

ROBÔ MANIPULADOR ROTATÓRIO COM TRÊS GRAUS DE LIBERDADE CONTROLADO POR COMPUTADOR[‡]

Fernando MARTINS; Ginalber SERRA; Cássio CARVALHO; Laize LEMOS

Laboratório de Inteligência Computacional e Controle - LabICC
CEFET/MA-DEE, Av. Getúlio Vargas, 04, 65025-001, São Luís-MA,

ginalber@cefet-ma.br; jc_fm21@hotmail.com; kssio01@hotmail.com; l_florsinha_2@hotmail.com

RESUMO

Neste trabalho é proposto o controle por computador de um manipulador robótico rotatório com três graus de liberdade. Um ambiente computacional, baseado na linguagem de programação C++, foi desenvolvido para interfacear o computador com o manipulador robótico, de maneira que seja viável o controle do mesmo. A movimentação do protótipo manipulador robótico com três graus de liberdade baseou-se, essencialmente, em três motores de passo e um servomotor DC fixados em sua estrutura, possibilitando assim uma movimentação precisa do mesmo. O acionamento dos motores de passo realizou-se de maneira lógica (digital) sequencial, de forma que pudéssemos obter o movimento desejado pré-estabelecido pelo ambiente computacional desenvolvido. As informações para o manipulador foram fornecidas a partir de uma lógica binária proveniente da porta paralela existente no computador. Resultados experimentais, no que se refere ao acionamento e controle do manipulador robótico proposto, evidenciam a eficiência da metodologia estabelecida.

Palavras-chave: controle digital, manipulador robótico, linguagem de programação C++.

1. INTRODUÇÃO

A necessidade de projetistas e engenheiros lidarem com problemas cada vez mais complexos, tem viabilizado o controle de plantas difíceis de serem trabalhadas matematicamente pela utilização de computadores que, combinada às técnicas de controle, possibilita o tratamento de restrições e a satisfação de requisitos de robustez e estabilidade [7]. As metodologias de controle podem empregar técnicas motivadas por sistemas biológicos, inteligência humana, e têm sido introduzidas explorando esquemas de representações alternativas usando linguagem natural, regras, redes semânticas ou modelos qualitativos. O controle de sistemas físicos com computadores digitais estão se tornando cada vez mais comuns. Pilotos automáticos de aeronaves, trânsito em massa de veículos, refinarias de óleo, máquinas de fazer papel, e incontáveis servomecanismos eletromecânicos são alguns dos muitos exemplos existentes [1][2][3][7]. Além disso, muitas estratégias de controle com aplicações digitais estão sendo desenvolvidas em virtude do avanço na tecnologia de microprocessadores incluindo controle de vários aspectos de automóveis e aparelhos domésticos. Entre as vantagens da lógica digital para controle podem-se considerar as seguintes: a intensa flexibilidade na implementação das leis de controle, a formulação de decisões aliada à capacidade lógica dos sistemas digitais que, combinada com a função dinâmica de controle, serve para atender eficientemente os critérios de projeto pré-estabelecidos. O gerenciamento e o controle da operação dos processos industriais têm sido facilitados graças à disponibilidade e o alto desempenho dos microcomputadores [1][4][5]. Disponíveis em diversas configurações, os computadores industriais são encontrados embarcados em dispositivos ou trabalhando de forma autônoma, desempenhando funções de controle e monitoração de sistemas. O monitoramento de processos por computador é uma das maneiras com as quais um computador pode se interfacear com o processo. Este monitoramento envolve o uso do computador para observar o processo e o equipamento associado a ele, coletando e registrando dados da operação [3][5][7].

[‡] Projeto de pesquisa com apoio financeiro PIBIC-Júnior da Fundação de Amparo a Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão – FAPEMA.

Na sociedade atual, há uma crescente necessidade de se realizar tarefas com eficiência e precisão. Existem também tarefas a serem realizadas em lugares onde a presença humana se torna difícil, arriscada e até mesmo impossível. Para realizar essas tarefas, se faz cada vez mais necessária a presença de dispositivos mecânicos versáteis equipados com sensores e atuadores, sob o controle de um sistema computacional. Dentro deste vasto campo de sistemas robóticos, podem-se destacar os dispositivos que são chamados de manipuladores robóticos, que são robôs de base fixa utilizados para mover objetos ao seu redor. Os manipuladores robóticos encontram aplicações em diferentes campos desde a área industrial, onde desempenham as mais variadas funções como manipulações de materiais, soldagem, pintura a *spray*, até a área médica, onde podem ser utilizados em processos de telecirurgia [6][7]. A forma mais usual de controle dos manipuladores robóticos é através do computador, de forma que haja uma comunicação computador-manipulador através da porta paralela presente no mesmo, onde o interfaceamento entre o homem e o manipulador é realizado por intermédio de um ambiente computacional desenvolvido em uma linguagem de programação pré-determinada pelo projetista, estabelecendo assim a movimentação desejada para o manipulador, de modo que o mesmo possa realizar determinadas funções, tais como a movimentação de objetos, a realização de tarefas industriais, etc. Manipuladores robóticos são necessários em diversas áreas para executar tarefas de alta precisão com grande eficiência. Alguns exemplos são manipuladores para linhas de montagem, intervenções submarinas, manutenção de usinas nucleares, ou tratamentos médicos. Nessas aplicações, um grande sistema robótico pode requerer uma precisão absoluta que seja uma pequena fração de seu tamanho. Neste trabalho é proposto o controle por computador de um manipulador robótico rotatório com três graus de liberdade. Um ambiente computacional, baseado na linguagem de programação C++, foi desenvolvido para interfacear o computador com o manipulador robótico, de maneira que seja viável o controle do mesmo. A movimentação do protótipo manipulador robótico com três graus de liberdade baseou-se, essencialmente, em três motores de passo e um servomotor DC fixados em sua estrutura, possibilitando assim uma movimentação precisa do mesmo. O acionamento dos motores de passo realizou-se de maneira lógica (digital) sequencial, de forma que pudéssemos obter o movimento desejado pré-estabelecido pelo ambiente computacional desenvolvido. As informações para o manipulador foram fornecidas a partir de uma lógica binária proveniente da porta paralela existente no computador. Resultados experimentais, no que se refere ao acionamento e controle do manipulador robótico proposto, evidenciam a eficiência da metodologia estabelecida.

2. ROBÔ MANIPULADOR: FUNDAMENTAÇÃO E PROPOSTA

Neste trabalho é proposta o controle de um Robô Manipulador Rotatório com Três Graus de Liberdade por computador, explorando a porta paralela do mesmo, baseando-se em um software de controle previamente desenvolvido em linguagem de programação C++. Nesta seção são apresentadas as principais características da estrutura do robô manipulador bem como a proposta de funcionamento do mesmo.

2.1. Caracterização do Robô Manipulador

O Robô Manipulador Rotatório com Três Graus de Liberdade Controlado por Computador baseia-se em uma estrutura física composta por um conjunto de atuadores acoplados ao mesmo, e acionados por uma lógica de controle pré-estabelecida aplicada em um ambiente computacional, com o objetivo de obter uma comunicação digital e sequencial através da porta paralela existente no computador. No braço robótico utilizam-se três juntas do tipo rotacional, que giram em torno de uma linha imaginária estacionária chamada de eixo de rotação, no qual contribuem para a efetuação de movimentos mais precisos e na implementação dos motores em suas devidas posições. A configuração física do robô está relacionada com o tipo de junta que o mesmo possui. Adotou-se uma nomenclatura para o braço robótico baseado nos tipos de juntas utilizadas na cadeia de elos, que parte da base em direção ao órgão terminal. Optou-se então pela configuração TRR, onde a junta da base caracteriza-se por torcional (T), e as duas seguintes por rotacionais (R), fazendo assim, com que o braço robótico seja articulado, ou revoluto. O acionamento do Robô Manipulador Rotatório está baseado em uma adaptação direta de três motores de passo (motor 1-3) e um servomotor DC (motor 4) em seus devidos eixos de rotação, como mostra a **Figura 1**.

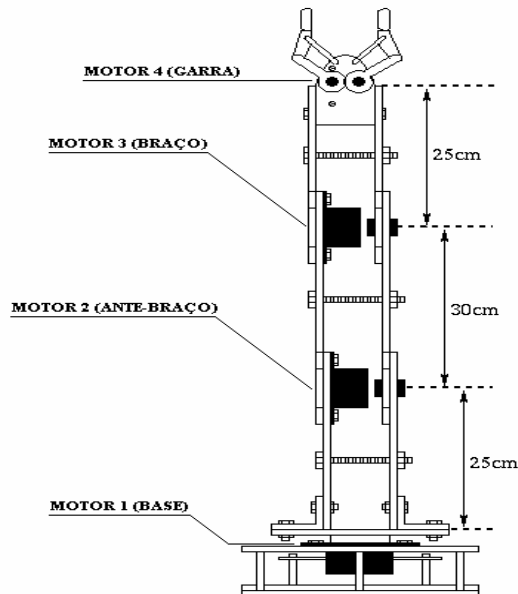


Figura 1 – Vista Frontal do Robô Manipulador Rotatório

O Robô Manipulador também se organiza da seguinte forma: 1) *sistema de alimentação*, constituído por uma fonte de tensão responsável pelo fornecimento de energia necessária para o funcionamento do robô manipulador; 2) *sistema de lógica e controle*, constituído por meio de um sistema de “hardware” e “software”, que processa os sinais de entrada e converte estes sinais em uma ação ao qual foi programado. Essa programação foi desenvolvida em linguagem C++ com o objetivo de mandar os sinais de bits para o circuito de potência, controlando os motores e suas devidas posições; 3) *sistema de potência*, que consiste em um circuito de chaveamento para o posicionamento dos quatro motores, executando, então, os movimentos comandados pelo sistema de lógica e controle. O controle do robô baseia-se em um sistema em malha aberta, indo do controlador para o atuador e deste para o manipulador. Portanto, os sinais de comando são diretamente enviados para os motores, os quais geram o movimento pré-determinado para o robô, como mostrado na **Figura 2**.

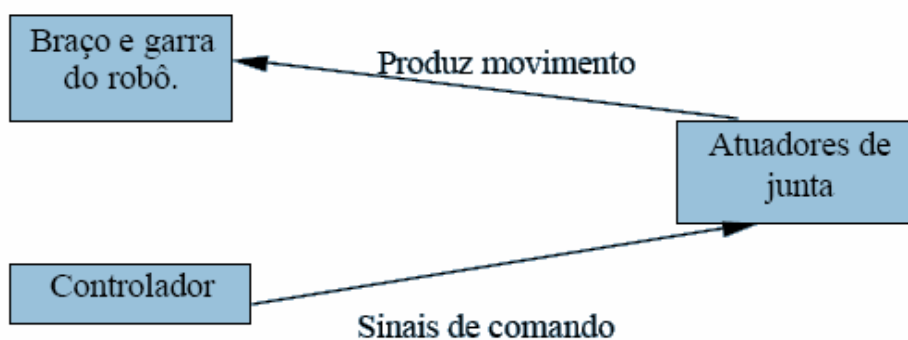


Figura 2 – Diagrama de blocos do Robô Manipulador Rotatório

O Robô Manipulador Rotatório tem como uma de suas principais características a posição inicial, como mostra a **Figura 3**, a qual foi pré-estabelecida por motivos técnicos de movimentação e maior alcance, pois esta posição proporciona ao robô distâncias mais elevadas em relação à base do mesmo.

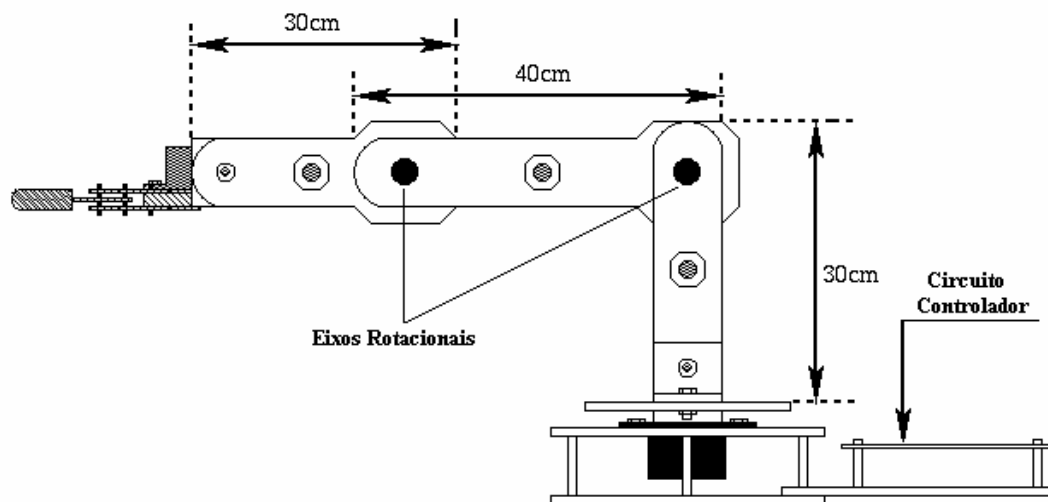


Figura 3 – Posição inicial do Robô Manipulador Rotatório

Logo após o Robô Manipulador efetuar o movimento pré-estabelecido pelo usuário através do software de controle construído em linguagem C++, o mesmo adquire uma das posições mostradas nas **Figuras 4 e 5**, as quais dependem da sequência que será escolhida pelo usuário para a execução e movimentação do Robô Manipulador. Sequências essas que serão explicadas de forma mais objetiva na seção **3.2.**, onde será mostrada toda a execução do software de controle.

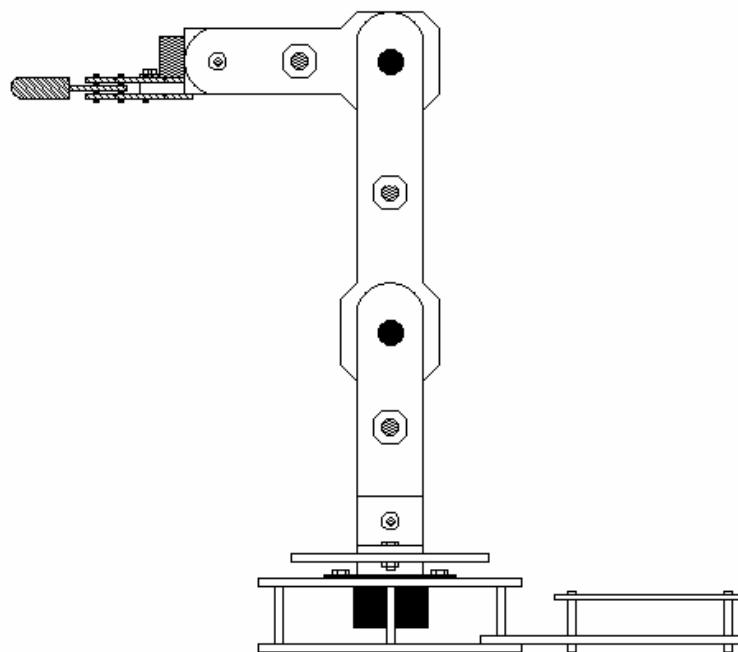


Figura 4 – Posição Final 1

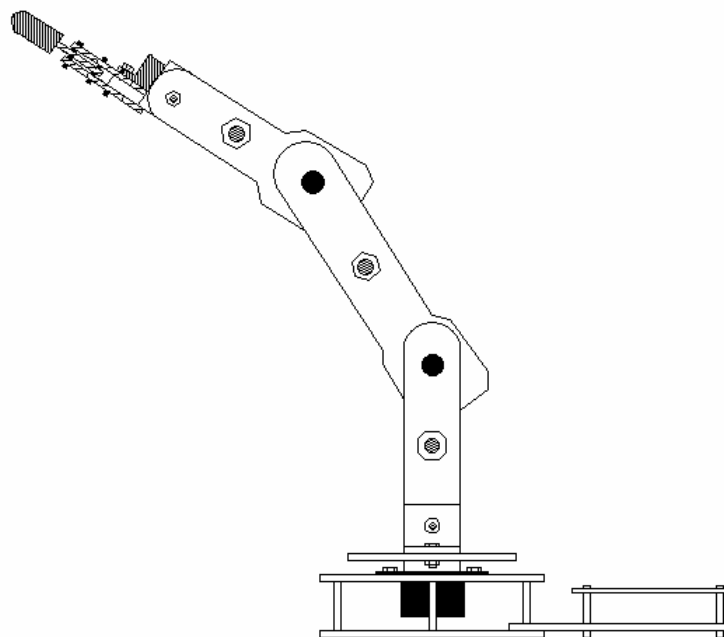


Figura 5 – Posição Final 2

3. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

3.1. Circuito do Robô Manipulador e princípio de funcionamento

O Robô Manipulador Rotatório com Três Graus de Liberdade possui um sistema de potência baseado nos seguintes componentes: três motores de passo de +12 Vcc, um servomotor de +5 Vcc, um cabo paralelo, quatro circuitos *demultiplexadores* 74LS139N, três diodos Zener de 0,5W cada, e três circuitos integrados ULN2003A. Os motores comuns (por exemplo, de corrente contínua, de corrente alternada, de indução) possuem apenas dois estados de operação: parado ou em rotação. Quando os motores estão em rotação, o giro é feito com velocidade constante. Entretanto, os motores de passo têm três estados de operação: parado, ativado com travamento do rotor (bobinas energizadas) ou giro em etapas. O movimento dos motores pode ser brusco ou suave, dependendo da frequência e da amplitude dos passos em relação ao estado inercial. Baseando-se nisso, os motores de passo recebem uma classificação especial em relação aos comuns, sendo adequados àquelas situações em que se necessita ter o controle preciso do movimento. Os sinais enviados ao motor pela porta paralela devem obedecer a uma ordem específica de pulsos e estarem perfeitamente sincronizados. Como os motores de passo trabalham com +12 Vcc e a porta paralela gera pulsos de +5 Vcc, é necessário o uso de drivers de corrente (ULN2003A), que são responsáveis por sincronizarem os bits oriundos da porta com o acionamento das bobinas dos motores de passo. Este driver de corrente permite o chaveamento, com os pulsos de +5 Vcc provenientes da porta paralela, da fonte de alimentação +12Vcc, possibilitando o funcionamento síncrono dos motores de passo. O acionamento desses motores foi feito de maneira lógica (digital) sequencial, de forma a obter o movimento desejado pré-estabelecido pelo ambiente computacional desenvolvido. Devido à utilização de três motores de passo e um servo-motor, viu-se necessário a aplicação de circuitos *demultiplexadores* 74LS139N, que é um circuito combinacional dedicado, com a finalidade de selecionar, através das variáveis de seleção (1A – 1B e 2A – 2B), qual de suas saídas (1Y0 – 1Y3 e 2Y0 – 2Y3) deve receber a informação presente em sua única entrada (~1G ou ~2G), como mostra a **Figura 6**. Sendo assim, este funciona como um circuito de chaveamento, com a finalidade de selecionar um motor por vez, dependendo do valor binário colocado em suas saídas. Essa seleção vai depender dos níveis lógicos enviados pelo programa através da PORTA PARALELA (LPT1) até as entradas dos circuitos *demultiplexadores* 74LS139N.

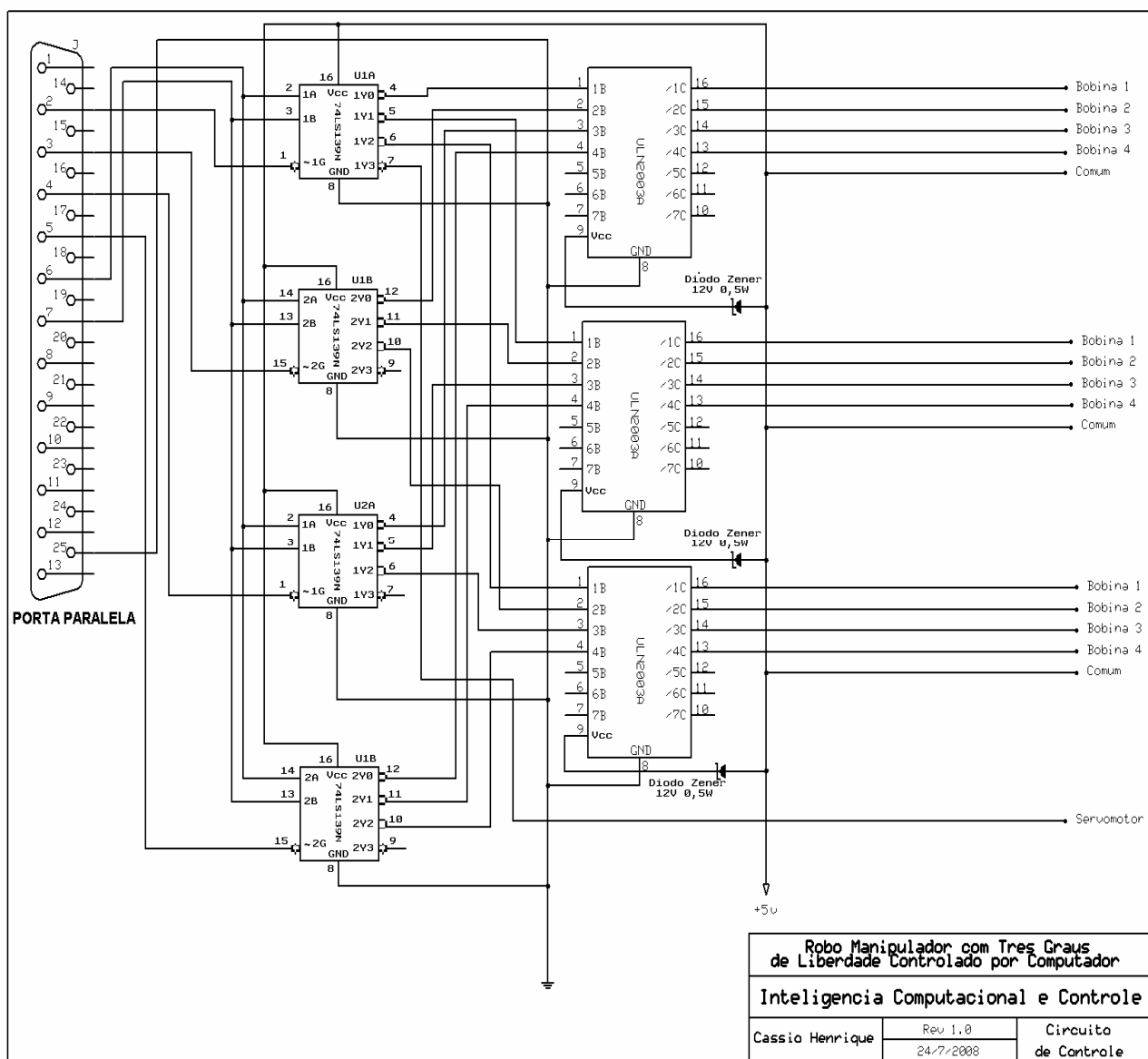


Figura 6 – Circuito de Controle do Manipulador Robótico Rotatório

Na **Figura 7**, é mostrado o circuito de simulação do Robô Manipulador Rotatório, implementado no ambiente computacional MULTISIM, na condição de travamento do manipulador. Utilizou-se na simulação um circuito que é responsável pela sincronização dos bits enviados aos quatro motores utilizados para a movimentação do Robô Manipulador, o qual vem a substituir, para efeito de simulação, a porta paralela do computador, exercendo a função de habilitar as entradas ($\sim 1G$ ou $\sim 2G$) dos quatro circuitos demultiplexadores 74LS139N. Após a habilitação das estradas dos circuitos de chaveamento 74LS139N, ocorre a seleção de suas saídas (1Y0 – 1Y3 e 2Y0 – 2Y3) através das variáveis (1A – 1B e 2A – 2B) que irão determiná-las. Criou-se então, um sistema de chaveamento (Key=A e Key=C) responsável por enviar nível alto (VCC) ou nível baixo (GND) às variáveis de seleção dos demultiplexadores, substituindo assim os bits enviados da porta paralela para o circuito de potência, exercendo, então, a mesma função de selecionar as saídas.

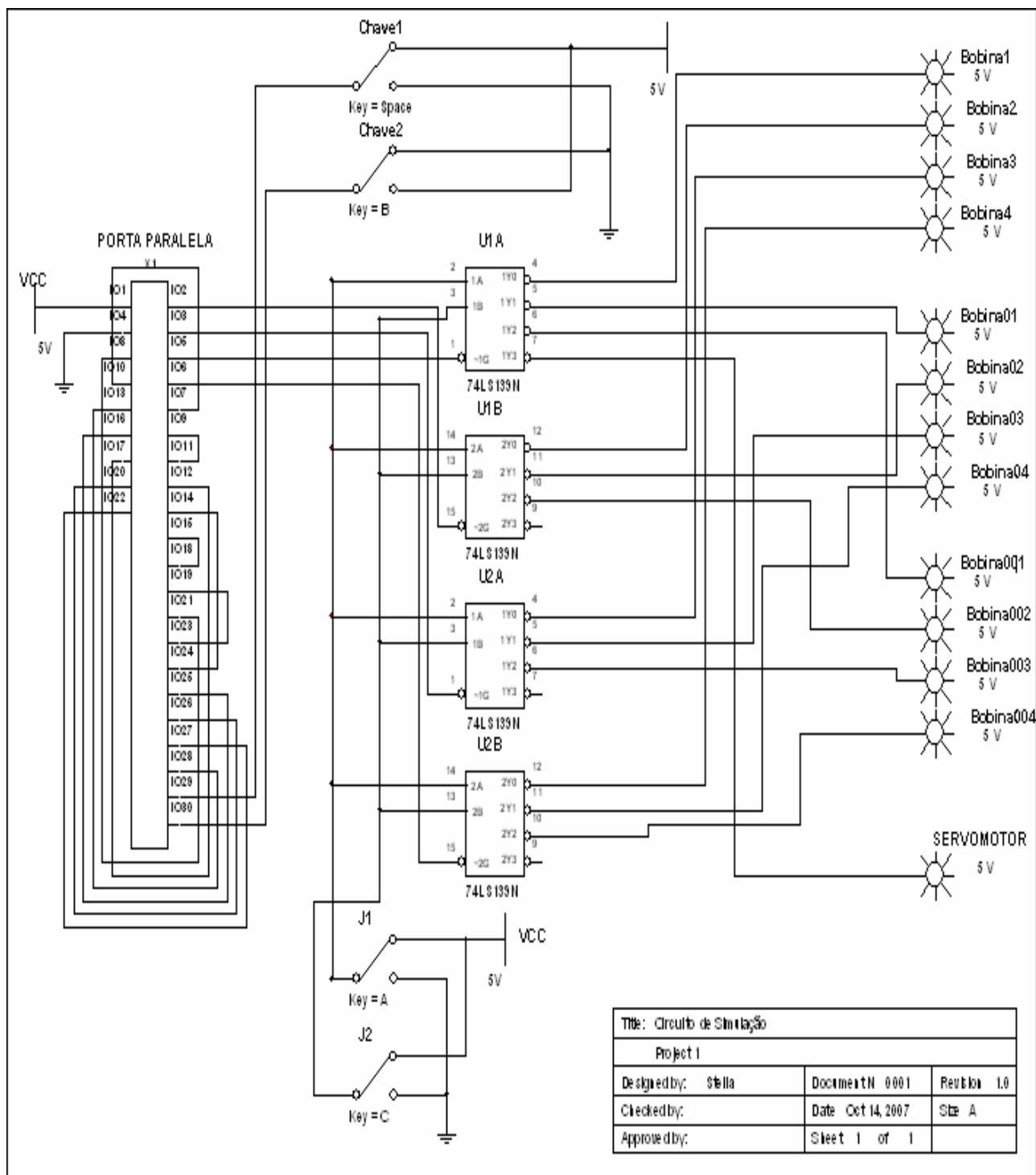


Figura 7 – Circuito de Simulação do Robô Manipulador Rotatório, implementado no ambiente computacional MULTISIM, na condição de travamento do manipulador.

Como dito anteriormente, o sistema de controle do Robô Manipulador Rotatório baseia-se em uma lógica sequencial de bits, com a finalidade de levar as informações estabelecidas pelo software de controle, através da porta paralela para o circuito de potência, determinando assim, os devidos movimentos do robô. Com isso, necessitou-se da elaboração de uma Tabela Verdade, onde se tem as respectivas condições para ativação dos devidos motores, como mostra a **Tabela 1**.

Tabela 1 – Tabela Verdade do Robô Manipulador Rotatório

Motores	Sinais da Porta Paralela				Demultiplexadores		Estado dos Eixos de Rotação
	D0	D1	D2	D3	A	B	
MOTOR 1	1	1	0	0	0	0	BASE ATIVADA
	1	0	0	1	0	0	
	0	0	1	1	0	0	
	0	1	1	0	0	0	
MOTOR 2	1	1	0	0	1	0	ANTE-BRAÇO ATIVADO
	1	0	0	1	1	0	
	0	0	1	1	1	0	
	0	1	1	0	1	0	
MOTOR 3	1	1	0	0	0	1	BRAÇO ATIVADO
	1	0	0	1	0	1	
	0	0	1	1	0	1	
	0	1	1	0	0	1	
SERVO-MOTOR	1	0	0	0	1	1	GARRA ATIVADA

3.2 Software de Controle em Linguagem C++

O ponto de partida para a implementação do Robô Manipulador Rotatório com Três Graus de Liberdade foi a elaboração de uma interface, através da porta paralela, entre o computador e os quatro motores (três motores de passo e um servo motor), responsáveis pelos movimentos das articulações. A princípio desenvolveu-se um software em linguagem C++ para enviar dados de 4 bits (*nibbles*) à porta paralela do computador. Esse programa tem por objetivo gerar seqüências de *nibbles* para o acionamento dos quatro motores presentes nos devidos eixos do robô. No início da execução do programa, como mostra a **Figura 8**, espera-se que o usuário determine qual Movimento (Automático ou Manual) será realizado pelo Robô Manipulador.

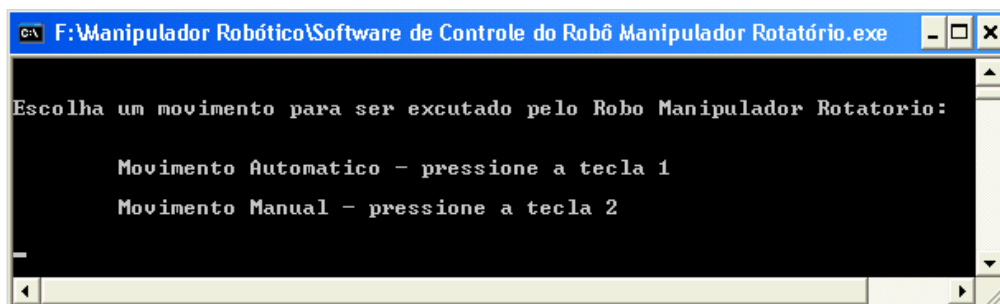


Figura 8 – Tela de iniciação do software de controle

Os Movimentos (Automático ou Manual), mostrados na **Figura 9** e na **Figura 10**, são constituídos por duas seqüências (Seqüência 1 e Seqüência 2) pré-determinadas pelo software de controle. Estas seqüências serão executadas pelo robô de acordo com o movimento escolhido pelo usuário. Escolhendo-se o Movimento Automático, o programa executará, respectivamente, as duas seqüências (1 e 2), e em seguida, as repetirá por um número de vezes (três) já determinado pelo programa. Já no Movimento Manual, o usuário deverá escolher a seqüência (1 ou 2) a ser executada pelo robô bem como o número de repetições desta seqüência.

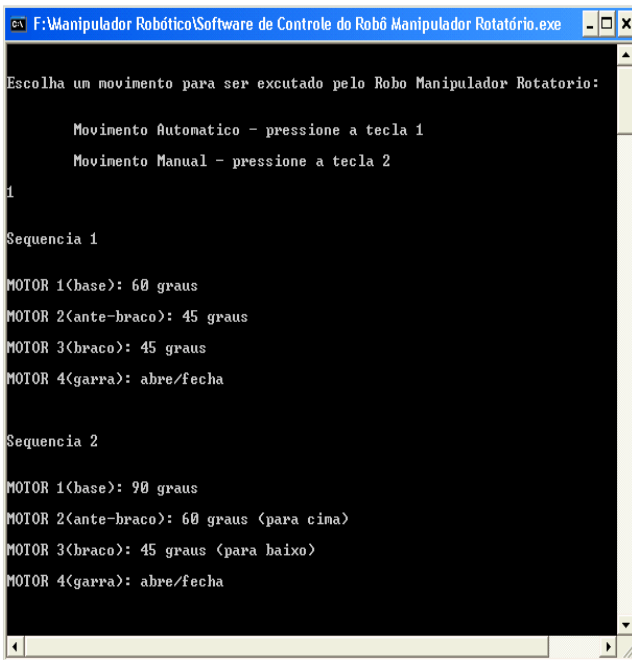


Figura 9 – Movimento Automático

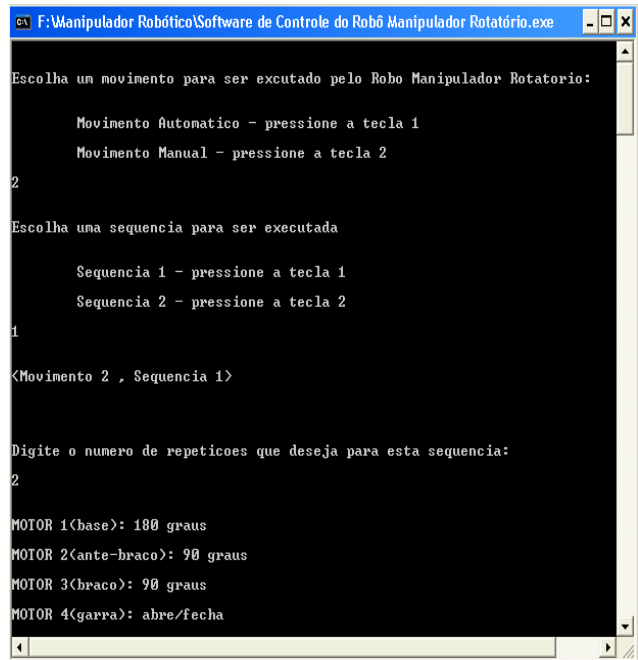


Figura 10 – Movimento Manual

Tanto no movimento automático quanto no manual, os bits de controle do programa são enviados diretamente para a porta paralela do computador, habilitando as saídas dos circuitos 74LS139N, que por sua vez, acionam o circuito externo ULN2003A, o qual promove a oscilação do sinal que percorrerá os pares de estatores, proporcionando a pulsação necessária para que os motores possam girar. É importante ressaltar que os movimentos realizados pelo Robô Manipulador Rotatório obedece, de acordo com o programa, uma lógica sequencial que faz com que o robô execute a sequência escolhida e em seguida volte a sua posição de origem. Como mostra a **Figura 11**, o deslocamento angular e as rotações dos motores já são determinados pelo software, bem como o sentido e o número de passos a ser executado.

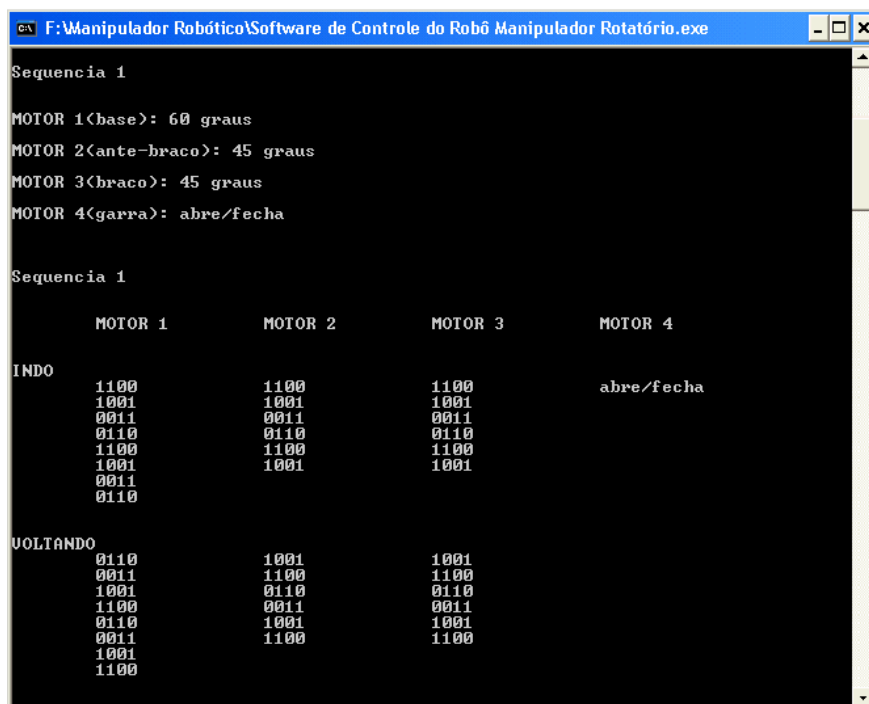


Figura 11 – Sequência de passos para a movimentação dos motores

CONCLUSÃO

O objetivo deste projeto foi desenvolver o controle de um Robô Manipulador Rotatório com Três Graus de Liberdade por computador, para ser utilizado como base de testes e implementações futuras na área da manipulação robótica e controle. Os testes realizados com o robô implicaram na sua total validação, de forma que o mesmo moveu-se de acordo com as posições pré-estabelecidas pelo usuário através do software de controle, evidenciando assim o controle do Robô Manipulador Rotatório através da porta paralela do computador. Tem-se então, como sugestão para trabalhos futuros, a implementação de um Robô Manipulador mais versátil, onde se tenha um sistema de sensoramento, possibilitando então, possíveis desvios de obstáculos presentes no ambiente onde o mesmo esteja presente. Seria possível também, a acoplagem em outros tipos de robôs, como por exemplo, os autônomos microcontrolados, possibilitando assim, maior alcance e flexibilidade.

REFERÊNCIAS

- [1] Junior, Cairo Lúcio Nascimento e Yoneyama, Takashi. **Inteligência Artificial em Controle de Automação**. São Paulo: Edgard Blucher, 2000.
- [2] Franklin, Gene. Power, J. David e Workman, Michael. **Digital Control of Dynamic Systems**. United States of America: Addison- Wesley Publishing Company, 1990.
- [3] John G. Bollinger and Neil A Duffie. **Computer Control of Machines and Processes**, 10645. United States of America: Addison- Wesley Publishing Company, 1990.
- [4] Bottura, Celso Pascoli. **Princípios de Controle e Servomecanismos**. Rio de Janeiro - RJ: Guanabara Dois S.A., 1982.
- [5] Souza, Cleonilson Protásio de e Filho, José Tarcísio Costa. **Controle por Computador**. São Luis – MA: EDUFMA, 2001.
- [6] Pazos, Fernando. **Automação de Sistemas e Robótica**. Rio de Janeiro – RJ: Axcel Books do Brasil, 2002.
- [7] Craig, John J. **Adaptive Control of Mechanical Manipulators**. United States of America: Addison- Wesley Publishing Company, 1990.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo a Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão (FAPEMA) pelo apoio financeiro.