

## **SISTEMA MICROCONTROLADO PARA ACIONAMENTO REMOTO DE EQUIPAMENTOS ATRAVÉS DA REDE ELÉTRICA**

**Antonio Luiz Pereira de Siqueira CAMPOS (1) e Jânio MENDONÇA JUNIOR (2)**

(1) Centro Federal de Educação Tecnológica do Rio Grande do Norte, Unidade de Ensino Descentralizada da Zona Norte de Natal, Departamento Acadêmico de Tecnologia da Informação e Indústria, Rua Brusque, S/N – Conjunto Santa Catarina – Potengi, 59112-490, Natal, RN, Brasil, 8440052600, e-mail: antonioluiz@cefetrn.br.

(2) Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Departamento de Engenharia Elétrica, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, CEP: 59072 970, Natal, RN, Brasil, e-mail: janiojunior@hotmail.com

### **RESUMO**

O termo Domótica é usado para residências que usam serviços automatizados. Tecnicamente falando, uma rede domótica pode ser definida como um conjunto de serviços interligados que desempenham funções de gerenciamento e controle, podendo ser conectados uns aos outros por meio de uma rede de comunicação interna e/ou externa. Neste contexto, tem-se a tecnologia PLC (*Power Line Carrier*) que torna possível a automação residencial sem a necessidade de uma rede dedicada para isto. Esta tecnologia usa a rede elétrica para a transmissão de dados sinais, em enlaces de comunicação ponto-a-ponto dentro de um edifício ou de um edifício a um outro. A motivação deste trabalho é o interesse no uso de técnicas PLC para aplicações na automação residencial. Circuitos eletrônicos foram projetados e implementados para serem empregados em um sistema microcontrolado, que utiliza a rede elétrica como meio de transmissão de dados e desempenha a função de ligar e/ou desligar equipamentos remotamente, usando como acionador um controle remoto de TV convencional. O sistema foi desenvolvido com baixo custo e boa funcionalidade. Esse sistema também pode ser usado para ligar e desligar equipamentos pela Internet e para simular presença de pessoas em residência, basta que sejam feitos alguns pequenos ajustes.

**Palavras-chave:** Powerline Communications, microcontrolador 8051, acionamento remoto, automação residencial, domótica.

## 1. INTRODUÇÃO

O termo Domótica é usado para designar residências que empregam serviços automatizados. Tecnicamente falando, uma rede domótica pode ser representada por um conjunto de serviços interligados que realizam diversas funções de gerenciamento e atuação, podendo estar conectados entre si por meio de uma rede de comunicação interna e/ou externa (MARIOTONI, 2002).

Neste contexto, aparece a tecnologia *Power Line Carrier* (PLC) que possibilita a automação residencial sem a necessidade de uma rede dedicada para tanto. Esta tecnologia utiliza a rede elétrica para transmissão de sinais, em uma comunicação ponto-a-ponto dentro de um prédio ou de um prédio a outro (PLATT, 1999).

A tecnologia PLC existe há muitos anos, mas só recentemente vem sendo utilizada para redes de dados em residências e pequenas empresas (FERREIRA, 1996). Isso se deve às dificuldades e limitações oferecidas por ela à transmissão de dados, pelo fato da rede elétrica ser um ambiente extremamente ruidoso e hostil (ISHAK, 2002).

No Brasil, as distribuidoras de energia estão entusiasmadas com este tipo de tecnologia, dentre as quais podem ser citadas a *Light* e a Eletropaulo. O objetivo é oferecer, a partir do ano que vem o aluguel dessa infra-estrutura, para operadoras de telecomunicações interessadas em uma nova opção tecnológica para acesso à internet em banda larga (Portal do Cidadão, 2003).

A motivação deste trabalho foi o interesse no uso de técnicas PLC para aplicações em automação residencial. Foram projetados circuitos eletrônicos para serem empregados em um sistema de acionamento remoto de equipamentos elétricos através da rede elétrica. O equipamento foi desenvolvido com baixo custo e ótima funcionalidade.

## 2. TECNOLOGIA PLC

A rede elétrica de baixa tensão penetra em cada prédio industrial, comercial e residencial. Desta forma, a implementação de sistemas de comunicações que utilizam a rede elétrica como canal de comunicação, fornece consideráveis vantagens para os usuários (PLATT, 1999).

As técnicas, que possibilitam o uso da rede elétrica como canal de comunicação, são conhecidas como *Power Line Carrier* (PLC). Essas técnicas começaram a ser desenvolvidas no início dos anos 50 e vêm sendo melhoradas continuamente permitindo, hoje, o acesso à Internet banda larga (DOSTERT, 2001).

A rede elétrica tem a vantagem de ser uma rede de comunicação independente, já possui infra-estrutura de cabeamento e pode ser usada para duplo propósito. Sua cobertura geográfica é normalmente larga e o acesso à rede é simples.

Por outro lado, a rede elétrica representa um ambiente extremamente hostil às comunicações. Níveis de ruído podem ser excessivos. As atenuações das linhas de transmissão para as frequências de interesse são altas. Ondas estacionárias em cabos longos podem causar nulos na resposta em frequência. Problemas de compatibilidade eletromagnética acontecem quando há interface de circuitos eletrônicos com linhas de potência. Parâmetros importantes para um canal de comunicação, tais como: impedância característica, atenuação e níveis de ruído variam com o tempo (PLATT, 1999).

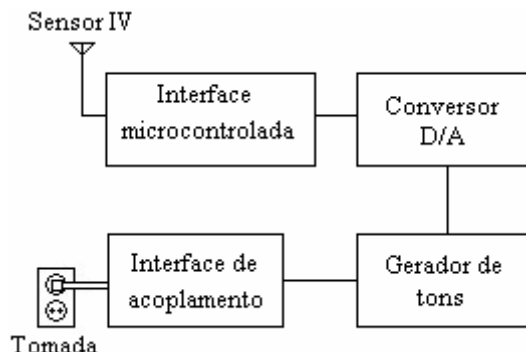
Técnicas de modulação modernas permitiram que as dificuldades enfrentadas por transmissões PLC pudessem ser superadas. Dentre as técnicas mais usadas podem ser citadas (DOSTERT, 2001):

- GMSK que utiliza uma única portadora e é usada em transmissões PLC de faixa estreita (<1 Mbps);
- CDMA que também utiliza uma única portadora e é usada em transmissões PLC de faixa estreita (<1 Mbps);
- OFDM que utiliza múltiplas portadoras e é usada em transmissões PLC com taxas de transmissão maiores que 45 Mbps.

Apesar das dificuldades, o uso de técnicas PLC tem se tornado cada vez mais comum. Diversos países têm empregado essa tecnologia para acesso à Internet. No Brasil, as pesquisas nessa área estão no início e algumas aplicações estão sendo implementadas.

### 3. SISTEMA IMPLEMENTADO

O sistema implementado foi projetado para se efetuar o acionamento remoto de equipamentos (ON/OFF) que estejam ligados à rede elétrica. O sistema é composto por 01 transmissor e por, no máximo, 09 receptores. A Figura 1 ilustra o diagrama de blocos do transmissor.



**Figura 1 – Diagrama de blocos do transmissor.**

O sensor infravermelho utilizado foi o TSOP2236 cuja saída demodulada pode ser conectada diretamente a um microprocessador para ser decodificada. A saída do sensor é uma palavra binária que segue o padrão RC-5 desenvolvido pela Philips. Esse padrão é descrito a seguir.

#### 3.1 PADRÃO RC-5

O padrão RC-5 foi criado pela empresa Philips e utiliza uma quantidade de bits fixa para representar uma tecla de comando (LIPNHARSKI, 2004).

Quando se aperta uma tecla de um controle remoto Philips, ele envia uma palavra binária de 14 bits, com duração de 1,728 ms por bit, e esse trem de bits é repetido a cada 130ms se a tecla é mantida pressionada.

Cada bit é dividido em duas metades. As metades têm níveis opostos. Se o bit a ser transmitido é 1, sua metade esquerda será zero enquanto que a metade direita será um. Se o bit a ser transmitido é 0, sua metade esquerda será um enquanto que a metade direita será zero. Isso é ilustrado na Figura 2.

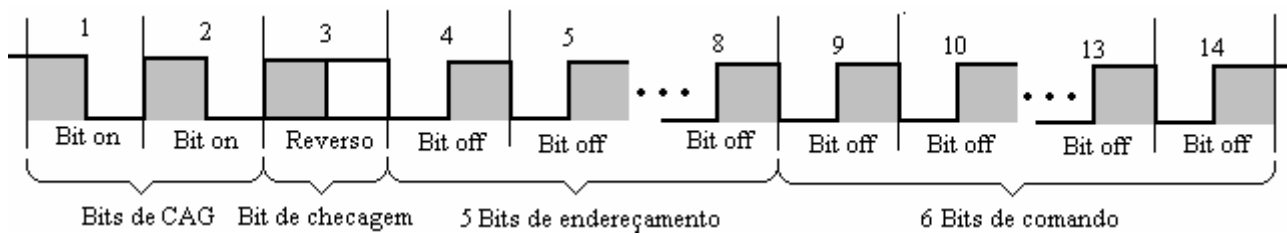


**Figura 2 – Lógica correta.**

Isto significa que a segunda metade do bit representa o valor do bit a ser transmitido. Caso deseje-se medir o nível lógico correto diretamente da saída do receptor infravermelho, deve-se fazê-lo na primeira metade do bit, pois o mesmo trabalha com a lógica reversa, contrária a da Figura 2.

A correta interpretação é que o nível muda exatamente no meio do bit. Na saída do receptor IV um bit zero muda do nível baixo para alto, enquanto que um bit um muda de um nível baixo para alto.

A palavra binária enviada é composta por 14 bits em sequência conforme ilustrado na Figura 3. Os dois primeiros bits são chamados de calibração de CAG e servem para calibrar o controle automático de ganho dos receptores infravermelhos.



**Figura 3 – Palavra binária do código RC-5.**

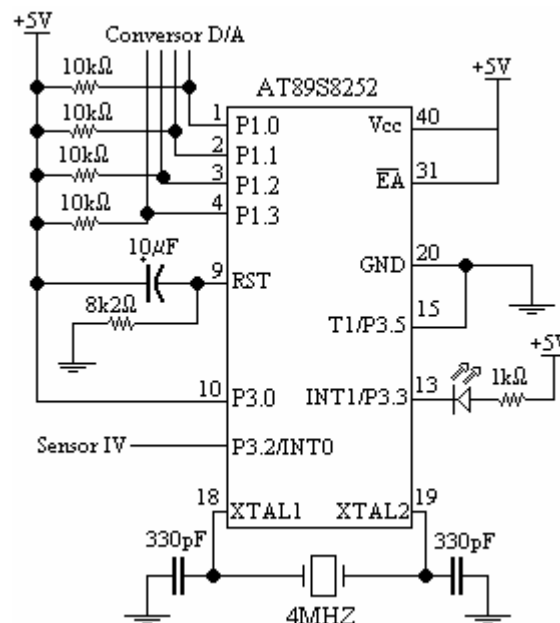
O 3º bit é o bit de checagem. Cada vez que se pressiona uma tecla do controle esse bit muda de estado. Suponha que foi pressionado o número 1 no controle remoto (para selecionar o canal 15 na TV) e manteve-se pressionado por 2s, com a outra mão bloqueou-se sinal infravermelho. A TV receberia dois trens de pulsos gerados pela interrupção do trem de pulsos longo. Outros sistemas entenderiam como a transmissão de duas teclas 1 selecionando o canal 11, mas isto não acontece no sistema Philips. O bit de checagem só muda de estado quando se pressiona uma nova tecla. Assim, quando se bloqueia o sinal não ocorre mudança nesse bit, de forma que a TV entenderá que a mesma tecla está ainda sendo pressionada. Para selecionar o canal 11 deve-se pressionar a tecla 1 duas vezes.

Os próximos cinco bits (#4 a #8) são usados para o endereço do sistema, ou para identificar qual tipo de equipamento deve executar o comando. Por exemplo, televisores usam endereço zero. O bit #8 é o menos significativo.

Os últimos seis bits (#9 a #14) são usados para informação do comando para o dispositivo selecionado pelos bits de endereçamento. O bit #14 é o menos significativo.

### 3.2 INTERFACE MICROCONTROLADA

Esta interface é formada por uma microcontrolador AT89S8252 da família ATMEL (8051). Ela tem a função de decodificar as palavras binárias do padrão RC-5. A interface recebe a palavra diretamente do sensor e escreve o valor binário correspondente ao comando em sua porta P1. A Figura 4 ilustra o esquema elétrico dessa interface.

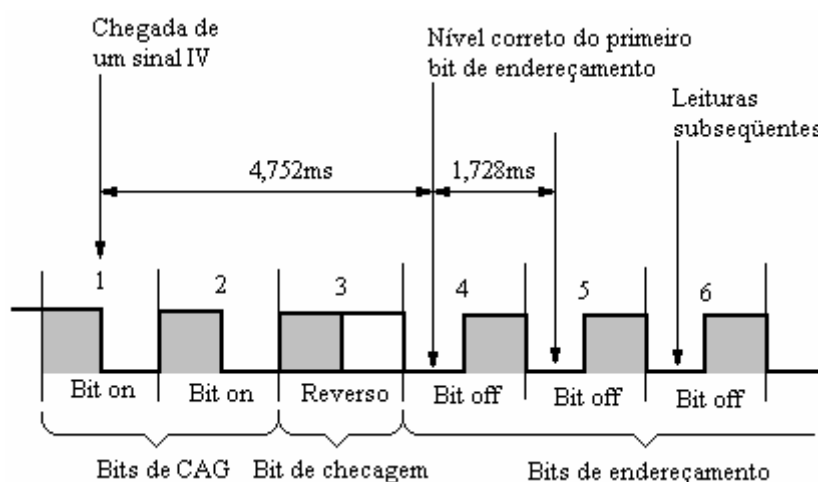


**Figura 4 – Interface microcontrolada.**

Um *clock* de 4MHz foi utilizado para facilitar na implementação do *software* de decodificação. Foram aproveitadas apenas 04 saídas da porta P1, pois o conversor A/D utiliza apenas 4 bits para gerar as tensões de controle.

Para elaboração do *software* de decodificação foi feita uma adaptação da rotina fornecida por (LIPNHARSKI, 2004). Durante a inatividade (sem sinal IV presente) a saída do sensor IV permanece em nível lógico alto (bit zero). Quando se pressiona uma tecla no controle remoto, ele transmite o trem de pulsos e o microcontrolador receberá o bit #1 primeiro. Isto é percebido após a metade do bit quando há uma mudança de nível alto para baixo, indicando que há um sinal IV chegando.

Não há necessidade de se detectar os dois primeiros bits, nem mesmo o bit de checagem, por isso, podem-se pular esses três bits e iniciar a recepção nos bits de endereçamento. Para tanto, deve-se aguardar 4,752 ms e começar a ler a metade direita do bit #1 de endereçamento, conforme pode ser visto na Figura 5.

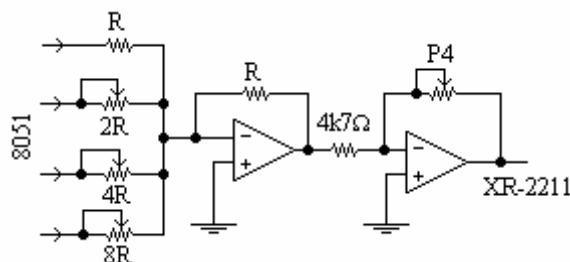


**Figura 5 – Atrasos de tempo para decodificar a palavra RC-5.**

Uma vez recebido o primeiro nível lógico baixo, o *software* deve aguardar 4,752 ms e então iniciar a leitura dos próximos 11 bits espaçados de 1,728 ms, cada. Os primeiros 5 bits são de endereçamento e os próximos 6 bits são de comando, com nível lógico correto, nível baixo = 0, nível alto = 1.

### 3.3 CONVERSOR D/A

Para se efetuar a conversão digital/analógica, implementou-se um conversor D/A de pesos ponderados. A escolha se deve ao fato da eficiência e simplicidade do conversor. Ele é construído a partir de um circuito básico de resistores em paralelo controlado por corrente, onde a corrente é somada num ponto em comum e injetada na entrada inversora de um amplificador operacional 741, criando assim uma saída analógica. Os valores dos resistores são distribuídos de forma ponderada, para se obter pesos de acordo com a numeração binária. A tensão contínua de saída é fornecida a um oscilador controlado por tensão (XR-2206). O potenciômetro P1 regula o ganho do estágio de saída.



**Figura 6 – Conversor D/A de pesos ponderados.**

### 3.4 GERADOR DE TOM

O gerador de tom é implementado através do XR-2206. Este circuito integrado utiliza um PLL (*Phase Locked Loop*) projetado para aplicações de transmissões de dados. O XR-2206 é, basicamente, constituído de um pré-amplificador de entrada, um detector de fase e um oscilador controlado por tensão (VCO). O pré-amplificador é usado como um limitador, tal que os sinais de entrada acima de  $10\text{ mV}_{\text{rms}}$  são amplificados a um nível constante. O VCO é controlado por uma corrente de entrada ajustada por um resistor ( $R_0$ ) e pela tensão de saída do conversor D/A. Este circuito está ilustrado na Figura 7.

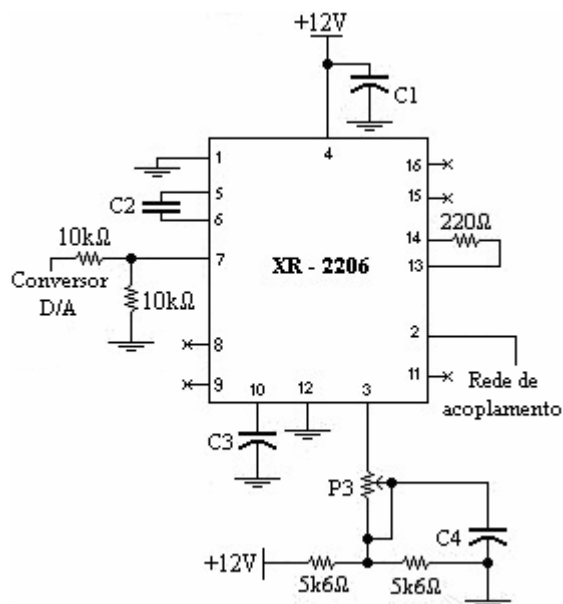


Figura 7 – Circuito gerador de tom.

### 3.5 INTERFACE DE ACOPLAMENTO

Um dos circuitos mais importantes do sistema é a interface de acoplamento. Esta interface é responsável pela amplificação do sinal a ser transmitido e pelo bloqueio do sinal de 60 Hz.

A interface é constituída por dois circuitos: o amplificador de acoplamento e a rede de acoplamento. A rede de acoplamento realiza a tarefa de bloquear o sinal de 60 Hz de alta potência vindo da rede elétrica, ao mesmo tempo em que acopla o sinal a ser transmitido à rede.

A topologia de rede de acoplamento utilizada neste projeto é o modo diferencial indutivo, pois o mesmo provê um isolamento físico entre a rede elétrica e o sistema de transmissão, fornecendo assim uma maior segurança [3]. A Figura 8 ilustra a rede de acoplamento e os dispositivos de proteção.

Este circuito é composto por um filtro LC paralelo de segunda ordem ( $C_1$  e primário do transformador). O transformador foi projetado com a relação de espiras de 1:1. Os diodos servem para proteção contra sobretensão.  $C_2$  e  $C_3$  bloqueiam o sinal de 60 Hz.

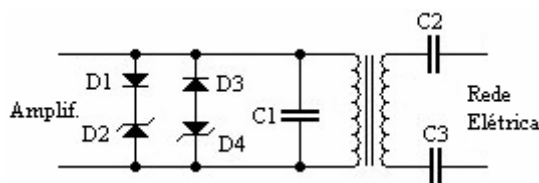


Figura 8 – Rede de acoplamento.

A Figura 9 ilustra o circuito amplificador utilizado para efetuar casamento entre a saída do gerador de tom e a entrada da rede de acoplamento; e fornecer potência suficiente ao tom senoidal para transpor a rede de acoplamento. O amplificador projetado foi um de classe AB e seu ganho é de aproximadamente 12 dB.

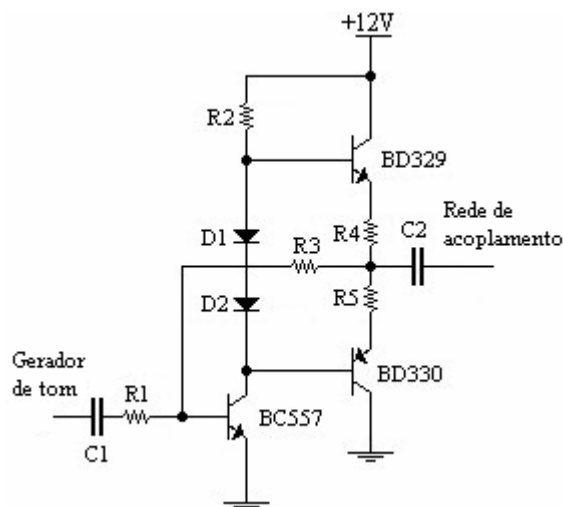


Figura 9 – Circuito amplificador.

#### 4. SISTEMA RECEPTOR

O sistema receptor é bem mais simples que o transmissor. Ele é baseado no CI XR-2211. O diagrama de blocos do receptor é ilustrado na Figura 10.

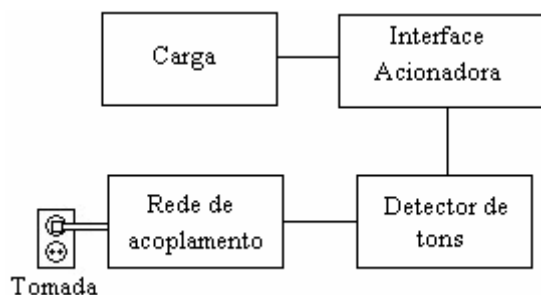


Figura 10 – Circuito gerador de tom.

A rede de acoplamento é idêntica à usada no transmissor e já foi descrita na Subseção 3.5. Os demais circuitos são descritos a seguir.

##### 4.1 DETECTOR DE TOM

O detector de tom é implementado através do circuito integrado XR-2211 que utiliza um PLL (*Phase Locked Loop*) projetado para aplicações de transmissões de dados. O XR-2211 é, basicamente, constituído de um pré-amplificador de entrada, um detector de fase e um oscilador controlado por tensão (VCO). O pré-amplificador é usado como um limitador tal que os sinais de entrada acima de 10mVrms são amplificados a um nível constante. O detector de fase age como uma porta digital XoR. O VCO é controlado por uma corrente de entrada ajustada pelo potenciômetro (P<sub>1</sub>). O esquema do circuito detector de tom é ilustrado na Figura 10.

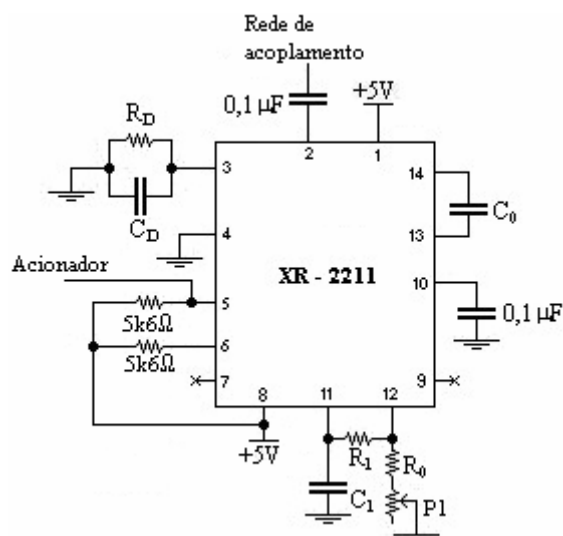


Figura 11 – Circuito detector de tom.

## 4.2 INTERFACE DE ACIONAMENTO

A interface de acionamento é composta por um Flip-Flop JK e um relé de 6 V/1 A. O flip-flop está configurado para mudar de estado a cada transição de nível alto para baixo. Quando o tom correto é detectado o relé é acionado; e só é desligado quando chega um novo pulso. A Figura 12 ilustra a interface de acionamento.

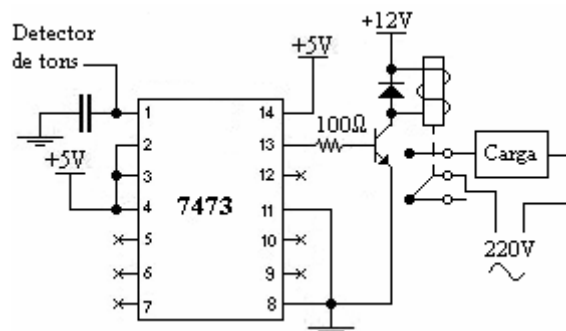
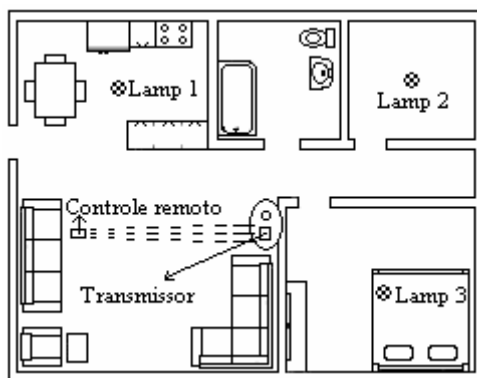


Figura 12 – Interface de acionamento.

## 4 EXEMPLO DE APLICAÇÃO

O sistema implementado foi concebido para controle on/off de equipamentos. Para isso, o sistema utiliza a rede elétrica como canal de comunicação. Para ilustrar essa aplicação, será usada a Figura 13. Nesse exemplo, em uma pequena residência, o sistema é usado para ligar e desligar, remotamente, 03 lâmpadas. O transmissor é colocado na sala e o usuário pode ligar ou desligar as lâmpadas da cozinha, quarto e varanda. Os receptores ficariam posicionados próximos aos interruptores das lâmpadas. No exemplo, o transmissor se comunicaria com o receptor através da rede elétrica convencional, sem necessidade de um cabeamento dedicado para esta tarefa.





**Figura 13 – Exemplo de uma aplicação.**

## 6 CONCLUSÕES

Foi implementado um sistema de controle remoto que utiliza a rede elétrica como canal de comunicação. O sistema é de baixo custo se comparado a outros similares que utilizam radiofrequência. Testes mostraram que o equipamento tem boa funcionalidade. O sistema pode acionar não apenas lâmpadas, mas outros equipamentos elétricos como motores. A transmissão de dados através da rede elétrica é uma forma viável para comunicação de dados quando não se têm grandes distâncias. Sua aplicação em Automação Residencial mostra-se totalmente viável, pois o sinal transmitido não necessita percorrer grandes distâncias. Pretende-se implementar uma interface para que o equipamento se ligue a um computador e possa ser feita uma simulação de presença humana em residências, utilizando-se um programa computacional que programe a ligação ou desligamento de lâmpadas e outros equipamentos elétricos.

## REFERÊNCIAS

DOSTERT, K., *Power line communications*, Nova Jersey, Prentice Hall, 2001.

FERREIRA, H. C., GROVÉ, H. M., HOOIJEN, O. e VINCK, A. J. H., “*Power Line Communications: An Overview*”, *Transactions of the S.A. Institute of Electrical Engineerings*, setembro, pp. 558 – 563, 1996.

ISHAK, N., DIN, N. M., M. JAMALUDIN, Z. e THAYOOB, Y. H. M., “*Power Line and Home Automation*”, *2002 Student Conference on Research and Development Proceedings*, Shaa Alam, Malásia, 2002.

LIPNHARSKI, W. “*Infrared Remote Control*”. Disponível em: <<http://www.ustr.net/infrared/infrared1.shtml>>. Acesso em 10 de julho de 2006.

MARIOTONI, C. A. e ANDRADE Jr., E. P., Descrição de Sistemas de Automação Predial Baseados em Protocolos PLC Utilizados em Edifícios de Pequeno Porte e Residências, *Revista de Automação e Tecnologia de Informação*. Volume 1, número 1, 2002.

PLATT, G., “*Domestic Power Line Carrier Communications*”, Monografia de final de curso, Universidade de Newcastle, Newcastle, Austrália, 1999.

Portal do Cidadão, “Rio: Escola Adolpho Bloch será pioneira na utilização da Internet via rede elétrica”. Disponível em: <http://www.eletrica.com.br/>. Acesso em 19 de setembro de 2006.