

ESCOLA SUPERIOR ABERTA DO BRASIL – ESAB

ACELERÔMETRO WIRELESS DE TRÊS EIXOS

Pedro Luis Antonelli – Pós-Graduando em Telecomunicações na Escola Superior Aberta do Brasil - ESAB

Hudson Ramos- Mestre em Engenharia de Software - UFES

RESUMO

O uso de sistemas microcontrolados permite a obtenção de variáveis físicas importantes para o estudo do movimento dos corpos. Nos sistemas destinados a monitoração do movimento de pessoas, especialmente em atividades físicas relacionadas ao esporte ou a reabilitação de pacientes, o uso de sensores sem fio traz inúmeras vantagens. O uso da nanotecnologia permite a construção de sensores de aceleração de baixo custo e tamanho, facilmente utilizáveis. Este trabalho apresenta um sistema de aquisição de dados sem fio, capaz de fornecer os valores de aceleração de um corpo nos três eixos, que poderá ser utilizado como plataforma inicial para estudos de movimentos complexos, em especial aos realizados em atividades como Educação Física, Fisioterapia e demais áreas afins.

Palavras-Chaves: Acelerômetro. Wireless. Arduíno.

1 Introdução

A utilização da tecnologia no estudo do movimento humana já é uma realidade, com vários trabalhos utilizam sensores eletrônicos, seja para a monitoração de pacientes suscetíveis a quedas (OLIVEIRA et. al,2013), seja para a avaliação da atividade física em idosos (Gonzaga, 2013) ou para a construção de Redes de Sensores Aplicados à Fisioterapia utilizando equipamentos comerciais (POLIZEL et al, 2011). A grande maioria desses trabalhos utilizam sensores, ou redes de sensores, que são adquiridos prontos, cujo acesso não é muito grande, devido ao custo do sistema e de sua disponibilidade.

Este trabalho apresenta o projeto e desenvolvimento de um sistema de aquisição de dados sem fio de baixo custo, onde as variáveis adquiridas são as componentes da aceleração de um corpo no espaço tridimensionais.

Como objetivo secundário disponibilizar para estudos na área do movimento, um hardware simples e de baixo custo, que possa ser utilizado como elemento sensor em pesquisas, principalmente nas áreas das ciências biológicas, tais como a Educação Física, Fisioterapia e áreas afins, fazendo uma ponte entre os trabalhos relacionados à transmissão de dados sem fio e às áreas citadas acima.

Ao longo do trabalho é apresentada a tecnologia envolvida na construção do protótipo, bem como os testes realizados no mesmo.

2 Fundamentação Teórica

Para que seja possível a captação dos movimentos de um corpo é necessário de um sensor que seja construído especificamente para esse fim. No caso da aceleração, o elemento utilizado é conhecido como Acelerômetro.

A aceleração é uma das grandezas físicas que podem ser medidas facilmente e pode revelar informações sobre o comportamento dos corpos. Ela pode ser entendida como a variação da velocidade de um corpo em função do tempo, conforme a equação 1:

$$\bar{a} = \frac{v_{final} - v_{inicial}}{t_{final} - t_{inicial}} = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (1)$$

Equação 1: Definição de aceleração de um corpo
Fonte: HALLIDAY et al (2012)

A unidade da aceleração segundo o Sistema Internacional de Medidas (SI) apropriada para a medida da aceleração é o metro por segundo ao quadrado (m/s²), mas apesar de não fazer parte SI, a unidade g que significa a aceleração da gravidade local (no caso 9,788 m/s²) e amplamente utilizada por fabricantes e especialistas da área para indicar níveis de aceleração (HALLIDAY et al, 2012).

Os acelerômetros conseguem medir a aceleração de forma indireta, através de seja, uma massa, dentro do acelerômetro, quando este e acelerado fica submetida a uma força inercial que pode então ser medida (Junior, 2010).

Nos últimos anos a utilização de Sistemas Micro-eleto-mecânicos ou MEMS (Micro-Electro-Mechanical System) proporcionou a construção de sistemas miniaturizados que proporcionou a utilização dos acelerômetros em diversos equipamentos de consumo, tais como celulares e similares (CALACHE, 2013).

2.1 Acelerômetros Capacitivos

Um dos tipos de acelerômetros que podem ser construídos com a tecnologia MEMS é o do tipo capacitivo (figura 1). Nele a massa de prova fica localizada entre duas placas paralelas formando assim dois capacitores. A aceleração pode então ser medida de acordo com a capacitância entre as placas que varia com a posição da massa de prova que faz o papel da placa central (CALACHE, 2013).

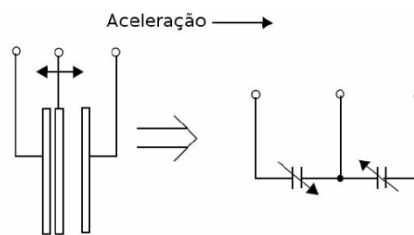


Figura 1 Modelo simplificado de um acelerômetro capacitivo
Fonte: FREESCALE (2008)

O acelerômetro utilizado no projeto foi o módulo MMA7361L e trata-se de um acelerômetro capacitivo com tecnologia de construção MEMS (Micro-Electro-Mechanical System).

O módulo é fabricado pela empresa Freescale é composto de um acelerômetro de três eixos com saída analógica, circuitos de controle e condicionamento de sinais, não necessitando de muitos componentes externos, o que torna o seu uso muito simples. (FREESCALE, 2008)

A figura 2 mostra o diagrama funcional em blocos simplificado do acelerômetro MMA7361L

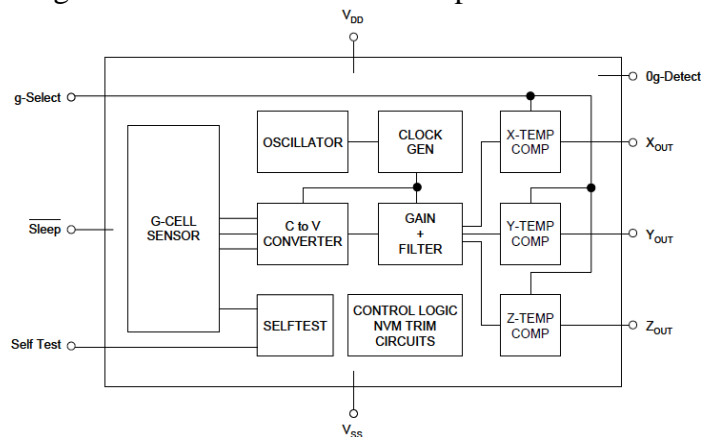


Figura 2 Diagrama funcional do acelerômetro MMA7361L
Fonte: FREESCALE (2008)

Segundo (FREESCALE,2008), temos como principais características do acelerômetro MMA7361L pode-se citar:

- Duas faixas de medição seleccionáveis ($\pm 1,5 \text{ g}$, $\pm 6\text{g}$);
- Baixo consumo de corrente (em torno de 400 mA);
- Baixíssimo consumo em modo de suspensão (em torno de 3 mA);
- Baixa tensão de operação (entre 2,2 V a 3,6 V);
- Alta sensibilidade (800 mV / g a 1,5 g);
- Rápido tempo de resposta (em torno de 0,5 ms);
- Auto teste para detectar o diagnóstico de queda livre;
- Detecção de queda livre.

Segundo o fabricante (FREESCALE, 2008), apenas 4 capacitores são necessários externamente para que o acelerômetro MMA7361L seja utilizado.

Na figura 3 temos o circuito de trabalho recomendado (FREESCALE, 2008)

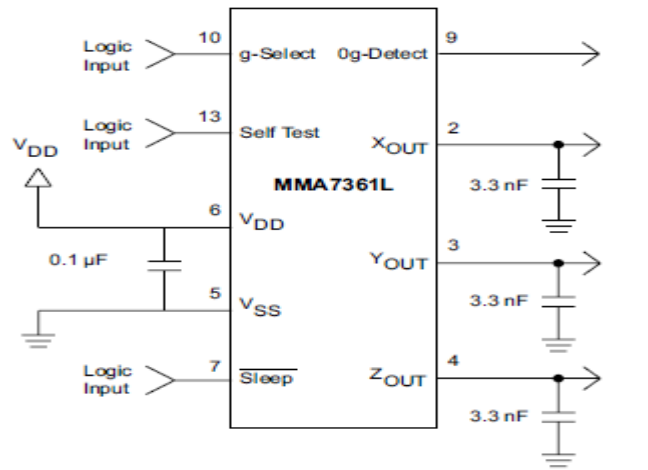


Figura 3- Circuito para utilização do acelerômetro MMA7361L
 Fonte: FREESCALE (2008)

O acelerômetro MMA7361L é facilmente conectado a microcontroladores, e o fabricante sugere o seguinte circuito de interfaceamento (figura 4);

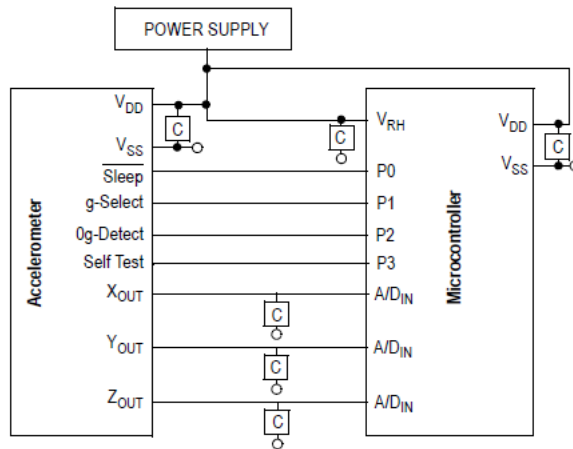


Figura 4- Circuito de interface com microcontroladores
 Fonte: FREESCALE (2008)

2.2 - Microcontrolador

Para que os dados analógicos vindos do acelerômetro possam ser lidos e manipulados é necessário um elemento processador. Como o projeto tinha como objetivo uma montagem compacta e de baixo custo utilizou-se um microcontrolador para essa tarefa (FREESCALE, 2008).

Um microcontrolador pode ser entendido como um microprocessador de um único chip, que possui todos os circuitos auxiliares para que possa ser utilizado principalmente em aplicações de automação e controle (FERREIRA, 2010).

A princípio qualquer microcontrolador disponível no mercado atenderia as necessidades do projeto, visto que o volume de dados a serem processados é pequeno. Após pesquisas que envolveram principalmente os quesitos custo e disponibilidade a escolha recaiu sobre o microcontrolador ATmega328 (figura 5) fabricado pela Atmel (ATMEL, 2013).

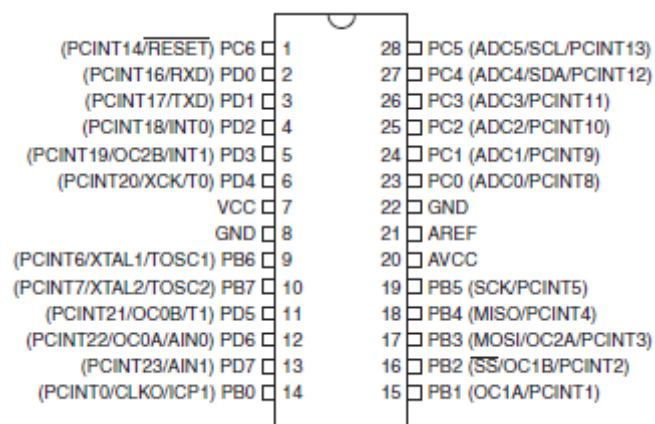


Figura 5- Microcontrolador ATmega328
Fonte: Atmel (2013)

O ATmega328 é um microcontrolador 8 bits de baixa potencia que foi desenvolvido pela empresa ATMEL para aplicações embarcadas de controle e automação.

Este microcontrolador faz parte de uma família de microcontroladores denominada ATmel AVR (*ATmel Advance Virtual RISC*), que se caracteriza por possuir um conjunto reduzido de instruções. Essa família é composta por vários elementos que se diferem basicamente na capacidade de memória e número de periféricos disponíveis.

Para que um microcontrolador possa ser utilizado é necessário um mínimo de componentes:

- Fonte de alimentação;
- Circuito de clock;
- Circuito de reset;

- Interfaces de entrada e saída;
- Circuito gravador para o microcontrolador;
- Compilador “C” ou de outra linguagem.

Após algumas pesquisas optou-se pela utilização da plataforma de desenvolvimento Arduíno por conter não apenas um microcontrolador da família AVR ATmega como também vários circuitos auxiliares que facilitariam a montagem do protótipo, inclusive a facilidade de transferir o programa desenvolvido diretamente através de uma interface USB (Atmel,2013).

A placa de desenvolvimento Arduíno pode ser entendida como uma extensão do próprio microcontrolador ATmega (ARDUINO, 2014), como visto na figura 6:

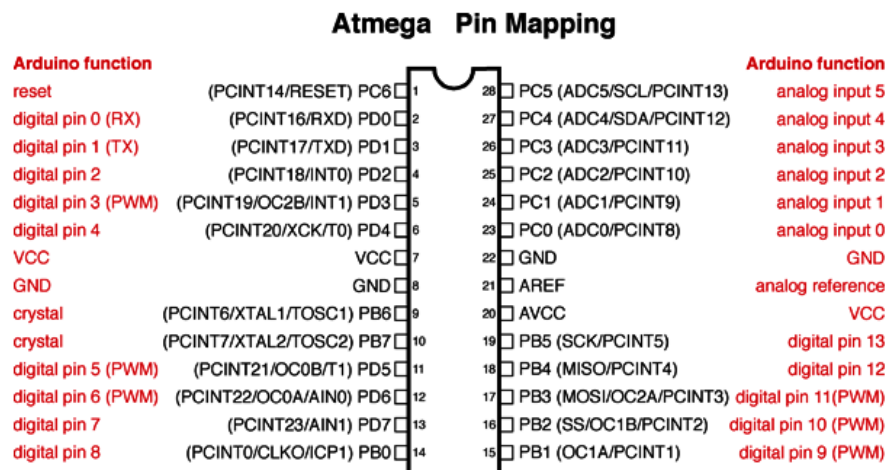


Figura 6 - Comparação ATmega328 x placa Arduíno
Fonte: Atmel (2013)

2.2.1 – Microcontrolador Arduíno

O primeiro Arduíno foi criado em 2005 no instituto de Interatividade e Design, a partir de uma ideia dos professores de Computação Física David Cuartielles e Massimo Banzi. O objetivo foi criar uma plataforma de desenvolvimento que englobasse o hardware e software necessários para o desenvolvimento de projetos de automações que pudessem ser desenvolvidos de forma simples, barata e utilizável por não especialistas na área (SILVEIRA, 2011).

Todo o projeto Arduíno foi concebido segundo o princípio do open source, que simplificando significa a liberdade de copiar, utilizar e modificar livremente os componentes de hardware e software sem a necessidade de permissões ou licenças prévias (ARDUINO, 2014).

Para a execução dos testes foram adquiridos 2 modelos de Arduinos: Arduíno Uno e o Arduíno Nano, todos baseados no mesmo microcontrolador, o ATmega328 (ARDUINO, 2014).

2.2.2 –Arduíno Uno

O Arduíno Uno Rev.3 (figura 7) é uma placa de desenvolvimento baseado no microcontrolador ATmega328 (ARDUINO, 2014) .



Figura 7 - Arduíno Uno Rev3
Fonte: Arduíno (2014)

O sistema possui toda a infraestrutura necessária para a utilização do microcontrolador ATmega328,; bastando conectá-lo a um computador com um cabo USB ou ligá-lo com um adaptador AC para DC ou bateria para começar.

Principais Características (Atmel, 2013):

- Microcontrolador ATmega328
- Tensão de funcionamento de 5V
- Entradas e Saídas digitais: 14
- Entradas analógicas: 6
- Memória Flash: 32 KBytes;
- Memória SRAM 2 KBytes
- Memória EEPROM: 1 KBytes
- Velocidade do relógio (clock) de 16 MHz

- Interfaces para comunicação nos padrões SPI e I2C
- Dimensões: 5,6 x 6,8 cm

O Arduíno Uno é utilizado no projeto na unidade de recepção de dados, fazendo a interface entre o Módulo Receptor e o computador pessoal (FREESCALE, 2008).

2.2.3 – Arduíno Nano

O Arduino Nano (figura 8) é uma placa de desenvolvimento baseado no microcontrolador ATmega328 e foi inicialmente desenvolvido pela empresa Gravitech. (ARDUINO, 2014) .

A principal diferença entre o Arduino Nano e o Uno é seu tamanho (1,85 x 4,3 cm). Nele é utilizado um mini conector USB e componentes SMD para a redução do seu tamanho e peso e devido a essas características, foi utilizado no módulo remoto.



Figura 8 - Arduino Nano Rev3
Fonte: Arduino(2014)

2.3 Módulo Transceptor

Um transceptor é um dispositivo que combina num mesmo equipamento um transmissor e um receptor, baseando-se no fato que os dois equipamentos possuem componentes e circuitos em comum, resultando num módulo compacto e de fácil utilização.

O módulo transceptor RF (rádio frequência) utilizado no projeto é baseado no no chip NRF24L01 fabricado pela empresa Nordic (NORDIC, 2008) e trabalha na frequência de 2.4 Ghz, faixa de frequência conhecida como ISM (Industrial, Scientific and Medical) , e destinada a equipamentos sem fio para essas aplicações.

O chip Nordic nRF24L01 (figura 9) é um circuito altamente integrado, oque facilita em muito a sua utilização em projetos de transmissão de dados a baixo custo (NORDIC, 2008).

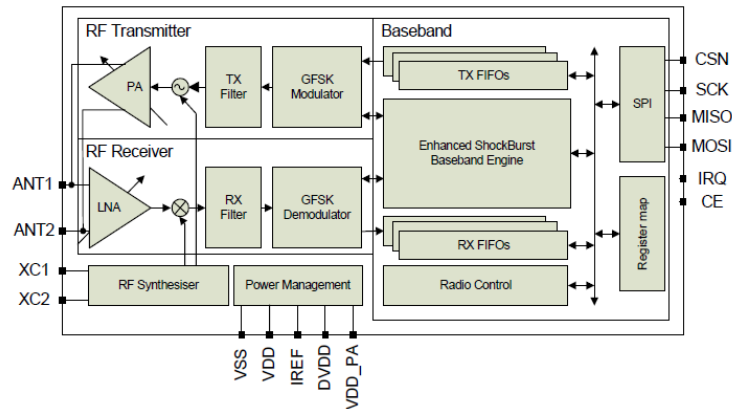


Figura 9 - Diagrama em blocos do chip nRF24L01
 Fonte: NORDIC (2008)

No projeto foram utilizados dois módulos transceptores (um no transmissor e outro no receptor) baseados no chip nRF24L01 que pode ser visto na figura 10.

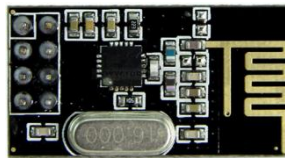


Figura 10- Módulo Transceptor nRF24L01
 Fonte: NORDIC (2008)

3- Desenvolvimento do protótipo

O projeto é constituído de dois módulos, sendo um Remoto e outro Local.

O Módulo Remoto (figura 11) é composto pelo microcontrolador Arduíno Nano, responsável por ler as informações de vindas do acelerômetro (no formato analógico), convertê-las para dados digitais e entregar ao módulo transceptor que os envia via ondas eletromagnéticas.

A alimentação do módulo remoto é fornecida por 3 baterias de 3V- 220mAh, ligadas em série, totalizando 9V, que é aplicado ao pino Vin do Arduíno Nano.

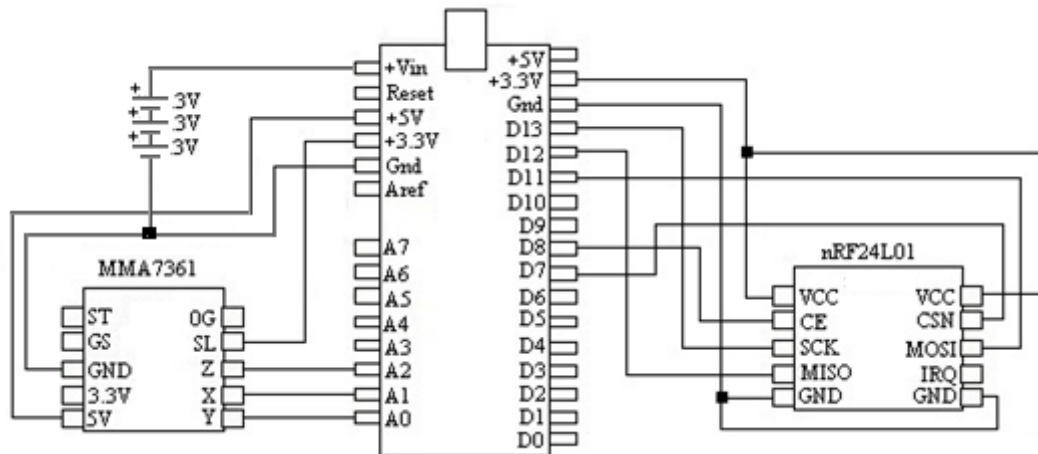


Figura 11- Módulo Remoto
 Fonte: Elaboração Própria (2014)

O Módulo Remoto foi construído tendo por base a placa do Arduino Nano. Sobre ela foi soldada a placa do módulo do acelerômetro MMA7361 e do módulo transceptor nRF24L0, tendo suas ligações feitas conforme mostrado na figura 11. A alimentação foi feita através de três baterias de 3V- 220mAh.

O Módulo Local (figura 12) é composto pelo microcontrolador Arduino Uno, responsável por receber as informações captadas pelo módulo transceptor e enviá-las via interface USB para o PC, onde podem ser processadas, exibidas e submetidas a algoritmos que extraiam as informações desejadas. A alimentação do módulo local é provida pela conexão USB do PC.

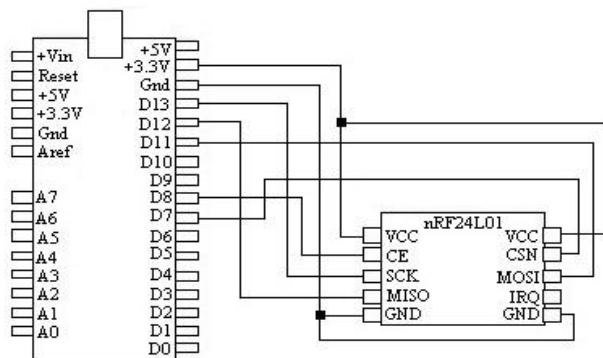


Figura 12 - Módulo Local
 Fonte: Elaboração Própria (2014)

O Módulo Local foi construído tendo por base a placa do Arduino Uno. Como essa placa foi desenvolvida pensando-se em facilitar a conexão do mesmo com outros módulos, ela já

possui conectores que facilitam a interligação dos pinos do módulo transceptor nRF24L01, que foi feita segundo a figura 12. .

4 – Desenvolvimento do Software

Os programas, tanto para o módulo remoto quanto para o módulo local foram desenvolvidos utilizando o Ambiente de Desenvolvimento (IDE) distribuído gratuitamente no site oficial do projeto Arduino. (ARDUINO, 2014). A versão utilizada foi a 1.0.5. Esse ambiente fornece todo o suporte necessário para a compilação e transferência do programa desenvolvido para o microcontrolador Atmega328 da placa dos Arduínos utilizados.

Para a utilização dos módulos transceptores foi utilizada a biblioteca RF42.h desenvolvida por J. Coliz, que é de código aberto, disponível na internet e desenvolvida para facilitar a comunicação entre o microcontrolador e o módulo.

4.1 – Software do Módulo Remoto

O software do módulo remoto é responsável pela aquisição dos valores das componentes X, Y e Z do acelerômetro (lidos no formato analógico), converter em valores digitais e enviá-los ao módulo transceptor. Na fase de testes, optou-se por não enviar todos os valores lidos do acelerômetro e sim a média dos valores lidos, afim de evitar uma taxa muito alta de transmissão e o envio de valores muito dispersos.

O fluxograma do programa gravado no microcontrolador do Módulo Remoto pode ser visto na figura 13;

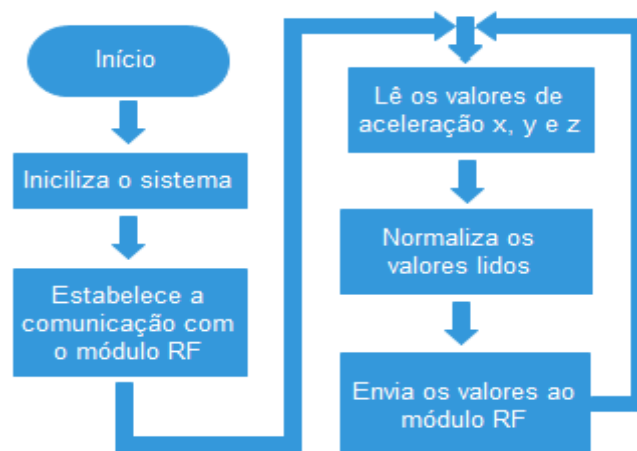


Figura 13 – Fluxograma - Módulo Remoto
Fonte: Elaboração Própria (2014)

4.2 – Software do Módulo Local

O software do módulo local é responsável por receber, via módulo RF, os valores de aceleração das componentes X, Y e Z enviadas pelo Módulo remoto, e sua retransmissão ao microcomputador, onde pode ser visualizado e posteriormente arquivado e analisado.

O fluxograma do programa gravado no microcontrolador do Módulo Local pode ser visto na figura 14;

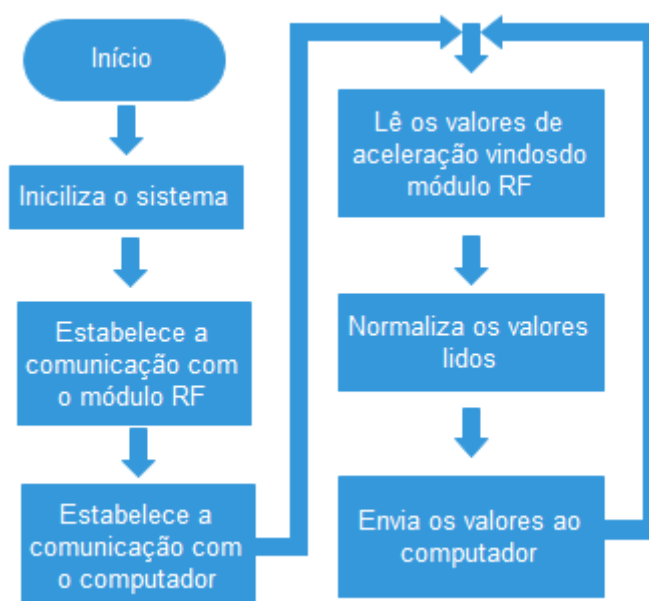


Figura 14 – Fluxograma - Módulo Local
Fonte: Elaboração Própria (2014)

5- Testes de funcionamento

O próprio ambiente de desenvolvimento da plataforma Arduino dispõem de uma ferramenta para a visualização de dados recebidos pela interface serial, chamada de “Serial Monitor”, e com o auxílio de um pequeno programa de testes, podemos visualizar os valores lidos, referentes aos eixos X, Y e Z vindos do acelerômetro.

Como a taxa de leitura do acelerômetro é muito alta (da ordem 0,5 de milissegundo), para estabilizar a leitura na fase de testes, optou-se por realizar uma coleta de 50 valores de

aceleração nos três eixos, e a média desses valores enviados ao transceptor. O valor da média das 50 medidas que é recebida pelo módulo local e apresentado no monitor serial.

Um exemplo das leituras efetuadas pelo módulo remoto e recebidas pelo módulo local pode ser visto na figura 15:

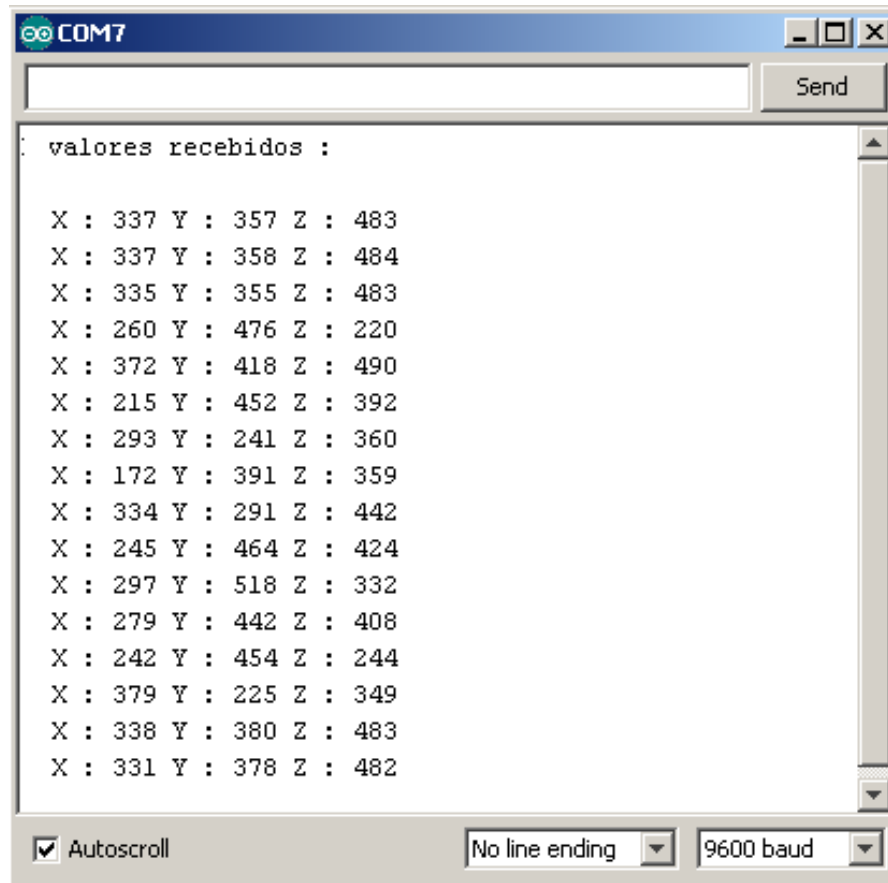


Figura 15 – Valores recebidos no PC
Fonte: Elaboração Própria(2014)

5- Conclusão:

O objetivo geral do projeto era a construção de um módulo de aquisição dos valores da aceleração de um corpo, sem a inconveniência dos sistemas tradicionais com fios, objetivo esse que foi alcançado de forma satisfatória, visto o baixo custo, facilidade de montagem e utilização do protótipo.

Após vários testes realizados com o sistema, ficou claro que o mesmo é funcional e pode ser utilizado como sensor em diversos experimentos que envolvam a coleta dos valores de aceleração de corpos em movimento, em especial os experimentos onde a utilização de fios compromete a liberdade dos movimentos.

Como melhoria futura, a próxima etapa é miniaturizar o módulo remoto para que o mesmo possa ser utilizado sem ser percebido pelo usuário, a elaboração de um software que analise os valores da aceleração, bem como a utilização de vários módulos remotos, formando uma rede de sensores de aceleração sem fio.

Referências:

ARDUINO, **Arduino**. Disponível em <<http://arduino.cc/.Arduino>> Acesso em: 10 de Março de 2014. -

ATMEL, **Atmel VR-Microcontroller**. Disponível em <http://www.atmel.com/pt/br/Images/Atmel-8271-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega48A-48PA-88A-88PA-168A-168PA-328-328P_datasheet_Summary.pdf> Acesso em 12 de março de 2014.

___: ATMEL, **Mcus Mega Avr** . Disponível em <<http://www.atmel.com/pt/br/devices/ATMEGA328P.aspx>>. Acesso em: 10 de março de 2014. -

___: ATMEL **Microcontroladores Atmel Avr**. Disponível em <<http://www.atmel.com/pt/br/products/microcontrollers/avr/default.aspx>>. Acesso em: 10 de maio de 2014.

BALL, BRENNEN. **Diy Embedded** . Disponível em <http://www.cs.mun.ca/~paul/cs4723/material/nordic/nRF24L01_Tutorial_1.pdf> Acesso em 12 de maio de 2014.

CALACHE, DANILO C. Caracterização de um Acelerômetro Baseado em Sistemas Inerciais. Disponível em

< <http://www.lee.eng.uerj.br/~jpaulo/PG/2013/PG-Acelerometro-MEMS-2013.pdf> > Acesso em: 15 maio de 2014.

FERREIRA, FÁBIO. Microcontrolador PIC18 Detalhado - São Paulo : Érica Ltda, 2010.

FREESCALE, Data Sheet MMA7631. Disponível em:

<http://cache.freescale.com/files/sensors/doc/data_sheet/MMA7361LC.pdf> Acesso em: 5 de março de 2014.

GONZAGA, CATARINA F.: Análise das diferenças entre a utilização de acelerômetros no pulso e na cintura de idosos. Disponível em < <http://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/70042/2/3756.pdf> > Acesso em: 5 de maio de 2014.

HALLIDAY, DAVID; RESNICK, ROBERT; WALTER, JEARL. Fundamentos da Física 1- Mecânica - São Paulo : Ltc, 2012. - 9ª : Vol. 1.

NORDIC, nRF24L01 – Single Chip 2.4GHz Transceiver. Disponível em:

<http://www.nordicsemi.com/eng/content/download/2726/34069/file/nRF24L01P_Product_Specification_1_0.pdf> Acesso em: 15 de maio de 2014. -

OLIVEIRA, JOAO P.D.; ABE, KAYA S.; FORNECK, LEANDRO

V.S.; OLIVEIRA, MATHEUS R. Sistema De Monitoramento De Quedas Para Pessoas - Disponível em <

http://www.dainf.ct.utfpr.edu.br/~fabro/IF66J/Relatorios_Finais/2012_2/SistemaMonitordeQuedas/MonografiaFinal_Sistema_Monitor_Quedas_2012_2.pdf > Acesso em 10 de maio 2014

POLIZEL, ARTUR S; WADA, EDUARDO D.; ALVES, RENAN A.C. Redes de Sensores Sem fio Aplicados a Fisioterapia. Disponível em <

<http://www.larc.usp.br/~cbmargi/flexmeter/docs/monografia-final.pdf> > Acesso em 18 de maio de 2014.

SILVEIRA, JOÃO A. Experimentos com o Arduino - São Paulo : Ensino Profissional, 2011.