



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ – UFOPA  
INSTITUTO DE ENGENHARIA E GEOCIÊNCIAS – IEG  
BACHARELADO INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA**

**WANDERSON GOMES DUARTE**

**PROPOSTA DE BANCADA DIDÁTICA PARA ENSINO DE ACIONAMENTO DE  
MOTORES DE PASSO**

SANTARÉM

2016

**WANDERSON GOMES DUARTE**

**PROPOSTA DE BANCADA DIDÁTICA PARA ENSINO DE ACIONAMENTO DE  
MOTORES DE PASSO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Bacharelado Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia para obtenção do grau de Bacharel em Ciência e Tecnologia na Universidade Federal do Oeste do Pará, Instituto de Engenharia e Geociências.

Orientador: Marcel Antonionni de Andrade Romano

SANTARÉM

2016



## **PROPOSTA DE BANCADA DIDÁTICA PARA ENSINO DE ACIONAMENTO DE MOTORES DE PASSO**

**Wandesson Gomes Duarte** – wandesson\_18mta@hotmail.com  
Universidade Federal do Oeste do Pará, Programa de Ciência e Tecnologia  
Rua Vera Paz, s/n – Salé  
68035-110 – Santarém – Pará

**Marcel Antonionni de Andrade Roman** – antonionni@gmail.com  
Universidade Federal do Oeste do Pará, Programa de Ciência e Tecnologia  
Rua Vera Paz, s/n – Salé  
68035-110 – Santarém – Pará

**Jorge Kysnney Santos Kamassury** – kamassury@gmail.com  
Universidade Federal do Oeste do Pará, Programa de Ciência e Tecnologia  
Rua Vera Paz, s/n – Salé  
68035-110 – Santarém – Pará

***Resumo:** O presente trabalho aborda o desenvolvimento de um protótipo de plataforma didática para dar suporte ao ensino em áreas como Sistemas de Controle, Eletrônica, Acionamentos Elétricos e Microprocessadores e Microcontroladores mediante o uso de motores de passo. A referida plataforma será operada por meio de uma interface serial que permita ao discente controlar o posicionamento do motor de passo, imprimindo curvas de velocidade e aceleração, com o devido acompanhamento do resultado obtido, bem como possibilitando a reprogramação do firmware de controle para possíveis melhorias. Para execução desse trabalho, optou-se pelo uso de um microcontrolador da família PIC para implementar a lógica de controle e os CI's L297 e a ponte L298 para a parte de acionamento. Também está prevista a medição da posição obtida por meio de um encoder rotativo. Esse protótipo está vinculado a um trabalho de conclusão de curso do curso de Bacharelado Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia (BI C&T) da Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA).*

***Palavras-chave:** Motores de Passo, Controle, Acionamento, Bancada didática.*

### **1. INTRODUÇÃO**

Atualmente, as exigências do mercado de trabalho demandam que as instituições de ensino superior, implementem diretrizes de ensino que permitam aos acadêmicos de engenharia desenvolver - além de uma forte base teórica - habilidades e competências em aplicar seus conhecimentos de modo a solucionar problemas reais que farão parte do cotidiano do engenheiro no decorrer de sua vida profissional. Todavia, formar profissionais com esse perfil é uma tarefa desafiadora que muitas vezes esbarra tanto na inadequação de equipamentos e



laboratórios para com as temáticas abordadas como em matrizes curriculares demasiadamente tradicionais que não acompanham às exigências do mercado.

Com efeito, a formação de engenheiros capazes de modelar, analisar e solucionar problemas é uma tarefa que além de demandar tempo, requer estrutura e equipamentos capazes de suprir as necessidades de aprendizagem que os graduandos possam vir a apresentar. Em geral, esses equipamentos apresentam custo elevado e apesar de existirem alternativas como a simulação computacional para baratear os custos operacionais, nem sempre elas são as mais apropriadas para a obtenção dos resultados almejados (ASSIS, 2009). Além disso, como nem sempre as universidades contam com dotação orçamentária ou fomento necessário à aquisição de equipamentos, faz-se necessária a confecção local de bancadas didáticas para garantir que as necessidades de aprendizado dos estudantes sejam supridas.

O trabalho de conclusão de curso (TCC) é exigência em diversos cursos de graduação no país e uma excelente oportunidade para os alunos colocarem em prática as habilidades de projeto. As atividades de iniciação científica, as práticas de disciplinas e experiências de ensino em monitoria ou projetos de extensão são reconhecidamente subsídios ao desenvolvimento dessas habilidades. Contudo, é geralmente durante o TCC que os alunos têm a oportunidade de colocá-las em prática, preenchendo as lacunas deixadas durante a formação do aluno, proporcionando ao mesmo a oportunidade de pesquisa e/ou extensão. Outra característica relevante do TCC é que ele pode servir de instrumento para outros graduandos, seja como referência ou como é o caso deste trabalho, como instrumento para desenvolvimento de suas próprias atividades.

Alinhado a esse contexto, o trabalho a ser exposto nas próximas seções está vinculado a um Trabalho de Conclusão de Curso do Bacharelado Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia da Universidade Federal do Oeste do Pará e visa colaborar com o referido curso a partir do projeto e construção de uma bancada didática, com suporte para melhorias futuras, que auxiliará os docentes a executarem experimentos relacionados às disciplinas de sistemas de controle, eletrônica, acionamentos elétricos e microprocessadores e microcontroladores, fundamentado no princípio de acionamento de motores de passo.

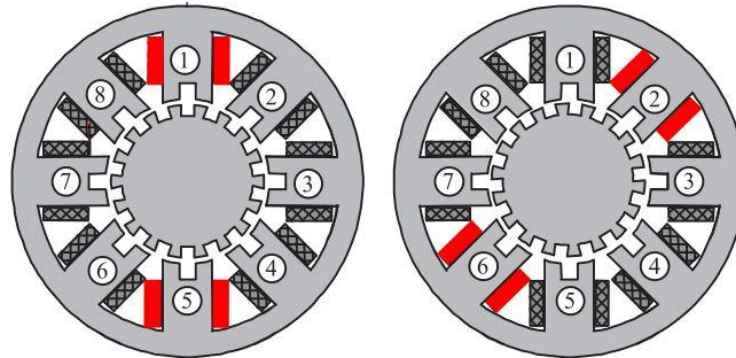
## **2. MOTORES DE PASSO**

Motores de passo são transdutores de energia que convertem energia elétrica em energia mecânica. Ao contrário dos motores convencionais, eles apresentam movimentos angulares discretos denominados de passos (daí a origem de seu nome). Esse fato deve-se a forma como suas bobinas estão dispostas em relação ao rotor. Os aspectos construtivos dessa máquina são moldados de forma a permitir que a excitação sequencial dos enrolamentos do estator, uma por vez, produza um torque em seu rotor de amplitude controlável com o intuito de se obter o controle posicional de seu eixo, ação muito útil em impressoras, plotters e CNC's, por exemplo (DORF, 1998).

Existem três tipos de motores de passo: o de Imã permanente, o de relutância variável e o Híbrido que será usado nesse trabalho. O motor híbrido é conhecido por acumular características dos motores de relutância variável e Imã permanente. A Figura 1 representa um motor híbrido, em que se pode conferir o rotor apresentando ranhuras, ambos com polaridades norte e sul respectivamente intercalados. Na prática, à medida que energizamos uma das fases gera-se um fluxo que faz com que o eixo tenda a se alinhar à posição de equilíbrio (KENJO, 1994).



Figura 1: Motor de Passo Híbrido (Adaptado de (ACARNLEY, 2002))



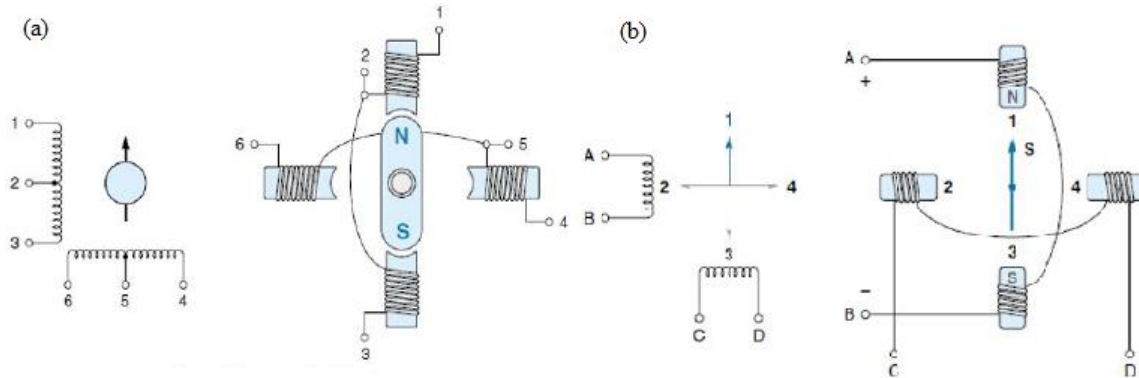
Na operação esquematizada na Figura 1, inicialmente as bobinas 1 e 5 estão energizadas, havendo um pequeno deslocamento do eixo até a posição de equilíbrio que, ao comando de um circuito de acionamento, são desligadas enquanto os enrolamentos 2 e 7 são ligados, fazendo com que o rotor sofra um pequeno deslocamento angular. Controlando-se o tempo de computação podemos controlar a velocidade do motor até o limite de disponibilidade de torque e contando-se os pulsos podemos obter uma estimativa da posição angular do eixo. Os comandos podem ser encaminhados a um circuito driver por meio de interfaces seriais ou pulsos de deslocamento (direção-passo) por meio de microprocessadores ou assemelhados que se encarregam de interpretar instruções mais elaboradas (código G, por exemplo) e convertê-las na sequência de pulsos ou comandos mais simples.

### **3. ACIONAMENTO E DRIVER DE POTÊNCIA**

Em enrolamentos que disponham de uma derivação central, existem dois modos de se operar motores de passo: unipolar ou bipolar. No caso da primeira configuração, do centro da fase é retirado de um fio que divide as fases ao meio, sendo eletricamente conectado ao negativo da fonte de alimentação, enquanto se energiza uma das extremidades por meio de uma chave controlada. Dependendo de qual extremidade foi energizada, produz-se campo em um determinado sentido. Essa configuração facilita bastante o acionamento dos motores de passo, haja vista que são necessárias apenas duas chaves por bobina. Contudo ela apresenta uma perda de torque de 40% em relação à configuração seguinte em virtude de uma parcela do enrolamento não está sendo utilizada em cada etapa (HOPKINS, 2016). A configuração bipolar, por sua vez, não apresenta o um fio de centro de fase, o que requer a inversão do sentido da corrente, que pode ser conseguida por meio de uma disposição mais complexa de chaves, denominada Ponte H.



Figura 2: Configuração unipolar (a) e configuração bipolar (b)

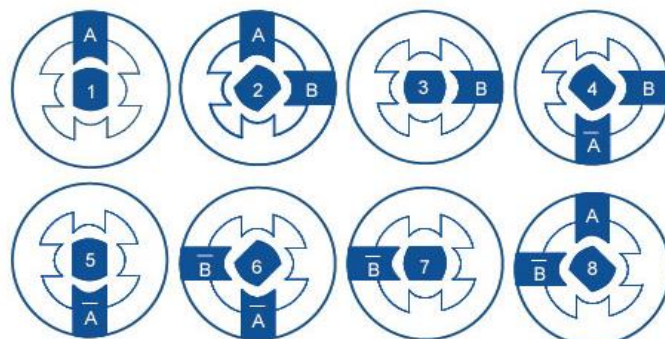


### 3.1 Modos de excitação

O acionamento do motor de passo depende do modo como seus enrolamentos são excitados. No presente trabalho será apresentada apenas a excitação que provoca o meio passo e o micropasso que são as mais usadas. Observando a Figura 2, suponhamos a seguinte sequência: inicialmente, a bobina 1 é energizada, depois simultaneamente as bobinas 1 e 2 são energizadas, depois apenas a bobina 2 é energizada e assim por diante. É fácil perceber que com esse acionamento teremos uma sequência de oito passos por revolução. Essa sequência de passos é denominada de excitação de meio passo (do inglês: *Half-Step*).

Se durante o intervalo em que são acionadas simultaneamente as duas bobinas, as correntes que percorrem os enrolamentos forem variadas de modo que a intensidade de um aumente e a do outro diminua, é de se esperar que o número de passos a serem obtidos sejam ampliados, conforme a granularidade dessas etapas intermediárias. Teoricamente, no limite, é possível variar a intensidade da corrente de modo a se obter quantas variações de posição forem necessárias com um acionamento senoidal; contudo, na prática o número de passos intermediários que podem ser obtidos com precisão é limitado por imperfeições de alinhamento dos eixos magnéticos das bobinas. Esse modo de excitação é denominado micropasso.

Figura 3: Sequência de acionamento de Meio Passo



Durante o micropasso o controle de corrente pode se dar de forma linear, que é ineficiente ou usualmente por meio de um circuito chaveador (chopper), que controla a corrente por meio de algum esquema de modulação. Um sistema simples, prático e econômico é a

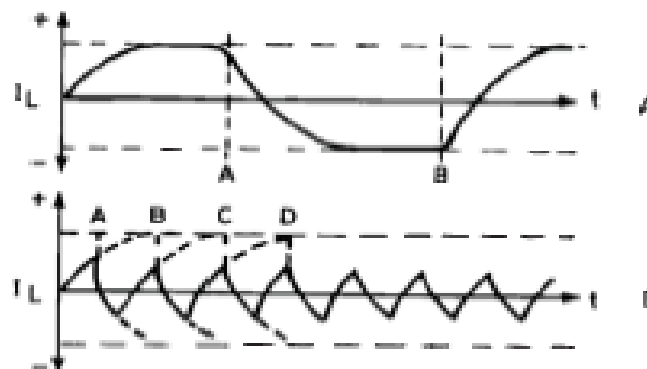


modulação PWM em malha fechada, onde o sinal de modulação é derivado a partir de um sensor de corrente e um sinal de referência, por meio de uma operação de comparação.

### 3.1. Circuito Driver

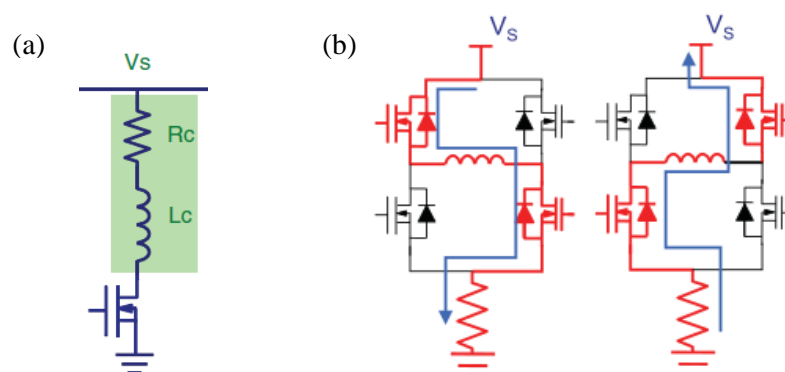
Como mencionado anteriormente para um motor de passo, a corrente nominal é função da tensão de alimentação e da resistência do enrolamento, enquanto a velocidade que essa corrente é atingida para uma determinada tensão de alimentação é determinada pela sua indutância. Como o torque é função da corrente e a resposta do enrolamento a um degrau de tensão é semelhante à de um circuito RL, então na medida em que se aumenta a frequência de chaveamento, ou a velocidade do motor, reduz-se o torque disponível no eixo, conforme mostrado na Figura 5.

Figura 5: Perda de corrente com o aumento da Frequência



Pode-se melhorar a velocidade da subida da corrente aumentando a tensão aplicada, porém isso também aumentaria a corrente final, elevando-a a um valor superior à corrente nominal, o que seria indesejável. Pode-se lidar com esse problema, utilizando-se um esquema de modulação. Esse método é facilmente implementado com transistores trabalhando em saturação como, por exemplo, o transistor de efeito de campo metal-óxido (MOSFET), compondo uma ponte H, já que manipulando o tempo de condução do transistor (ciclo de trabalho) é possível variar a corrente do transistor. Este método está ilustrado na Figura (6).

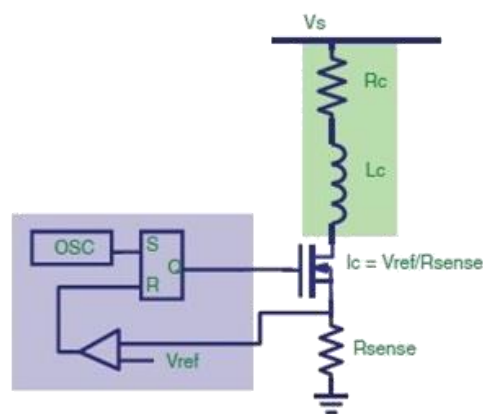
Figura 6: (a) Acionamento de motor de passo com MOSFET.  
 (b) Ponte H com transistores MOSFET.





O acionamento chopper atua forçando os enrolamentos à atingirem a corrente nominal de forma mais rápida. Para tanto, são fornecidas às fases, tensões até dez vezes maiores a nominal. Quando a corrente de enrolamento atinge o valor desejado, a alimentação do circuito chopper é interrompida por uns instantes. Já quando a corrente passa a um valor abaixo do desejado, novamente os enrolamentos são alimentados por mais alguns instantes, e assim de forma sucessiva de modo a se controlar a corrente média, associando-a a um valor de referência. A Figura (7) representa um diagrama simplificado da topologia de acionamento chopper.

Figura 7: Topologia de acionamento Motor de Passo



## 4. DRIVER DE ACIONAMENTO

### 4.1. L297

O CI L297 é um circuito integrado desenvolvido pela ST Microelectronics que, em conjunto com uma ponte H, geralmente com o L298, possui todos circuitos necessários para acionar um motor de passo com configuração unipolar de duas fases. Trata-se de um chopper que modula a tensão da fonte para controle de corrente nos enrolamentos do motor. Este CI permite que com apenas três comandos: Direção, velocidade e passo, seja possível controlar o posicionamento de um motor de passo.

### 4.2. L298

L298 é uma ponte H fornecido pela ST Microelectronics muito usada em acionamento de motores passo, este é robusto, permitindo que o motor de passo possa ser alimentado com 46 volts e apresenta uma corrente de 2 A.

## 5. BANCADA

A bancada conta com microcontrolador PIC16F877A responsável pela lógica necessária para operar o CI L297, que irá controlar, em conjunto com o L298, um ou mais motores de passo. Esta bancada permitirá que determinados parâmetros dos motores possam ser modificados conforme a necessidade do educador. Ela permitirá que o aluno/docente opere os motores de passo podendo:

- Comandar uma mudança de posição, respeitando os limites de velocidade/aceleração para operação em malha aberta;





- Exibir/definir os limites de velocidade/aceleração de operação em malha aberta;
- Comandar a operação em velocidade/aceleração constante;
- Reprogramar o código de firmware do microcontrolador para possíveis melhorias da plataforma ou para acionamento dos motores sem o uso da comunicação serial;
- Acompanhar em tempo real o posicionamento e velocidade do motor através de um display alfanumérico;
- Medir a posição efetiva do motor por meio do encoder rotativo e indicar eventos de perdas de passo;
- Implementar algoritmos de controle em malha fechada com a leitura da posição advinda do encoder rotativo, possibilitando a mudança de suas constantes;

### 5.1. Software

O protótipo desta plataforma está sendo desenvolvido por meio de uma ferramenta de programação em firmware conhecida como CCS C Compiler. A linguagem de programação adotada para o projeto foi o C.

Figura 10: CCS C Compiler

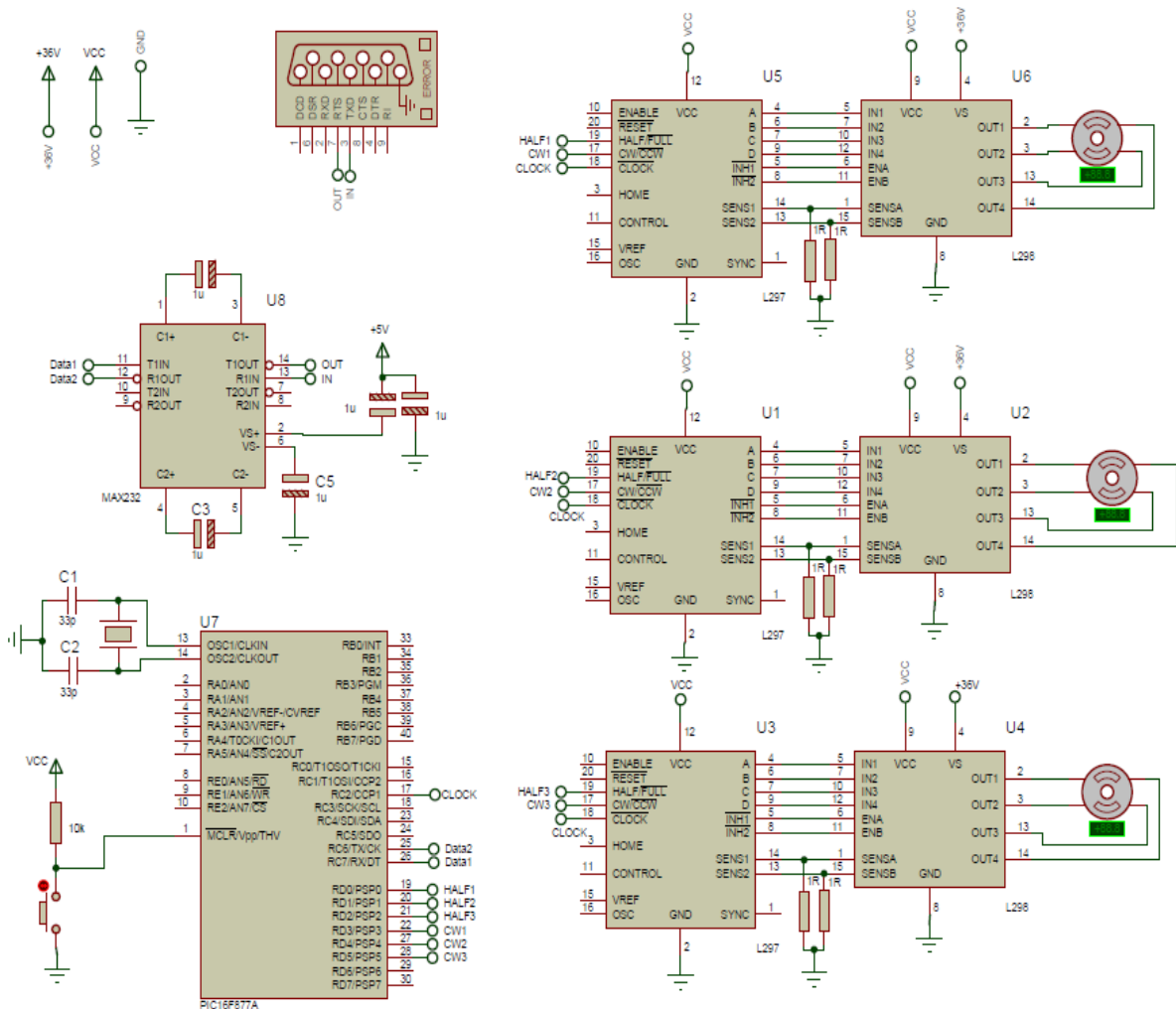
```
1  //.....  
2  // UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ  
3  // INSTITUTO DE ENGENHARIA E GEOCIÊNCIAS  
4  // PROGRAMA DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
5  // CURSO: ENGENHARIA FÍSICA  
6  // ORIENTADOR: MARCEL ROMANO ANTONIONI DE ANDRADE ROMANO  
7  // ACADÊMICO: WANDERSON GOMES DUARTE*//  
8  //.....  
9  
10 #include "C:\Users\WandersonDuarte\OneDrive\Documents\TCC\Código\main.h"  
11 unsigned int8 motor[8]={0b00000001,0b00000011,0b00000010,0b00000110,0b00000100,0b00001100,0b00001000,0b00001001};  
12 unsigned int8 contador=0;  
13  
14 #int_timer2  
15 #int_timer0  
16  
17 void movimenta_motor(void) {  
18     output_c(motor[contador]);  
19     contador++;  
20 }  
21  
22  
23  
24 void main()  
25 {  
26     set_trisa_c(0b00000000);  
27     set_tris_b(0x00);  
28     setup_adc_ports(INO_ANALOGS);  
29     setup_adc(ADC_OFF);  
30     //setup_psp(PSP_DISABLED);  
31     setup_spi(SPI_SS_DISABLED);
```

### 5.2. Layout

A Figura (11) representa uma parte da placa que está sendo desenvolvida para a confecção do protótipo da bancada para o acionamento dos motores; a bancada apresenta três interfaces de acionamento, cada uma dedicada a um motor de passo. A bancada será open-source, e o projeto desenvolvido será acessível para outros alunos e poderá ser usado como base para outros. Será implementada uma interface para programação do microcontrolador no circuito (ISP) para permitir que os estudantes possam alterar o código de funcionamento do driver quando necessário e implementar outros modos de operação ou comando não inicialmente previstos.



Figura 11: Layout do Circuito da Bancada

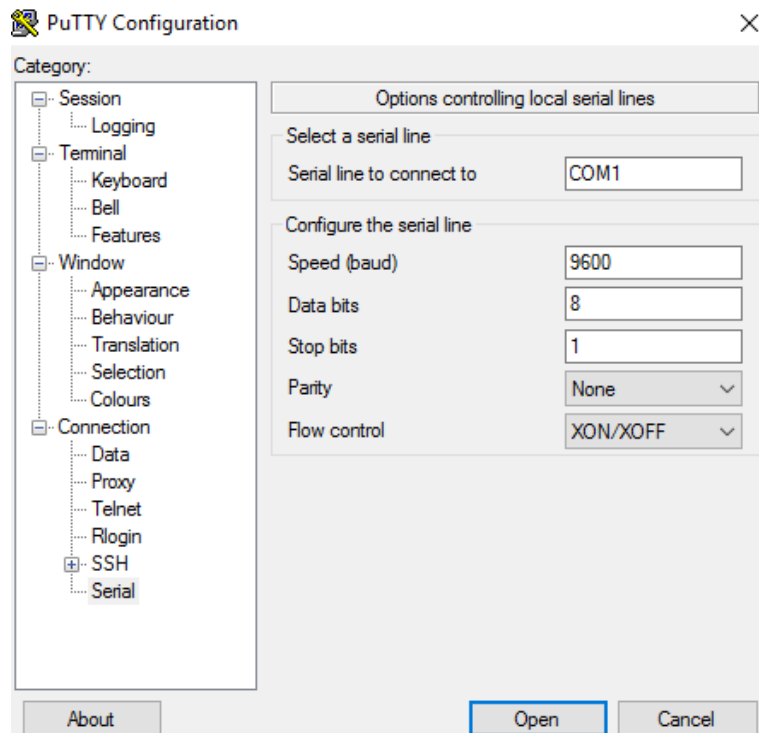


### 5.3. COMUNICAÇÃO

Para a comunicação do driver com o computador ser efetuada via serial, optou-se pela utilização de uma interface USB serial baseada no chip PL2303, amplamente disponível no mercado nacional e que é responsável pela conversão do sinal de comunicação serial do microcontrolador em níveis TTL e por estabelecer uma interface serial em um microcomputador, que pode ser acessada por meio de um software de uso geral, como o Hyperterminal ou o software de código aberto Putty, ilustrado na Figura (12).



Figura12: Putty



## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de ferramentas didáticas capazes de despertar e potencializar habilidades e competências em estudantes de engenharia para aplicar seus conhecimentos de modo a solucionar problemas reais é fundamental no âmbito do ensino. Nesse contexto, a proposta da bancada de ensino no referido trabalho manifesta-se com uma estratégia alternativa que além de baratear a aquisição de ferramentas por parte da instituição, também fomentará o aprendizado dos discentes que poderão aplicar os conhecimentos teóricos abordados em disciplinas como sistemas de controle, eletrônica, acionamentos elétricos, dentre outras.

### *Agradecimentos*

Os autores agradecem ao laboratório de Sinais e Sistemas da Universidade Federal do Oeste do Pará pela estrutura cedida, e ao seu coordenador, Marcel Antonionni de Andrade Romano.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACARNLEY, P. **Stepping Motors: a guide to theory and practice**. 4<sup>a</sup>. ed. Londres: The Institution of Engineering and Technology, 2002.

ASSIS, W. D. O. APLICAÇÕES DE MÁQUINAS-FERRAMENTA COM PROTOTIPAGEM RÁPIDA E "ENGENHARIA REVERSA". **Revista Produtos e Serviços**, São Paulo, p. 22-22, Maio 2009.



DORF, R. C. **Sistemas de Controle Modernos**. 8°. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1998.

HOPKINS, T. **Stepper motor driving**. AN235 Application note. Disponível em:  
<[http://www.st.com/st-web ui/static/active/jp/resource/technical/document/application\\_note/CD00003774.pdf](http://www.st.com/st-web-ui/static/active/jp/resource/technical/document/application_note/CD00003774.pdf)>. Acesso em: 2 Janeiro 2016.

KENJO, T. **Stepping Motors and Their Microprocessor Controls**: Monographs in Electrical and Electronic Engineering. New York: Oxford University Press, 1994.

## **PROPOSAL OF DIDACTICAL BENCH FOR STEP MOTORS DRIVE TEACHING**

**Abstract:** *This paper discusses the development of a didactic prototype platform to support teaching in areas such as Control Systems, Electronics, Electrical Drives and Microprocessors and microcontrollers by using stepper motors. The said platform is operated by means of a serial interface which enables the student to control the stepper motor position, printing speed cornering and acceleration, with due monitoring of the result obtained, as well as enabling the reprogramming of the control firmware for possible improvements. To perform this work, we opted for the use of a PIC microcontroller family to implement the control logic and the IC's L297 and L298 bridge to the part of the drive. Also provided is a position measurement obtained by a rotary encoder. This prototype is linked to a work course completion of the course of Bachelor in Interdisciplinary Science and Technology (BI & T) of the Federal University of Western Pará (UFOPA).*

**Key-words:** *Step Motors, Control, Drive, didactic bench.*