



Universidade Federal de Campina Grande – UFCG
Centro de Engenharia Elétrica e Informática – CEEI
Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica – UAEE

Trabalho de Conclusão de Curso

Desenvolvimento de um ventilador exaustor com base rotativa a controle remoto

Orientador: Edmar Candeia Gurjão

Aluna: Valentina Alessandra Carvalho do Vale

Campina Grande, Paraíba, Brasil

Julho – 2009

Valentina Alessandra Carvalho do Vale

**Desenvolvimento de um ventilador exaustor
com base rotativa a controle remoto**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Federal de
Campina Grande, Centro de Engenharia
Elétrica e Informática, como requisito para
a aprovação no curso de Engenharia
Elétrica e para a obtenção de sua respectiva
graduação, com ênfase em Eletrônica e
Controle e Automação.

Orientador: Edmar Candeia Gurjão

Campina Grande, Paraíba, Brasil

Julho – 2009

Agradecimentos

Inicialmente agradeço a Deus por ter me proporcionado forças quando pareciam que as mesmas não existiam, nunca permitindo que eu desistisse.

Aos meus mestres, meus professores de graduação (Edmar Candeia Gurjão, Eurico Bezerra de Souza Filho, Talvanes Meneses Oliveira, Rômulo Raimundo Maranhão do Valle, Damásio Fernandes Junior, Leimar de Oliveira, Maria de Fátima Queiroz Vieira, entre outros) e, não menos importante, aos meus professores do ensino infantil até ensino médio (Francisca Mesquita, Márcia, Lindolfo, Godói, Welinson, entre outros), os quais sempre serei grata pela dedicação em suas atividades para me formar não apenas como profissional, mas como parte da pessoa que sou.

A todos os funcionários que fizeram parte da minha graduação, proporcionando um ambiente adequado para meu aprendizado e todas as condições burocráticas, em especial a Adail Paz e Rosilda Costa, porque foram além, elas me deram condições psicológicas.

Aos amigos conquistados em Campina Grande durante a graduação, compartilhando experiências e sentimentos muitos das vezes comuns, além de dividir inúmeras madrugadas de estudos: Cláudio Pereira, Emmanoel Ferreira, Evanaska Maria, Fernanda Baracuy, Jairo Luciano, Joelma Barros, Josenildo Galdino, Karolie Grassi, Reginardo Tribuzi, Thiago Euzébio, Thiago Onofre, Wilker Victor, entre outros.

Aos amigos de longas datas que muitas vezes tiveram seus aniversários esquecidos, que entenderam meu não cumprimento de promessas, que escutaram meus problemas e minhas alegrias, na maioria das vezes me fazendo presente apenas por Internet: Ana Lígia Lira, Elmo Couras, Isabelle Lopes, Lourival Junior, Lylia Ribeiro, Nathalia Herculano, Neilton Santos, Samara Barbosa, Thaísa Lima, Tiago Rodrigues, Wilberto Rodrigues, entre outros.

Aos meus familiares que sempre me acolheram com o melhor e maior carinho do mundo, que sempre me motivaram: Genival Barros, Guilhardo Barros, Tatiana Valle, Valber Thadeu, Vitor Thadeu.

Sobretudo, aos meus pais, Frederico Antonio e Geysa Fátima, que sem dúvida foram e são meus maiores mestres e meus maiores exemplos de virtude, os quais nunca se importaram de estudar comigo modulação, circuitos, instalações, controle preditivo, economia, biologia, química, entre outras coisas, abdicando muitas vezes de seus momentos de lazer. Além de sempre propor todas as condições emocionais e financeiras para a conclusão do meu curso.

“...E ao caminhar, senhora, pela longa e luminosa estrada da ciência, devemos ter sempre, diante de nós, o sábio conselho do poeta e astrônomo Omar Khayyam (que Allah o tenha em sua glória!). Eis o que ensinava Omar Khayyam:

‘Que a tua sabedoria não seja humilhação para o teu próximo. Guarda domínio sobre ti mesmo e nunca te abandones à tua cólera. Se esperas a paz definitiva, sorri ao destino que te fere; não firas a ninguém.’...”

(O Homem que Calculava – Malba Tahan)

Resumo

Esse relatório foi elaborado pela aluna Valentina Alessandra Carvalho do Vale, com orientação do professor Edmar Candeia Gurjão, ambos da Universidade Federal de Campina Grande, curso de engenharia elétrica.

O trabalho se resume a aplicação dos circuitos RT4 e RR3 da Telecontrolli, par transmissor e receptor, concentrando-se na área de eletrônica.

Abstract

This text was prepared by the student Valentina Alessandra Carvalho do Vale, with the help of Professor Edmar Candeia Gurjão, both from the Universidade Federal de Campina Grande, the center of electrical engineering.

The work is summarized the application of RT4 and RR3 of circuit Telecontrolli, transmitter and receiver pair, focusing on the area of electronics.

Lista de figura

- Figura 1 – Esquema do protótipo ventilador exaustor com base rotativa
- Figura 2 – Detalhes do dimensionamento da cantoneira e da alimentação do motor de corrente contínua
- Figura 3 – Classificação da onda baseado em sua frequência ou comprimento
- Figura 4 – Diagrama de pinos do RT4 e RR3
- Figura 5 – Diagrama de pinos do MC145026 e MC145027
- Figura 6 – Teste do codificador e decodificador sugerido pelo fabricante
- Figura 7 – Antena “whip”
- Figura 8 – Diagrama de pinos do PIC16F877A
- Figura 9 – Diagrama de pinos do L293B
- Figura 10 – Circuito teste de um transistor
- Figura 11 – Configuração de Darlington
- Figura 12 – Descrição da ligação do motor de corrente contínua
- Figura 13 – Motor de passo de 4 bobinas e derivação central
- Figura 14 – Funcionamento do motor de passo de 4 bobinas
- Figura 15 – Identificando as ordens das bobinas
- Figura 16 A – Funcionamento da chave utilizada no controle remoto
- Figura 16 B – Chave utilizada no controle remoto
- Figura 17 – Circuito codificador e decodificador acoplado ao circuito transmissor e receptor
- Figura 18 – Teste isolado do PIC
- Figura 19 – Integração do PIC ao circuito receptor
- Figura 20 – Integração da ponte H ao circuito da Figura 13
- Figura 21 – Acoplamento do motor de corrente contínua
- Figura 22 – Adição do motor de passo e seu circuito amplificador
- Figura 23 – Desenho completo do circuito
- Figura 24 A – Placa dupla face do transmissor, lado inferior e superior, respectivamente
- Figura 24 B – Placa dupla face do receptor, lado inferior e superior, respectivamente

Lista de tabela

Tabela 1 – Combinações das chaves de controle

Tabela 2 – Valores para testes do codificador e decodificador

Tabela 3 – Valores de tensões utilizados e sugeridos pelos fabricantes

Tabela 4 – Identificando as ordens das bobinas

Tabela 5 – Resultados dos testes da Figura 11

Tabela 6 – Tabela da verdade para o PIC com o programa referente ao Anexo 1

Tabela 7 – Tabela da verdade para o circuito da ponte H

Sumário

1. Introdução	Pg. 11
2. Desenvolvimento	Pg. 12
2.1. Descrição dos componentes mecânicos	Pg. 13
2.2. Descrição dos componentes elétricos	Pg. 15
2.2.1. Transmissor e receptor	Pg. 15
2.2.2. Codificador e decodificador	Pg. 18
2.2.3. Antena	Pg. 20
2.2.4. Microcontrolador	Pg. 23
2.2.5. Amplificador	Pg. 24
2.2.5.1. Ponte H – L293B	Pg. 24
2.2.5.2. TIP122	Pg. 25
2.2.6. Sistema de alimentação	Pg. 27
2.2.7. Motores	Pg. 28
2.2.7.1. Motor de corrente contínua	Pg. 28
2.2.7.2. Motor de passo	Pg. 29
2.2.8. Chaves mecânicas	Pg. 32
2.3. Procedimentos	Pg. 33
2.4. Confeção das placas de circuito impresso	Pg. 41
2.5. Listagem dos materiais, dos componentes e dos softwares utilizados .	Pg. 44
3. Conclusões e considerações finais	Pg. 45
4. Anexo	Pg. 47
4.1. Anexo 1 – código em C	Pg. 47
4.2. Anexo 2 – imagens do circuito funcionando em protoboard's	Pg. 51
4.3. Anexo 3 – imagem da confeção das placas de circuito impresso	Pg. 52
5. Bibliografia	Pg. 54

1. Introdução

É importante tomarmos consciência de como estamos imersos em ondas eletromagnéticas. Iniciando pelo Sol, a maior e mais importante fonte para os seres vivos terrestres, cuja vida depende do calor e da luz recebidos através de ondas eletromagnéticas.

A primeira previsão da existência de ondas eletromagnéticas foi feita, em 1864, pelo físico escocês, James Clerk Maxwell. Ele conseguiu provar teoricamente que uma perturbação eletromagnética devia se propagar no vácuo com uma velocidade igual à da luz. E a primeira verificação experimental foi feita por Henrich Hertz, em 1887. Hertz produziu ondas eletromagnéticas por meio de circuitos oscilantes e, depois, detectou-as por meio de outros circuitos sintonizados na mesma frequência. Seu trabalho foi homenageado posteriormente, colocando-se o nome "Hertz" para unidade de frequência.

O desenvolvimento nos estudos das ondas eletromagnéticas possibilitou o avanço tecnológico, surgindo estações de rádio e de TV, sistemas de telecomunicações à base de microondas, lâmpadas, corpos aquecidos, além de tecnologia para transmissão sem fios.

A tecnologia sem fio permite a conexão entre diferentes pontos sem a necessidade do uso de cabos (telefônico, coaxial ou ótico), apenas por meio de equipamentos que usam [radiocomunicação](#) ou comunicação via [infravermelho](#).

Em algumas situações essa tecnologia é extremamente necessária, como em uma indústria, onde um chão livre de fiação representa segurança e facilidades, entretanto, em outras, essa tecnologia representa apenas comodidade ou diversão, como uma televisão ou um brinquedo acionado por controle remoto.

Neste trabalho será desenvolvido um ventilador exaustor que é ligado, desligado e direcionado através de um controle remoto, analisando alguns aspectos elétricos e mecânicos.

2. Desenvolvimento

A idéia original do trabalho se resumia a uma aplicação com o par de transmissor e receptor da Telecontrolli, respectivamente, RT4 e RR3 (www.telecontrolli.com/eng/default.html). Foi então pensado no acionamento remoto de um ventilador, sendo posteriormente incrementado um motor de passo para direcionamento de sua base, que passou a ser rotativa, e a possibilidade desse ventilador funcionar como exaustor, invertendo apenas seu sentido de rotação.

Como protótipo foi desenvolvido o esquema da Figura 1, nesse esquema foram utilizadas hélices de um cooler de computador, sem o motor, visto que esse não permitia comutação na alimentação, sendo então utilizado para seu acionamento um motor de corrente contínua.

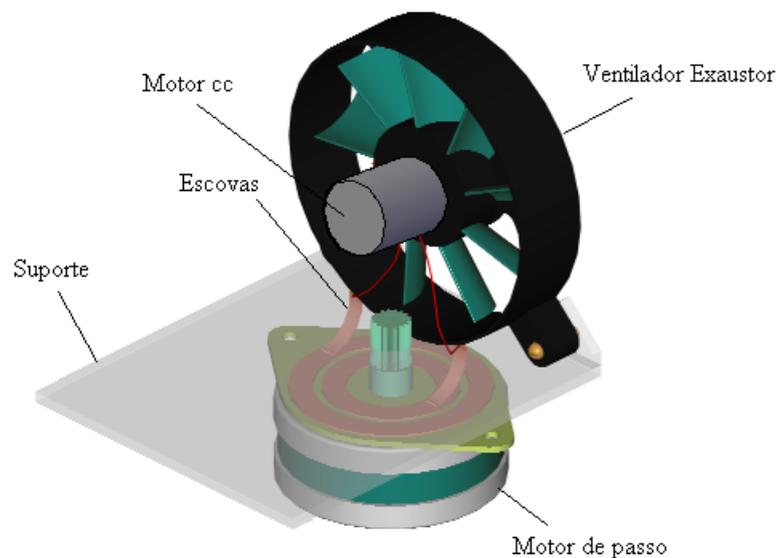


Figura 1 – Esquema do protótipo ventilador exaustor com base rotativa

2.1. Descrição dos componentes mecânicos

O dispositivo é constituído por pás de um cooler, um motor de corrente contínua, um motor de passo, placas de acrílico e uma pequena caixa plástica. As pás do cooler desempenham o papel das hélices do ventilador/exaustor, sendo acionadas pelo motor de corrente contínua que terá seu eixo acoplado ao centro delas. Para direcionar o ventilador/exaustor será utilizado um motor de passo.

As placas de acrílicos serão utilizadas para a confecção de uma cantoneira e de uma caixa, na qual ficarão o motor de passo e os dispositivos eletrônicos que servem para o controle do mesmo e do motor de corrente contínua. Observar que os dispositivos eletrônicos do controle remoto ficarão na caixa plástica.

As pás do cooler estão fixadas sobre a cantoneira através de parafusos, e a cantoneira está fixada ao eixo do motor de passo. As dimensões da cantoneira foram determinadas de forma a não influenciar no equilíbrio do peso do cooler, ver detalhes na Figura 2.

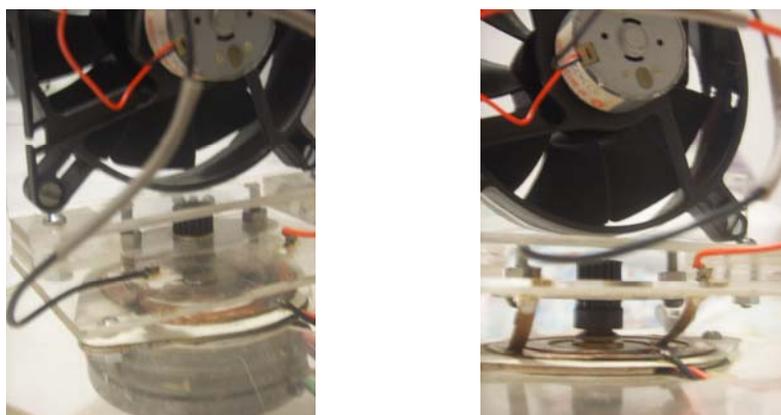


Figura 2 – Detalhes do dimensionamento da cantoneira e da alimentação do motor de corrente contínua

Para possibilitar o movimento de 360° sem que o ventilador exaustor se enrole aos fios de alimentação do motor de corrente contínua, foram utilizados dois anéis concêntricos, que foram fixados sobre a carcaça do motor de passo e isolados do mesmo, idéia análoga a um carrinho bate-bate. Em cada um dos anéis foram soldados fios, aos quais possibilitou aplicar uma diferença de potencial elétrico para acionar o motor de corrente contínua.

Nas cantoneiras foram fixadas duas palhetas de cobre com características de mola para funcionarem como escovas, de forma a possibilitar a transferência de energia continuamente para o motor de corrente contínua durante a rotação do

cooler. Inicialmente foi utilizada uma placa de circuito impresso para a confecção dos anéis, mas, por ser muito fina a camada de cobre, observou-se durante os testes que as escovas desgastavam esses anéis. Optou-se então pela utilização de anéis confeccionados em chapa de cobre de espessura 0,1mm aplicados sobre uma película de PVC de 0,05mm.

Nesse sistema temos 4 operações possíveis: ligar ventilador, ligar exaustor, girar sentido horário e girar sentido anti-horário, além de desligar tudo. Para o controle remoto foram utilizadas 4 chaves, onde cada uma exercia uma das 4 operações possíveis, facilitando para o usuário final, visto que para 4 operações mais a operação “desligado” seria necessário apenas 3 chaves ($2^3 = 8$ combinações). Na Tabela 1 encontram-se todas as combinações possíveis dessas chaves e as respectivas operações. Observar que é possível ligar o ventilador e girar sentido horário simultaneamente, mas não é possível ligar o ventilador e exaustor simultaneamente, visto que essas operações são designadas a um único motor.

Tabela 1 – Combinações das chaves de controle

<i>Motor de Passo</i>		<i>Motor de corrente contínua</i>		<i>Decimal</i>	<i>Ligado</i>
<i>Chave 1</i>	<i>Chave 2</i>	<i>Chave 3</i>	<i>Chave 4</i>		
<i>Anti-horário</i>	<i>Horário</i>	<i>Exaustor</i>	<i>Ventilador</i>		
0	0	0	0	0	-
0	0	0	1	1	ventilador
0	0	1	0	2	exaustor
0	0	1	1	3	-
0	1	0	0	4	horário
0	1	0	1	5	horário e ventilador
0	1	1	0	6	horário e exaustor
0	1	1	1	7	horário
1	0	0	0	8	anti-horário
1	0	0	1	9	anti-horário e ventilador
1	0	1	0	10	anti-horário e exaustor
1	0	1	1	11	anti-horário
1	1	0	0	12	-
1	1	0	1	13	ventilador
1	1	1	0	14	exaustor
1	1	1	1	15	-

2.2. Descrição dos componentes elétricos

2.2.1. Transmissor e receptor

Circuito que emprega tecnologia sem fio utiliza apenas equipamentos de [radiocomunicação](#), Figura 3. Esses equipamentos funcionam em par, onde um é o transmissor e o outro o receptor. Em alguns casos, um receptor pode funcionar como transmissor e vice-versa. Nesse projeto, não houve a necessidade dessa dualidade, visto que um dispositivo sempre envia comandos, e o outro só recebe.

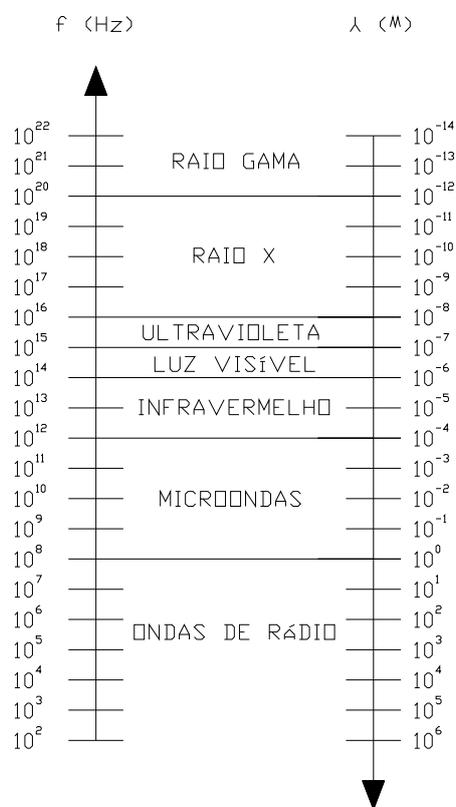


Figura 3 – Classificação da onda baseado em sua frequência ou comprimento

Como realizado no experimento de Hertz, é necessário que o receptor esteja operando na mesma frequência que o transmissor. Como dispositivos com essa característica são de difícil confecção, foram utilizados os módulos RT4 e RR3, par transmissor receptor da Telecontrolli (www.telecontrolli.com/eng/default.html). Esses módulos nada mais são do que pequenas placas que possuem o circuito de um receptor, ou de um transmissor casados, e que facilmente podem ser integrados em uma montagem.

Os módulos produzidos pela Telecontrolli são utilizados como componentes básicos para a construção de dispositivos como: sistema de alarme para carros, sistema de segurança residencial, controle remoto para abertura e fechamento de portões, controles para ligar e desligar luzes, aquisição de dados e robótica.

Os módulos RT4 e RR3 têm alcance de até 100m sem obstáculos, desde que a antena e a fonte de alimentação do transmissor sigam as recomendações técnicas do fabricante, ao fim do trabalho será feito um levantamento do alcance do sistema. Esses módulos saem de fábrica regulados, dispensando qualquer tipo de regulagem por parte do utilizador.

Existem pares da Telecontrolli que trabalham nas faixas de frequências de: 315MHz, 418MHz e 433,92MHz. Nesse projeto, foram utilizados módulos de frequência de 315MHz, mas poderia ter sido qualquer uma das três frequências.

A largura de banda para a transferência dos dados do módulo RT4 é de 4KHz, enquanto a do módulo RR3 é de 2KHz. Portanto, para que o módulo receptor RR3 consiga receber os dados corretamente, o transmissor RT4 deverá se limitar a transmitir os dados com largura de banda inferior ou igual a 2KHz.

O módulo receptor RR3 pode trabalhar em uma faixa de tensão que vai de 4,5 a 5.5V, enquanto o módulo transmissor RT4 trabalha entre 2,0 a 14,0V, sendo escolhidas fontes de 5V e 9V, respectivamente. O diagrama de pinos pode ser visto na Figura 4.

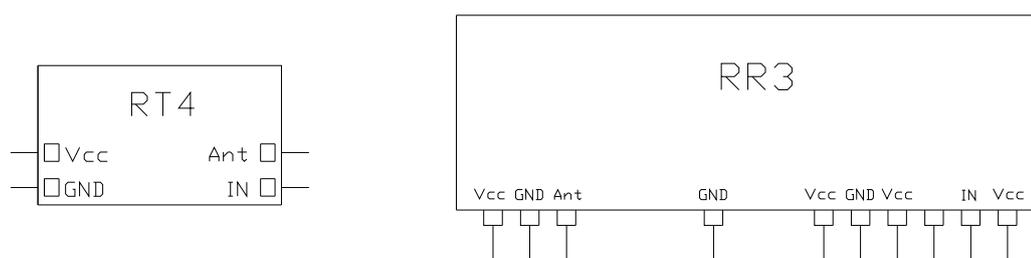


Figura 4 – Diagrama de pinos do RT4 e RR3

Para que possamos transmitir dados de forma digital e seguindo um determinado padrão através da portadora dos módulos RF RT4 e RR3, utilizamos os CIs MC145026 (codificador) e MC145027 (decodificador), fabricados pela Motorola, descritos mais adiante.

O uso de sinal digital é vantajoso devido à facilidade de proteger os dados utilizando codificação e regenera-los durante ou ao final do processo de transmissão. No

caso da transmissão analógica, os efeitos de ruídos e distorções introduzidos no sinal podem ser irreversíveis, tendo seu efeito acumulado ao longo do percurso de propagação. Outras vantagens da transmissão digital são: a possibilidade de introduzir dispositivos repetidores regeneradores, em sua maioria possuir custo reduzido, técnicas de codificação de canal e criptografia podem ser utilizadas, multiplexação é facilmente implementada e mais eficiente, a informação pode ser segmentada, além de que a maioria dos hardwares atuais é digital, sendo compatíveis.

2.2.2. Codificador e decodificador

O codificador, por estar ligado diretamente às chaves do controle remoto, terá de ter no mínimo 4 entradas para individualizar os comandos discutidos previamente, assim o par de CI's MC145026 e MC145027 se adaptam perfeitamente para o caso, além deles serem projetados para uso em controle remoto e os indicados para serem acoplados ao par RT4 e RR3. Na Figura 5 se encontra o diagrama de pinos do par codificador e decodificador.



Figura 5 – Diagrama de pinos do MC145026 e MC145027

O MC145026 codifica dados em paralelo em dados em série, enviando-os ao transmissor, que os envia ao receptor, esse possuirá em sua saída um decodificador (MC145027) para traduzir os dados seriais novamente em dados paralelos. A transmissão ao receptor é iniciada quando existe um nível baixo no pino de entrada Transmit Enable (TE) para evitar o envio de estados transitórios, ou seja, há uma chave de controle que ao final do projeto será observada a possibilidade de retirar. Os dados seriais da saída do codificador (pino D_{out}) podem estar no modo ternário ou binário, como temos nove possíveis entradas no codificador (A1, A2, A3, A4, A5, A6/D6, A7/D7, A8/D8, A9/D9), temos no modo ternário e binário $3^9 = 19683$ e $2^9 = 512$ endereços, respectivamente.

Como dito, o MC145027 decodifica dados seriais, que chegam ao pino de entrada D_{in}, em dados paralelos, que chegam aos pinos A1, A2, A3, A4, A5, no modo ternário ou binário, onde teríamos, respectivamente, $3^5 = 243$ e $2^5 = 32$ endereços possíveis. Os dados são finalmente decodificados em quatro dados paralelos, que saem nos pinos D6, D7, D8, D9, existindo $2^4 = 16$ palavras possíveis que podem sair do decodificador.

As tensões de alimentações do MC145026 e do MC145027 podem variar de 2,5V a 18V e de 4,5V a 18V, respectivamente, podendo ser utilizada a mesma fonte do

transmissor (9V) para o MC145026 e a mesma fonte do receptor (5V) para o MC145027.

Para o teste desses dois CI's, o fabricante sugere a realização da montagem do diagrama da Figura 6, onde os valores das resistências e capacitâncias foram escolhidas de acordo com a última linha da Tabela 2, isto porque a frequência de 1,71KHz é a única frequência da tabela que não excede o limite da banda passante do módulo receptor RR3, que é de 2KHz, discutido anteriormente.

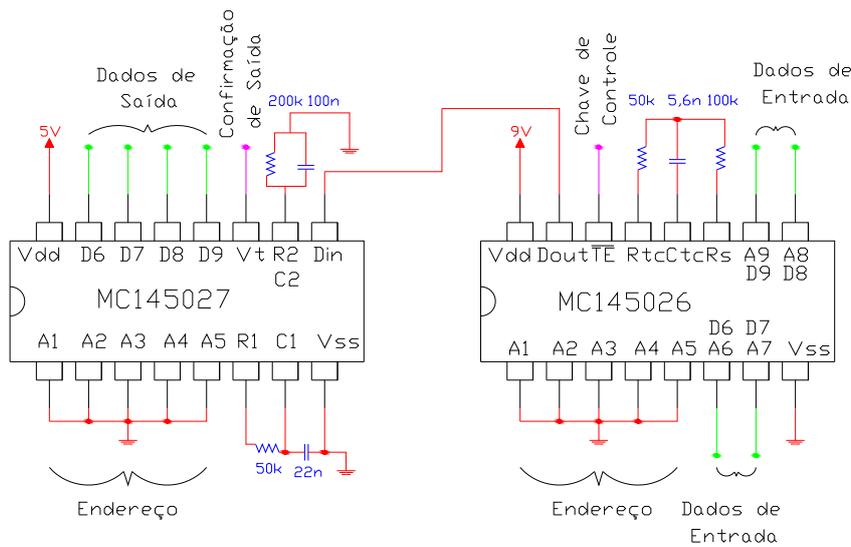


Figura 6 – Teste do codificador e decodificador sugerido pelo fabricante

Tabela 2 – Valores para testes do codificador e decodificador

$f_{OSC}(kHz)$	$R_{TC}(k\Omega)$	$C_{TC}'(pF)$	$R_s(k\Omega)$	$R_1(k\Omega)$	$C_1(F)$	$R_2(k\Omega)$	$C_2(F)$
362	10	120	20	10	470p	100	910p
181	10	240	20	10	910	100	1800p
88,7	10	490	20	10	2000p	100	3900p
42,6	10	1020	20	10	3900p	100	7500p
21,5	10	2020	20	10	8200p	100	0.015 μ
8,53	10	5100	20	10	0,02 μ	200	0,02 μ
1,71	50	5100	100	50	0,02 μ	200	0,1 μ

* Obs.: alguns valores podem não ser encontrados no comércio, podendo ser substituídos por combinações dos mesmos e/ou por valores próximos.

2.2.3. Antena

Antena é o dispositivo cuja [função](#) é transformar [energia eletromagnética](#) guiada pela [linha de transmissão](#) em [energia eletromagnética](#) irradiada ou transformar energia eletromagnética irradiada em energia eletromagnética guiada para a linha de transmissão. Portanto, sua função é primordial em qualquer [comunicação](#) onde exista [radiofrequência](#). A relação entre as potências de emissão e recepção é proporcional e obedece à [Fórmula de Friis](#), Equação 1.

$$\text{Equação 1: } \frac{P_r}{P_t} = G_t \cdot G_r \cdot \left(\frac{\lambda}{4 \cdot \pi \cdot R} \right)^2$$

onde: P_r – potência recebida pela antena de recepção

P_t – potência transmitida pela antena de transmissão

G_r – ganho da antena de recepção

G_t – ganho da antena de transmissão

λ – comprimento de onda

R – distância entre as antenas

Esta equação é aplicável apenas sobre as seguintes condições ideais:

- As antenas estão em espaço aberto não obstruído.
- P_r é tida como a potência disponível nos terminais da antena de recepção e não será totalmente entregue ao receptor, a não ser que haja adaptação de impedância com a antena.
- P_t é tida como a potência disponível nos terminais da antena de transmissão e não será totalmente entregue à potência de transmissão, a não ser que haja adaptação de impedância com a antena.
- As antenas estão alinhadas sobre a mesma [polarização](#) e orientadas de maneira a que cada antena irradie na direção de máxima radiação da outra.

As condições ideais quase nunca são alcançadas em condições terrestres ordinárias, devido a obstruções, reflexões em edifícios e, ainda mais importante, reflexões na terra. Uma situação onde a fórmula é razoavelmente eficiente é em

comunicações por satélite, onde a absorção atmosférica é desprezível; outra situação ocorre em [salas anecóicas](#), que são salas projetadas para minimizar as reflexões.

Algumas configurações podem ser usadas para direcionar o campo eletromagnético radiado em uma determinada direção, enquanto outras configurações são projetadas para cancelar sinais indesejados. Desta forma, para atender às necessidades nesses sistemas, as antenas podem ser projetadas com diferentes formas, como as grandes antenas parabólicas, as pequenas antenas impressas, as configurações em arranjo, os clássicos dipolos e monopolos, entre outras.

A antena mais simples é a “whip”, que é uma antena monopolo. Ela nada mais é do que um arame de um quarto do comprimento de onda que fica de pé sobre um plano da terra. Os exemplos mais comuns são encontrados em automóveis e são usados para transmissão de rádio, rádio amador e até mesmo para telefones celulares. Por sua simplicidade e por satisfazer o alcance desejado, ela será utilizada nesse projeto.

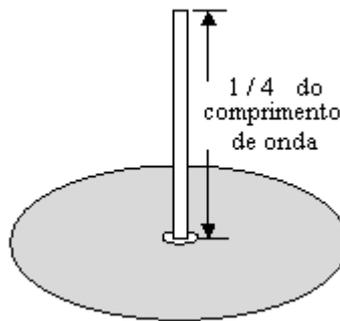


Figura 7 – Antena “whip”

O comprimento de onda λ tem uma relação inversa com a [frequência](#) f . O comprimento de onda é igual à sua velocidade dividida pela sua frequência. Quando se lida com radiação eletromagnética no vácuo, essa velocidade é igual à [velocidade da luz](#) 'c'. Esta relação é dada por:

$$\text{Equação 2: } \lambda = \frac{c}{f}$$

onde: λ = comprimento de onda

c = velocidade da luz = 299.792,458 km/s ~ 300.000 km/s = 300.000.000 m/s

f = frequência da onda em Hz

Para deslocamento da onda eletromagnético no ar, aproximaremos a velocidade da onda a velocidade da luz, e a frequência f será a frequência de operação do par RR3 e RT4 (315MHz).

Assim, para as antenas do transmissor e receptor, foram usados dois fios de cobre de espessura 0,41mm (26 AWG) e comprimento $\ell = \frac{1}{4} \cdot \frac{3 \cdot 10^8}{315 \cdot 10^6} \cong 23,8cm$, cada um.

2.2.4. Microcontrolador

O microcontrolador utilizado foi o PIC16F877A da Microchip. Esse PIC possui 40 pinos, dos quais 33 podem ser usados como entrada ou saída. Na Figura 8 é apresentado o diagrama de pinos do PIC16F877A.

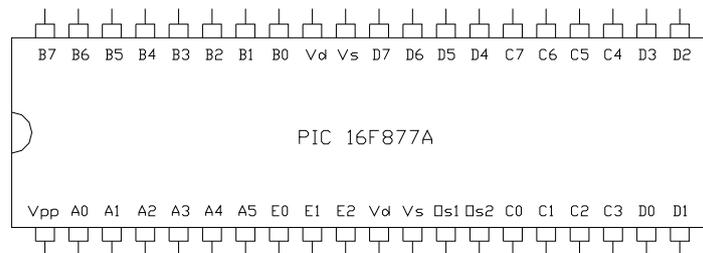


Figura 8 – Diagrama de pinos do PIC16F877A

O PIC16F877A precisa de uma tensão de alimentação de 2V a 5,5V, podendo então ser alimentado pela mesma fonte de alimentação do receptor (5V). Além da fonte de alimentação é necessário um oscilador externo, esse obtido através de um cristal de 20MHz.

O microcontrolador receberá do decodificador a palavra de controle de 4 bits e, através de um código previamente elaborado baseado na Tabela 1 e descrito mais adiante, Anexo 1, controlará os sinais enviados para os dois motores.

2.2.5. Amplificador

Devido a saída do PIC ser de baixa potência, não sendo suficiente para acionar nenhum dos motores, foram utilizados circuitos amplificadores.

2.2.5.1. Ponte H – L293B

O circuito que implementa a ponte H é de fácil construção através de transistores e diodos, porém foi utilizado o CI L293B da ST que implementa a ponte H, possibilitando a inversão do sentido de rotação do motor de corrente contínua. Na Figura 9 o diagrama de pinos do L293B.

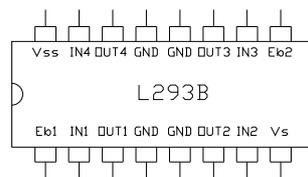


Figura 9 – Diagrama de pinos do L293B

A habilitação do L293B é feita pelo pino 1 e/ou 9, podendo estar entre 2,3V e 7V, assim foi utilizada a mesma fonte de alimentação do receptor (5V). Porém, os pinos 8 e 16 estão relacionados a tensão de alimentação do motor, podendo estar entre 4,5V e 36V, como o motor de corrente contínua utilizado necessita de 5V, foi utilizado uma alimentação nesses pinos de 6V, devido as perdas observadas no próprio circuito.

2.2.5.2. TIP122

Para o motor de passo, foi utilizado o transistor TIP122 da ST, o qual funcionará basicamente como uma chave.

As características elétricas dos transistores envolvem relações entre tensões e correntes. Uma das formas de visualizar as relações entre tensões e correntes envolvidas na polarização do transistor bipolar é através de dados obtidos a partir de um "circuito de teste" vistos na Figura 10.

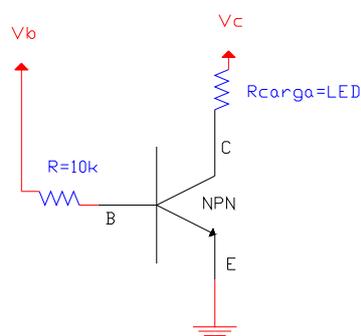


Figura 10 – Circuito teste de um transistor

O circuito TIP122 tem configuração de Darlington, Figura11, que combina dois transistores bipolares no mesmo encapsulamento, proporcionando um grande ganho de corrente (parâmetro β do transistor) e, por estar todo integrado, requer menos espaço do que os transistores normais na mesma configuração.

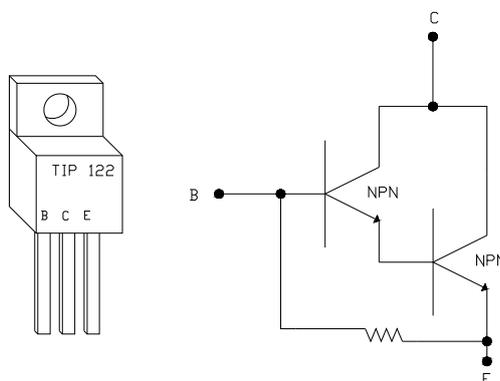


Figura 11 – Configuração de Darlington

Apesar da configuração ser diferente, o “circuito teste” continua a ser válido. Assim, conhecendo a estrutura do motor de passo, descrito mais adiante, pode substituir o “LED teste” por uma das bobinas do motor, o Vc pela alimentação do motor e o Vb pela saída do PIC. Observar que como as bobinas armazenam energia eletromagnética, é necessário a inclusão de um diodo para proteger o circuito da corrente induzida.

Como a tensão entre o coletor e emissor pode ser até 100V, pode ser utilizada a fonte de 12V que o motor de passo necessita.

2.2.6. Sistema de alimentação

Baseado nos manuais dos respectivos fabricantes, foi utilizada uma fonte de alimentação de 9V para o transmissor e codificador, uma fonte de alimentação de 5V para o receptor, o decodificador, o PIC e a ponte H. Para o acionamento do motor de passo foi utilizada uma fonte de alimentação de 12V e para o motor de corrente contínua de 6V.

A adaptação a rede local de 220V exige transformadores correspondentes. Assim, para o receptor foi utilizada uma fonte de computador, a qual fornecia todas essas variações de valores de tensões (5V, 6V, 12V). Observar que no controle remoto foi utilizada uma bateria comum de 9V, para evitar o contato do usuário com a rede elétrica, como vemos comumente nesses tipos de equipamentos.

Abaixo segue a Tabela 3, em que é possível ver os valores de alimentações utilizados e as faixas sugeridas para alimentação pelos fabricantes.

Tabela 3 – Valores de tensões utilizados e sugeridos pelos fabricantes

		Sugerido	Utilizado
Transmissor	RT4 (pino 1)	2V – 14V	9V
	MC145026 (pino 16)	2,5V – 18V	9V
Receptor	RR3 (pinos 1, 10, 12, 15)	4,5V – 5,5V	5V
	MC145027 (pino 16)	4,5V – 18V	5V
	PIC16F877A (pinos 1, 11, 32)	2V – 5,5V	5V
	L293B (habilitação – pino 1)	2,3V – 7V	5V
	L293B (motor de corrente contínua – pinos 8 e 16)	4,5V – 36V	6V
	TIP122 (motor de passo – fios branco e preto)	$V_{CEm\acute{a}x} = 100V$	$V_{CE} = 12V$

Assim, para o receptor foi utilizada uma fonte de computador, a qual fornecia todas essas variações de valores de tensões (5V, 6V, 12V).

2.2.7. Motores

2.2.7.1. Motor de corrente contínua

O motor de corrente contínua deverá ser acionado nos dois sentidos, para isso deve haver inversão no sentido da corrente, como dito anteriormente, a ponte H proporciona essa inversão, abaixo segue esquema, Figura 12, sugerido pelo L2293B, descrevendo seu funcionamento em conjunto com o motor de passo. Observar que serão necessários quatro diodos 1N4007, e que os números “1” e “0” designam à alimentação e ao terra, respectivamente.

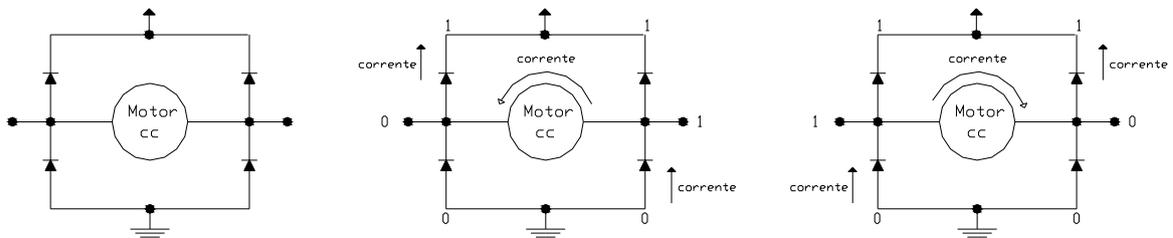


Figura 12 – Descrição da ligação do motor de corrente contínua

2.2.7.2. Motor de passo

Inicialmente foi escolhido um motor de passo de quatro bobinas e derivação central, totalizando um total de 6 fios, como na Figura 13. A derivação central facilita o controle do motor de passo, visto que é possível ter acesso a todos os terminais das bobinas.

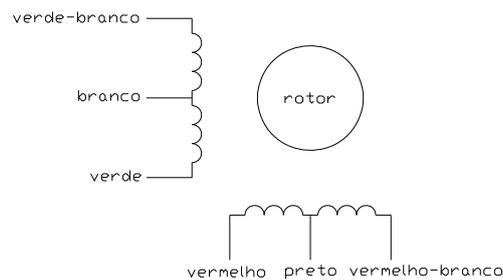


Figura 13 – Motor de passo de 4 bobinas e derivação central

Uma das características do motor de passo é o ângulo de cada passo. O passo é o menor deslocamento angular. O motor escolhido, por exemplo, tem um passo de 7,5 graus, isto significa que ao alimentar uma única vez uma bobina do motor, o rotor terá um deslocamento angular de 7,5 graus, Figura 14. Assim, para efetuar uma volta completa, serão necessários 48 pulsos de alimentação das bobinas ($7,5 \times 48 = 360^\circ$), quanto menor o tamanho do passo, maior é a precisão que teremos.

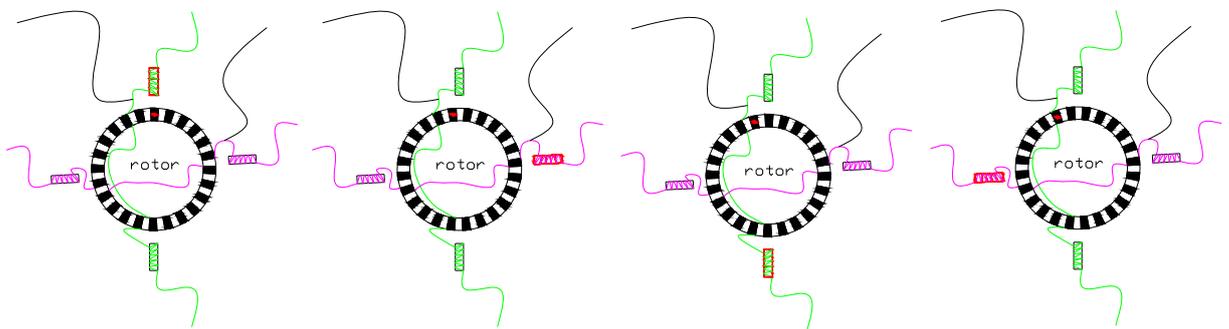


Figura 14 – Funcionamento do motor de passo de 4 bobinas

Como mencionado, a alimentação da bobina deve ser realizada de forma seqüencial, então é necessário encontrar a seqüência correta das bobinas. Para isso foram medidas as impedâncias entre todos os fios, observando que, conforme Figura 13, só haverá 3 valores, tendo que as bobinas são idênticas, que serão R, 2R e infinito, Figura 15 e Tabela 4.

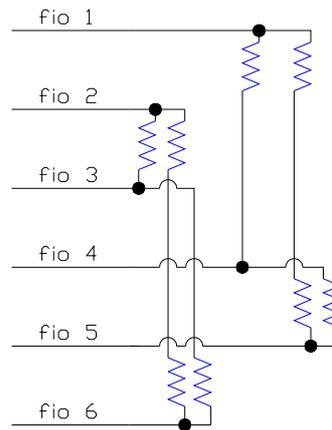


Figura 15 – Identificando as ordens das bobinas

Tabela 4 – Identificando as ordens das bobinas

Fios relacionados		Impedância
Fio 1	Fio 2	Infinito
Fio 1	Fio 3	Infinito
Fio 1	Fio 4	R
Fio 1	Fio 5	2R
Fio 1	Fio 6	Infinito
Fio 2	Fio 3	R
Fio 2	Fio 4	Infinito
Fio 2	Fio 5	Infinito
Fio 2	Fio 6	2R
Fio 3	Fio 4	Infinito
Fio 3	Fio 5	Infinito
Fio 3	Fio 6	R
Fio 4	Fio 5	R
Fio 4	Fio 6	Infinito
Fio 5	Fio 6	Infinito

Assim, o fio 4 tem contato apenas com os fios 1 e 5, enquanto que o fio 3 tem contato apenas com os fios 2 e 6. Sendo os fios 4 e 3 as derivações centrais, conforme Figuras 13 e 14. Observar que na Figura 13 foi levado em consideração as cores do motor utilizado nesse trabalho.

Outra característica do motor de passo é a possibilidade de energizar duas bobinas consecutivas de forma a possibilitar meio passo ($7,5 \div 2 = 3,75^\circ$), aumentando a precisão. Nesse trabalho não foi necessário, observar código no Anexo 1.

2.2.8. Chaves mecânicas

No manual do fabricante do codificador (MC 145026) é indicado que nos dados de entrada e no endereço de dados sejam colocados uma tensão positiva ou uma tensão nula, como deixar em aberto não garante nenhum dos dois dados, a chave adequada para a implementação do controle remoto deve possuir dois estados (ligado e desligado) e três derivações (duas entradas e uma saída), ver Figura 16 A.

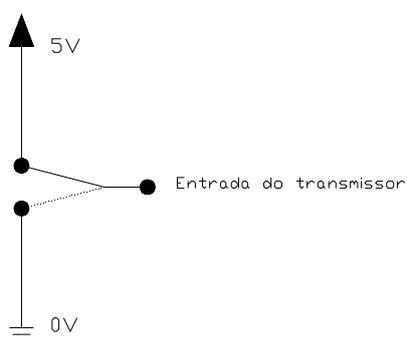


Figura 16 A – Funcionamento da chave utilizada no controle remoto

Assim, a chave escolhida tem a configuração da Figura 16 B, internamente nada mais é do que uma gangorra, o terminal interno é o sinal de saída (entrada do transmissor), os externos são ligados à fonte e ao terra.

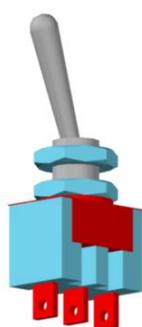


Figura 16 B – Chave utilizada no controle remoto

Observar que para o dado de controle TE poderia ter sido utilizada uma chave de apenas dois terminais, onde um seria o terra e o outro seria o sinal de saída, porém, foram padronizadas todas as chaves.

2.3. Procedimentos

Todos os testes iniciais foram realizados sobre dois protoboards, para ao fim dos testes serem confeccionadas as placas de circuitos impressos.

Inicialmente foram testados com LED's e chaves manuais o codificador e decodificador, como sugerido pelo fabricante (Figura 6 e Tabela 2), observar que as resistências e capacitores foram substituídos por valores comerciais, ou seja, as resistências de 50kΩ foram substituídas pela combinação de duas de 100kΩ em paralela, a resistência de 200kΩ por duas de 100kΩ em série, o capacitor de 5,1nF por um de 5,6nF e o capacitor de 20nF por um de 22nF.

Em seguida foram adicionados ao circuito de codificador e decodificar o par transmissor e receptor, conforme o diagrama da Figura 17, a distância entre o transmissor e receptor não foi levada em consideração nesse ponto do projeto. Na Tabela 5 pode ser vista as respectivas saídas do receptor de acordo com as entradas do transmissor.

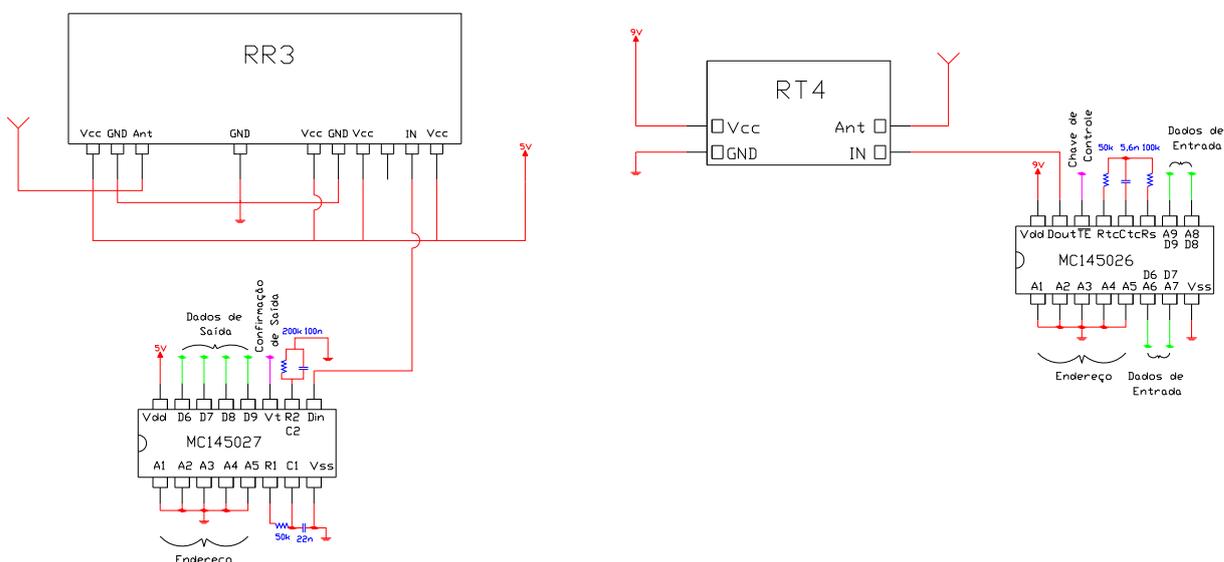


Figura 17 – Circuito codificador e decodificador acoplado ao circuito transmissor e receptor

Tabela 5 – Resultados dos testes da Figura 11

\overline{TE}	Entradas				VT	Saídas			
	D ₆	D ₇	D ₈	D ₉		D ₆	D ₇	D ₈	D ₉
0	0	0	0	1	1	0	0	0	1
0	0	0	1	0	1	0	0	1	0
0	0	0	1	1	1	0	0	1	1
0	0	1	0	0	1	0	1	0	0
0	0	1	0	1	1	0	1	0	1
0	0	1	1	0	1	0	1	1	0
0	0	1	1	1	1	0	1	1	1
0	1	0	0	0	1	1	0	0	0
0	1	0	0	1	1	1	0	0	1
0	1	0	1	0	1	1	0	1	0
0	1	0	1	1	1	1	0	1	1
0	1	1	0	0	1	1	1	0	0
0	1	1	0	1	1	1	1	0	1
0	1	1	1	0	1	1	1	1	0
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
-	x	X	x	x	0	0	0	0	0

Para integrar o microcontrolador às saídas do decodificador, foi preparado o PIC isoladamente dos demais componentes. Inicialmente foi utilizado o PIC C Compiler para gerar o código hexadecimal a partir de um código em C para ser salvo no PIC. O código se encontra em anexo (Anexo 1) com as devidas linhas de comentários, observar que algumas linhas de código podem ser geradas através das configurações feitas diretamente ao criar um novo projeto, após compilar, não havendo erros, o programa gera um novo arquivo de mesmo nome e extensão “.hex”. Esse código obedece à tabela da verdade abaixo (Tabela 6), onde é possível ver os quatro bits de instruções, o bit de controle, os quatros bits de saída que representam as bobinas do motor de passo e os dois bits de saída que representam os terminais do motor de corrente contínua, observar que nos testes todos os bits de saída serão substituídos por LED’s antes do acoplamento dos motores, esses só serão ligados aos sistemas de amplificação.

Tabela 6 – Tabela da verdade para o PIC com o programa referente ao Anexo 1

Entradas					Decimal	Saídas					
C0	A ₀	A ₁	A ₂	A ₃	A	B ₀	B ₁	B ₂	B ₃	D ₀	D ₁
1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1
1	0	0	1	0	2	0	0	0	0	1	0
1	0	0	1	1	3	0	0	0	0	0	0
1	0	1	0	0	4	0	0	0	1	0	0
						0	0	1	0		
						0	1	0	0		
						1	0	0	0		
1	0	1	0	1	5	0	0	0	1	0	1
						0	0	1	0		
						0	1	0	0		
						1	0	0	0		
1	0	1	1	0	6	0	0	0	1	1	0
						0	0	1	0		
						0	1	0	0		
						1	0	0	0		
1	0	1	1	1	7	0	0	0	1	0	0
						0	0	1	0		
						0	1	0	0		
						1	0	0	0		
1	1	0	0	0	8	1	0	0	0	0	0
						0	1	0	0		
						0	0	1	0		
						0	0	0	1		
1	1	0	0	1	9	1	0	0	0	0	1
						0	1	0	0		
						0	0	1	0		
						0	0	0	1		
1	1	0	1	0	10	1	0	0	0	1	0
						0	1	0	0		
						0	0	1	0		
						0	0	0	1		
1	1	0	1	1	11	1	0	0	0	0	0
						0	1	0	0		
						0	0	1	0		
						0	0	0	1		
1	1	1	0	0	12	0	0	0	0	0	0
1	1	1	0	1	13	0	0	0	0	0	1
1	1	1	1	0	14	0	0	0	0	1	0
1	1	1	1	1	15	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	16	0	0	0	0	0	0
0	X	x	X	X	x	0	0	0	0	0	0

Antes de salvar o programa no microcontrolador, foi feita a simulação com o software Proteus. Nele foi escolhido o respectivo PIC, colocada as devidas chaves e alimentações, segundo Figura 18, “gravado” o programa “.hex” e simulado.

Obtendo as saídas desejadas no simulador, foi então aberto o WinPic, escolhido o respectivo microcontrolador, conectado o cabo do gravador com o PIC em uma base para proteger seus pinos de danos mecânicos, então foi apagado sua memória remanescente, verificado se realmente foi apagada e gravado o novo programa “.hex” no PIC.

Antes de integrar o decodificador, foi testado apenas o PIC recém gravado, conforme esquema da Figura 18, com chaves e led’s, após observar que o funcionamento ocorreu como desejado, foi acoplado o PIC ao circuito receptor, conforme Figura 19.

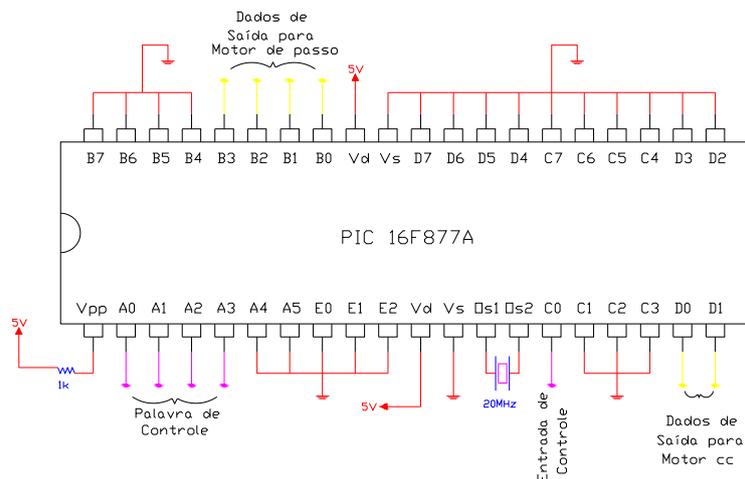


Figura 18 – Teste isolado do PIC

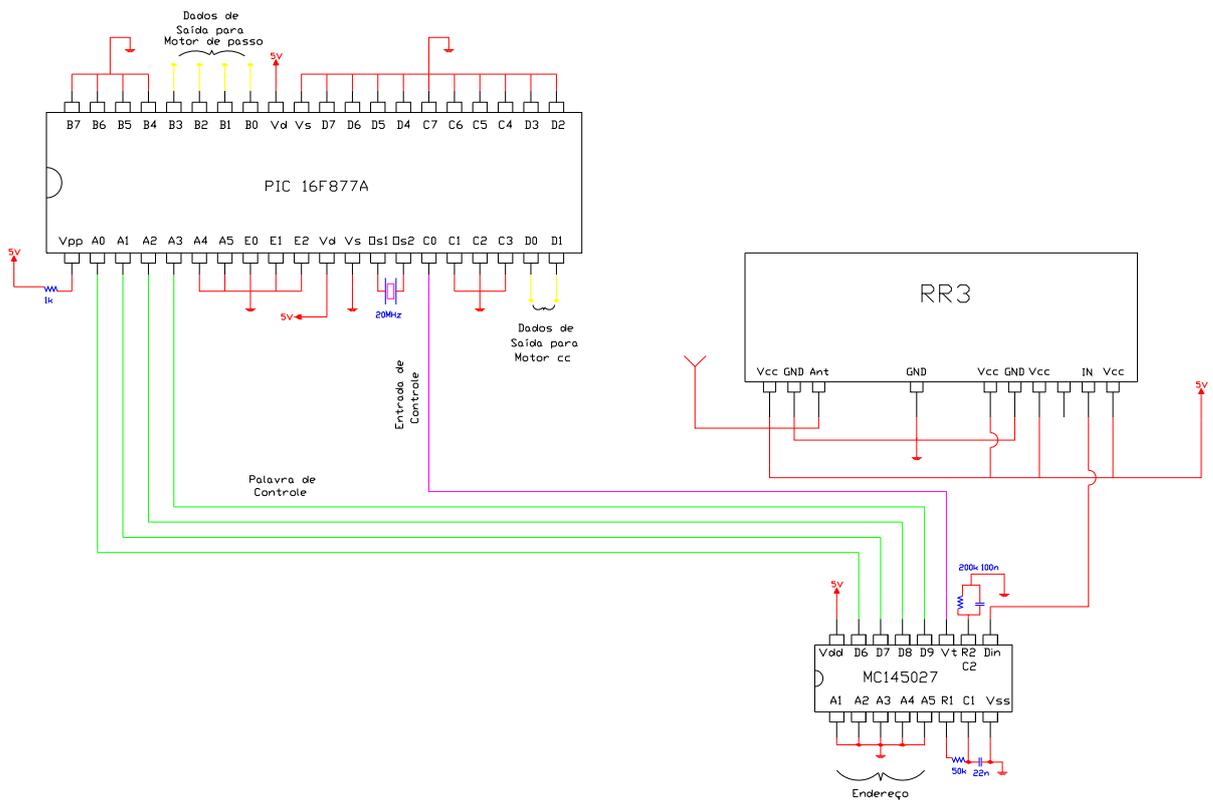


Figura 19 – Integração do PIC ao circuito receptor

Não tendo observado erro, foi adicionada a ponte H ao circuito da Figura 19, resultando no circuito da Figura 20. Observar a tabela da verdade da ponte H, Tabela 7.

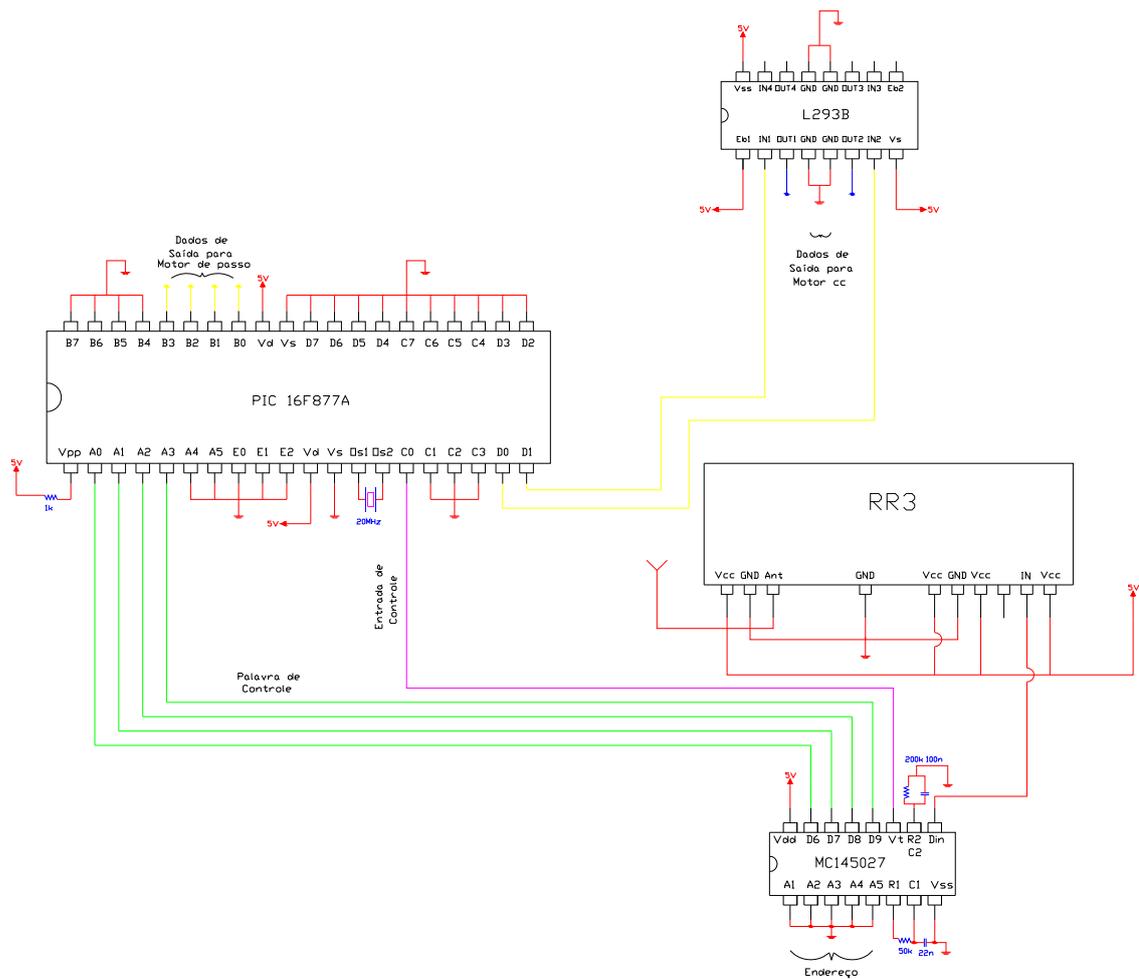


Figura 20 – Integração da ponte H ao circuito da Figura 13

Tabela 7 – Tabela da verdade para o circuito da ponte H

IN1	IN2	OUT1	OUT2
0	0	0	0
0	1	0	1
1	0	1	0
1	1	1	1

Os terminais do motor de corrente contínua foram ligados conforme Figura 12, ver Figura 21.

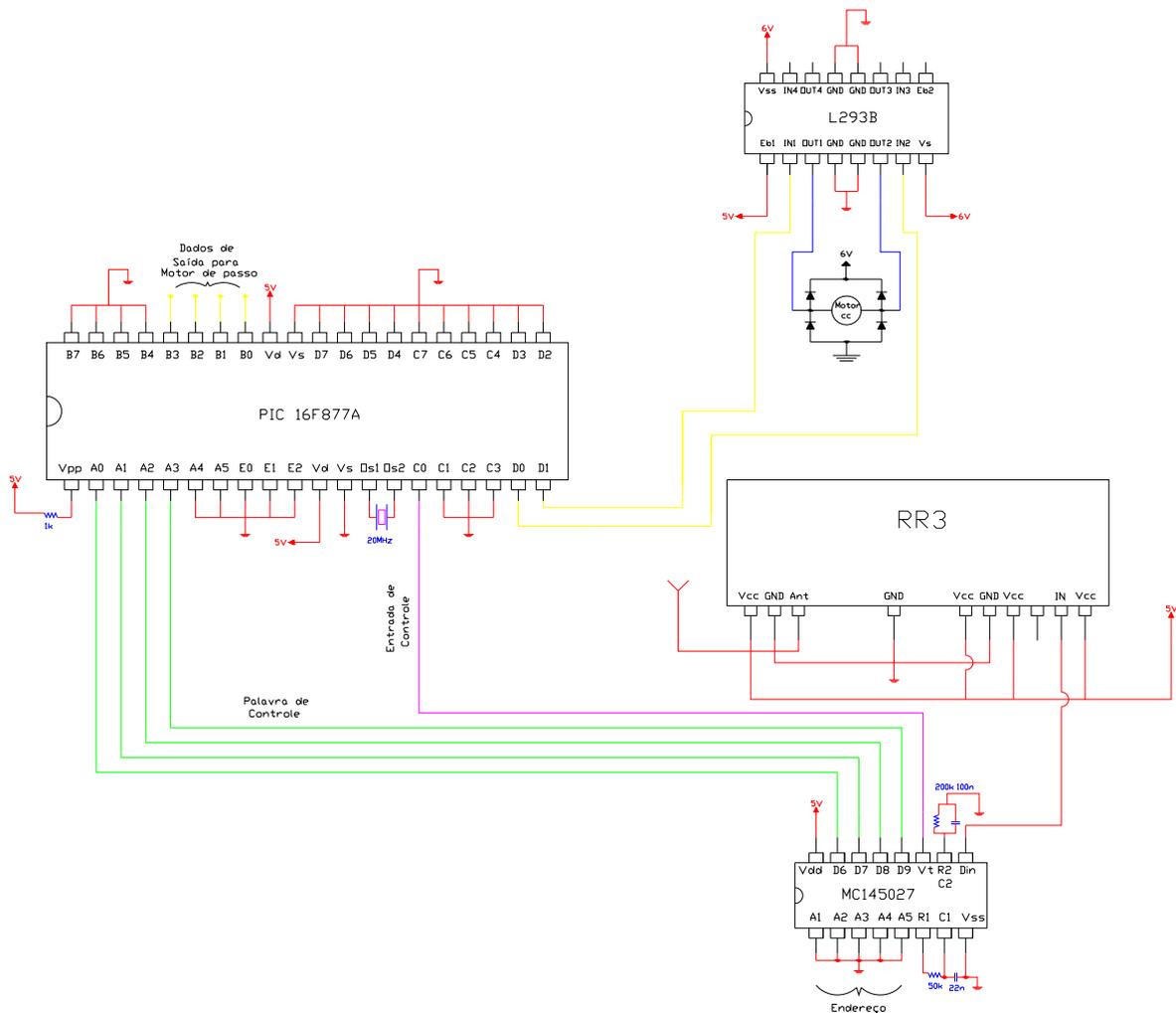


Figura 21 – Acoplamento do motor de corrente contínua

Como descrito no tópico 2.2.5.2, para o acionamento do motor de passo foram utilizados transistores TIP122 para amplificar o sinal do PIC, observar na adição de diodos nos terminais das bobinas para proteção do circuito contra a corrente induzida. Assim, o circuito final para o acionamento dos dois motores se encontra na Figura 22.

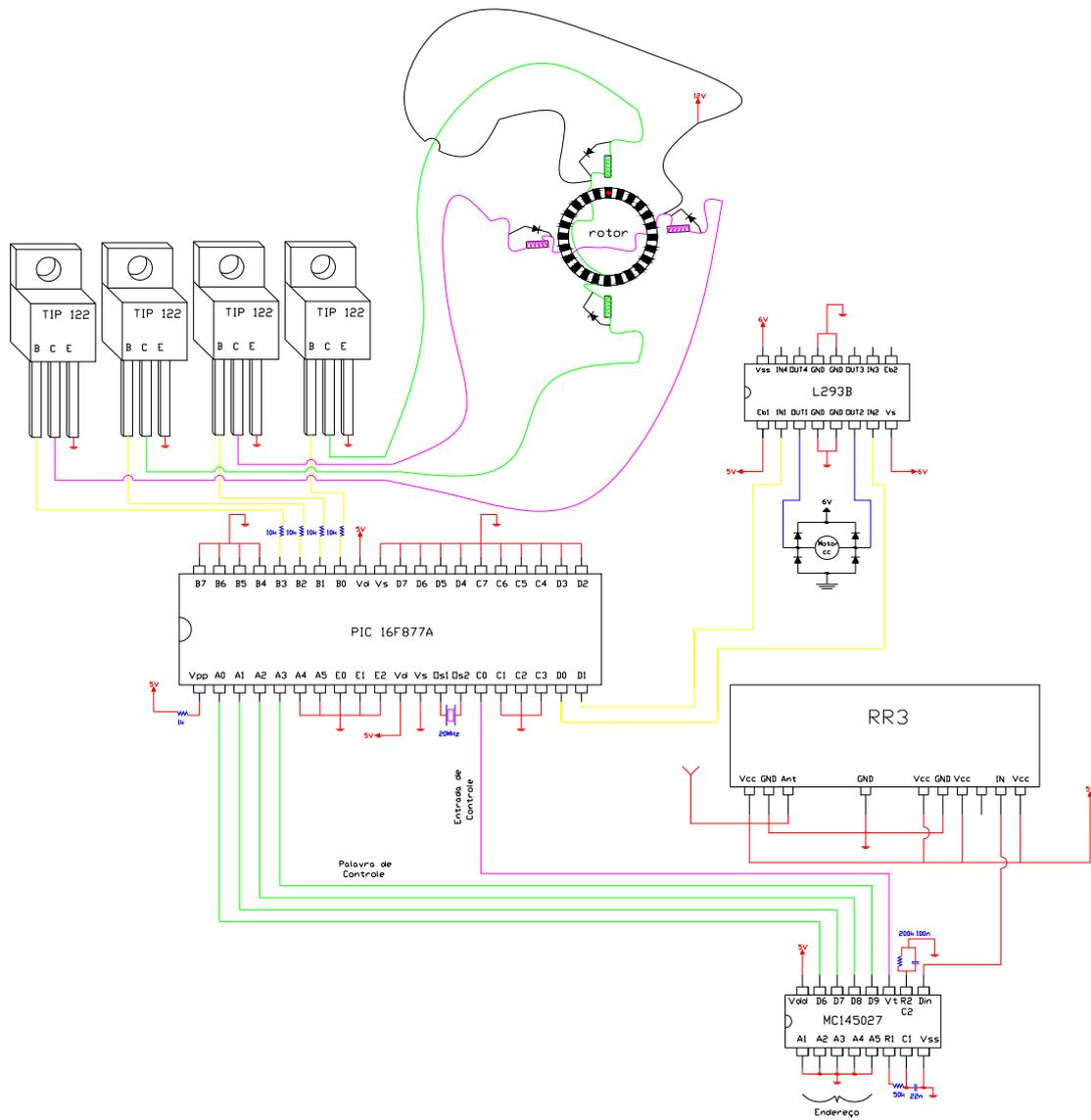


Figura 22 – Adição do motor de passo e seu circuito amplificador

No Anexo 2 há uma imagem do circuito funcionando em protoboard's.

Observar que as chaves mecânicas só serão acopladas ao circuito transmissor quando esse estiver na placa de circuito impresso.

2.4. Confeção das placas de circuito impresso

Foram desenhados os circuitos a serem impressos no AutoCAD, considerando as medidas tiradas com paquímetro dos circuitos e/ou bases a serem soldadas na placa. No AutoCAD foi possível desenhar todas as linhas, inclusive as que interceptavam outras, estando essas em uma camada diferente, como vemos na Figura 23.

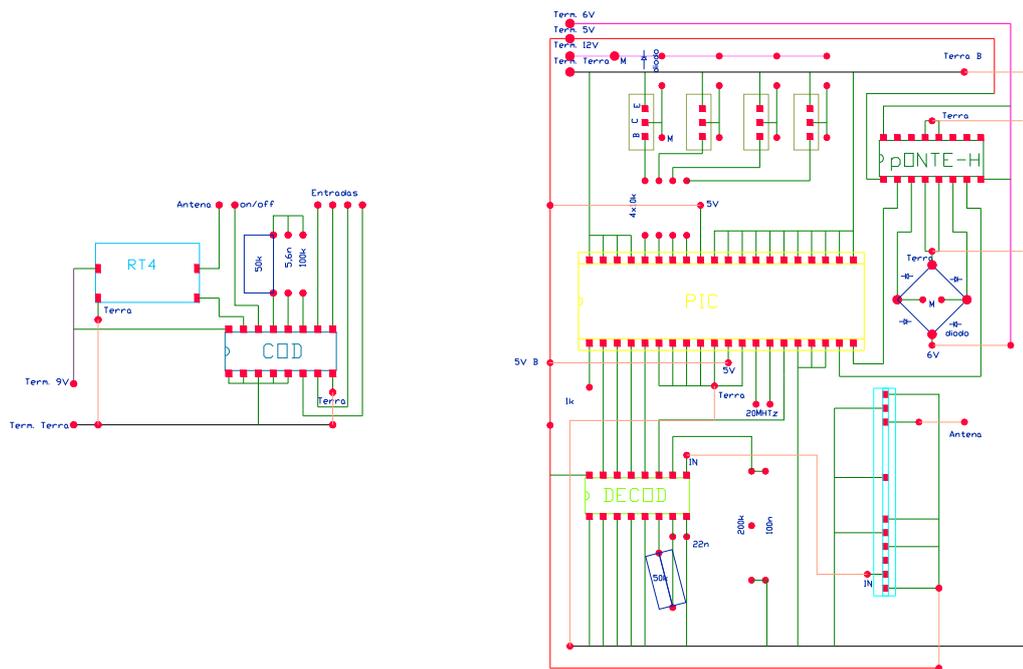


Figura 23 – Desenho completo do circuito

Como esse esquema será transferido para a placa, o mesmo ficará espelhado, o que facilitará na hora da soldagem. Visto que os circuitos e/ou bases ficarão acoplados no lado inferior ao que foi impresso o circuito.

Como há linhas que se interceptam, houve a necessidade de utilizar uma placa dupla face. Nas figuras a seguir estão os circuitos impressos das placas do transmissor e receptor. Observando que ao dobrar a respectiva folha na linha indicada, as linhas farão coincidir com o da Figura 23, a exceção dos circuitos.

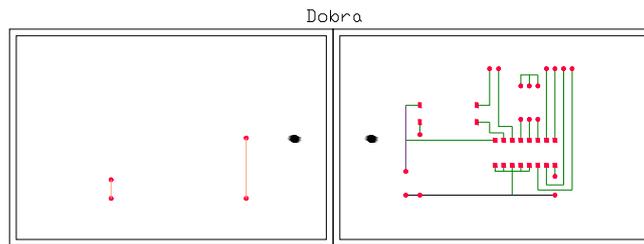


Figura 24 A – Placa dupla face do transmissor, lado inferior e superior, respectivamente

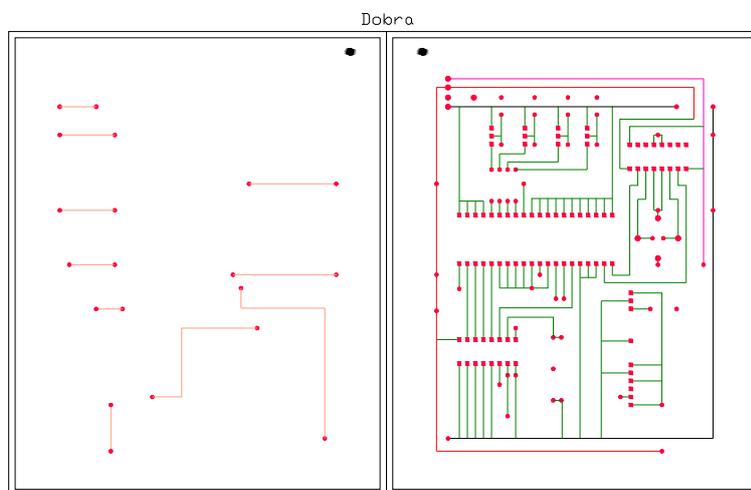


Figura 24 B – Placa dupla face do receptor, lado inferior e superior, respectivamente

A impressão dessas imagens deve ser realizada em impressoras a laser em papel fotográfico, esse deverá ser fixado à parte acobreada da placa, e as imagens transferidas para essa última, com um ferro de passar roupa. Para não forçar a remoção do papel, foram depositadas as placas em água quente com detergente por 30 minutos, fazendo com que o papel se descolasse sozinho, restando apenas as trilhas, em caso de falhas, as mesmas eram retocadas com lápis de retroprojetor. Em seguida, foram depositadas as placas com o desenho impresso em perclorato de ferro para corrosão do cobre da placa, sendo constantemente agitadas, visto que a reação depende da velocidade e da temperatura. Observar que ambas as faces deverão estar desenhadas nas faces antes da corrosão, para coincidir as imagens, facilita colocar um furo marcador, como indicados nas Figuras 24 A e 24 B. Imagens do passo a passo podem ser visto no Anexo 3.

Concluída a corrosão e retirada os desenhos das trilhas com thinner, com um perfurador apropriado, foram feito os furos para serem soldados os circuitos e/ou bases, finalizando toda a confecção. Ao final foi passado um verniz para evitar a oxidação das trilhas.

Os circuitos e motores foram acoplados às placas, de acordo com as caixas previamente confeccionadas. Observar que as chaves mecânicas foram acopladas a caixa de controle remoto, e seus respectivos fios soldados a placa do circuito transmissor.

2.5. Listagem dos materiais, dos componentes e dos softwares utilizados

Ao final do projeto foi feita uma lista de todos os materiais, componentes e softwares utilizados, como uma forma do cálculo do custo para viabilidade do projeto. Observar que a lista foi sendo acrescida conforme o andamento do projeto. Quanto aos softwares referentes à gravação e simulação do PIC e à confecção das placas impressas, todos foram obtidos gratuitamente.

Materiais e componentes	
1 unidade do MC145026 (codificador);	Alicates;
1 unidade do MC145027 (decodificador);	Fios de cobre (antenas);
1 par de transmissor receptor RT4 e RR3 de 315MHz;	Fios comuns (testes);
1 ponte H – L293B;	Percloroeto de ferro;
4 unidades de TIP122;	Solda;
1 unidade do PIC16F877;	Ferro de soldar;
Placa de gravação de PIC;	Ferro de passar roupa;
7 resistores de 100k Ω ;	Recipiente de vidro;
4 resistores de 10k Ω ;	Papel fotográfico;
1 resistor de 1 k Ω ;	Lápis de retroprojektor;
1 capacitor de 5,6nF;	Impressora a laser;
1 capacitor de 22nF;	Thinner;
1 capacitor de 100nF;	Verniz;
8 diodos 4007;	Perfurado de placa;
1 cristal de 20MHz;	1 motor de corrente contínua de 5V;
LED's para testes;	1 motor de passo de 12V e de 7,5° de passo;
5 chaves de 2 posições com 2 entradas e 1 saída;	Hélices de um cooler de computador;
1 bateria de 9V;	1 anel de placa de cobre de raios 12 e 15cm (in/out);
1 fonte de computador (220–5 / 220–6 / 220–12V);	1 anel de placa de cobre de raios 5 e 8cm (in/out);
2 protoboard;	1 folha de PVC pequena;
2 placas para circuito impresso dupla face;	Parafusos, porcas;
1 base para 40 pinos;	Cantoneiras de alumínio;
1 base para 30 pinos (cortada ao meio para o RR3);	2 palhetas de placa de cobre 3×6cm;
4 bases para 16 pinos (1 será cortada para o RT4);	Placas de acrílico;
Multímetro;	1 caixa plástica.
Softwares	
PIC C Compiler;	WinPic;
Proteus;	AutoCad (versão de estudante).

3. Conclusões e considerações finais

O par transmissor e receptor RT4 e RR3 é de fácil aplicação, possibilitando a utilização de resistências e capacitores reais, os quais possuem um erro em seu valor teórico em torno de $\pm 5\%$. Além disso, a distância de alcance é de até 100 metros, na aplicação desse projeto esse alcance é suficiente, variando com a tensão de alimentação do transmissor, forma da antena, condições do ambiente e interferências locais.

Como nesse trabalho o transmissor foi alimentado com uma tensão contínua de 9V e tinha uma antena monopolo de 26 AWG, temos, nessas condições, para ambientes fechados, um alcance em torno de 3 metros, baseado no trabalho de conclusão de curso do aluno Átila Bonifácio Pontes da mesma universidade, que concluiu que o alcance está diretamente ligado a potência da fonte do transmissor. Assim, para um alcance maior é necessária uma tensão maior que 9V no transmissor, observando que a tensão limite é de 14V.

Porém, não se conhecendo o local de testes do trabalho mencionado no parágrafo acima, foram realizados testes de alcance em um apartamento. O alcance chegou a ser maior que 30 metros, com barreiras como paredes, campos magnéticos de antenas de televisão, internet. Assim o par transmissor RT4 e receptor RR3 foi de alcance satisfatório, podendo ainda ter sido aumentado com o aumento da potência de transmissão.

Outro ponto questionado no decorrer do trabalho foi à retirada da quinta chave designada a TE. O dado de controle TE não deve ficar sempre ativo, deve ser ativado quando for feita uma mudança da função do ventilador / exaustor, a fim de evitar dados de transição na entrada do receptor, em que dados de transição remetem ao estado de transição de uma chave no momento de seu acionamento ou desacionamento, sendo concluído a impossibilidade dessa quinta chave.

Foi observado ao estudar o codificador e decodificador que eles se comportam como telefone, onde o codificador “disca” o número do decodificador com o qual deseja passar informação. Esse número “discado” remete ao endereço de dados, assim poderiam ter sido acoplados ao circuito receptor outros equipamentos a serem controlados, anexando apenas outro decodificador com outro endereço de dados e chaves no endereço de dados do transmissor, Figura 22. Assim, um mesmo controle remoto poderia ligar, além do ventilador / exaustor, luzes, portas, por exemplo.

Observar também que, como restaram 22 portas inativas no PIC, o mesmo poderia ser utilizado para esse acionamento, adicionando apenas linhas de códigos referentes.

Seguindo o mesmo raciocínio do projeto, poderiam ter sido controlados qualquer sistema que envolva dois motores idênticos ou não, como um carrinho a controle remoto (2 motores de corrente contínua), um ploter (2 motores de passo), uma mesa xy (2 motores de passo), um braço mecânico (2 motores de passo), com pequenas adaptações no projeto e no código. Além disso projetos que envolvam qualquer quantidade de motores, como um portão de garagem, mesa xyz, elevadores poderiam ser implementadas baseado nesse projeto.

Com pequenas variações nas linhas de código, é possível aumentar a precisão do circuito, com um motor de passo com um menor passo ou se utilizando do meio passo, ou mesmo determinando o tempo de acionamento das hélices.

Assim a extensão desse projeto a inúmeras áreas e aplicações é limitada apenas pela criatividade do usuário.

4. Anexo

4.1. Anexo 1 – código em C

```
//Universidade Federal de Campina Grande
//Curso: Engenharia Elétrica
//Aluna: Valentina Alessandra Carvalho do Vale

//CÓDIGO EM C PARA PIC – Controle de um motor de corrente contínua e um motor de passo

//incluir o pic a ser utilizado
//relógio será definido pelo oscilador externo de 20MHz
//não escrever definitivamente no pic
#include <16F877A.h>
#use delay(clock=20000000)
#fuses NOWDT,HS, PUT, NOPROTECT, NOBROWNOUT, NOLVP, NOCPD, NOWRT

//definindo dados para motor de passo
int w=0;
int novo;
int rodar=1;

//definindo dados para motor de corrente contínua
int rf;
int ventilador=0,exaustor=0;

//definindo função que gira motor de passo sentido anti-horário
void epasso(){
    for(novo=0;novo<2;novo++){ //cada bobina será alimentada 3 vezes
        rodar=1;
        for(w=0;w<4;w++){
            output_b(rodar); //colocar na saída b o valor de rodar (1, 2, 4, 0)
            delay_ms(100); //atraso de 0,1 segundos
            rodar=rodar<<1;
        }
    }
}

//definindo função que gira motor de passo sentido horário
void dpasso(){
    for(novo=0;novo<2;novo++){ //cada bobina será alimentada 3 vezes
        rodar=8;
        for(w=0;w<4;w++){
            output_b(rodar); //colocar na saída b o valor de rodar (0, 4, 2, 1)
            delay_ms(100); //atraso de 0,1 segundos
            rodar=rodar>>1;
        }
    }
}

//definindo função que controla motor de corrente contínua (ponte H)
int ponteh(int lado){ //recebe um inteiro “lado” e retorna um inteiro
    if(lado==1)
        output_d(1); //colocar na saída d o valor entre parêntesis (1, 2 ou 0)
    if(lado==2)
        output_d(2);
    if(lado==3)
        output_d(0);
}
}
```

//definindo função principal

```
void main()
{
    setup_adc_ports(NO_ANALOGS);           //nenhuma porta analógica
    setup_adc(ADC_OFF);                   //sem conversor analógico digital
    setup_psp(PSP_DISABLED);
    setup_spi(FALSE);
    setup_timer_0(RTCC_INTERNAL|RTCC_DIV_1);
    setup_timer_1(T1_DISABLED);
    setup_timer_2(T2_DIV_BY_1,255,1);
    setup_comparator(NC_NC_NC_NC);
    setup_vref(FALSE);

    while(true){                          //enquanto não ocorrer erros

        output_b(0);                       //saída referente ao motor de passo nula

        if(input(PIN_C0) ){                //caso dado de controle no pino c0 estiver verdadeiro(=1)
            rf=input_a();                  //palavra de controle no pino A
            switch(rf){                    //analizando as palavras de controles
                case 1:{                  //VENTILADOR
                    ventilador=1;         //definir ventilador como ligado
                    if(exaustor==1){     //se exaustor estiver ligado
                        ponteh(3);       //desligar exaustor
                        delay_ms(500);   //atraso de 0,5 segundos (devido a inércia)
                    }
                    ponteh(1);           //ligar ventilador
                    exaustor=0;         //definir exaustor como desligado
                }
                break;
                case 2:{                 //EXAUSTOR
                    exaustor=1;         //definir exaustor como ligado
                    if(ventilador==1){  //se ventilador estiver ligado
                        ponteh(3);       //desligar ventilador
                        delay_ms(500);   //atraso de 0,5 segundos (devido a inércia)
                    }
                    ponteh(2);          //ligar exaustor
                    ventilador=0;       //definir ventilador como desligado
                }
                break;
                case 4:{                 //MOTOR DE PASSO sentido anti-horário
                    ponteh(3);          //desliga ventilador ou exaustor
                    epasso();           //liga motor de passo
                }
                break;
                case 5:{                 //VENTILADOR e MOTOR DE PASSO sentido anti-horário
                    ventilador=1;       //definir ventilador como ligado
                    if(exaustor==1){   //se exaustor estiver ligado
                        ponteh(3);       //desligar exaustor
                        delay_ms(500);   //atraso de 0,5 segundos (devido a inércia)
                    }
                    ponteh(1);          //ligar ventilador
                    exaustor=0;         //definir exaustor como desligado
                    epasso();           //liga motor de passo
                }
                break;
            }
        }
    }
}
```

```

case 6: { //EXAUSTOR e MOTOR DE PASSO sentido anti-horário
    exaustor=1; //definir exaustor como ligado
    if(ventilador==1){ //se ventilador estiver ligado
        ponteh(3); //desligar ventilador
        delay_ms(500); //atraso de 0,5 segundos (devido a inércia)
    }
    ponteh(2); //ligar exaustor
    ventilador=0; //definir ventilador como desligado
    epasso(); //liga motor de passo
}
break;
case 7: { //MOTOR DE PASSO sentido anti-horário
    ponteh(3); //desliga ventilador ou exaustor
    epasso(); //liga motor de passo
}
break;
case 8: { //MOTOR DE PASSO sentido horário
    ponteh(3); //desliga ventilador ou exaustor
    dpasso(); //liga motor de passo
}
break;
case 9: { //VENTILADOR e MOTOR DE PASSO sentido horário
    ventilador=1; //definir ventilador como ligado
    if(exaustor==1){ //se exaustor estiver ligado
        ponteh(3); //desligar exaustor
        delay_ms(500); //atraso de 0,5 segundos (devido a inércia)
    }
    ponteh(1); //ligar ventilador
    exaustor=0; //definir exaustor como desligado
    dpasso(); //liga motor de passo
}
break;
case 10: { //EXAUSTOR e MOTOR DE PASSO sentido horário
    exaustor=1; //definir exaustor como ligado
    if(ventilador==1){ //se ventilador estiver ligado
        ponteh(3); //desligar ventilador
        delay_ms(500); //atraso de 0,5 segundos (devido a inércia)
    }
    ponteh(2); //ligar exaustor
    ventilador=0; //definir ventilador como desligado
    dpasso(); //liga motor de passo
}
break;
case 11: { //MOTOR DE PASSO sentido horário
    ponteh(3); //desliga ventilador ou exaustor
    dpasso(); //liga motor de passo
}
break;
case 13: { //VENTILADOR
    ventilador=1; //definir ventilador como ligado
    if(exaustor==1){ //se exaustor estiver ligado
        ponteh(3); //desligar exaustor
        delay_ms(500); //atraso de 0,5 segundos (devido a inércia)
    }
    ponteh(1); //ligar ventilador
    exaustor=0; //definir exaustor como desligado
}
break;

```

```

case 14:{
    exaustor=1;
    if(ventilador==1){
        ponteh(3);
        delay_ms(500);
    }
    ponteh(2);
    ventilador=0;
}
break;
default:{
    ponteh(3);
}
break;
}
}
}
}
}

```

//EXAUSTOR
//definir exaustor como ligado
//se ventilador estiver ligado
//desligar ventilador
//atraso de 0,5 segundos (devido a inércia)
//ligar exaustor
//definir ventilador como desligado
//qualquer outra entrada (0, 3, 12, 15)
//desliga ventilador e exaustor
//fim do switch
//fim do IF(pin_c0)
//fim do while
//fim do main

4.2. Anexo 2 – imagem do circuito funcionando em protoboard's



4.3. Anexo 3 – imagens da confecção das placas de circuito impresso

Passo 1: transferir o desenho das trilhas impresso em papel fotográfico para a placa



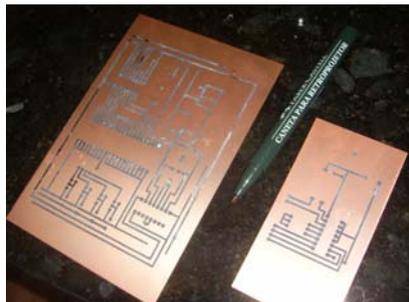
Passo 2: deixar de molho em água com detergente por 30 minutos para facilitar a remoção do papel



Passo 3: retirar o papel sem forçar, quando preciso, molhar mais



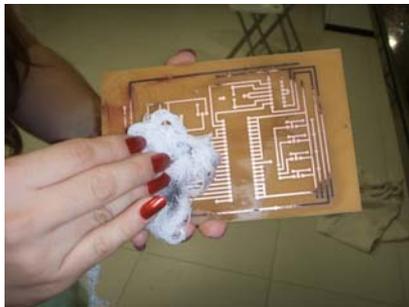
Passo 4: fazer as correções necessárias nas trilhas



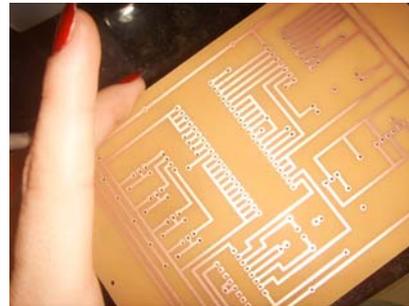
Passo 5: depositar placas com todas as trilhas impressas em ambas as faces no perclorato de ferro, para acelerar o processo agitar constantemente a placa na solução com o auxílio de um arame de alumínio



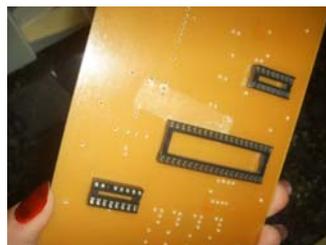
Passo 6: retirar com thinner os desenhos das trilhas



Passo 7: furar com perfurador locais onde serão soldados



Passo 8: soldar circuitos e/ou bases, facilita colocar peças no lado inferior, finalizar com o verniz, protegendo de corrosão



5. Bibliografia

5.1. Livros consultados:

Sedra, Adel S. / Smith, Kenneth C. – Microeletrônica – 4ª Edição – Makron Books

5.2. Trabalhos consultados:

Átila Bonifácio Pontes – Trabalho de Conclusão de Curso – Campina Grande: UFCG, setembro, 2007

Helenice Rego dos Santos Cunha – Padrão PUC Minas de normalização: normas da ABNT para apresentação de trabalhos científicos, teses, dissertações e monografias – Belo Horizonte: PUC Minas, fevereiro, 2007

5.3. Sites consultados*:

<http://eduvisilva.com.sapo.pt/melectricos.htm>

http://wapedia.mobi/pt/Motor_de_passo

<http://www.areaseg.com/awg.html>

<http://www.dei.uminho.pt/pessoas/lgoncalves/PCI-Page/PCI.html>

<http://www.egeneral.com.br/TabelaAWG.htm>

<http://www.eletronica.org/modules.php?name=News&file=article&sid=15>

<http://www.electronica-pt.com/index.php/content/view/139/37/>

<http://www.geocities.com/CollegePark/Dorm/8863/motordepasso.htm>

<http://www.mrshp.hpg.ig.com.br/rob/passotipo.htm>

<http://www.rogercom.com/pparalela/LptWireless.htm>

<http://www.scribd.com/doc/6583448/Motor-de-Passo>

<http://www.telecontrolli.com/eng/default.html>

<http://www.vabsco.com/bardhp/proj/para/main.html>

<http://www2.eletronica.org/projetos/motor-de-passo-controlado-pelo-computador/>

* Obs.: sites consultados no período dos meses de janeiro a julho de 2009