

# Um dispositivo eletrônico para detectar fraude de energia elétrica

P. S. Pereira; G. E. Lourenço; M. A. Choqueta; J. F. Andrade; G. D. Bazelatto

**Resumo** – Este artigo apresenta o projeto e desenvolvimento de um instrumento simples, compacto, de baixo custo e prático de operar com o objetivo de detectar fraudes de energia elétrica. O instrumento basicamente é composto de três sensores e são eles: Sensor de Campo Elétrico, Sensor de Campo Magnético e Sensor Detector de Metal. O trabalho foi fruto de um P&D entre a ESCELSA e a CONPROVE Indústria e Comércio. Um protótipo foi montado e seu funcionamento foi verificado experimentalmente, apresentando um resultado satisfatório.

**Palavras-chave:** Fraude na rede elétrica; Sensor de Campo Elétrico; Sensor de Campo Magnético; Detector de Metais.

## I. INTRODUÇÃO

Durante muitos anos as concessionárias de energia elétrica vêm otimizando perdas, e a nível de perdas técnicas já foram encontrados pontos perto do ótimo, com programas de computadores que objetivam o ponto ótimo da transmissão e distribuição.

Com relação às fraudes, tem-se percebido que um grande percentual de perda existe hoje no mundo, em especial no Brasil.

A Escelsa vem exercendo seu papel de redução de perdas e este trabalho foi colocado junto com a Conprove, visando desenvolver um sistema simples que permita a identificação de pontos onde pode estar ocorrendo fraudes.

A idéia do projeto é a detecção de fraude, que normalmente ocorre na entrada do padrão do consumidor, desviando-se uma alimentação por dentro da parede antes de passar pelo medidor.

Para tal três formas de detecção foram implantadas no instrumento: A primeira por campo elétrico visando identificar se existe algum fio escondido sendo desviado antes do padrão de entrada.

A segunda consiste em detectar campo magnético, caso este que envolve alimentação estar produzindo corrente e, conseqüentemente campo magnético. A terceira proposta é suposto que a fraude acontecerá dentro de um duto metálico e assim não seria possível detectar campos elétricos e/ou magnéticos. Nesse sentido um detector de metais foi incluso no aparelho, que por aproximação pode detectar se existe algum caminho metálico quando não deveria existir, caracterizando a possibilidade de ocorrer a fraude.

Sabe-se que o instrumento é apenas um dispositivo que levanta possibilidades e que o usuário deve analisar e interpretar visando assegurar o bom relacionamento fornecedor – consumidor.

Este artigo apresenta o novo produto. Detalhes da arquitetura do projeto e resultados são apresentados nos itens a seguir.

## II. ESTRUTURA DO EQUIPAMENTO

O instrumento foi estruturado de forma compacta, com um sistema de antena para captação de campo elétrico e bobinas para captação de metal e campo magnético.

O painel frontal dispõe de led's indicadores e potenciômetros que permitem ajuste de sensibilidade independente para cada detector.

O equipamento foi batizado com o seguinte nome: Trickery Detector. Trickery do inglês significa: engano, logro, trapaça, “fraude”.

Este é um aparelho bem versátil, pois faz as três detecções simultâneas, permitindo ajuste de sensibilidade independente para cada uma delas.

### A. Detector de Campo Elétrico

Definiu-se dois pontos indispensáveis para o desenvolvimento do sensor de Campo Elétrico:

- **Antena Receptora** – Esta é responsável por captar o sinal do Campo Elétrico a qual deve apresentar uma alta sensibilidade.
- **Primeiro Estágio** – É um circuito de sensibilidade onde se pode ajustar o equipamento para uma melhor recepção do sinal.

Portanto a antena aprovada foi a do tipo telescópica, por preencher os requisitos necessários.

---

Este trabalho teve o apoio financeiro da ESCELSA – Espírito Santo Centrais Elétricas S. A. (Programa de P&D/ANEEL – ciclo 2003/2004).

P. S. Pereira é Phd em Engenharia Elétrica, MscEng e diretor técnico da CONPROVE Indústria e Comércio.

G. E. Lourenço é Engenheiro Eletricista especialista formado pela UFU; trabalha no setor de Pesquisa e Desenvolvimento da CONPROVE Indústria e Comércio.

M. A. Choqueta é técnico especialista e trabalha no setor de desenvolvimento da CONPROVE Indústria e Comércio.

J. F. Andrade é Engenheiro Eletricista formado pela UFU; trabalha no setor de Pesquisa da CONPROVE Indústria e Comércio.

G. D. Bazelatto é Engenheiro Especialista da ESCELSA.

A figura 1 mostra o sensor detector de campo elétrico. A figura 2 mostra o sensor fixado ao equipamento, apresentando uma visão global.



Figura 1 – Sensor detector de Campo Elétrico.

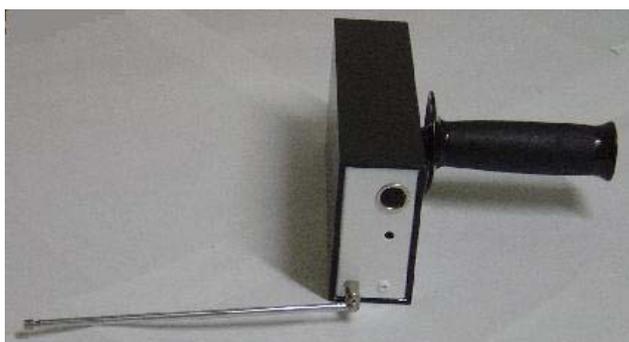


Figura 2 – Visão geral do sensor de campo elétrico fixado ao equipamento.

Na figura 2 também pode ser observado o uso de uma empunhadora para manobrar o equipamento. Esta foi utilizada para fornecer uma maior praticidade ao manusear o produto, uma vez que permite movê-lo de forma mais segura e confortável pelo operador.

Ela é feita de um plástico resistente e leve. A figura 3 mostra a empunhadora utilizada.



Figura 3 – Empunhadora

O ajuste de sensibilidade é feito por um potenciômetro no painel frontal, que será apresentado mais adiante.

A sensibilidade deste detector possui um grande alcance, chegando a detectar com uma distância de 2,5 m para fios pendurados ao ar livre.

#### B. Restrições na Detecção do Campo Elétrico

A detecção de campo elétrico só é possível quando os fios não estão em contato com o chão (solo) ou dentro de

paredes de concreto.

Qualquer outro anteparo não metálico utilizado para camuflar o “gato” torna-se possível a sua detecção.

Realizou-se um estudo do comportamento do campo elétrico para um fio energizado pendurado ao ar livre e aproximado gradativamente do solo, como a figura 4 ilustra.

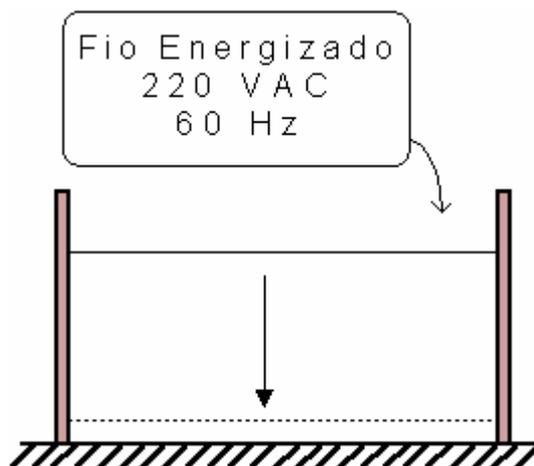


Figura 4 – Montagem feita para o estudo do campo elétrico

Foram feitos vários testes, envolvendo distâncias diferentes até se chegar ao solo.

O equipamento utilizado para medição foi o próprio: Trickery Detector – Desenvolvido pela CONPROVE e apresentado na figura 5.

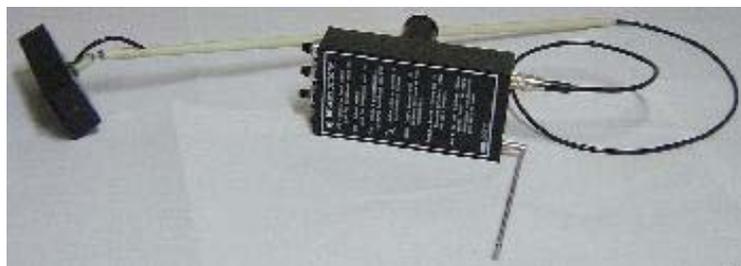


Figura 5 – Trickery Detector com a haste acoplada além do sensor de campo elétrico

Todos os testes foram realizados com a mesma calibração, ou seja, mantiveram-se o tamanho da antena e o ajuste de sensibilidade fixos. A figura 6 mostra o equipamento por um ângulo diferente.

A conclusão foi a seguinte:

O campo elétrico reduz sua intensidade quando o fio é deslocado no sentido do solo, isto é, quanto maior a proximidade com o solo, mais difícil fica a detecção.

Portanto, para um fio que se encontra envolto por paredes de concreto o campo elétrico fica praticamente encerrado em seu interior. É como se as paredes fossem um “terra” para as linhas de força do campo elétrico.

Em síntese, não se consegue detectar campo elétrico na parte de fora das paredes onde se encontram fios energizados embutidos.



Figura 6 – Trickery Detector

O detector de campo elétrico foi mantido no equipamento por permitir um grande alcance na detecção de campo elétrico para outras situações, em que o fio possa estar fora da parede.

- **Princípio de funcionamento:** A figura 8 mostra o circuito elétrico do detector de campo elétrico. A antena é responsável por captar o sinal do campo elétrico e enviar ao primeiro estágio responsável por dar um alto ganho no sinal.

A figura 7 mostra o equipamento com a antena totalmente abeta, situação em que se tem o maior alcance na detecção do campo elétrico.



Figura 7 – Antena esticada: situação de maior alcance na detecção de campo elétrico

Na seqüência o sinal passa por dois filtros ativos sintonizados em 60 Hz.

O terceiro estágio corresponde a uma retificação de onda completa do sinal para então passar ao quarto estágio: o comparador.

Enfim, a saída do comparador é ligado a um dispositivo luminoso LED, e a um sinal sonoro.

- **Sinal Sonoro:** O equipamento oferece a opção de um aviso sonoro quando for detectado algum tipo de campo ou metal.

O sinal sonoro é comum ao três circuitos, por isso apresenta a possibilidade de ser ativado ou desativado, de acordo com o operador.

Quando a buzina soar é porque algum campo ou metal foi detectado. Para distinguir o que foi detectado basta olhar no painel frontal e ver quais LED's acenderam. Desta forma a buzina indica que algo foi detectado, mas não indica o que foi detectado.

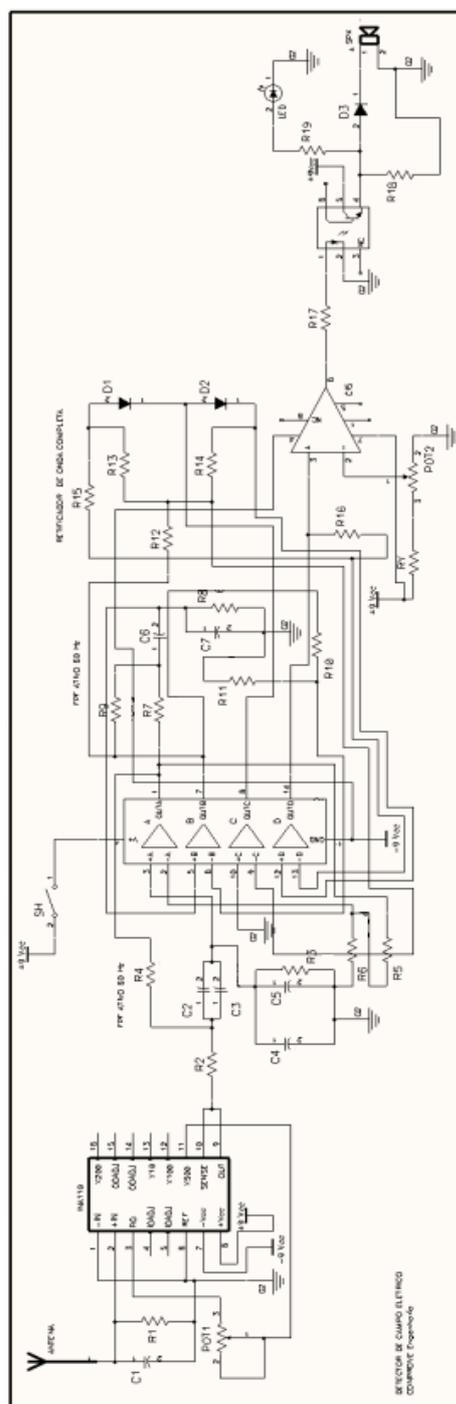


Figura 8 – Circuito detector de campo elétrico

### C. Detector de Campo Magnético

Foi desenvolvido um circuito de detecção de campo magnético para verificar a presença de pequenas correntes elétricas provenientes de possíveis “gatos”.

Para comprovar a eficiência deste sensor foi montado um padrão artificial no interior da empresa CONPROVE.

Este é um padrão de entrada de energia trifásico com parede de tijolos maciços, furados e pisos de concreto onde foi testado o equipamento; permitindo assim a simulação real da fraude de energia elétrica.

Através destas simulações pôde-se ajustar o equipamento para encontrar um alto grau de precisão em suas medidas, e determinar os ambientes onde a medição poderá ou não ser efetuada.

A figura 9 abaixo ilustra o padrão experimental montado e suas várias condições de barreira, que são:

1- **TM 3 cm:** Tijolo maciço com eletroduto a 3 cm da superfície da parede.

2- **TM 7 cm:** Tijolo maciço com eletroduto a 7 cm da superfície da parede.

3- **TM 14 cm:** Tijolo maciço com eletroduto a 14 cm da superfície da parede.

4- **TF 5 cm:** Bloco 8 furos com eletroduto a 5 cm da superfície da parede.

5- **TF 8 cm:** Bloco 8 furos com eletroduto a 8 cm da superfície da parede.

6- **CO 8 cm:** Concreto com eletroduto a 8 cm da superfície da parede.

7- **CO 13 cm:** Concreto com eletroduto a 13 cm da superfície da parede.

8- **CO 23 cm:** Concreto com eletroduto a 23 cm da superfície da parede.

9- **CO 3 cm:** Concreto com eletroduto a 3 cm da superfície da parede.

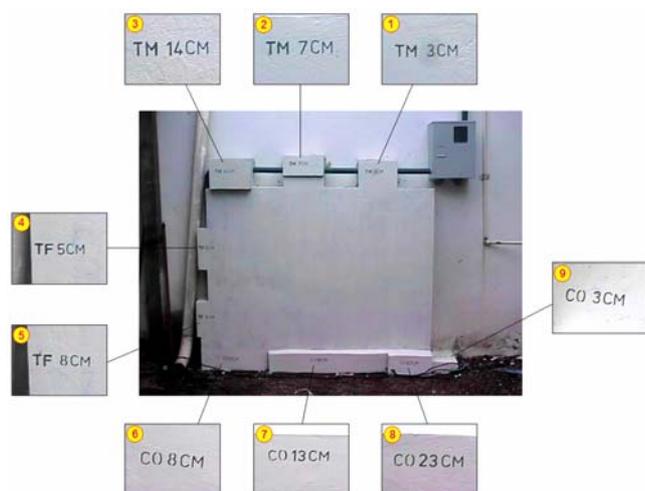


Figura 9 – Barreiras do padrão experimental

Para análise dos resultados, as cargas foram ligadas a partir do padrão experimental. Assim foi possível verificar o comportamento do circuito sob as várias condições de barreiras impostas no padrão.

#### • 1º Teste de sensibilidade:

A carga utilizada foi um motor de indução trifásico de 0,50 CV.

Os valores medidos de tensão foram:

$$V_{ab} = 212,8 \text{ V, } \text{ângulo entre } V_a \text{ e } V_b = 119,4^\circ$$

$$V_{bc} = 213,0 \text{ V, } \text{ângulo entre } V_b \text{ e } V_c = 120,2^\circ$$

$$V_{ca} = 213,5 \text{ V, } \text{ângulo entre } V_c \text{ e } V_a = 120,2^\circ$$

Os resultados estão apresentados na tabela a seguir:

TABELA I  
RESULTADO DO TESTE 1 REALIZADO COM O  
DETECTOR DE CAMPO MAGNÉTICO

TESTE DE SENSIBILIDADE DO DETETOR DE CAMPO MAGNÉTICO	
CARGA: MOTOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO 0,50 CV	
BARREIRA	DISTÂNCIA DE ATUAÇÃO*
1 - TM 3cm	10 cm
2 - TM 7 cm	8 cm
3 - TM 14cm	Não houve atuação
4 - TF 5cm	12 cm
5 - TF 8cm	5 cm
6 - CO 8cm	10 cm
7 - CO 13cm	5 cm
8 - CO 23cm	Não houve atuação
9 - CO 3cm	12 cm

#### • 2º Teste de sensibilidade:

A carga utilizada foi um motor de indução monofásico 60 VA.

TABELA II  
RESULTADO DO TESTE 2 REALIZADO COM O  
DETECTOR DE CAMPO MAGNÉTICO

TESTE DE SENSIBILIDADE DO DETETOR DE CAMPO MAGNÉTICO	
CARGA: MOTOR DE INDUÇÃO MONOFÁSICO 60 VA	
BARREIRA	DISTÂNCIA DE ATUAÇÃO*
1 - TM 3 cm	7 cm
2 - TM 7 cm	6 cm
3 - TM 14 cm	Não houve atuação
4 - TF 5 cm	8 cm
5 - TF 8 cm	3 cm
6 - CO 8 cm	7 cm
7 - CO 13 cm	3 cm
8 - CO 23 cm	Não houve atuação
9 - CO 3 cm	8 cm

O detector de campo magnético para detectar presença de corrente se mostrou muito sensível, detectando tanto o desequilíbrio de cargas trifásicas e quanto de cargas monofásicas fase-fase.

\* Máxima distância entre o detector e a superfície da parede que foi constatada atuação do circuito.

• **Princípio de funcionamento:** A figura 10 apresenta o circuito elétrico do detector de campo magnético que utiliza como sensor detector de campo magnético uma bobina.

A bobina detectora se encontra instalada dentro de uma caixa plástica, junto com as bobinas do detector de metal. A figura 11 apresenta o diagrama representativo da distribuição dos sensores, onde temos: DM = Sensores detectores de metal e CM = Sensor detector de campo magnético. A figura 12 e 13 mostram a caixa plástica onde estão os sensores.

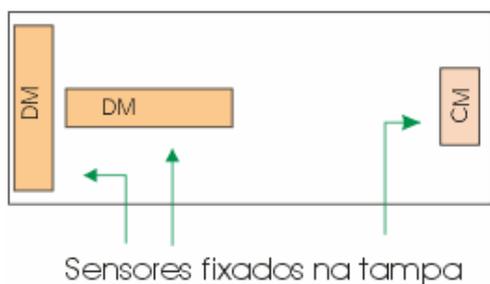


Figura 11 – Distribuição dos sensores detectores de metal e campo magnético



Figura 12 – Caixa preta que contém os sensores DM e CM



Figura 13 – Caixa preta, mostrando a face que deve ser usada para a exploração.

O princípio de funcionamento do circuito de campo magnético é praticamente igual ao do campo elétrico, com uma modificação no primeiro estágio.

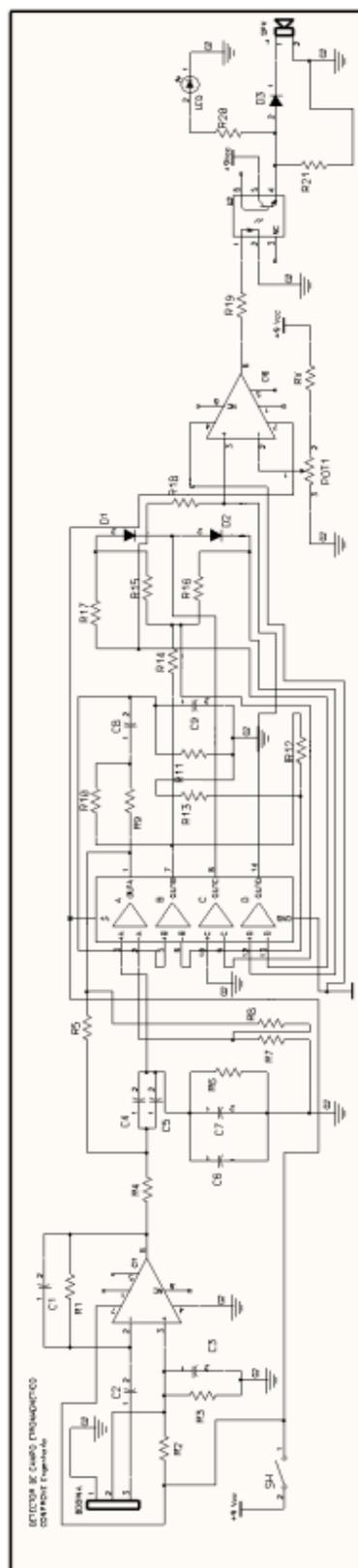


Figura 10 – Circuito detector de campo magnético

Este possui uma bobina que ao ser sensibilizada dispara o comparador, que em situação de “não detecção” se encontra com a tensão de Offset ajustada – saída igual a 0 –. O segundo estágio corresponde a passagem por dois filtros ativos sintonizados em 60 Hz.

O terceiro estágio corresponde a retificação de onda completa do sinal que é levado ao quarto estágio: um comparador responsável por ativar um sinal luminoso LED e um sinal sonoro (buzina).

#### D. Detector de Metal

Caso a fraude seja feita passando por dentro de um eletroduto de ferro, haverá a blindagem dos campos e não poderão ser detectados. Assim, a solução foi incrementar o Trickery Detector com um detector de metal bastante sensível.

O sensor detector de metal é constituído de duas bobinas perpendiculares entre si e dispostas como mostrado na figura 11 já apresentada.

Esta distribuição gera uma economia considerável de tempo, pois basta fazer uma única varredura e já se tem a conclusão entre o que existe: se é Metal ou se tem a presença de Campo Magnético.

Acoplada á caixa preta (onde estão os sensores DM e CM) está a haste, descrita a seguir.

- **Haste:** A haste é feita de um material rígido e leve permitindo um manuseio mais suave e com pouco esforço.

A haste possui uma junta de acoplamento com um grau de liberdade próximo à caixa preta. Esta haste possui a vantagem de permitir um ajuste para se manter os sensores (caixa preta) sempre faceados com a parede ou local suspeito que se queira explorar. As figuras 14, 15 e 16 mostram a haste nos seus detalhes.



Figura 14 – Haste com um grau de liberdade



Figura 15 – Junta da haste que permite um grau de liberdade



Figura 16 – Haste pode ser dobrada até 90°

Caso a haste fosse fixa, ao se explorar partes mais altas ter-se-ia uma grande perda de sensibilidade para o Detector de Metal, que deve estar sempre faceado com a parede para um maior rendimento.

Deve ser observado também que ao final da haste tem-se um plug que é usado para fazer a conexão com o equipamento.

Na parte de trás se um plug fêmea com um encaixe para oito pinos, porém só tem um modo de ser encaixado devido uma trava de segurança do próprio plug. Isto evita que um encaixe aleatório seja feito comprometendo-se assim todo o circuito. A figura 17 mostra o plug fêmea utilizado.



Figura 17 – Plug fêmea localizado na parte de trás do equipamento

No fim do fio que sai da haste, encontra-se um plug macho de 8 pinos, onde estão localizados os fios responsáveis por alimentar os sensores DM e CM. A figura 18 mostra este plug e a sua conexão está na figura 19.



Figura 18– Plug macho localizado no fio da haste

Observe também na figura 19 a presença de um silk na parte de fora do equipamento. Este silk contém as informações necessárias para se operar o aparelho, caso tenha alguma dúvida no trabalho em campo.



Figura 19 – Visão geral dos sensores acoplados no equipamento

A figura 20 detalha o conteúdo do silk. Estas informações não substituem o manual de instruções, porém auxiliam o usuário.



Figura 20 – Silk externo

• **Princípio de funcionamento do detector de metal:** É o mesmo da maioria dos circuitos detectores de metal encontrados no mercado, conhecido como batimentos de frequência.

Neste circuito o batimento é conseguido através de um conjunto de bobinas e transistores. Sua oscilação é em torno de 98 KHz. A figura 21 mostra o circuito desenvolvido.

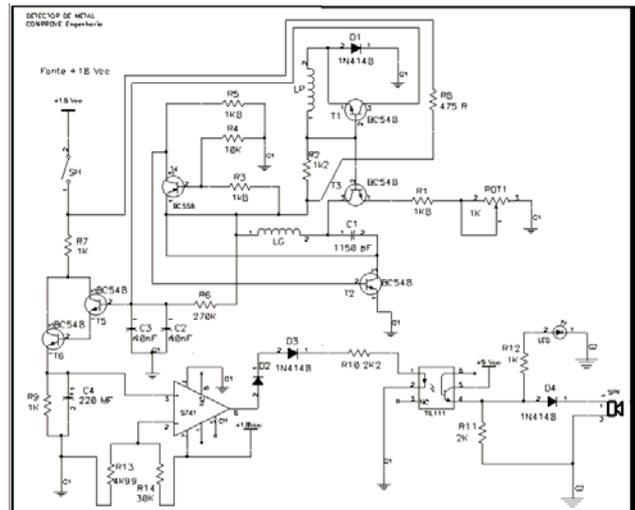


Figura 21 – Circuito detector de metal

Cada bobina é constituída de duas bobinas isoladas eletricamente uma da outra. A bobina LP (figura 21) é um terço da bobina LG (figura 21), ambas enroladas em sentido contrário.

Para uma maior sensibilidade e direcionamento do fluxo foi adicionado um ferrite no interior da bobina (entende-se aqui que uma bobina é constituída da LP e LG)

A saída do circuito é composta de um estágio de amplificação (Darlington) para se elevar a potência do sinal que passa ao próximo estágio.

O próximo estágio é um comparador onde temos uma referência fixa, e de acordo com o sinal de entrada temos uma saída em nível alto ou baixo.

Sua saída passa por um isolador óptico (como ns outros circuitos) para se ter uma maior potência no acionamento dos LED's e do aviso sonoro (buzina).

#### E. Painel Frontal

O painel frontal traz as divisões e marcações para o total entendimento dos resultados. A figura 22 mostra o painel frontal.



Figura 22 – Painel frontal

Observe que todas as siglas e marcações encontradas no painel frontal estão descritas no silk externo (figura 20).

Os potenciômetros utilizados são de precisão, e a estes são acoplados diais graduados (“conta-voltas”) para se ter uma referência.

A sensibilidade é aumentada no sentido da seta, o que também corresponde ao aumento na escala dos diâmetros graduados.

Como a buzina é comum aos três circuitos, os LED's são os responsáveis por diferenciar o que foi detectado. Quando um LED acender, é porque foi detectada uma das três possibilidades: Metal, Campo Elétrico ou Campo Magnético; o que será confirmado pela sigla correspondente no painel.

Na parte inferior central encontra-se um LED de cor vermelha responsável por indicar carga de bateria baixa. Quando este acender deve-se providenciar a troca de baterias.

No canto inferior direito tem-se uma chave responsável por ligar ou desligar a buzina, sendo de livre arbítrio do operador.

#### F. Trickery Detector

O Trickery Detector é um equipamento que vem auxiliar as concessionárias de energia elétrica no sentido de se evitar os “gatos” de energia elétrica.

Os prejuízos destas concessionárias já estão atingindo patamares relevantes e por isso esta prática criminal deve ser combatida o mais rápido possível.

Devemos esclarecer aqui que isto é uma prática criminosa prevista no código penal brasileiro (artigo 155); o que nos permite atuar de forma rigorosa neste combate, através deste instrumento.

A figura 23 mostra o Trickery Detector de forma completa.



Figura 23 – Protótipo final

O Trickery Detector é um equipamento que visa auxiliar na detecção de fraudes de energia elétrica, através de uma inspeção externa, sem incomodar o consumidor.

Sua principal função é indicar, através da detecção se há ou não um possível caminho que represente a existência de “gatos”.

### III. CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou um instrumento desenvolvido, especialmente como sendo uma ferramenta para auxiliar as empresas do setor elétrico brasileiro, na detecção de fraudes provocadas por consumidores.

Foram desenvolvidos sistemas de detecção de campo elétrico, campo magnético e detector de metais de modo a permitir ao operador informações sobre a possibilidade de alterações na instalação.

O instrumento foi testado exaustivamente em um padrão experimental simulando diversas condições de montagem e profundidade da parede, apresentando excelente resultado.

Um lote piloto está sendo construído de modo que um grupo de inspetores e prestadores de serviços da ESCELSA possam fazer uma análise de sua produtividade.

### IV. AGRADECIMENTOS

Os autores desejam agradecer à ESCELSA e à ANEEL pelo suporte técnico e financeiro para o desenvolvimento deste trabalho.

### V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] R. M. Eisberg e L. S. Lerner, *Física: Fundamentos e Aplicações*, vol. 3 e 4. MacGraw-Hill do Brasil, 1983.
- [2] D. Halliday e R. Resnick, *Fundamentos de Física*, vol. 3 e 4. Livros Técnicos e Científicos, 1991.
- [3] H. N. R. Schaefer, *Eletricidade e Magnetismo*, Editora da UFSC, Florianópolis.
- [4] A. P. Malvino, *Electronic Principles*, Quinta edição. McGraw-Hill, 1993.