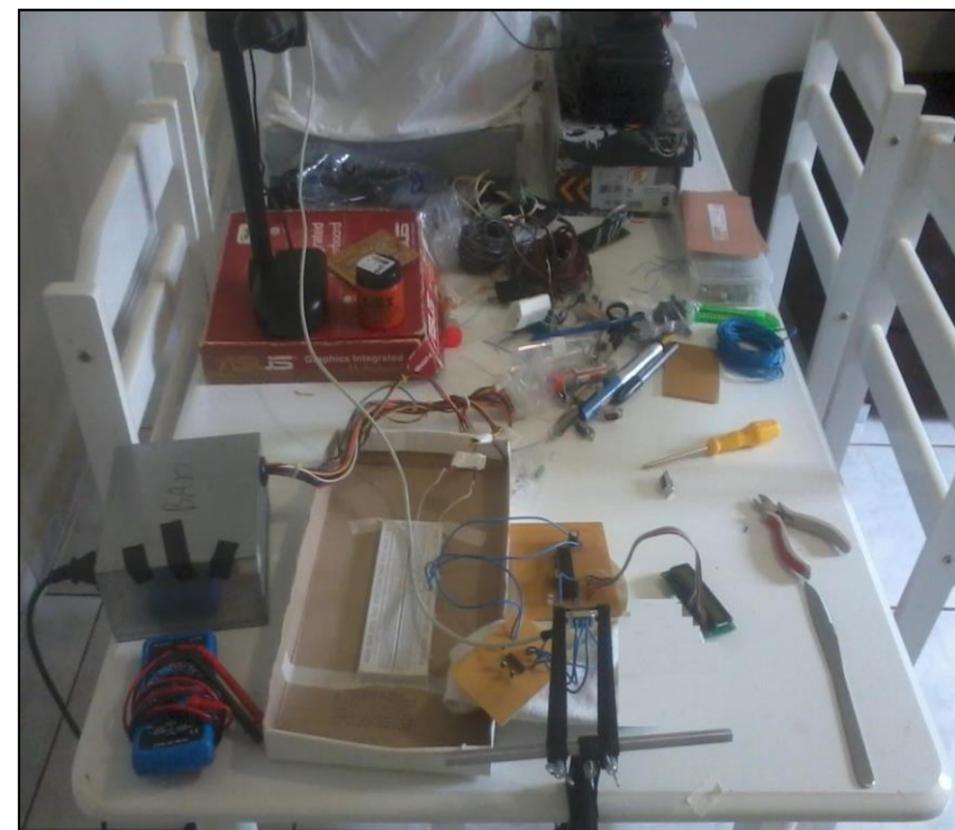
A mobilidade apresentada neste trabalho é a melhor forma de disponibilizar as informações

Figura 5 - Configurações de treinamento da rede no dispositivo



Fonte: Autor, 2016.

Figura 6 – Montagem do hardware do projeto



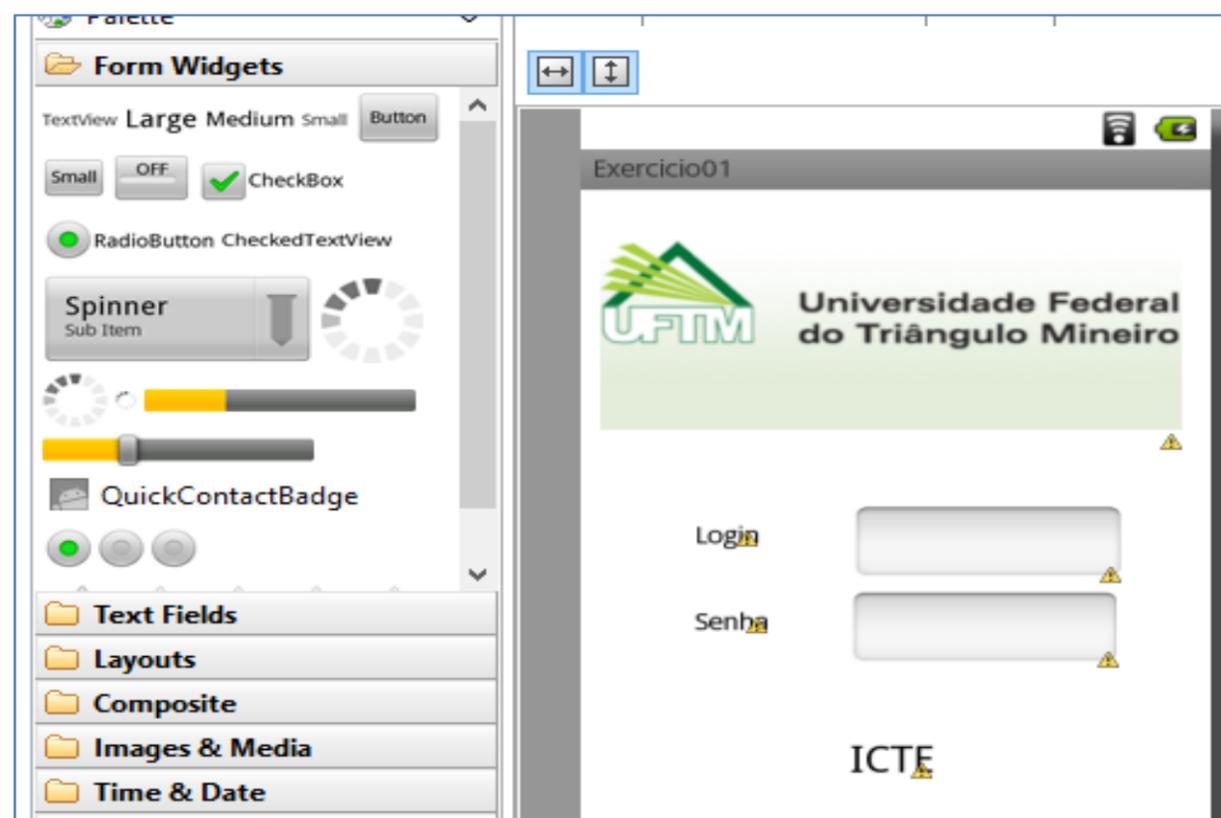
Fonte: Autor, 2016.

Figura 7 - Teste - média de tempo realizado no emulador Eclipse e no dispositivo



Fonte: Autor, 2016.

Figura 8 – Layout definitivo da tela inicial



Fonte: Autor, 2016.

que serão geradas por inúmeros processos ligados aos sistemas elétricos de potência. Os usuários (engenheiros, governo, donos de residências e indústrias) poderão acessar e parametrizar seus sistemas a partir de qualquer lugar. O estudo realizado é um passo para um futuro com mais informações sobre os procedimentos que envolvem os sistemas elétricos de potência.

Tais contribuições trazem, em grande escala, a redução de paradas por falta de energia em determinados setores da rede, proporcionando melhor qualidade, evitando desperdícios e contribuindo para uma melhora alocação de recursos econômicos no setor de energia. Este contexto demonstra a importância, sobretudo ambiental, relacionada ao projeto desenvolvido.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALDABÓ, Ricardo. **Qualidade na energia elétrica**. São Paulo: Editora Artliber, 2001.

ALVES, William Pereira. **Banco de dados: Teoria e Desenvolvimento**. São Paulo: Editora Érica, 2009.

JORGE, David Calhau. **Redes Neurais Artificiais aplicadas a proteção de sistemas elétricos de potência**. São Carlos, 1997.

KAGAN, Nelson; ROBBA, Ernesto João; SHMIDT, Hernán Prieto. **Estimação de Indicadores de qualidade na energia elétrica**. São Paulo: Blucher, 2009.

LECHETA, Ricardo. **Google Android**. São Paulo: Editora Novatec, 2010.

PRESSMAN, R. S. **Engenharia de Software**. São Paulo: ed.6.ed. McGrawHill, 2006.

PEREIRA, Fábio. **PIC Programação em C**. São Paulo: Érica, 2009.

SILVA, Ivan Nunes; SPATTI, Danilo Hernane; FLAUZINO, Rogério Andrade. **Redes Neurais Artificiais**. São Paulo: Artliber, 2010.