



## **PROJETO DE CIRCUITOS TRANSCÉPTORES EM 2,4 GHz PARA APLICAÇÕES DIDÁTICAS DE CONTROLE SEM FIO**

**Maísa Lauriane Ferreira dos Santos**– maisalfsantos@gmail.com  
Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia da Paraíba  
Av. Primeiro de Maio, 720 Jaguaribe  
58015-435 – João Pessoa – Paraíba

**Allan Alex de França**– allan.alex@outlook.com  
Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia da Paraíba  
Av. Primeiro de Maio, 720 Jaguaribe  
58015-435 – João Pessoa – Paraíba

**Kaíc Bezerra Tôrres**– kaicbtjp@gmail.com  
Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia da Paraíba  
Av. Primeiro de Maio, 720 Jaguaribe  
58015-435 – João Pessoa – Paraíba

**Paulo Henrique da Fonseca Silva**– phdafs@gmail.com  
Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia da Paraíba  
Av. Primeiro de Maio, 720 Jaguaribe  
58015-435 – João Pessoa – Paraíba

**Resumo:** O projeto explanado consiste na elaboração de uma plataforma de prototipagem didática para desenvolvimento de aplicações diversas de controle sem fio, operando na faixa não licenciada em 2,4 GHz, dos tipos on-off, proporcional, PID (Proporcional Integral Diferencial), a partir de Interface Homem-Máquina (IHM), entre elas o controle de posição e/ou velocidade de pequenos motores de corrente contínua, servomotor, motor de passo. O artigo expõe os dispositivos necessários a sua construção, assim como embasamentos teóricos proporcionando aprendizado interdisciplinar nas áreas de telecomunicações, eletrônica e programação. Por fim apresenta-se uma análise dos resultados obtidos.

**Palavras-chave:** Módulo Transceptor, Controle sem fio, PIC16F87XA, Engenharia e Educação.

## **1 INTRODUÇÃO**

Pesquisas sobre a didática do ensino superior apontam a segmentação do conhecimento a ser aprendido em um currículo disciplinar. Esse tipo de organização dos cursos em disciplinas puramente teóricas que não fazem inter-relação têm formado profissionais com uma grande quantidade de conhecimento que não se transforma em aprendizagem, competência e habilidade. A intenção, ao introduzir novas metodologias de ensino no dia a dia, é implementar uma alternativa à metodologia tradicional que se mostra claramente ineficiente no processo de educação atual. (FELDER, 2003). Entende-se por interdisciplinaridade: O processo de integração e engajamento de educadores, num trabalho conjunto, de interação das



disciplinas do currículo escolar entre si e com a realidade, de modo a superar a fragmentação do ensino (LUCK, 2001, p. 64).

Os sistemas de controle sem fio mais usados trabalham com as faixas do espectro em: 27 MHz, 315 MHz, 433 MHz, 2,4 GHz, bem como, infravermelho. São exemplos de aplicações cotidianas destes sistemas sem fio: acionamento de portões de garagem, controle de alarme de automóveis, sistemas de segurança sem fio, automação residencial, monitoramento de sensores, entre outras.

Com a evolução dos sistemas de comunicação sem fio surgiram novos padrões para operação nas bandas ISM (*Industrial Scientific and Medical*), tais como, *Bluetooth*, *Zigbee*, IEEE 802.11 (*Wi-Fi*). Com intuito de desenvolver uma aprendizagem que articule teoria e prática, e os conhecimentos disciplinares, emerge uma proposta interdisciplinar de baixo custo para o desenvolvimento de sistemas de transmissão sem fio é a utilização de módulos de rádios de propriedade de empresas como a *Telecontrolli* (transmissor RT4 e receptor RR3, 433 MHz), (BRAGA, 2007, p. 66-68).

Com suporte na pesquisa relacionada, desenvolveram um sistema de comunicação sem fio fazendo uso do nRF24101 voltada a área de automação predial (GIARETTA, 2014), surge a ideia promissora de criar um sistema sem fio de baixo custo que englobe diferentes aplicações e proporcione aprendizado prático e teórico.

A divisão do artigo está estruturado da seguinte forma, na primeira seção apresentou-se uma análise geral e uma breve fundamentação teórica, em seguida foi descrito de forma clara todas as etapas para realização desse projeto, contendo informações como o esquemático e os componentes utilizados. Na seção resultados tratou-se da explanação de todas as respostas apresentadas pelo sistema observado e por fim, na última seção, avaliou-se e verificou-se a eficácia do protótipo apresentado.

## 2 METODOLOGIA

O desenvolvimento e fabricação de protótipos de sistema de controle e monitoramento sem fio, consiste na adoção de procedimentos experimentais para a elaboração de *software* e *hardware* (*firmware*) do mesmo, dentre os experimentos só será citado neste artigo o referente ao motor cc, A metodologia adotada para o projeto, foi disposta da seguinte forma:

- 1- Revisão da literatura técnica relacionada aos temas da pesquisa.
- 2- Projeto e montagem em *protoboard* de *hardware* de sistema de controle sem fio.
- 3- Desenvolvimento de *software* para configuração das características do sistema de controle sem fio com transceptores e microcontroladores PIC.
- 4- Projeto de leiautes de circuito impresso e montagem definitiva de componentes de protótipos do sistema.
- 5- Medições e análises dos resultados obtidos.

### 2.1 Fundamentação teórica

#### *Transceptor NRF24L01*

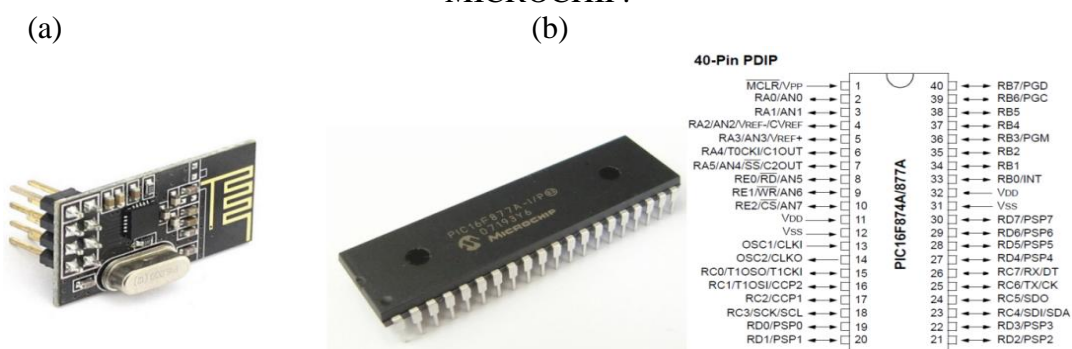
O circuito integrado nRF24L01 é um chip transceptor que opera na banda não licenciada em 2,4 GHz, Figura 1(a). Com um mecanismo de protocolo de banda base incorporado (*Enhanced ShockBurst™*) é baseado em comunicações de pacote e suporta vários modos de operação manual. Através de uma interface periférica *Serial Peripheral Interface* (SPI), trabalha com faixa de alimentação de 1,9 a 3,6 V. O nRF24L01 suporta taxas de dados (no espaço livre) de 250 Kbps, 1 Mbps e 2 Mbps, com sensibilidades de recepção de -94 dBm, -85 dBm e -82 dBm, respectivamente (NORDIC, 2010).



### Microcontrolador PIC16F87XA

O microcontrolador PIC16F87XA adotado ilustrado na Figura 1(b) possui importantes características como: memória de programa (*Flash*) de 8KB, memória de dados (SRAM) de 366 bytes, frequência de *clock* até 20 MHz, 7 portas digitais de entrada e/ou saída, atua em uma faixa de tensão de operação de 2,0 V à 5,5 V, duas portas para comunicação SPI representadas por TX e RX (MICROCHIP, 2003), que são fundamentais para o estabelecimento de comunicação adequada entre o microcontrolador e o transceptor nRF24L01.

Figura 1 – (a) Módulo transceptor nRF24L01; (b) microcontrolador PIC16F877A, MICROCHIP.



## 2.2 Desenvolvimento do projeto

### Circuito Transmissor (IHM - Interface Homem Máquina)

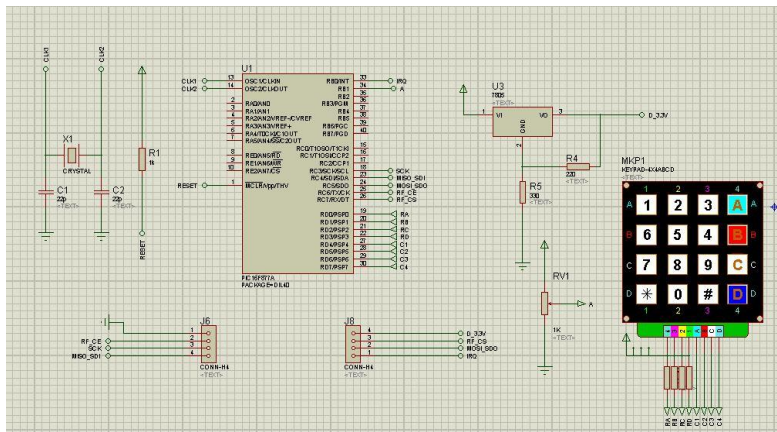
Este circuito faz o envio das informações de controle e possui interface homem-máquina. Seu funcionamento baseia-se no envio de sinais de entrada do sistema. Ao fim de cada envio prepara-se para o recebimento das confirmações de entrega dos pacotes de dados recebidos ACK (*Acknowledgment*), enviados pelo circuito receptor. O microcontrolador PIC 16F877A realiza a comunicação SPI, ajustando e configurando os parâmetros necessários ao módulo nRF24L01, que por sua vez, envia bytes de controle através do ar para o circuito receptor.

### Circuito Receptor (Driver)

Este circuito é responsável pelo recebimento, processamento e execução dos dados, bem como, pelo envio de uma confirmação ao circuito transmissor. É através do sinal ACK, que se tem a certeza que os dados enviados foram recebidos. Neste circuito utilizou-se o nRF24L01 e o PIC 16F877A mediante a comunicação serial SPI. Após recepção o byte de controle é processado, no caso do servomotor e do motor CC um sinal de controle PWM (*Pulse Width Modulation*) é gerado para acionamento e controle da posição ou velocidade, para o motor de passo o byte recebido indicará a posição e o acionamento de suas bobinas.

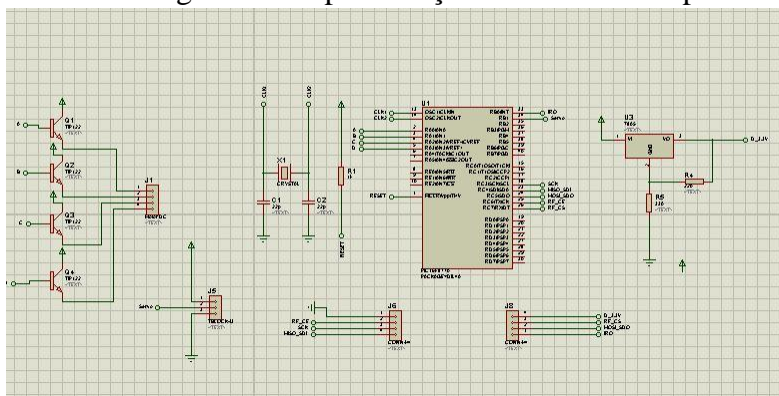
*Fase experimental para o controle do motor de corrente contínua.*

Figura 2 – Representação do circuito transmissor.



O diagrama esquemático para representação desse circuito pode ser observado na Figura 2 (circuito transmissor) e na figura 3 (circuito receptor). No circuito transmissor Figura 4-(b) há um potenciômetro ao qual se atribuiu o papel de obtenção dos dados de entrada, por meio do PIC há o processamento e conversão do mesmo, para que fique em uma faixa desejada, utilizando o conversor A/D interno e configurado pela programação, depois do processamento o PIC realiza a comunicação SPI com o módulo nRF24L01, configurando seus registradores e enviando o *payload* (informação desejada de envio, carga útil), após configurado, o nRF24L01 envia a informação e em seguida aguarda a confirmação de recebimento ACK, caso não a obtenha, retransmite o dado desejado.

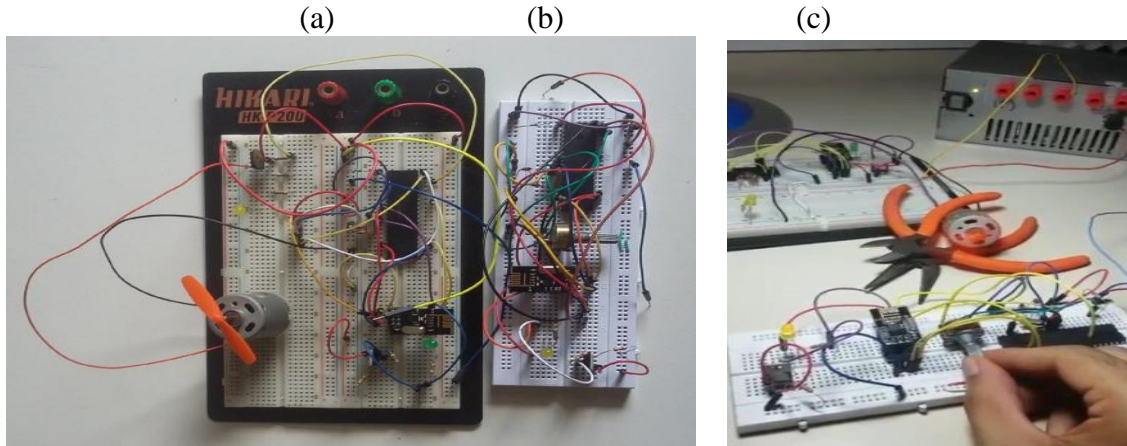
Figura 3 – Representação do circuito receptor.



Ao captar o sinal transmitido, o circuito receptor como apresentado na Figura 4-(a), decodifica (nRF24L01) a mensagem e faz uma transmissão de confirmação de recebimento ACK e na sequência envia por meio da comunicação SPI ao PIC o dado recebido. Essa informação é transformada em dado de controle de um pulso PWM, que por sua vez, faz o motor girar na velocidade e com intensidade igual à desejada a Figura 4(c) mostra o circuito ativo, com o auxílio de um drive de corrente feito pelo transistor TIP22, possibilita o acionamento e controle do motor, sem requisitar tanta corrente do microcontrolador, pois ele proporcionará um ganho de corrente.



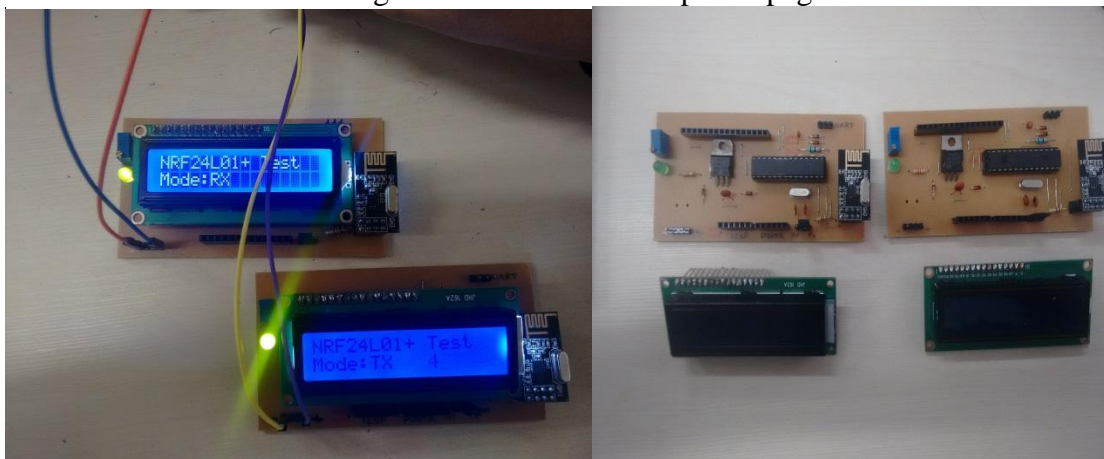
Figura 4 - Circuito de controle para o motor CC (a) montagem circuito receptor motor CC; (b) montagem circuito transmissor motor CC ;(c) circuitos em funcionamento.



A última etapa de execução concerniu à construção da plataforma de prototipagem representada na Figura 5, capaz de suprir as necessidades requeridas por diversas aplicações, tornando-se uma placa didática e versátil. Com embasamento nas práticas anteriores, projetou-se com as seguintes especificações:

- Acesso aos pinos ICSP (*In-Circuit Serial Programming*), que possibilita a alteração da programação do controlador;
- Acesso aos pinos UART (*universal asynchronous receiver/transmitter*), tornando disponível os recursos do PIC16f87XA;
- Pinos I/O disponíveis para aplicações diversas;
- Pinos conectados ao módulo Nrf24L01;
- Alimentação de 9 V, regulação da alimentação de 5 V para o microcontrolador, 3,3 V para o módulo;
- Barramento para recepção de display LCD proporcionando IHM;
- Pequena e versátil, por isso utilizou-se um PIC da família 16F87XA -- 16F876A, que possui as mesmas configurações do 16F877A, porém com tamanho reduzido por ter um número inferior de pinos;

Figura 5 – Plataforma de prototipagem didática.





### 3 RESULTADOS

Com base nos resultados obtidos para o experimento realizado referente à aplicação do controle da velocidade do motor de corrente contínua, foi possível identificar o funcionamento satisfatório, porém houve a necessidade de algumas calibrações, através do software, de forma a identificar os parâmetros a serem modificados para conseguir elevar a eficiência do desempenho do sistema. Na resposta medida no circuito receptor pelo instrumento osciloscópio apresentado na Figura 6, observa-se o *duty cycle* gerado pelo PWM, que representa a razão cíclica de trabalho, ou seja, o quando de potência está sendo fornecida ao motor, possibilitando gira-lo com velocidades relativas às mesmas.

Figura-6 *Duty cycle* do PWM medido pelo osciloscópio no circuito receptor.



O sistema apresentou um bom desempenho de acordo com um levantamento da relação entre envios/recebimentos de pacotes de dados e funcionamento adequado do sistema, porém há uma porcentagem significativa de perdas desses pacotes, conforme o gráfico das Figuras 7 - 8 em uma distância de cinco metros entre receptor e emissor em ambiente *indoor* a porcentagem de perdas dos mesmos é de vinte e cinco por cento da quantidade total de envios e em ambientes *outdoors* com a mesma distância apresenta um número de perdas maiores, conforme a distância aumentou essas perdas ficam mais frequentes.

Essa ferramenta poderá ser utilizada como ambiente de desenvolvimento para alunos dos cursos de engenharia elétrica, eletrônica, controle e automação que desejarem aprimorar os conhecimentos nas áreas de sistemas microcontrolado utilizando a linguagem de programação C, por possibilitar o acesso aos pinos ICSP (*In Circuit Serial Programming*) todo *software* poderá ser alterado e otimizado pelo programador, a IHM possibilita o acompanhamento e monitoramento das atividades elaboradas. Como utiliza módulos de comunicação sem fio os conceitos de tratamento de dados e conceitos voltados à telecomunicação torna-a uma plataforma de ensino multidisciplinar. Por ser pequena e versátil e dispor de bateria para alimentação não necessita de um laboratório para sua manipulação, apenas de um computador onde será desenvolvida a programação.

Figura 7 – Gráfico de correlação entre distância e perda de informação; (a) Ambiente *indoor* 5metros; (b) Ambiente *indoor* 10metros.

(a)

(b)

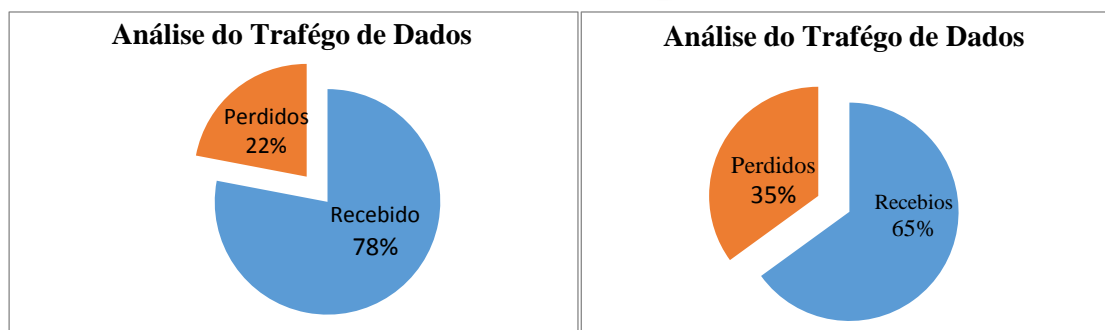
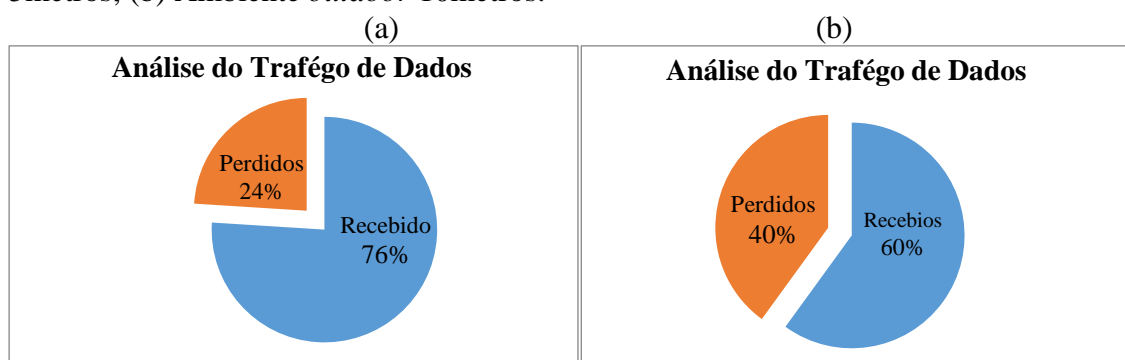


Figura 8 – Gráfico de correlação entre distância e perda de informação; (a) Ambiente *outdoor* 5metros; (b) Ambiente *outdoor* 10metros.



#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O projeto desenvolvido apesar de conter um nível de perdas moderado, é compensado pela quantidade elevada de informações sendo transmitida em um curto intervalo de tempo, que para o circuito não possui impacto relevante à eficiência do mesmo. Muito embora, apesar do aspecto puramente didático-pedagógico do trabalho apresentado, melhorias possam ser desenvolvidas e aplicadas para ampliação e continuidade do projeto.

A plataforma de prototipagem apresentada neste artigo pode ser usada como ferramenta de ensino em diversas áreas da engenharia. Por meio desta metodologia, é possível facilitar o desenvolvimento de habilidades importantes de modo a proporcionar o desenvolvimento do conhecimento teórico para resolução de problemáticas mais complexas, além de permitir que disciplinas sejam desenvolvidas na forma de projetos. Pode-se utilizá-lo para discutir desde temas específicos, como a criação de software para microcontroladores, até aspectos gerais e que envolvem concomitantemente conteúdos de telecomunicação e eletrônica.

#### *Agradecimentos*

Os autores agradecem ao CNPq pelo apoio financeiro e ao IFPB pelo suporte na elaboração do projeto.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRAGA, N. C. Transmissor e receptor (RT4 e RR3 – módulos híbridos). Revista Saber Eletrônica, No. 413, p.66–68, jun. 2007

Organização



Promoção





FELDER, R. M.; BRENT, R. Designing and Teaching Courses do Satisfy the ABET Engineering Criteria, Journal of Engineering Education, 92(1), p. 7- 25, 2003

GIARETTA, Mateus S. **Projeto de uma rede de comunicação sem fio baseada no transceptor nRF24L01+ voltada para sistemas de automação predial.** Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10183/101167>> Acesso em: 09 set. 2016.

LUCK, H. Pedagogia da interdisciplinaridade. Fundamentos teórico - metodológicos. Petrópolis: Vozes, 2001.

MICROCHIP. **PIC16F87XA Data Sheet 28/40/44 Pin Enhanced Flash Microcontrollers.** Disponível em: <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39582b.pdf>>. Acesso em: 31 dez. 2016.

NORDIC Semiconductor. Noruega. Disponível em: <<https://www.nordicsemi.com/eng/Products/2.4GHz-RF/nRF24L01P>>. Acesso em: 12 ago. 2016.

## DESIGN OF 2.4 GHZ TRANSCEIVER CIRCUITS FOR WIRELESS DIDACTIC CONTROL APPLICATIONS

**Abstract:** *The project consists of the elaboration of a didactic prototyping platform for the development of several wireless control applications, operating in the 2.4 GHz non-licensed band, on-off, proportional, PID (Proportional Integral Differential), from (HMI), including the control of position and / or speed of small motors of direct current, servomotor, stepper motor. The article presents the necessary devices for its construction, as well as theoretical bases providing interdisciplinary learning in the areas of telecommunications, electronics and programming. Finally, an analysis of the results obtained is presented.*

**Key-words:** *Transceiver Module, Wireless Controller, PIC16F877A, Engineering and Education.*