

# Proteção Eletrônica Contra Surtos na Rede Elétrica Residencial

Érico Luiz de Faria  
Welbert Ezequiel de Oliveira

**Resumo**— Danos a equipamentos eletro-eletrônicos após interrupções no fornecimento de energia elétrica são comuns. Diversos fenômenos elétricos podem ocorrer durante a interrupção e no reestabelecimento do fornecimento – força contra-eletromotriz, picos de tensão, indução, dentre outros. Além deste fenômenos, a concessionária tem metas estabelecidas pela agência governamental reguladora, como disponibilidade mínima da rede, tempo máximo para reestabelecimento do fornecimento, quantidade máxima de falhas, dentre outras. O dispositivo proposto nesse documento tem por finalidade proteger a instalação residencial destes fenômenos elétricos e registrar o número de falhas ocorridas em um determinado período.

**Palavras-chave**— Elétrica Elétricos Eletrônica Energia Fenômenos Proteção Qualidade Rede Residencial

## I. NOMENCLATURA

CEMIG – Companhia Energética do estado de Minas Gerais  
ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica  
FIC - Frequência de Interrupção Individual  
DIC - Duração de Interrupção Individual  
DMIC - Duração Máxima de Interrupção Contínua  
DICRI - Duração da Interrupção Individual Ocorrida em Dia Crítico

## II. INTRODUÇÃO

Dispositivos eletrônicos e eletrodomésticos sofrem, constantemente, com fenômenos elétricos ocorridos na rede de distribuição das concessionárias. Oscilações do valor eficaz, elevações súbitas, força contra-eletromotriz, dentre outros, proporcionam danos que não podem ser previstos. A maior parte das residências não dispõe de mecanismo de proteção contra estes fenômenos: o custo de aquisição de um *no-break*, bem como o custo de manutenção de suas baterias dificulta o acesso a este dispositivo; as características variadas das cargas presentes num domicílio (resistivas, resistivo-capacitivas, resistivo-indutivas e resistivo-indutivo-capacitivas) também restringem a aplicação de um *no-break*; e, ainda, a potência demanda por uma residência inviabilizaria a utilização de um *no-break* para proteção de toda a instalação residencial, principalmente em função das dimensões físicas. As considerações feitas para o *no-break* podem ser aplicadas também a utilização de estabilizadores, excetuando-se as considerações feitas ao uso de baterias.

## III. FENÔMENOS ELÉTRICOS

Vários são os fenômenos ocorridos nas redes de distribuição das concessionárias de energia elétrica. A causa de cada um não é objetivo deste trabalho. Mas, para melhor compreensão, alguns destes fenômenos serão descritos e seus efeitos sobre a instalação elétrica e os dispositivos conectados a ela serão comentados.

### A. Brownout

Carateriza-se por uma subtensão (valor de tensão nominal abaixo do especificado) por um período prolongado de tempo. Ocorre principalmente quando apenas uma das fases da rede de distribuição sofre uma queda, promovendo um desbalanceamento de tensão, obrigando a fase disponível a absorver toda a carga de um ramo, levando a esta diminuição do valor eficaz fornecido a residência.

Ocorre principalmente é estações chuvosas ou de grandes ventos, quando é comum ocorrer rompimento de cabos de transmissão e distribuição de energia, bem como queima de fusíveis de transformadores abaixadores de tensão.

Eletrodomésticos ligados a rede que está afetada por este fenômeno, principalmente *freezers* e geladeiras, em função das características contrutivas (motores) podem sofrer danos severos.

### B. Força contra-eletromotriz

Grande parcela das cargas alimentadas pela rede de distribuição da concessionária tem característica resistivo-indutiva ou quase puramente indutiva. Os indutores tem por característica intrínseca opor-se a variação de corrente elétrica, alterando o campo magnético. Desta forma, não ocorre a dissipação de toda potência fornecida sobre uma carga indutiva, sendo esta energia armazenada sob forma de campo magnético.

Enquanto há circulação de corrente nestas cargas a energia permanece armazenada. Quando a corrente é cessada, no momento em que ocorre uma queda do fornecimento, esta energia é devolvida ao circuito onde todas as residências estão ligadas em paralelo, também sob forma de corrente elétrica

(novamente o indutor se opõe a variação de corrente), até que esta energia armazenada seja totalmente dissipada.

Como todas as residências estão ligadas a mesma rede, o somatório de todas essas correntes reinjetadas num mesmo circuito pode provocar um aumento súbito da tensão presente na rede. Esta elevação, impossível de ser mensurada, pode provocar danos aos dispositivos ligados a esta rede.

Equipamentos eletrônicos, como TV's, centrais de alarme, computadores, dentre outros dispositivos semelhantes são os mais afetados.

### C. Surtos

Elevações súbitas de tensão na rede da concessionária podem ter várias causas. Raios, curto-circuitos, chaveamentos, dentre outros, podem fazer com que o valor nominal tenha uma alteração repentina, para maior, de seu valor de trabalho.

Quando ocorre uma queda de energia, a concessionária age em diversas frentes para reestabelecer o fornecimento. Reestabelecimento de cabos quebrados, trocas de fusíveis, substituição de transformadores, religamento e interligamento através de chaves automatizadas, dentre outros.

Em várias dessas situações, pode ocorrer, no reestabelecimento do fornecimento, uma elevação súbita do valor nominal fornecido, que em alguns casos, pode chegar a valores críticos para dispositivos ligados a rede.

## IV. DISPONIBILIDADE DA REDE

As concessionárias de energia tem indicadores de qualidade do fornecimento de energia elétrica, que são fiscalizados pela ANEEL. Estes indicadores são medidos mensal, trimestral e anualmente, tendo cada concessionária sua responsabilidade na medição e informação destes índices ao cliente.

Em Minas Gerais, para a concessionária CEMIG, os indicadores individualizados fornecidos na fatura mensal. Em consulta ao site da concessionária não foi possível obter com clareza como é realizada a medição dos índices.

### A. ÍNDICES

#### 1) DIC

É a duração de interrupção individual por unidade consumidora ou por ponto de conexão, expressa em horas e centésimos de hora.

$$DIC = \sum_{i=1}^n t(i) \quad (1)$$

#### 2) FIC

É frequência de interrupção individual por unidade consumidora ou ponto de conexão, expressa em número de interrupções.

$$FIC = n \quad (2)$$

#### 3) DMIC

É duração máxima de interrupção contínua por unidade consumidora ou por ponto de conexão, expressa em horas e centésimos de hora.

$$DMIC = t(i)_{max} \quad (3)$$

#### 4) DICRI

É duração da interrupção individual ocorrida em dia crítico por unidade consumidora ou ponto de conexão, expressa em horas e centésimos de hora.

$$DICRI = t_{crítico} \quad (4)$$

Onde,

i = índice de interrupções da unidade consumidora no período de apuração, variando de 1 a n;

n = número de interrupções da unidade consumidora considerada, no período de apuração;

t(i) = tempo de duração da interrupção (i) da unidade consumidora considerada ou ponto de conexão, no período de apuração;

t(i)<sub>max</sub> = valor correspondente ao tempo da máxima duração de interrupção contínua (i), no período de apuração, verificada na unidade consumidora considerada, expresso em horas e centésimos de horas;

t<sub>crítico</sub> = duração da interrupção ocorrida em dia crítico.

## V. DISPOSIÇÕES LEGAIS

Segundo a Resolução Normativa ANEEL nº 499, de 03.07.2012, em caso de dano a eletrodomésticos causado pela rede, o cliente deve solicitar ressarcimento a concessionária. Para tal, o cliente deve informar os seguintes elementos no momento da solicitação:

- 1) *data e horário prováveis da ocorrência do dano;*
- 2) *informações que demonstrem que o solicitante é o titular da unidade consumidora, ou seu representante legal;*
- 3) *relato do problema apresentado pelo equipamento elétrico;*
- 4) *descrição e características gerais do equipamento danificado, tais como marca e modelo;*
- 5) *informação sobre o meio de comunicação de sua preferência, dentre os ofertados pela distribuidora.*

Por se tratarem as concessionárias, geralmente, de grandes corporações, e pelo elevado número de solicitações em determinados períodos do ano, o processo de ressarcimento pode se estender por tempo não determinado. Ainda, em casos extremos, o dano elétrico causado pode ser julgado improcedente de sua rede, e a concessionária pode chegar a indeferir o pagamento. Neste caso, a questão pode chegar a ser tratada de forma judicial.

## VI. ESTATÍSTICAS

Um estudo realizado pela empresa Liberty Seguros, com base em 5.715 mil solicitações de atendimentos a residências de seus segurados, entre dezembro de 2011 a novembro de 2012, constatou que 44% dos incidentes estavam ligados a danos elétricos. Segundo a empresa, os equipamentos eletroeletrônicos e eletrodomésticos afetados pela oscilação de energia, devido a tempestades ou problema na transmissão, têm sido a principal causa de acionamento de seguro residencial. Em algumas cidades do interior de São Paulo, cobertas pela pesquisa, este percentual chegou a 2,2% das residências.

De acordo com a base da pesquisa citada os danos elétricos acontecem com maior frequência em março (53% dos casos), fevereiro (50%) e janeiro (46%).

A pesquisa mostrou também que, do total de 28.700 chamadas registradas entre janeiro e outubro de 2012, 23% foram para consertos de eletrodomésticos e eletroeletrônicos.

## VII. DISPOSITIVO

O dispositivo proposto tem por objetivo desconectar a instalação residencial da rede da concessionária imediatamente após a queda de energia. Deste modo, a força contra eletromotriz gerada na rede de distribuição desenergizada não afeta a instalação protegida pelo dispositivo. Para conectar a instalação residencial a rede da concessionária, o dispositivo utiliza um contator, que é energizado utilizando o fornecimento da própria rede.

O dispositivo é composto de 2 placas: circuito monitor de rede e circuito registrador. O primeiro tem a função de monitorar a presença de energia na rede da concessionária, permitir que a instalação residencial seja alimentada, efetuar o “rearme” do

circuito após o retorno da energia e desenergizar a instalação. O segundo circuito registra o número de falhas ocorridas em determinado período, zerando a contagem a cada 24 horas, 7 dias ou 30 dias; este mesmo circuito ainda indica visual e sonoramente a ocorrência de uma falha de energia.

As placas componentes do dispositivo tem alimentação independente: o circuito monitor é alimentado diretamente pela rede da concessionária, enquanto o circuito registrador é alimentado por uma bateria de 9V. O terra dos circuitos é interligado, pois existem sinais de controle comuns as duas placas.

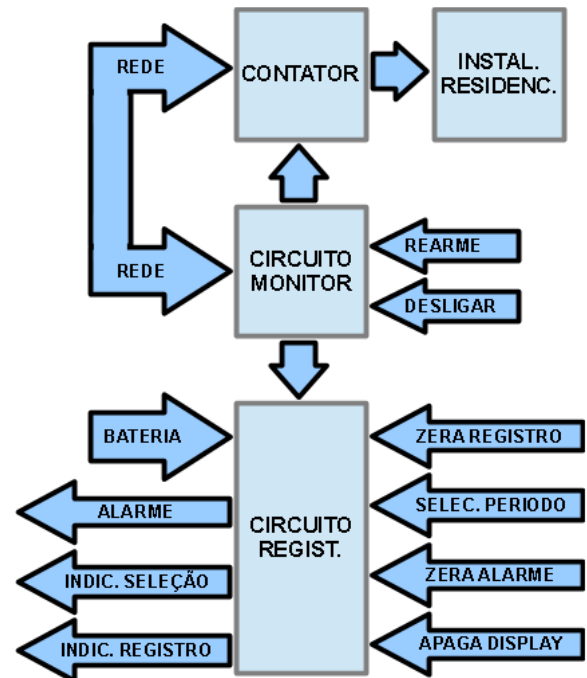


Fig. 1. Diagrama de blocos do dispositivo proposto

### 1) CIRCUITO MONITOR

Este circuito é composto por uma fonte de alimentação, um comparador de tensão, um flip-flop para acionamento do contator e um sensor de presença de energia na rede.

O transformador TR1, os diodos D3 e D4, os capacitores C1 e C3 e o regulador de tensão U1 formam a fonte de alimentação do circuito. Antes da regulação em 9V existe uma tensão de aproximadamente 12V, que é utilizada para alimentar a bobina do relé RL1.

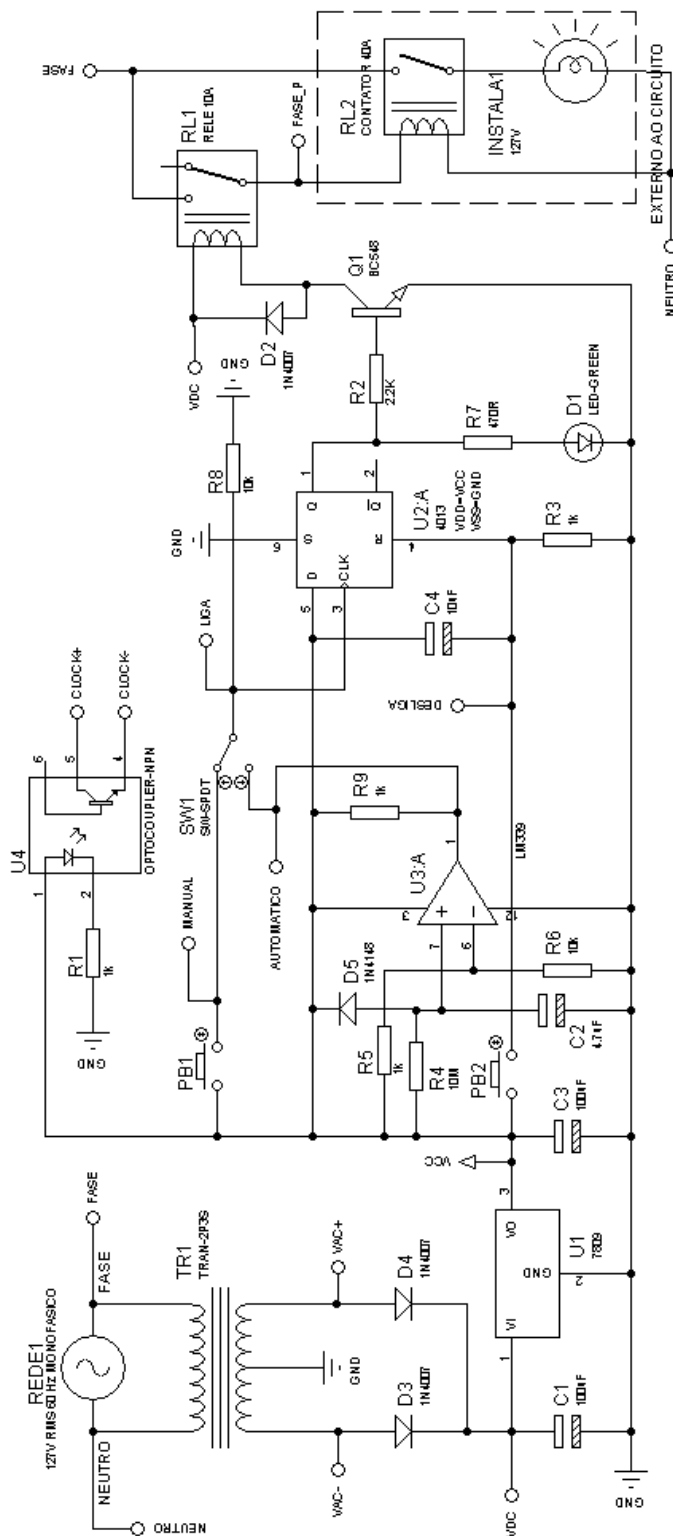


Fig. 2. Diagrama eletrônico do circuito monitor

Os resistores R4, R5, R6 e R9, o amplificador operacional LM339 e o capacitor C2 formam um circuito de comparação de tensão. R4 e C2 formam uma malha RC em que a constante de tempo será utilizada para temporização do rearme automático do circuito. A seleção entre o rearme automático ou manual é realizada pela chave SW1. Em ambos os casos de

rearme, um pulso é aplicado ao clock do flip-flop tipo D (U2), onde a entrada de dado é interligada a um nível lógico alto (+9V), levando a saída Q para o nível alto. A saída Q do flip-flop atua o relé RL1, através da saturação de Q1, possibilitando a energização de contator RL2, que conecta a instalação residencial a rede da concessionária. Quando ocorre a falha de energia na rede, todo circuito é desenergizado, abrindo os contatos de RL2 e desconectando a instalação da rede da concessionária. Quando a alimentação é reestabelecida, o flip-flop é “resetado” pelo circuito “power-on reset” formado por C4 e R3, levando a saída Q para nível baixo e impendendo a energização da instalação residencial. Para ocorrer a energização do circuito, o usuário deve operar PB1 (que também aplica um pulso no clock do flip-flop), no caso de rearme manual. PB2 “reseta” o flip-flop, desenergizando a instalação residencial.

U3 e R1 formam um sensor de energia na rede da concessionária. Quando a fonte de alimentação do circuito está energizada, o optoacoplador satura seu transistor interno, permitindo que o circuito registrador possa perceber essa presença de energia. Quando ocorre falha, o transistor interno entra em corte e o circuito registrador indica com alarmes sonoro e visual, além de registrar a falha e indicá-la.

## 2) CIRCUITO REGISTRADOR

Este circuito é composto por um indicador de falha de energia, um gerador de base de tempo e um registrador de falha de energia. O circuito é alimentado por uma bateria de 9V para garantir que haja registro de falhas e indicação mesmo quando houver falha da rede.

Os flip-flops U1:A e U1:B formam o circuito indicador de falha e de alarme. Um nível lógico alto proveniente do circuito monitor mante o flip-flop U1:A “resetado” enquanto houver energia na rede da concessionária. Quando ocorre a falha, este flip-flop é “setado”, gerando um pulso no clock do flip-flop U1:B e atuando a indicação sonora de falha. A saída Q de U1:A ainda aciona uma indicação visual de falha, através de R3 e D1. Quando a rede é reestabelecida, U1:B é “resetado” através do circuito “power-on reset” formado por C3 e R8 e o alarme sonoro é cessado. O “reset” do circuito também pode ser feito por PB1.

U9 está configurado como oscilador astável, gerando uma saída de 1Hz, utilizada como base de tempo do circuito registrador de falhas. U6, U2, U4 (contadores binários de 12 estágios), U3:A,B e U5: A,B (portas AND com 4 entradas) formam divisores de frequência em cascata, gerando os pulsos “DIA”, “SEMANA” e “MES”; esses pulsos são utilizados para zerar a contagem de falhas, automaticamente, no período de tempo determinado pelo usuário através de PB2. A contagem de falhas também por ser feita manualmente pelo usuário, a qualquer momento, através de PB3. U7 (contador decádico) gera o sinal de habilitação (enable) para que U8:A,B,C (porta AND com 2 entradas) e U14:A,B,C (porta OR com 4 entradas) possam selecionar o período de contagem de falhas. D3, D4 e D5 indicam o período selecionado.

## VIII. CONCLUSÃO

O dispositivo apresentou funcionamento adequado durante a realização dos teste. Houve registro preciso do número de falhas de energia, bem com sua indicação sonora e visual.

Também houve boa resposta em relação a proteção a instalação elétrica. Pulso de tensão ocorridos enquanto o dispositivo estava em modo de proteção não atingiram os dispositivos instalados na residência. Há possibilidade de melhor na proteção para a força contraeletromotriz, a fim de utilizar-se dispositivos de chaveamento mais rápido; entretanto, o dispositivo proposto apresentou resultados interessantes.

Para melhoria do dispositivo no contexto geral, podem ser implementadas novas tecnologias, como microprocessadores, microcontroladores ou FPGA, a fim de aumentar a quantidade de variáveis medidas, a quantidade de informação disponibilizada e a utilização mais inteligível do dispositivo.

## IX. REFERÊNCIAS

- [1] *Resolução Normativa 414/2010: atualizada até a REN 499/2012* / Agência Nacional de Energia Elétrica. - Brasília: ANEEL, 2012
- [2] *Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST - Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica*, ANEEL, 2013, Disponível em: [http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/M%C3%B3dulo8\\_Revis%C3%A3o\\_4.pdf](http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/M%C3%B3dulo8_Revis%C3%A3o_4.pdf), acesso em: 24, mai. 2013
- [3] CEMIG *Companhia Energética de Minas Gerais*, 2013, Disponível em: [http://www.cemig.com.br/pt-br/atendimento/Clientes/Paginas/fatura\\_baixa\\_tensao.aspx](http://www.cemig.com.br/pt-br/atendimento/Clientes/Paginas/fatura_baixa_tensao.aspx), acesso em: 24, mai. 2013
- [4] SMS *Nobreaks Senoidal e Inteligente, Estabilizadores, Filtros de Linha, Módulos de Baterias, Software de Gerenciamento de Energia, Automação Residencial, Iluminação*, 2013, Disponível em: <http://www.sms.com.br/respostas-sms/sobre-energia/disturbios-energia/brownout-blackout/brownout-blackout.asp>, acesso em: 24, mai. 2013.
- [5] Fensseg *Federação Nacional de Seguros Gerais*, Disponível em: <http://www.fensseg.org.br/fensseg/servicos-apoio/noticias/dano-eletrico-puxa-sinistros-na-carteira-de-segurados-da-liberty.html>, acesso em: 24, mai. 2013.
- [6] R. J. Tocci, *Sistemas Digitais Princípios e Aplicações*, 7ª edição. Rio de Janeiro: LTC Editora, 2000.
- [7] R. L. Boylestad, *Introdução à Análise de Circuitos*, 8ª edição. Rio de Janeiro: LTC Editora, 2001.

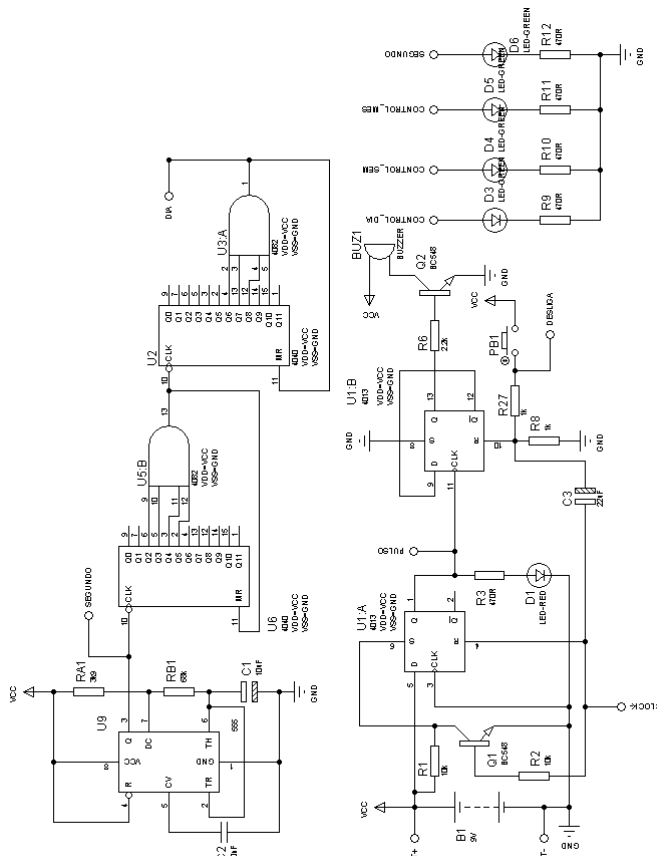


Fig. 3. Diagrama eletrônico do circuito registrador – 1ª parte

U10 e U11 (contadores BCD módulo 10) realizam a contagem do número de falhas ocorrido dentro do período selecionado pelo usuário, num limite de 99 falhas. U12 e U13 (conversores BCD para 7 segmentos) e DISPLAY1 e DISPLAY2 indicam o número de falhas ocorridas.

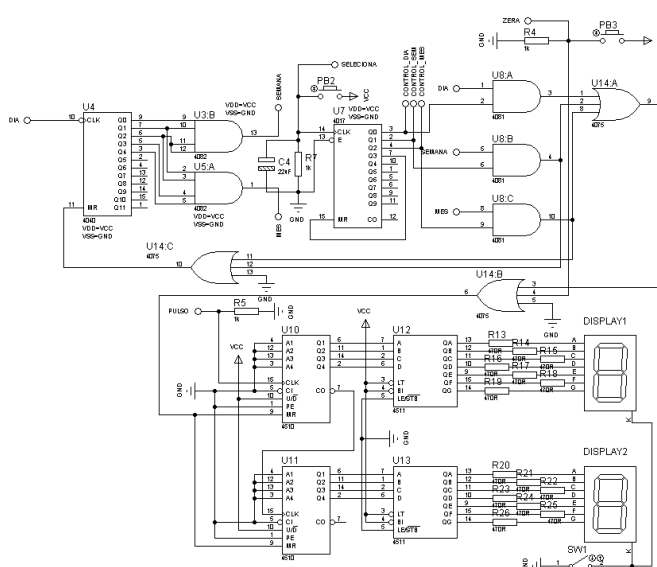


Fig. 4. Diagrama eletrônico do circuito registrador – 2ª parte

D6 indica o funcionamento do circuito, pulsando com frequência de 1Hz.