

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DAELE - DEPARTAMENTO DE ELETRÔNICA
TECNOLOGIA EM AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL**

LEONARDO DELL ANHOL

**SISTEMA DE MONITORAMENTO DE PACIENTES COM ALZHEIMER
DURANTE O SONO ATRAVÉS DE ACELERÔMETRO E SENSOR
PIEZOELETRICO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PONTA GROSSA

2016

LEONARDO DELL ANHOL

**SISTEMA DE MONITORAMENTO DE PACIENTES COM ALZHEIMER
DURANTE O SONO ATRAVÉS DE ACELERÔMETRO E SENSOR
PIEZOELETRICO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Tecnólogo em Automação Industrial, do Departamento de Eletrônica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Prof. Jeferson José Lima, MSc.

PONTA GROSSA

2016



FOLHA DE APROVAÇÃO

SISTEMA DE MONITORAMENTO DE PACIENTES COM ALZHEIMER DURANTE O SONO ATRAVÉS DE ACELERÔMETRO E SENSOR PIEZOELETRICO

Desenvolvido por:

LEONARDO DELL ANHOL

Este trabalho de conclusão de curso foi apresentado em 18 de NOVEMBRO de 2016, como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Automação Industrial. O candidato foi arguido pela banca examinadora composta pelos professores abaixo assinado. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Msc. Jeferson José Lima
Professor Orientador

Msc. Julio Cesar Guimarães
Membro titular

Msc. Eduardo Moletta
Membro titular

Dedico este trabalho primeiramente a
Deus, por ser essencial em minha
vida, autor de meu destino, meu guia,
socorro presente na hora da angústia
e a minha família

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus que permitiu que tudo isso acontecesse, ao longo de minha vida, e não somente nestes anos como universitário, mas que em todos os momentos é o maior mestre que alguém pode conhecer. Aos meus pais, pelo amor, incentivo e apoio incondicional. A Universidade Tecnológica Federal do Paraná, pela oportunidade de fazer o curso. Ao professor Jeferson José Lima, pela orientação, apoio e confiança.

Exemplo: “A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas pensar o que ninguém ainda pensou sobre aquilo que todo mundo vê” (SCHOPENHAUER, Arthur 1957)

RESUMO

ANHOL, Leonardo Dell. **SISTEMA DE MONITORAMENTO DE PACIENTES COM ALZHEIMER DURANTE O SONO ATRAVÉS DE ACELERÔMETRO E SENSOR PIEZOELETRICO**. 2016. 49 f. Trabalho de Conclusão de Curso de Tecnologia em Automação Industrial - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2016.

O envelhecimento da população nos dias atuais, tem trazido doenças que não eram vistas antes, entre elas destaca-se o Alzheimer. O Alzheimer é uma doença classificada como um tipo de demência que afeta os neurônios, a qual causa atrofia cerebral e por consequência afeta as funções motoras do paciente. Com o avanço das fases da doença a presença de cuidadores se torna constante. Para o auxílio dos cuidadores e garantia da segurança do paciente, um sistema de monitoramento com cristal piezoelétrico e acelerômetro é projetado e testado para verificar possíveis agitações do paciente durante a noite, alertando o cuidador caso o mesmo venha dormir. O sistema é dividido em dois circuitos, um circuito com cristal piezoelétrico para monitorar a pressão do paciente caso ele venha pisar no chão, o qual utiliza um amplificador operacional para aumentar o sinal de saída do sensor que é relativamente baixo em relação a baixa pressão que é exercida sobre ele. O circuito detecta a pressão exercida sobre ele, quando o paciente levantar e tocar a superfície lateral da cama, um sinal é enviado pelo amplificador ao controlador de plataforma Arduino, que por sua vez aciona o alerta do cuidador. Para monitorar os movimentos, o circuito com acelerômetro detecta movimentos nos três eixos cartesianos, qualquer oscilação de movimento em relação ao acelerômetro é representada em gráficos. Os sinais detectados pelo acelerômetro são convertidos do domínio do tempo para o da frequência com a Transformada Rápida de Fourier. São filtrados pelo filtro Butterworth, em uma faixa de frequência de 5 a 15Hz que é a faixa de movimento desejada para o trabalho. Por fim utiliza o valor eficaz do sinal, que é a intensidade em que esse movimento é realizado. Quando o valor eficaz nas faixas de 5 a 15Hz excede o limite, um sinal de alerta é enviado ao controlador, que por sua vez alerta o cuidador. Os sinais detectados dos componentes, mostram que o sistema é capaz de atuar no monitoramento de pacientes de Alzheimer no período da noite. Os sinais do acelerômetro funcionam dentro do limite de frequência, atenuando-se os sinais que estão a abaixo e acima da faixa de detecção. Assim monitorando somente a faixa de frequência desejada.

Palavras-chave: Alzheimer 1. Piezoelétrico 2. Acelerômetro 3. Fourier 4. Butterworth 5.

ABSTRACT

ANHOL, Leonardo Dell. **SISTEMA DE MONITORAMENTO DE PACIENTES COM ALZHEIMER DURANTE O SONO ATRAVÉS DE ACELERÔMETRO E SENSOR PIEZOELETRICO**. 2016. 49 f. Trabalho de Conclusão de Curso de Tecnologia em Automação Industrial - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2016.

The aging of the population today, has brought diseases that were not seen before, among them is Alzheimer's. Alzheimer's is a disease classified as a type of dementia that affects neurons, which causes brain atrophies and therefore affects the patient's motor functions. As the disease progresses, the presence of caregivers becomes constant. For caregiver assistance and patient safety assurance, a piezoelectric crystal and accelerometer monitoring system is designed and tested to check for possible patient shaking during the night, alerting the caregiver if the patient comes to sleep. The system is divided into two circuits, a piezoelectric crystal circuit to monitor patient pressure if it comes to step on the floor, which uses an operational amplifier to increase the sensor output signal which is relatively low in relation to the low pressure is exercised on it. The circuit detects the pressure exerted on it, as the patient picks up and touches the side surface of the bed, a signal is sent by the amplifier to the Arduino platform controller, which in turn triggers the caregiver's alert. To monitor the movements, the accelerometer circuit detects movements on the three Cartesian axes, any movement oscillation in relation to the accelerometer is represented in graphs. The signals detected by the accelerometer are converted from the time domain to the frequency domain with the Fast Fourier Transform. They are filtered by the Butterworth filter, in a frequency range of 5 to 15Hz which is the range of motion desired for the job. Finally, it uses the effective value of the signal, which is the intensity at which this movement is performed. When the effective value in the 5 to 15Hz ranges exceeds the threshold, an alert signal is sent to the controller, which in turn alerts the caregiver. The detected signals of the components show that the system is capable of monitoring Alzheimer's patients in the evening. The accelerometer signals operate within the frequency range, attenuating the signals that are below and above the detection range. Thus monitoring only the desired frequency range.

Keywords: Alzheimer 1. piezoelectric 2. accelerometer 3. Fourier 4. Butterworth 5.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Pirâmide etária da população brasileira no ano de 2000	14
Figura 2 - Pirâmide etária da população brasileira no ano de 2010	15
Figura 3 - Pirâmide etária do Brasil através dos anos.....	15
Figura 4 - Cérebro normal e com Alzheimer.....	17
Figura 5 - Cérebro normal e com Alzheimer.....	17
Figura 6 - Sensores Piezo	21
Figura 7 - Funcionamento da piezoeletricidade.....	22
Figura 8 - Amplificador LM741	23
Figura 9 - Gráfico de movimentos na cama.....	24
Figura 10 - Circuito Piezo	25
Figura 11 - Arduíno Nano	26
Figura 12 - Protótipo do circuito piezo.....	26
Figura 13 - Sensores Nos Pés da Cama.....	27
Figura 14 - Gráficos de amostragem de testes antes do Interpolo e de remover a média principal	28
Figura 15 - Gráficos de amostragem de testes depois.....	28
Figura 16 - 3 eixos (X, Y e Z)	29
Figura 17 - Acelerômetro ADXL345	29
Figura 18 - Mestre e Escravo (DAS – SCL).....	30
Figura 19 - Conexões ADXL e Arduíno (Protocolo I2C)	31
Figura 20 - Gráfico com senoides e impulsos	31
Figura 21 - Gráficos no domínio do tempo e da frequência	33
Figura 22 - Decaimento da amplitude	34
Figura 23 - As ordens do filtro Butterworth	35
Figura 24 - Gráficos com valor RMS	36
Figura 25 - Testes em laboratório ADXL345	38
Figura 26 - Testes na lateral da cama ADXL345.....	38
Figura 27 - Gráficos nos eixos X, Y e Z, sem transformação	39
Figura 28 - Sinal do eixo Z após FFT	40
Figura 29 - Sinal após FFT e Filtro Butterworth.....	40
Figura 30 - Sinal RMS com limite de alerta	41
Figura 31 - Desenho representando o sistema de monitoramento.....	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Pinos do amplificador operacional.....	23
Tabela 2 - Tabela com pinos do acelerômetro ADXL345.....	30

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Equação amplificador operacional comparador	24
Equação 2- DTFT	32
Equação 3 - DFT	32

LISTA DE SIGLAS

DA	Doença de Alzheimer
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
PNI	Política Nacional do Idoso
CA	Corrente Alternada
Hz	Hertz
dB	Decibéis

LISTA DE ACRÔNIMOS

FFT	Fast Fourier Transform
DFT	Discrete Fourier Transform

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 OBJETIVOS.....	13
1.1.1 GERAL.....	13
1.1.2 ESPECÍFICO	13
1.2 JUSTIFICATIVA.....	13
2 UM QUADRO DO MUNDO ATUAL	14
2.1 ALZHEIMER E QUEM ELE ATINGE	16
2.1.1 Fases do Alzheimer	18
2.1.1.1 Fase Inicial.....	18
2.1.1.2 Fase Intermediária	18
2.1.1.3 Fase Final	19
2.2 CUIDADOS E CUIDADORES.....	19
3 PASTILHA PIEZOELÉTRICA	20
3.1 CARACTERÍSTICAS	21
3.1.1 PIEZOELETRICIDADE FUNCIONALIDADE E APLICAÇÕES	21
3.2 AMPLIFICADOR OPERACIONAL LM741	22
3.2.1 ESPECIFICAÇÕES	23
3.3 PROTÓTIPO DO DISPOSITIVO.....	24
3.4 CIRCUITO COM SENSOR PIEZOELÉTRICO.....	25
3.5 FUNCIONAMENTO DO CIRCUITO.....	25
3.5.1 PROTÓTIPO DO CIRCUITO PIEZO	26
4 DETECÇÃO DE MOVIMENTOS	27
5 CIRCUITO COM ACELERÔMETRO	29
5.1 ACELERÔMETRO.....	29
5.1.1 PROTOCOLO I2C	30
5.1.2 LEITURA E PROCESSAMENTO DO SINAL.....	31
5.1.3 Transformadas de Fourier	32
5.1.4 Filtro Butterworth.....	33
5.1.5 SINAL RMS.....	35
5.2 SINALIZAÇÃO DO DISPOSITIVO	36
6 PADRÕES PARA MONITORAMENTO	37
7 COLETA DE DADOS DOS SENSORES	38
7.1 SINAIS DETECTADOS E TRATADOS ACELERÔMETRO	38
8 SISTEMA DE MONITORAMENTO IMPLEMENTADO	42
9 CONCLUSÕES	43
REFERÊNCIAS	45

1 INTRODUÇÃO

Com a melhoria da qualidade de vida, a expectativa de vida global se tornou maior. “O fenômeno do envelhecimento populacional tem sido observado em todo o mundo e constatado, não somente pelas produções das comunidades científicas, mas também começa a fazer parte da concepção do senso comum” LUZARDO (2006. p. 2)

Com o envelhecimento da população tem se notado uma doença em especial, o mal de Alzheimer. A Doença de Alzheimer é um dos principais tipos de demência. “É uma doença degenerativa e progressiva, geradora de múltiplas demandas e altos custos financeiros” LUZARDO (2006. p.2). Por ser uma doença que gera altos custos, é comum os cuidados das pessoas com Alzheimer, ocorrer no próprio domicílio. Esses cuidados são na maioria das vezes feitos por cuidadores informais, que precisam ter total atenção para com os pacientes.

Cuidadores de pacientes de Alzheimer vem sofrendo um alto grau de stress devido ao zelo que precisam ter com seus pacientes. Em relação Horiguchi (2010) onde em seu trabalho foi feito um levantamento de dados sobre cuidadores informais, abrangeram 10 brasileiros e 10 nipo-brasileiros. Teve-se como resultado que, “75% dos cuidadores informais apresentavam stress” e também se constatou que há “um alto nível de fracasso em qualidade de vida na área da saúde, revelando que está se encontra profundamente afetada”.

Um problema comum com pacientes de Alzheimer é a desorientação. O paciente perde a noção de onde está e do que faz. Com a desorientação, se torna comum o paciente no meio da noite se levantar da cama e sair caminhando pensando que está em outro lugar e em outro horário, correndo riscos de sofrer acidentes, ou o risco de se perder caso consiga sair da residência.

A medida em que a doença avança alguns sintomas começam a se desenvolver, um desses sintomas é a convulsão e a perda de controle dos movimentos do corpo. As convulsões se tornam mais frequentes, conseqüentemente o cuidador precisa passar mais tempo ao lado do paciente, passar à noite acordado para acompanhá-lo, elevando ainda mais o grau de stress em seu trabalho. Além desse sintoma citado, há também a perda da memória recente, que no caso é a manifestação mais conhecida dessa demência.

Para auxiliar a tarefa dos cuidadores, melhorar a qualidade do seu trabalho e garantir a segurança do paciente durante a noite, um sistema é projetado com sensores para monitorar o paciente.

Sensores piezoelétricos e um acelerômetro, compõe o sistema, fazendo o monitoramento do paciente durante o período crítico em que o sistema estiver acionado.

O cristal piezo atua para a detecção de pressão, caso o paciente se levante. O sinal gerado pelo piezo é baixo devido à pressão exercida sobre ele ser baixa, para aumentar esse sinal é utilizado um amplificador operacional que faz a diferença dos sinais das entradas e multiplica pela alimentação do circuito.

A detecção de movimentos na cama é realizada pelo acelerômetro. As diferenças de movimento em relação a qualquer eixo, é detectada e representada em gráficos nos três eixos "X, Y e Z". Para trabalhar com esse sinal é necessário realizar a transformação dos sinais com a Transformada Rápida de Fourier. A transformada converte o gráfico na função do tempo para a função da frequência, essa conversão possibilita a análise dos sinais, e identifica qual a faixa de frequência em que ocorre maior movimentos na cama.

O limite inferior e superior é pré-definido nos valores entre 5 e 15Hz. Os movimentos do corpo humano na cama variam de 0 a 20Hz, podendo estar estático ou em elevada oscilação de movimento. Para delimitar a faixa de frequência o filtro Butterworth de quinta ordem é utilizado. Dois filtros em série são utilizados, um delimitando o limite superior e outro o inferior. Com o sinal delimitado, é aplicado o valor RMS do sinal. O sinal RMS é o valor de energia gasto no momento, picos de energia isolados são atenuados, restando apenas os sinais com energia constante. O limite de alerta é definido a partir do valor RMS, se o limite for excedido na faixa de frequência entre 5 e 10Hz o sinal de alerta é acionado.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 GERAL

Desenvolver um sistema de sensoriamento para monitorar pacientes de Alzheimer no período noturno.

1.1.2 ESPECÍFICO

- Explicar o que é o Alzheimer, quem ele afeta e qual a sua consequência na sociedade;
- Explicar o que é o piezoelétrico, piezo eletricidade e como ele atua e sua aplicação no monitoramento do paciente;
- Explicar o que é o acelerômetro e aplicações;
- Aplicar a Transformada Rápida de Fourier nos sinais captados pelo acelerômetro;
- Explicar e aplicar o filtro Butterworth no sinal detectado pelo acelerômetro;
- Montar e analisar os circuitos com acelerômetro e piezo;

1.2 JUSTIFICATIVA

O que motivou a realização desse trabalho, foi a busca de um sistema automático que auxilie nas tarefas de cuidadores de pacientes de Alzheimer. Monitorando esses pacientes no período noturno, para garantir uma melhor qualidade de vida aos cuidadores e uma forma de segurança para os próprios pacientes, uma vez que o cuidador pode vir a dormir no período da noite deixando paciente sem cuidados.

Entender como é a rotina dos cuidadores de pacientes de Alzheimer e por que a rotina de trabalho com o paciente causa um elevado nível de estresse.

Outro fator que motivou a realização desse trabalho foi entender como funcionam os componentes de sensoriamento, quais são suas características, quais

são as aplicações viáveis para cada sensor e como é possível trabalhar com o sinal obtido por placa sensor.

Poder aplicar técnicas e teorias abordadas em aula (aplicar e analisar a FFT nos sinais obtidos pelo acelerômetro, aplicar o filtro Butterworth e RMS do sinal).

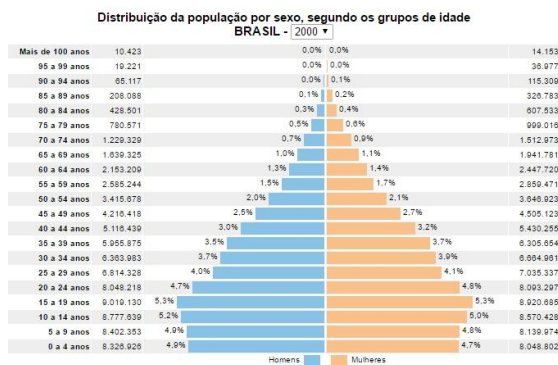
2 UM QUADRO DO MUNDO ATUAL

Desde os primórdios da civilização sempre houve a procura pela longevidade, através dos tempos nota-se que essa procura está sendo alcançada. Nunca antes na história se teve uma expectativa de vida tão elevada igual à que existe agora.

Para países desenvolvidos essa é uma realidade já vivida há algumas décadas, porém para países emergentes esse é um quadro que está se desenvolvendo, como mostra os gráficos a seguir.

“O envelhecimento populacional- situação presente no cenário mundial, vem sendo observada de forma mais substancial desde o século passado, devido ao crescimento acelerado dos idosos. Tempos atrás esse processo era observado somente em países desenvolvidos; com o passar dos anos, houve mudanças no perfil demográfico e econômico da população”. (LEMOS, GAZZOLA, RAMOS, 2006; DÉCOURT, 2006).

Figura 1. Pirâmide etária da população brasileira no ano de 2000

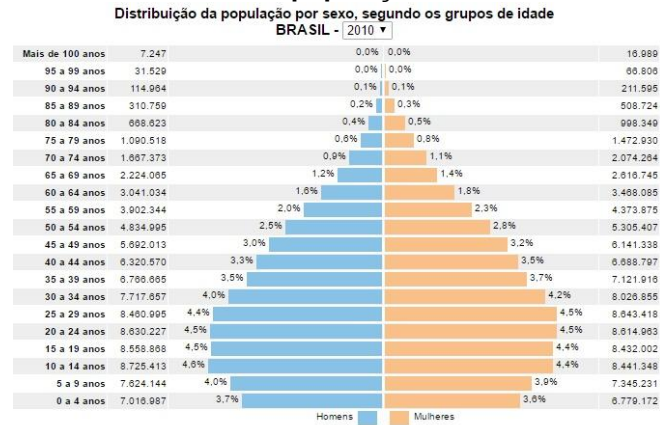


Fonte: IBGE

Analisando o gráfico da figura 1, é possível perceber que no ano 2000 o número de idosos está relativamente baixo em relação ao número de crianças,

jovens e adultos. A quantidade de idosos cresce com uma tendência de que nos próximos anos se equivalha ao número de jovens e adultos, essa tendência se dá devido à diminuição da taxa de natalidade e aumento da expectativa de vida.

Figura 2 - Pirâmide etária da população brasileira no ano de 2010



Fonte: IBGE

Em 2010 o número de o número de pessoas com idade entre 40 a 54 anos aumentou em relação ao gráfico da figura 1, essa faixa de idade é a transação da vida adulta para a vida de idosos. Levando em consideração que o número de natalidade diminuiu e a faixa de 40 a 54 anos aumentou, é possível projetar que nos anos subsequentes o número de pessoas com idade mais avançada crescerá, tornado a pirâmide mais estreita na base e mais larga na ponta.

Figura 3 - Pirâmide etária do Brasil através dos anos



Fonte. Oliveira 2004

O gráfico da figura 3 faz um levantamento do número de idosos com idade acima de 80 anos desde a década de 1980 até os dias atuais e faz uma previsão de quantas pessoas terão 80 anos ou mais na década de 2050. É possível notar que essa pirâmide diferente das figuras 1 e 2 é invertida, com a base estreita e o topo dela é bem largo, estimando que no Brasil no ano de 2050 o número de idosos chegará a aproximadamente 13 milhões. Com um número tão elevado de idosos algumas doenças que até então não eram percebidas começa a aparecer, entre elas o Alzheimer.

2.1 ALZHEIMER E QUEM ELE ATINGE

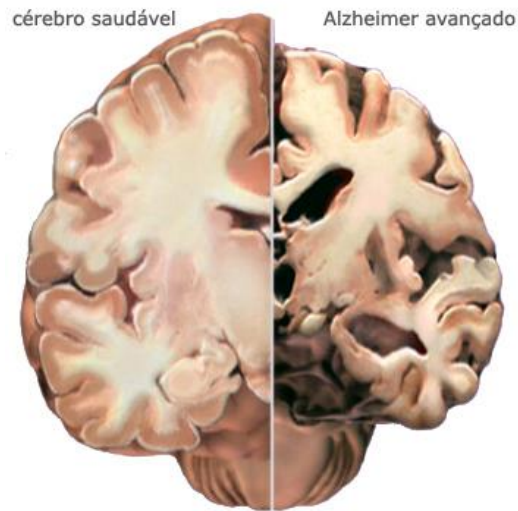
“Devido ao maior tempo de vida da população em geral, tem-se observado um significativo aumento no aparecimento de doenças crônico-degenerativas, entre as quais destaca-se a demência, que é uma síndrome caracterizada por um declínio gradual das funções cognitivas, mudanças de comportamento e personalidade e deterioração nas atividades nas atividades da pessoa acometida” AGUIAR (2013).

Com o passar do tempo o corpo humano sofre alterações que sempre foram notadas, a pele enruga, o corpo enfraquece, e dependendo dos hábitos que essa pessoa teve durante toda a vida, algumas doenças podem surgir. Como câncer de diversos tipos, osteoporose e outras diversas doenças entre elas, o Alzheimer.

Alzheimer é uma doença que é classificada como um tipo de demência, é uma doença conhecida vulgarmente como “caduquice”. A doença tem esse nome devido ao neuropatologista Alois Alzheimer. Alois era um médico Alemão que no começo do século XX descobriu lesões no cérebro de um morto, algo que até então ninguém tinha percebido. Alois viu que, o problema era originado de dentro dos neurônios, esses neurônios apareciam atrofiados em diversos lugares do cérebro. O Alzheimer afeta o cérebro deteriorando as células nervosas

O Alzheimer é uma doença degenerativa, onde os neurônios se deterioram de forma lenta e progressiva, provocando contração e atrofiamento cerebral.

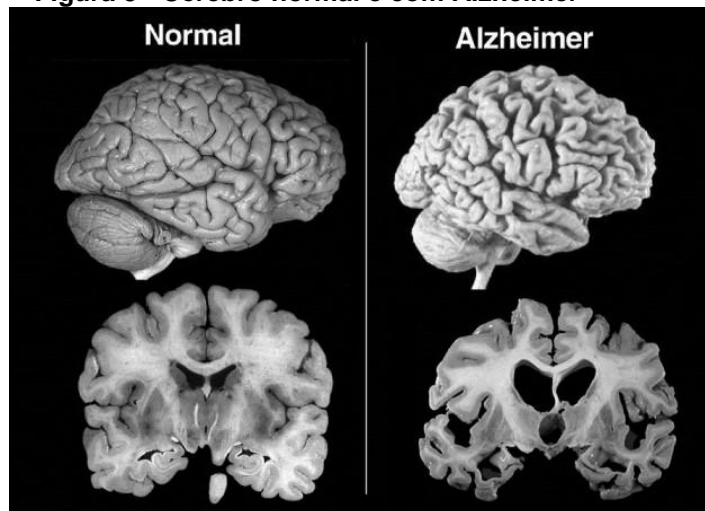
Figura 4 - Cérebro normal e com Alzheimer



Fonte: ASSOCIATION, Alzheimer's (2016)

A figura 4 mostra a esquerda o cérebro normal com as funções de memória e de fala sem atrofia, e a direita o cérebro com a atrofia causada pelo Alzheimer. É possível notar que as regiões de fala e memória estão afetadas pela atrofia, assim causando perdas de memória e dificuldades na fala.

Figura 5 - Cérebro normal e com Alzheimer



Fonte: FARIA (2014)

O Alzheimer afeta inicialmente a memória e o funcionamento mental, fazendo o paciente não conseguir raciocinar, ao decorrer da doença ele perde a compreensão das coisas ao redor, chegando ao ponto de não conseguir mais falar. Os efeitos da doença podem gerar outros transtornos como desorientação de tempo espaço e mudanças de humor. Basicamente a doença faz a pessoa perder a

capacidade de autocuidados, ou seja, o paciente não tem cuidados com o vestuário, de higiene e nem cuidados com a vida emocional e profissional.

É uma doença terminal degenerativa que não possui cura. A doença avança enfraquecendo o sistema imunológico. Ficar deitado no leito na fase mais avançada eleva os riscos de infecção da garganta e dos pulmões, podendo causar pneumonia.

2.1.1 Fases do Alzheimer

A doença de Alzheimer é dividida em três fases, são elas. Inicial, intermediária e final.

2.1.1.1 Fase Inicial

A fase inicial tem como características os pequenos esquecimentos, geralmente não é percebida pela família pelo fato de se achar que o paciente está em processo de envelhecimento, os sintomas avançam gradualmente agravando-os.

Nesta fase o paciente tem consciência sobre os lapsos de memória. Por causa da doença, é comum, haver confusão com estes lapsos de memórias iniciais, ficando agressivo com constantes mudanças de humor. Em alguns casos a medida em que a doença avança o paciente não se reconhece perante o espelho, causando transtornos e tristeza, chegando a causar depressão.

2.1.1.2 Fase Intermediária

Esta fase é marcada pela incapacidade do paciente de aprender coisas novas, a dependência de terceiros é mais constante, o simples trabalho de locomoção se torna difícil, existe uma grande dificuldade em se comunicar. As atividades de rotina do dia a dia se tornam difíceis, atividades como, se vestir, comer ou a própria higiene.

A partir desta fase começam a existir perda de controle do movimento do corpo, surgindo as convulsões.

2.1.1.3 Fase Final

Nesta fase o paciente perde totalmente a capacidade de locomoção, passando o tempo todo deitado no leito, a comunicação por fala é inexistente. O sistema imunológico já está enfraquecido. Doenças primárias como pneumonias e gripes afetam o paciente nesta fase com mais frequência devido ao fato do paciente passar o tempo todo deitado. A alimentação é cada vez mais difícil, por consequência disso o paciente fica desnutrido, até chegar ao ponto em que alimentação será somente por sonda.

Segundo HUEB (2008 p. 90-95) "Nas fases mais avançadas da enfermidade podem sobrevir completa apatia, incapacidade de deambular, convulsões e, por fim, o coma e óbito por causas não relacionadas à enfermidade primária".

2.2 CUIDADOS E CUIDADORES

A família é responsável pelos cuidados com o paciente, podendo ou não fazer a contratação de terceiros para a realização do trabalho.

A fragilidade do paciente, faz com que a dependência comece a ser necessária na primeira etapa da doença, cuidadores se tornam presentes na rotina do paciente.

Os cuidadores precisam estar constantemente com os pacientes, passando por uma rotina exaustiva e muitas vezes abrindo mão de uma qualidade de vida em seu dia a dia. A doença afeta todas as classes sociais. Para quem tem uma estabilidade financeira melhor, é preferível se contratar um cuidador, por outro lado, a maioria das pessoas que cuidam de pacientes de Alzheimer é informal. Os cuidadores informais, geralmente são parentes do paciente que tenham tempo para os cuidar. Eles precisam estar sempre bem atentos e precisam abrir mão de muitas coisas para dedicar tempo aos cuidados. "Há sempre a questão de cansaço e estresse decorrentes do cuidar, pois a demanda exige 24 horas de cuidados diários, o que implica o rompimento de algumas atividades que antes realizava." AGUIAR (2013)

Segundo Horiguchi (2010) "75% dos cuidadores informais apresentam estresse das quais 70% entraram-se na fase de resistência. Foi constatado um alto nível de fracasso em qualidade de vida na área da saúde, revelando que esta se encontra profundamente afetada". As condições expostas aos cuidadores causam danos à saúde dos próprios.

3 PASTILHA PIEZOELÉTRICA

As pastilhas piezoelétricas são constituídas de cristais. "Os cristais piezoelétricos, presentes no sensor de vibração, podem gerar tensões muito altas, se submetidos a esforços mecânicos muito intensos". Souza e Ribeiro (2013 p.1)

Levando em consideração essa afirmação de que os cristais geram tensões elevadas se submetidos a altas pressões, conclui-se que para trabalhos com grandes pressões o piezoelétrico atua isolado, uma vez que o mesmo produzirá uma elevada tensão. Para pressões menores o piezoelétrico gera tensões baixas, sendo necessário o auxílio de componentes ou circuitos que elevem o sinal de saída do piezo. O piezoelétrico atua inversamente, quando uma carga alimenta o piezo, ele reagirá com oscilações. Esse princípio é observado em aplicações como por exemplo, auto falantes

"A medição de pressão utilizando este tipo de sensor se baseia no fato de os cristais assimétricos, ao sofrerem uma deformação elástica ao longo do seu eixo axial, produzirem internamente um potencial elétrico causando um fluxo de carga elétrica em um circuito externo. A quantidade elétrica produzida é proporcional à pressão aplicada, sendo então essa relação linear, o que facilita sua utilização. Outro fator importante para sua utilização está no fato de se utilizar o efeito piezoelétrico de semicondutores, reduzindo assim o tamanho e peso do transmissor, sem perda de precisão". Indústria, Indústria e Eletrobrás (2008)

Os piezoelétricos por possuírem a característica de serem assimétricos conseguem gerar energia elétrica. Esse fator é bem útil para trabalhos que exigem um elemento de geração de tamanho pequeno.

Figura 6 - Sensores Piezo**Fonte: ARDUÍNO (2016)**

O sensor piezoelétrico pode ser empregado em muitas situações, em áreas distintas de utilização, entre elas podemos citar, captação de violões elétricos, capsulas de captação de sons de microfones, medidores de pressão, agulhas de toca disco, nesses trabalhos há a transformação mecânica-elétrica. Entretanto, outras aplicações como alto-falantes, aparelhos para destruir pedras nos rins, banho de ultra som, trabalham com a transformação elétrico-mecânica.

Para o ramo de medicina existem muitas aplicações com o sensor piezoelétrico, são elas, medidor de pressão, registro de batimentos cardíacos, aparelhos de ultrassom, aparelhos de destruição de pedras nos rins.

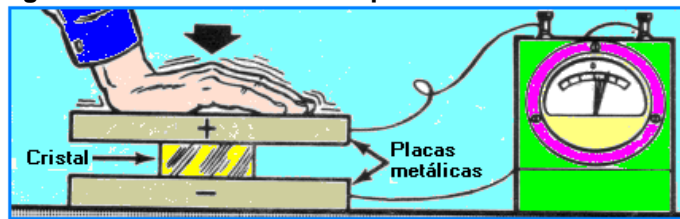
3.1 CARACTERÍSTICAS

Os cristais piezo tem como característica converter energia mecânica em energia elétrica e converter energia elétrica em energia mecânica, esse fenômeno é conhecido como piezoelectricidade. Essas energias mecânicas podem ser na forma de vibração, pressão, oscilação sonora ou magnética, e a energia elétrica é CA.

3.1.1 PIEZOELETRICIDADE FUNCIONALIDADE E APLICAÇÕES

Em 1880, Jacques e Pierre Curie descobriram que um potencial elétrico poderia ser gerado aplicando-se pressão a cristais de quartzo, a sais de Rochelle, e até a cristais de cana de açúcar, nomearam esse fenômeno de “o efeito piezo”. (Katzir 2003)

Figura 7 - Funcionamento da piezoeletricidade



Fonte: RECURSOSTERAPEUTICOS (2016)

O cristal de piezo tem característica linear de acordo com a intensidade de deformação exercida sobre ele, conforme visto na figura 7, quanto maior a força de deformação sobre o piezoelétrico, maior será a tensão gerada por ele.

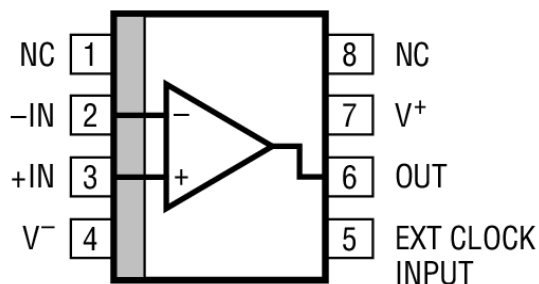
Existem vários tipos de cristal piezo no mercado, alguns podendo chegar a altas tensões de acordo com o grau de deformação que ele sofre, os padrões mais comuns de cristal piezo são 0 a 10Volts, porém para se obter 10 volts de tensão na saída do piezo é necessário uma elevada tensão sobre ele, para usos de moderadas pressões o valor médio de tensão varia entre 0,5 a 2 Volts.

3.2 AMPLIFICADOR OPERACIONAL LM741

O Amplificador operacional LM741, atua como um comparador de tensão. Ele fará a comparação de tensão de entrada entre os pinos 2 e 3, que respectivamente são o pino de entrada negativa e o de entrada positiva de tensão.

O uso do amplificador operacional nesse circuito é necessária devido o valor de energia de saída do piezo ser baixa, uma vez que o sinal de saída do piezo é diretamente proporcional a deformação exercida sobre ele, ou seja, baixa pressão sobre o piezo resulta em baixas tensões de saída. A leitura de sinais do Arduído lê um mínimo de sinais de 3,3Volts, sendo assim o valor de saída do piezo chegando a uma média de 2 volts não possui energia o suficiente para acionar o alerta do Arduíno. O amplificador operacional atua elevando esse sinal. Para elevar o sinal primeiro os sinais das entradas positivas são subtraídos entre si, o resultado dessas subtração é multiplicado pela alimentação do circuito.

Figura 8 - Amplificador LM741
TOP VIEW



Fonte: JOSÉ (2009)

O amplificador operacional trabalha de forma a elevar a tensão em que nele entra, com esse princípio, o uso de circuitos como elevadores de tensão é desnecessário. A alimentação do amplificador neste caso é de 9 Volts, esse é o valor de multiplicação da saída do amplificador, assim gerando um sinal maior na saída.

3.2.1 ESPECIFICAÇÕES

Tabela 1 - Pinos do amplificador operacional

Os pinos são:	
V+	Entrada não inversora
V-	Entrada inversora
Vout	Saída
VS+	Alimentação positiva
VS-	Alimentação negativa

Fonte. Própria

O amplificador operacional trabalhando como comparador de tensão tem como entradas principais, a entrada positiva (Não Inversora) onde não é invertido o sinal da tensão que entra por essa entrada, e a entrada negativa (Entrada Inversora). A entrada não inversora mantém o sinal elétrico que entra em seu pino, seja ela positiva ou negativa, e a entrada inversora, inverte o sinal elétrico que entra em seu pino, seja ele, positivo ou negativo.

O amplificador operacional trabalhando como comparador só acionará a saída, se a entrada positiva for maior que a entrada negativa, assim o amplificador funciona se a tensão do piezo na entrada positiva for maior que a negativa.

Levando em consideração essas características chegamos a seguinte operação:

Equação 1 - Equação amplificador operacional comparador

$$V_{out} = ((V+) - (V-)) * \text{Ganho do amplificador (9V)}$$

Fonte: JOSÉ (2009)

3.3 PROTÓTIPO DO DISPOSITIVO

Um sistema de monitoramento de pacientes durante o sono é projetado e montado visando monitorar o movimento do paciente durante a noite. Qualquer tentativa do paciente se levantar ou se o paciente estiver tendo convulsão é detectado e alerta o cuidador.

O sistema de monitoramento é dividido em dois circuitos onde o sensor piezoelétrico monitora a pressão exercida pelo paciente caso ele venha pisar no chão, e o acelerômetro monitora a vibração resultante do movimento do paciente na cama. Os dois circuitos são conectados em um controlador da plataforma Arduino que controlará se o alerta do cuidador será ou não acionado.

Sistemas de monitoramentos já vem sendo usado a algum tempo para monitorar os movimentos de pessoas enquanto dormem. (YAMANA 2011) utiliza ultrassom, sensores capacitivos (piezoelétricos) para monitoramento da respiração, da frequência cardíaca e do movimento de 6 voluntários. São detectados movimentos desses voluntários em 3 posições, deitados de lado e com as costas no colchão e com o tórax encostado no colchão. Neste caso um limite de faixa de frequência foi pré-estabelecido entre 0 e 20 hertz.

Figura 9 - Gráfico de movimentos na cama



Fonte: YAMANA (2011)

Foi estabelecido que se o corpo realiza o movimento de 20Hz, um sinal de saída gera 2 Volts no gráfico, se realizasse um movimento de 10Hz o sinal de saída será 1Volt, assim por diante. As alterações de posições na cama geram picos de tensão em um espaço de tempo curto.

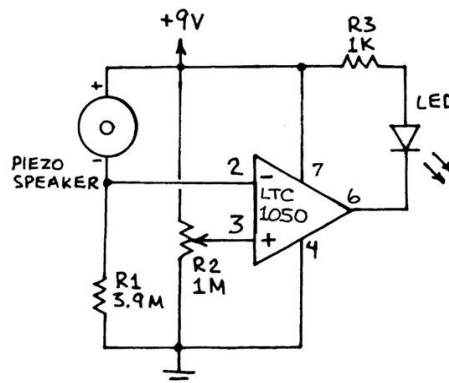
3.4 CIRCUITO COM SENSOR PIEZOELÉTRICO

O circuito é constituído por sensores piezoelétricos, resistores, potenciômetro, um amplificador operacional, um led e uma bateria 9volts.

A regulagem da sensibilidade do piezoelétrico é definida pelo potenciômetro, quanto maior a resistência do potenciômetro, maior será a pressão sobre o piezo, para gerar uma tensão que exceda o limite do potenciômetro. Se a resistência for baixa, o circuito trabalhara com a detecção de pequenas pressões, com a sensibilidade alta.

3.5 FUNCIONAMENTO DO CIRCUITO

Figura 10 - Circuito Piezo

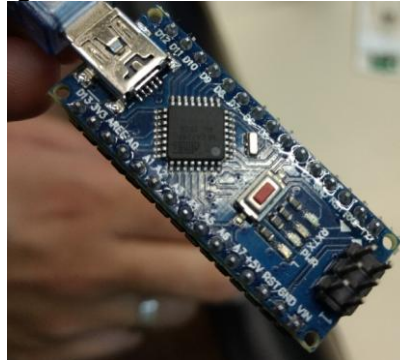


Fonte: ELETRÔNICA (2015)

Na figura 10 o circuito de piezoelétrico é representado com as conexões dos componentes. Para atuar adequadamente os componentes são conectados da seguinte maneira. O polo negativo do piezoelétrico é conectado a entrada negativa do amplificador operacional e ao resistor R1 de 3.9MΩ, o polo positivo do piezoelétrico está conectado a uma entrada do potenciômetro, o potenciômetro por sua vez está conectado a entrada positiva do amplificador. O amplificador conecta o

pino 7 a resistência R3 de $1K\Omega$ e ao polo positivo do piezoelétrico, o pino 4 do amplificador conecta a resistência R1 de $3.9M\Omega$ e o potenciômetro, a saída 6 do amplificador é conectada ao led que representa a saída do circuito para o Arduíno, o led conecta no resistor R3 de $1K\Omega$. Nas entradas do potenciômetro é conectado a alimentação para o circuito.

Figura 11 - Arduíno Nano



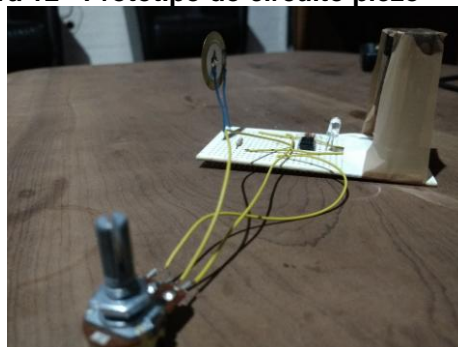
Fonte: Própria

O circuito é implantado em uma placa de MDF colocada no chão ao lado da cama do paciente, podendo monitorá-lo durante a noite ou durante o período em que o circuito é acionado.

Quando o sinal chega na entrada do Arduíno, um sinal de alerta é gerado e enviado para saída Arduíno, esse sinal aciona um alerta ao cuidador, esse alerta pode ser um sinal luminoso (lâmpada) ou sinal sonoro (auto falante).

3.5.1 PROTÓTIPO DO CIRCUITO PIEZO

Figura 12 - Protótipo do circuito piezo



Fonte: Própria

Na figura 12 é representado o protótipo do circuito com piezoelétrico, os componentes foram soldados sobre uma placa perfurada, semelhante a uma protoboard. Devido à falta de espaço na placa o potenciômetro ficou fora da placa.

O sinal gerado pelo piezoelétrico é comparado no amplificador operacional e multiplicado pela fonte de 9 Volts, o sinal de saída do amplificador aciona o led. O led representa o sinal enviado ao Arduino.

4 DETECÇÃO DE MOVIMENTOS

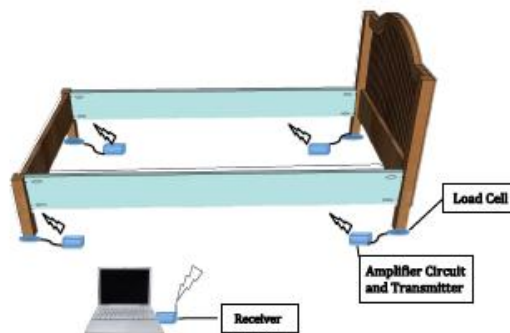
Não foi realizado o desenvolvimento de piezoelétrico com o trabalho de detecção de movimento devido ao curto espaço de tempo para a resolução do mesmo, porém encontra-se alguns trabalhos acadêmicos com o monitoramento de movimento de pessoas durante a noite.

(ALAZIZ 2016) fez testes para detectar movimentos do corpo humano na cama com quatro sensores nos pés da cama. O teste foi feito com voluntários para a captação de 30 movimentos na cama, nos quais 27 eram pré-definidos e três eram de escolha do voluntario.

Para a detecção de movimentos com o piezoelétrico foi necessário a implantação de 4 sensores, um em baixo de cada pé da cama. Assim a diferença de tensão gerada pelos piezos é o parâmetro para detectar os movimentos.

Os quatro sensores anotarão o mesmo valor de deformação, ao começar se debater na cama o paciente fará a cama se deslocar forçando um lado e erguendo o outro.

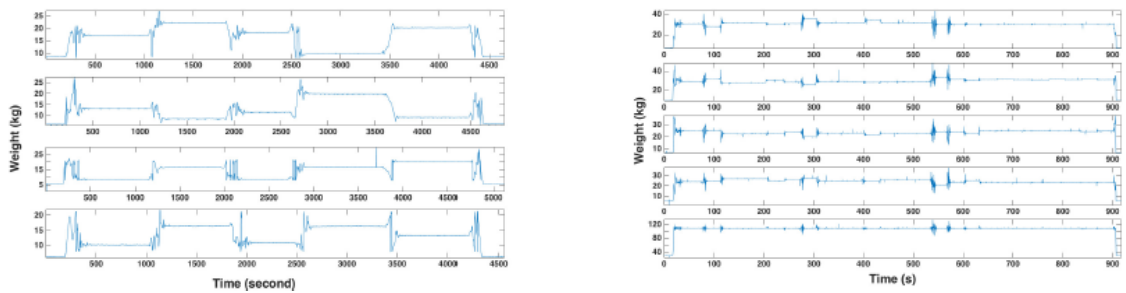
Figura 13 - Sensores Nos Pés da Cama



Fonte: ALAZIZ (2016)

O monitoramento teve voluntários de diversas idades e pesos para chegar a analisar a diferença de todos. Após os testes chegou-se aos seguintes gráficos.

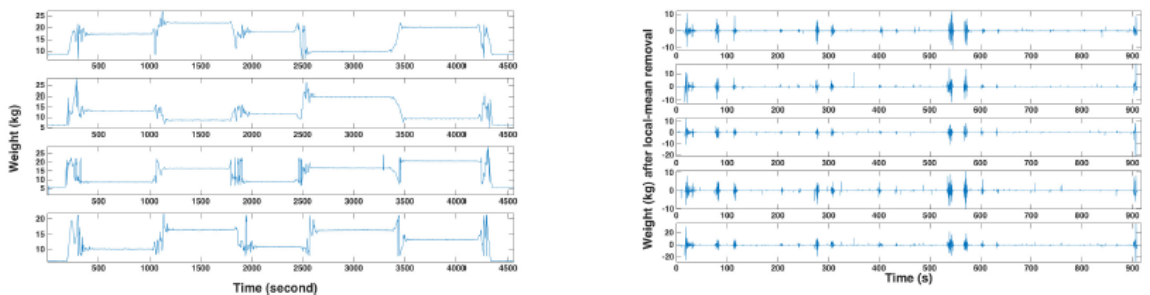
Figura 14 - Gráficos de amostragem de testes antes do Interpolo e de remover a média principal



Fonte: ALAZIZ (2016)

A figura 14 mostra a esquerda o gráfico antes da interpolação, que é a tentativa de reconstruir o sinal original através de amostras, o gráfico da direita é o gráfico antes de remover a média.

Figura 15 - Gráficos de amostragem de testes depois



Fonte: ALAZIZ 2016

O gráfico da esquerda é o gráfico depois da interpolação, onde foi removido os ruídos para chegar o mais próximo possível dos dados originais, o gráfico da direita é o gráfico após a remoção da média local, onde os dados são normalizados os dados e usa-se um filtro passa baixas (atenua as frequências altas e deixa passar para leitura as frequências baixas) , para cortar os ruídos de alta frequência.

As células de carga foram ajustadas em 30Hz para detecção de movimentos, após o corte é descoberto que a frequência de movimentos na cama é abaixo de 2Hz.

Os sinais interpolados com remoção dos ruídos e harmônicas tem oscilação de movimentos com picos quando o movimento realizado é constante, esse gráfico representa o valor de energia gasto. Quando o sinal de energia é constante para o monitoramento de pacientes, significa que o paciente está tendo convulsões.

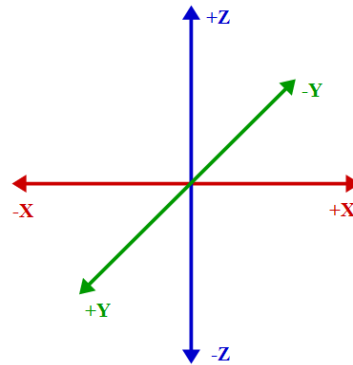
5 CIRCUITO COM ACELERÔMETRO

5.1 ACELERÔMETRO

O acelerômetro é um sensor tri axial que reconhece movimentos em três eixos, X, Y, e Z (cartesianos).

O acelerômetro funciona para o reconhecimento de variação de movimento em qualquer um desses eixos.

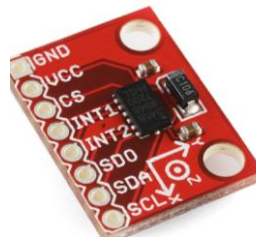
Figura 16 - 3 eixos (X, Y e Z)



Fonte: BLUEPRINTS (2015)

O acelerômetro utilizado para o monitoramento é o ADXL345, que é instalado a lateral da cama para monitorar os movimentos do paciente durante a noite.

Figura 17 - Acelerômetro ADXL345



Fonte: SPARKFUN (2015)

Após a implantação do ADXL345 capta oscilações de movimentos em relação a posição inicial.

O acelerômetro ADXL345 possui 8 pinos de comunicação. São eles.

Tabela 2 - Tabela com pinos do acelerômetro ADXL345

1. GND	Terra
2. VCC	Tensão de Entrada (3,3V à 5V)
3. CS	Clock do Acelerômetro
4. INT1	Pino de Interrupção
5. INT2	Pino de Interrupção
6. SDO	Define o endereço do I2C
7. SDA	(Dados Escravo) I2C Dados Serial
8. SCL	Clock Serial I2C

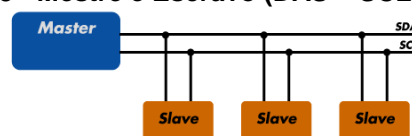
Fonte: SPARKFUN (2015)

5.1.1 PROTOCOLO I2C

O protocolo de comunicação I2C foi desenvolvido pela empresa Philips. É um protocolo de comunicação que trabalha no formato Mestre e Escravo. É necessário ao menos um mestre para coordenar a comunicação do sistema, enviando ou requerendo informações dos escravos.

. Na comunicação I2C pode-se ter mais de um mestre e 112 escravos conectados simultaneamente no mesmo sistema, os escravos podem ser conectados para trabalharem em conjunto, desta forma caso um venha a falhar o outro pode continuar atuando.

Figura 18 - Mestre e Escravo (DAS – SCL)



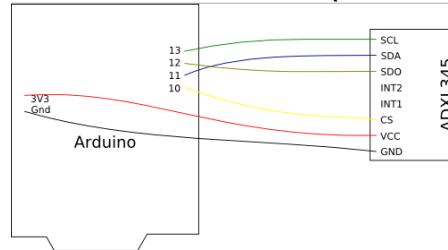
Fonte: REIS (2014)

A conexão da comunicação I2C é baseada no barramento BUS, onde os mesmos fios conectam todos os dispositivos. Esse barramento acaba sendo uma das grandes vantagens do I2C em relação a demais comunicações. A comunicação é síncrona, utiliza dois fios de comunicação SDA (dados-serial) e SCL (clock serial).

Existem dois modos de transmissão, o Fast-mode com transmissão de 400kbps, e o High-speed mode com transmissão de até 3,4Mbps. REIS (2014)

As conexões do ADXL345 com o Arduino são bem simples devido ao barramento BUS, sendo necessário somente conectar os pinos de VCC, GND, CS (Clock do Acelerador), SCL (Clock do I2C), SDA (Dados seriais do I2C) e SDO (Endereçamento do I2C).

Figura 19 - Conexões ADXL e Arduino (Protocolo I2C)



Fonte: RODRIGUES (2012)

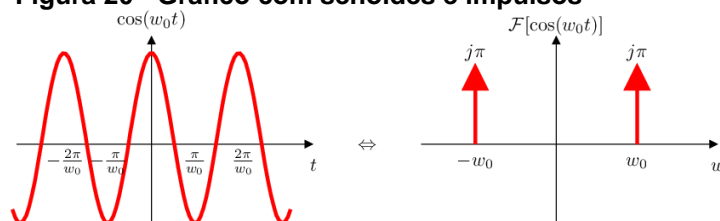
O Arduino já possui pinagem pré definida para a comunicação I2C, para facilitar a implementação. Os pinos de clock, SDL, SCL, SDA além da alimentação e terra são ligados sempre nos mesmos pinos.

5.1.2 LEITURA E PROCESSAMENTO DO SINAL

A leitura do sinal do acelerômetro é dada por um gráfico de amplitude do sinal no domínio do tempo. Em primeira leitura o sinal captado pelo acelerômetro é um gráfico cheio de oscilações compostas pela captação dos movimentos dos 3 eixos do acelerômetro.

Esse sinal é complexo de se medir ou mensurar, para facilitar é necessário a conversão desse sinal na função do tempo para a função da frequência. Assim o sinal pode ser representado em um gráfico com um impulso, representando a intensidade do sinal captado, em relação a frequência.

Figura 20 - Gráfico com senoides e impulsos



Fonte: Herrera e Ruiz (2014)

A figura 20 mostra um gráfico com função senoidal de amplitude em relação ao tempo. O gráfico tem amplitude constante em um determinado tempo, o outro gráfico é o resultado após a transformada Rápida de Fourier. Ambos os gráficos possuem o mesmo valor de amplitude uma vez que a amplitude do primeiro gráfico é constante, a diferença está no fato de o gráfico não estar mais no domínio do tempo e sim no da frequência.

Com o sinal no domínio da frequência é possível mensurar e utilizar esse sinal para análise através de cortes de banda com filtros. O sinal é representado através um impulso.

5.1.3 Transformadas de Fourier

A transformada de Fourier é uma transformada integral que representa uma função em termos de seno e cosseno

As transformadas de Fourier podem ser DTFT (Transformada de Fourier em Tempo Contínuo), DFT (Transformada Discreta de Fourier) e FFT (Transformada Rápida de Fourier).

A DTFT consiste em converter um sinal no tempo discreto para o domínio da frequência contínua de ω .

Equação 2- DTFT

$$X(e^{j\omega}) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x[n]e^{-j\omega n}$$

Fonte: Herrera e Ruiz (2014)

A DFT converte uma sequência de sinais na função $x[n]$ no tempo discreto para o domínio da frequência discreta k .

Equação 3 - DFT

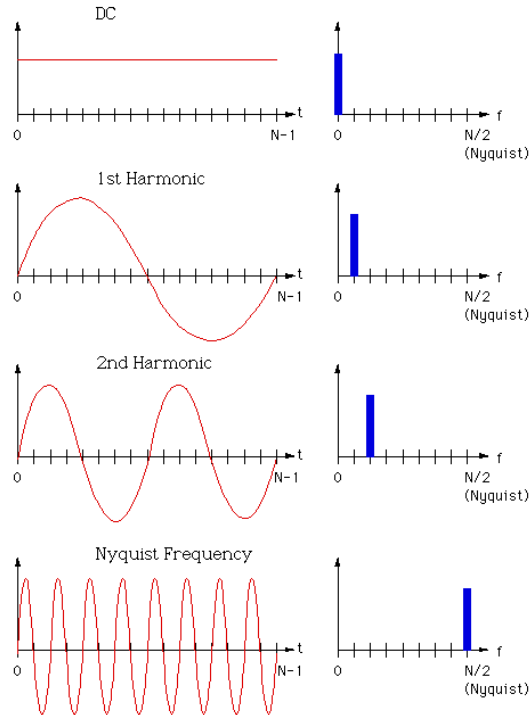
$$X\left(e^{j\frac{2\pi}{N}}\right) = X[k] = \sum_{n=0}^{N-1} x[n]e^{j\frac{2\pi}{N}kn}$$

Fonte: Herrera e Ruiz (2014)

A FFT é um algoritmo que transforma a função no domínio do tempo para função no domínio da frequência, a FFT faz a transformação do sinal em função do

tempo para o sinal em função da frequência, com a diferença que com um tempo bem menor.

Figura 21 - Gráficos no domínio do tempo e da frequência



Fonte: Bourke (1993)

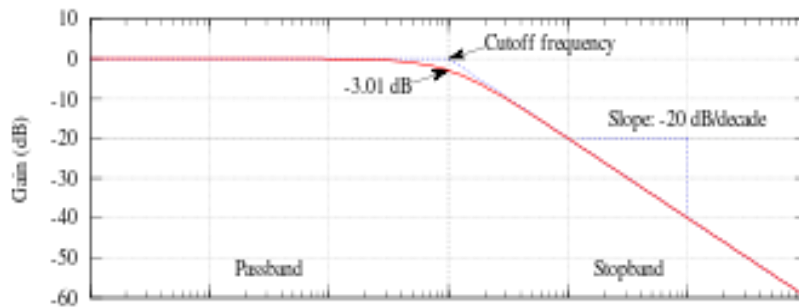
O primeiro gráfico não há período de oscilação, então o eixo de frequência aponta a marca do zero com a mesma intensidade do sinal do gráfico anterior, com um período de oscilação o gráfico marca um hertz, assim por diante. Portando a quantidade de períodos de oscilação detectada numa faixa de tempo é a quantidade de frequência do sinal.

A transformada Rápida de Fourier também pode ser aplicada em osciloscópios modernos e em softwares como o MATLAB. As aplicações de conversão do sinal do acelerômetro são calculadas através do MATLAB.

5.1.4 Filtro Butterworth

O filtro Butterworth é um filtro que trabalha com ganhos de Decibéis (dB) em relação a frequência (Hz). Tem como característica uma resposta maximamente plana, em todas as bandas, ou seja, não há oscilação no ganho da função de transferência. A amplitude decai até zero.

Figura 22 - Decaimento da amplitude



Fonte: Commons.wikimedia.org (2016)

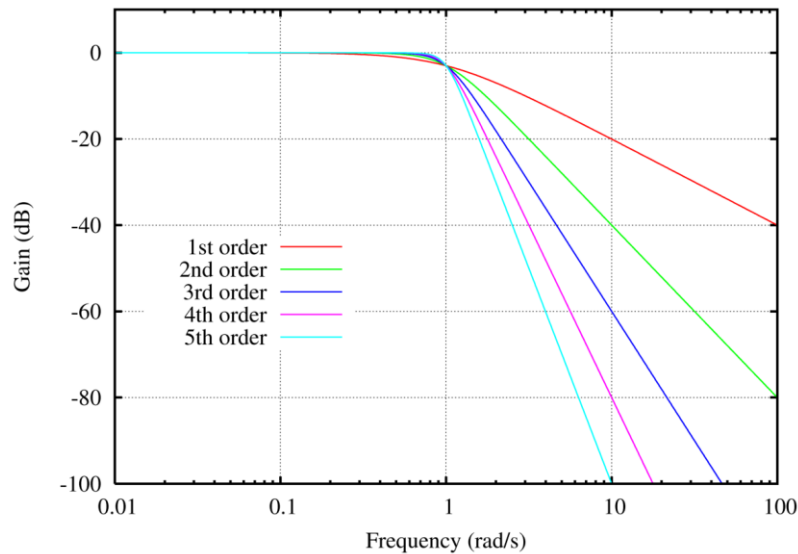
Quando visto em um gráfico logarítmico a resposta em frequência do Butterworth desce linearmente até o infinito negativo.

A característica do butterworth garante que o filtro leia os sinais discretos focando na faixa de frequência desejada, deixando de lado as frequências fora dos parâmetros da faixa de perigo do paciente, que foi estipulada de 5 a 15Hz.

Pode atuar como filtro passa alta e passa baixa, sendo assim colocando um filtro passa baixa em série com um filtro passa alta, pode-se conseguir um filtro passa faixa. O filtro Butterworth é dividido em ordens, onde o filtro de primeira ordem, a resposta varia em -6dB por oitava, desta forma a cada vez que a frequência é dobrada há uma queda de ganho de -6dB, o filtro segunda ordem tem uma queda de ganho de -12dB a cada vez que a frequência dobra, o de terceira ordem tem queda de -18dB a cada vez que a frequência dobra, assim por diante.

A figura 25 exemplifica o funcionamento dos filtros de primeira a quinta ordem, ao passar pelo limite de 1Hz os filtros começam a queda de ganho de -6dB por oitava, o filtro de primeira ordem é o filtro com limite de banda maior devido a linearidade diagonal do gráfico, o filtro de quinta ordem é o filtro de menor banda, com queda de ganho de -30dB por oitava.

Figura 23 - As ordens do filtro Butterworth



Fonte: Commons.wikimedia.org (2016)

Os filtros de ordem podem definir se o corte de frequência será com bandas menores ou maiores de frequência, podendo se ter um limite menor com um filtro de quinta ordem e um limite maior com um filtro de primeira ordem. Essa lógica se dá a queda de -6dB para o filtro de primeira ordem até -30dB para os filtros de quinta ordem. Para definir o limite do circuito com acelerômetro é utilizado um filtro de quinta ordem.

5.1.5 SINAL RMS

Os valores medidos de vibração podem ser lidos:

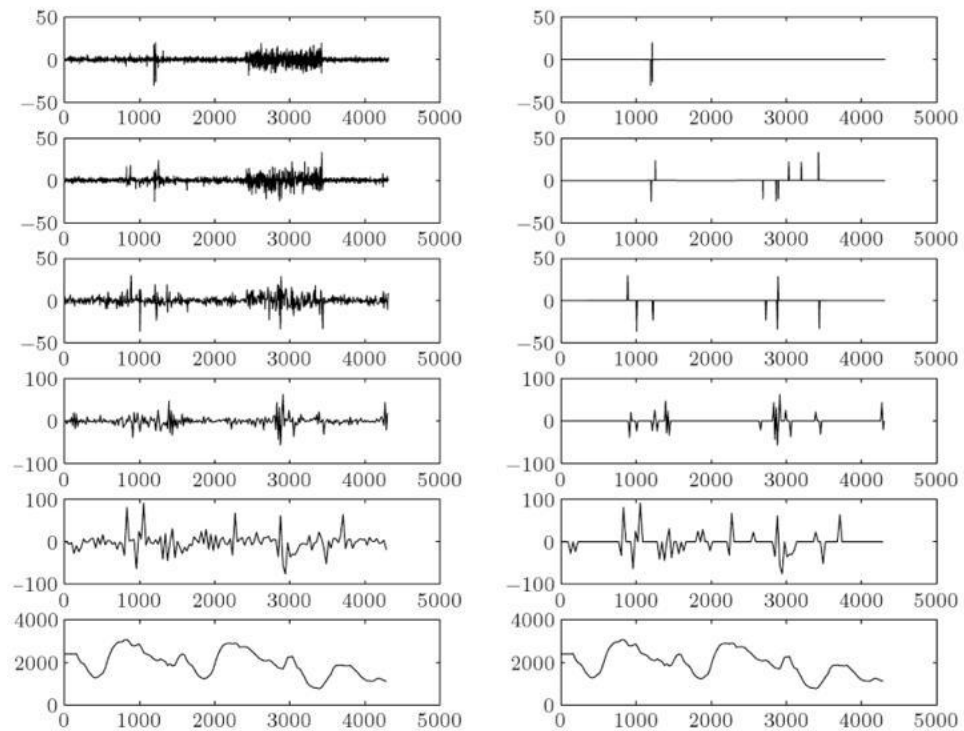
Valor pico a pico que indica a máxima amplitude senoidal.

Valor de pico é utilizado para indicação de nível de impacto em curta duração.

Valor médio é utilizado quando se quer considerar o valor da amplitude por um determinado tempo.

Valor RMS (Quadrático médio) é o valor que mostra a média de energia contida no movimento vibratório. O valor RMS é o valor desejado para a detecção dos sinais, pois ele representa a potência do sinal. É possível analisar e trabalhar com um sinal composto por ruídos e harmônicas, porém é necessário a conversão desse sinal de valor pico a pico para valor eficaz.

Figura 24 - Gráficos com valor RMS



Fonte: DINIZ (2014)

Analisando a figura 24, após a remoção dos ruídos e picos é possível visualizar a energia gasta em cada sinal detectado. Esse valor é representado pelo impulso de amplitude do sinal, para se obter esse impulso de pico é necessário um gasto constante de energia, o movimento deve ser intenso para a detecção.

O valor RMS ou eficaz representa o valor de oscilação contínua que produz a mesma dissipação de energia. O valor eficaz vai mostrar qual é a energia gasta no movimento. O valor eficaz é utilizado para definir o limite do sinal de alerta caso o paciente esteja tendo convulsões.

5.2 SINALIZAÇÃO DO DISPOSITIVO

O alerta para o cuidador é um sinal visual como uma lâmpada e um sinal sonoro, assim de forma parecida a um despertador. A resposta do sinal precisa ser rápida devido a necessidade de pronto atendimento ao paciente.

O cuidador precisa estar sempre perto do paciente, uma vez o mesmo venha se levantar ou esteja em convulsão, o alerta avise ao cuidador e ele possa atender o paciente rapidamente.

6 PADRÕES PARA MONITORAMENTO

A montagem do programa de monitoramento é levada em consideração que os dois circuitos são para trabalhos distintos, um para monitorar a pressão exercida quando pisam no chão e o outro para monitorar a vibração exercida no corpo sobre a cama.

Para a parte do sensor piezo a programação é bem simples, o sinal de entrada quando setado aciona a saída do alerta.

Para a parte do acelerômetro o programa é mais complexo, é necessário fazer a leitura do estado dos três eixos, e criar um filtro para uma faixa de frequência pré-estabelecido de 15 a 20 Hertz, com uma constante de tempo 10 a 15 segundos para acionar a saída do alerta.

Para poder monitorar corretamente o paciente, os padrões são pré-estabelecidos. O sensor piezo, qualquer pressão exercida sobre a placa ao lado da cama acionará o alerta. Para o monitoramento do acelerômetro uma faixa de frequência de vibração é estabelecida. (YAMANA 2011) pré-estabeleceu em seu trabalho de pesquisa uma faixa de frequência para captação de movimentos na cama de 0 a 20Hz. Os movimentos comuns de troca de posição na cama variam no valor de 0 a 5Hz, os valores acima dessa faixa de frequência são considerados os valores na faixa de frequência de alerta.

Fazendo uma análise do gráfico da figura 06 se o movimento da cama for 20Hz o sinal de transmissão é de 2 Volts, 10Hz é 1 Volt. Os picos de oscilações no movimento de troca de posição chegam aproximadamente 1,5 Volt.

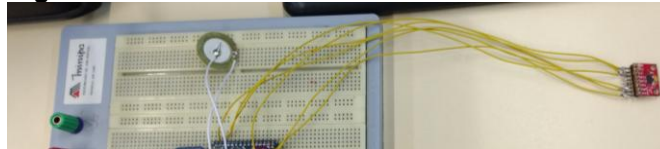
Levando em consideração o gráfico, é estipulado uma faixa de frequência de 10 a 20, que são valores que estão no limite do corpo se mexendo na cama até exceder o limite do movimento da cama.

Para controlar o limite dessa faixa de frequência um filtro passa faixa é utilizado no Arduíno, cortando faixas abaixo de 10Hertz e faixas de frequência acima de 20Hertz. Para poder acionar o sinal de alerta no Arduíno, a faixa de frequência RMS deve ser analisada, se esse valor estiver na faixa de 10 a 20Hz, por um tempo de 10 a 15 segundos. Um sinal é enviado para saída do Arduíno alertando o cuidador.

7 COLETA DE DADOS DOS SENSORES

O circuito é montado, conectando os pinos do ADXL345 com o Arduino nano e testado se capta sinais nos três eixos cartesianos.

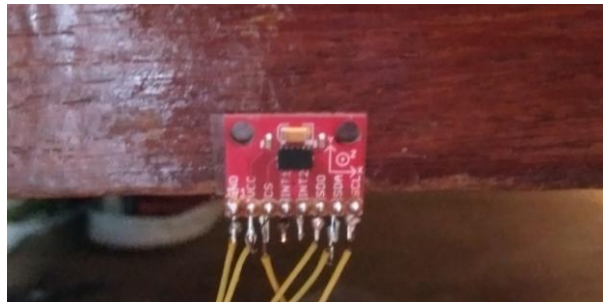
Figura 25 - Testes em laboratório ADXL345



Fonte: Própria

Os circuitos que foram testados foram simulados com vários tipos de movimentos sobre o acelerômetro e com testes de força sobre o piezoelétrico.

Figura 26 - Testes na lateral da cama ADXL345



Fonte: Própria

Simulações com o acelerômetro no lado da cama foram utilizadas para analisar a detecção de movimento com o acelerômetro instalado na cama. Os movimentos detectados tiveram amplitudes menores que os movimentos do laboratório. A leitura dos sinais captados pelo acelerômetro é exibida pelo monitor do programa do Arduino. Foi constatado que o acelerômetro sempre está captando algum movimento devido a aceleração da gravidade, porém esses sinais são mínimos, não interferindo no resultado da captação de movimento.

7.1 SINAIS DETECTADOS E TRATADOS ACELERÔMETRO

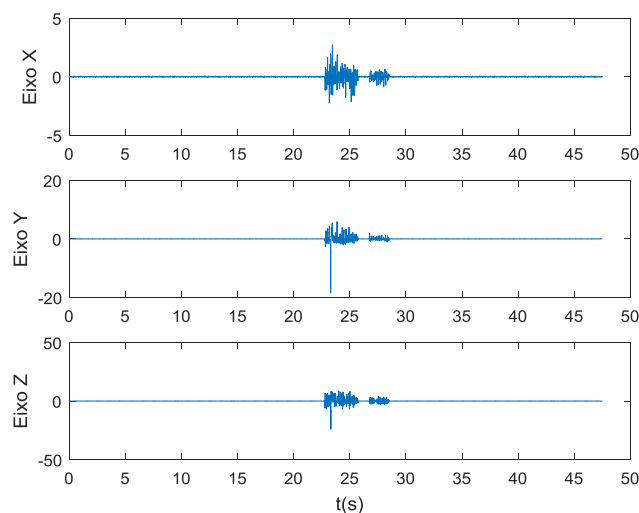
Para gerar os gráficos com os sinais detectados pelo acelerômetro, o MatLab é utilizado, para plotar os gráficos em tempo real, a análise dos sinais

detectados é feita através de simulação de movimentos com o ADXL345. O acelerômetro é submetido a oscilações, por uma faixa de tempo de 50 segundos.

No software Matlab a plotagem inicial dos sinais são em três gráficos distintos, cada um com seu eixo de domínio cartesiano.

Neste primeiro momento os sinais detectados não estão tratados, para fazer análises, aplica-se a FFT, transformando o gráfico na função do tempo para a função da frequência. Na função da frequência os sinais são mais simples de compreender e de trabalhar, aplica-se o algoritmo do filtro Butterworth de quinta ordem, nos limites de 5 a 15Hz de frequência, o filtro mostra o gráfico com os sinais dentro da faixa limite atenuando os sinais excedentes superior e inferior. Por fim após o corte de frequência, usa-se o valor eficaz do sinal, para visualizar qual é a energia gasta naquele instante, o valor eficaz é o valor que definirá o alerta de movimento, se a constante de movimento exceder o limite de alerta, um sinal é enviado ao Arduíno, que por sua vez aciona o sinal do cuidador.

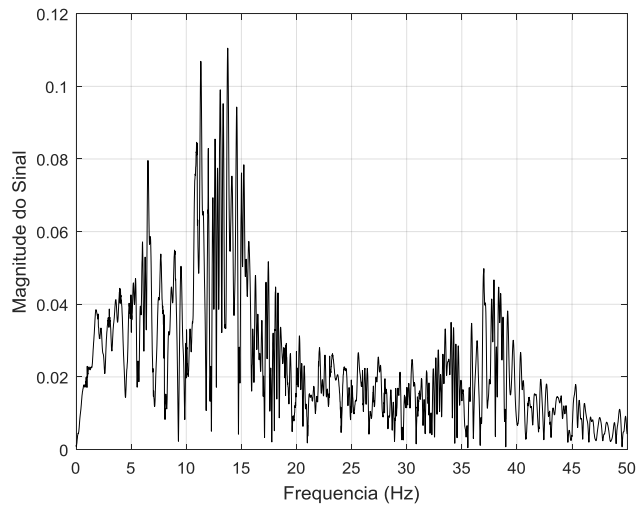
Figura 27 - Gráficos nos eixos X, Y e Z, sem transformação



Fonte: MatLab

A figura 27 tem a taxa de amostragem do acelerômetro por uma faixa de 50 segundos, com tempo estático sem movimento, e uma faixa de tempo com oscilações. Percebe-se que a variação de amplitude varia nos três eixos, sendo assim os movimentos são representados cada eixo com uma intensidade.

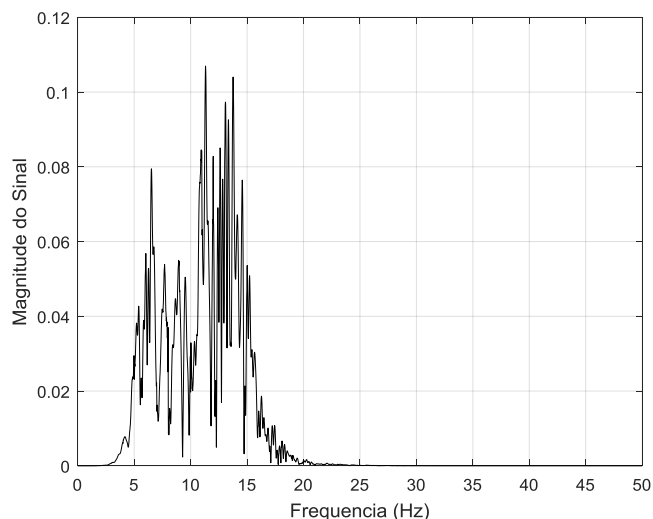
Figura 28 - Sinal do eixo Z após FFT



Fonte: MatLab

O gráfico com o eixo Z é escolhido para a aplicação da transformada rápida de Fourier devido esse sinal ser o mais relevante em relação ao chão. Analisando a figura 28, é possível notar que os sinais são representados pela frequência em relação a amplitude, os sinais de maior intensidade se encontram na faixa entre 5 e 15Hz, sendo assim quando houver o corte de frequência com o Butterworth, só restará os sinais de picos dessa faixa de frequência.

Figura 29 - Sinal após FFT e Filtro Butterworth



Fonte: MatLab

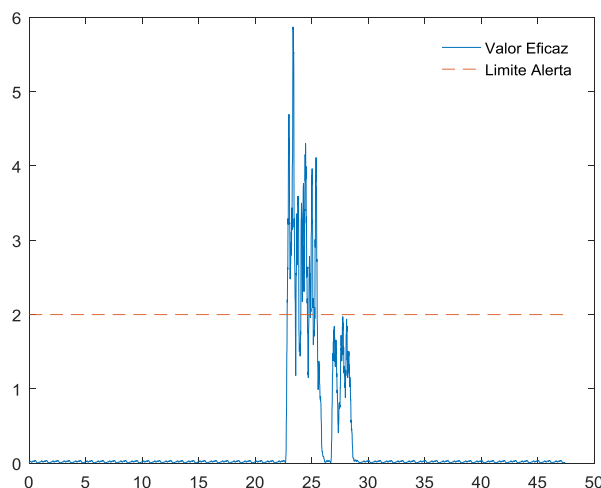
O filtro Butterworth faz o corte sem deixar muita banda no decréscimo de dB, por ser um filtro de quinta ordem a queda de amplitude desce a zero quase

instantaneamente. Os picos do gráfico continuam de 5 a 15Hz, porém os valores abaixo de 5Hz e acima de 15Hz são atenuados e desconsiderados.

Apesar dos sinais da imagem 29 mostrarem valores de pico, esses valores não eficazes, portanto pode ocorrer de o gráfico não exceder o limite de alerta após ser aplicado o valor eficaz dessa função na faixa dentro do limite superior e inferior.

Os gráficos mostram os trabalhos realizados para a detecção dos sinais, simplesmente detectar o movimento numa faixa de tempo, após isso o eixo Z é utilizado para usar a FFT, convertendo o gráfico no domínio do tempo para a frequência, com frequências de 0 a 50Hz. Após a aplicação da transformada, um corte na frequência para se analisar apenas os sinais desejados e atenuar os fora da faixa de detecção.

Figura 30 - Sinal RMS com limite de alerta



Fonte: MatLab

A figura 30 mostra o gráfico após o uso da função eficaz do sinal, é possível notar que o sinal deu uma encolhida, uma vez que os valores de pico são desconsiderados pelo valor eficaz, restando apenas o valor médio de energia gasta no movimento. O limite de alerta é o valor de amplitude que ao ser ultrapassado aciona o alerta do cuidador, apesar do sinal ter diminuído, o limite é excedido pelo sinal eficaz. Sendo assim o alerta do cuidador é acionado.

O acompanhamento do sinal de amostragem condiz com a hipótese de que ao exceder o limite preestabelecido pelo filtro pode-se enviar um sinal que acionará o alerta, uma vez que é possível ver que a magnitude desse sinal é a maior do valor limite.

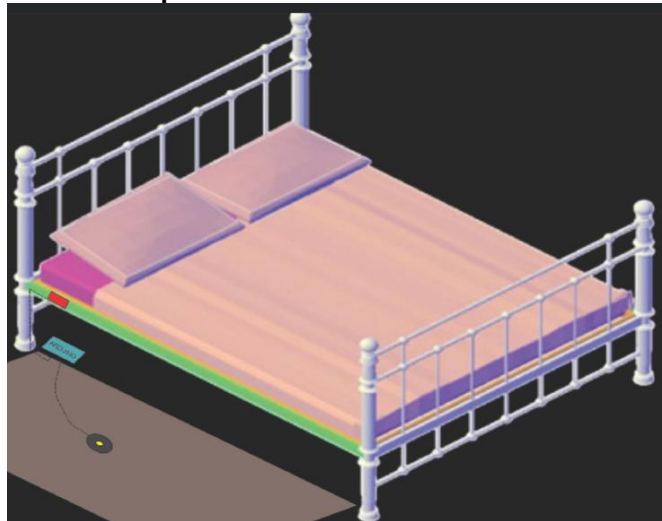
8 SISTEMA DE MONITORAMENTO IMPLEMENTADO

O sistema de monitoramento constituído pelos circuitos do sensor piezo e acelerômetro trabalham no acompanhamento de movimentos durante a noite. Tendo como função principal evitar que idosos portadores de Alzheimer se levantem no período noturno e que possa detectar quando o paciente está tendo uma convulsão, efeito decorrente da doença de Alzheimer.

O circuito piezo é implantado no chão sobre uma placa de MDF que ficará ao lado da cama, assim toda vez que o paciente pisar em cima da placa o circuito piezo acionará o alerta.

O circuito com o acelerômetro é implementado na lateral da cama próximo a cabeceira, que monitora os movimentos que o paciente fará durante a noite, com a função de detectar quando o paciente estiver tendo convulsões e alerte ao cuidador.

Figura 31 - Desenho representando o sistema de monitoramento



Fonte: Própria

A função principal do sistema é a realização da monitoração dos movimentos do paciente, e a monitoração se o paciente levantar, não sendo necessário ter um computador por perto após a programação dos circuitos, sendo necessário somente o arduino e os componentes de detecção.

Uma placa de MDF garante que o circuito passa atuar somente com um sensor piezo, o acelerômetro instalado na lateral e o arduino sobre a cama representam o sistema após a programação e definições de limites, não sendo

necessário a utilização de notebooks ou qualquer tipo de computador no sistema final. A utilização do piezo neste caso é somente para a detecção de pressão exercida sobre a placa.

9 CONCLUSÕES

O objetivo geral deste trabalho consistiu em procurar desenvolver um sistema de monitoramento de pacientes de Alzheimer em seus leitos durante a noite. Procurar entender o funcionamento dos componentes do sistema piezo e o acelerômetro e por fim mostrar como é processado o sinal detectado pelo acelerômetro para delimitação a faixa de frequência crítica que é a faixa de frequência onde o paciente está tendo convulsões.

Pesquisas de casos comprovam que cuidadores de pacientes vem sofrendo com o elevado nível de estresse encontrado em seu trabalho, entre esses, passar a noite acordado cuidando de seus pacientes. As noites acordado tornam a qualidade de vida desses cuidadores muito abaixo da das demais pessoas. Outro fator importante é a segurança do paciente uma vez que se o cuidador acabar dormindo o sistema o alertará caso o paciente tente levantar ou venha ter convulsões.

O sistema de monitoramento utilizando as características dos sensores é projetada para realização de testes e comprovação de teorias em laboratório, onde o sensor piezo possui a função de detectar qualquer pressão exercida sobre. Com a característica de transformar energia mecânica em energia elétrica o piezo atua com maior intensidade podendo ser intensificada a tensão se a pressão exercida sobre ele for intensificada, a característica da piezoelectricidade faz com que esse material seja ideal para a monitoração de pressões exercidas no chão caso o paciente venha pisar no chão. Com o circuito comparador é possível delimitar a tensão deixando apenas o que exceder do limite do potenciômetro, sendo assim só passará a tensão que for gerada pela pressão do pé do paciente. A piezoelectricidade é uma característica reversível, podendo assim através de uma tensão aplicada sobre ele gerar vibração.

O circuito com acelerômetro é utilizado para detectar se o paciente está tendo convulsões no leito, com a característica de detectar qualquer variação de movimento em relação a posição inicial, o acelerômetro detecta oscilação de

movimento em qualquer direção (eixos X, Y e Z). Essa característica faz com que se instalado na lateral da cama do paciente o acelerômetro detecte todos os movimentos realizados pelo paciente.

Os sinais detectados pelo acelerômetro foram transformados, filtrados para então poder ser utilizado o valor eficaz desse sinal. Após os testes de simulação em laboratório chegou-se a geração de gráficos, em todas as fases de tratamento desse sinal até chegar ao sinal eficaz e o limite que alertará se o paciente está tendo convulsões. Os sinais tratados comprovam que é possível o monitoramento delimitando os movimentos na faixa de 5 a 15 Hz, uma vez que através de artigos de monitoramento onde chegou-se à conclusão de que os movimentos na cama variam de 0 a 20Hz (sem movimento até movimentos elevados).

O trabalho é relevante para a sociedade uma vez que trata de uma situação que está cada vez mais decorrente na sociedade que está envelhecendo. O Alzheimer é uma doença que causa transtornos familiares e na sociedade como um todo. O sistema auxilia os cuidadores sejam eles familiares ou contratados na realização do seu trabalho nos períodos noturnos, assim garantindo uma qualidade de vida melhor.

O sistema possui uma ênfase no circuito de acelerômetro porem para futuros trabalhos, monitoramento de movimentos através de piezo podem ser utilizados, fazendo então um trabalho comparativo buscando averiguar qual o circuito mais eficaz, trabalhos semelhantes foram encontrados, monitorando voluntários durante o período do sono, porém nenhum com ênfase em monitoramento de pacientes de Alzheimer.

O sistema é abordado de forma ampla e explicativa durante o desenvolvimento desse trabalho, desde a captação de sinais até gerar o sinal de alerta, que é um sinal sonoro ou visual (alto-falante e lâmpadas), para aprimoramentos futuros a implantação de um sistema de transmissão de SMS ou de comunicação com aparelhos celulares podem ser utilizadas, facilitando a comunicação com o cuidador e alertando-o mais facilmente.

Para as futuras implementações é necessário passar por conselho de ética.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, Virginia Simonato. O cuidador familiar de pessoa com doença de Alzheimer: história oral de vida. 2013.

ALAZIZ, Musaab et al. Motion Scale: A Body Motion Monitoring System Using Bed-Mounted Wireless Load Cells. In: **Connected Health: Applications, Systems and Engineering Technologies (CHASE), 2016 IEEE First International Conference on**. IEEE, 2016. p. 183-192.

ARDUÍNO. **Sensores piezoelétricos**. 2016. Disponível em: <http://www.arduinoobrasil.com.br/blog/wp-content/uploads/2016/05/piezo-ceramico-pastilha-disco-piezoelétrico-23296-MLB20245311244_022015-F.jpg>. Acesso em: 25 jun. 2016.

ASSOCIATION, Alzheimer's. **Viagem ao Cérebro**. 2016. Disponível em: <http://www.alz.org/brain_portuguese/09.asp>. Acesso em: 30 jun. 2016.

BLUEPRINTS, Romero. **Coordenadas locais e de mundo**. 2015. Disponível em: <<http://romeroblueprints.blogspot.com.br/2015/08/coordenadas-locais-e-de-mundo.html>>. Acesso em: 20 jul. 2016.

BOURKE, Paul. **D F T (Discrete Fourier Transform) F F T (Fast Fourier Transform)**. 1993. Disponível em: <<http://paulbourke.net/miscellaneous/dft/>>. Acesso em: 20 set. 2016.

COMMONS.WIKIMEDIA.ORG. **File:Butterworth response.png**. 2016. Disponível em: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Butterworth_response.png>. Acesso em: 21 set. 2016>. Acesso em: 21 set. 2016.

DINIZ, Paulo SR; DA SILVA, Eduardo AB; NETTO, Sergio L. **Processamento Digital de Sinais-: Projeto e Análise de Sistemas**. Bookman Editora, 2014.

ELETRÔNICA, Nova. **Circuito de Sensor de Vibração**. 2015. Disponível em: <<http://blog.novaeletronica.com.br/circuito-de-sensor-de-vibracao/>>. Acesso em: 15 jul. 2016.

FARIA, Leonardo. **Cérebros resistentes ao mal de Alzheimer?** 2014. Disponível em: <<http://meucerebro.com/cerebros-resistentes-ao-mal-de-alzheimer/>>. Acesso em: 30 jun. 2016.

HERRERA, Juan Francisco Rodríguez; RUIZ, Vicente González. **Teoría de Señales.** 2014. Disponível em: <<http://www.ual.es/~vruiiz/Docencia/Apuntes/Signals/Theory/index.html>>. Acesso em: 10 set. 2016.

HORIGUCHI, Adriana Satomi et al. Alzheimer: **stress e qualidade de vida de cuidadores informais.** 2010.

HUEB, Thiago Ovanessian. Doença de Alzheimer. **RBM rev. bras. med**, v. 65, n. 4, p. 90-95, 2008.

IBGE; 2010, Censo Demográfico. **População residente, por sexo e grupos de idade, segundo as Grandes Regiões e as Unidades da Federação – 2010.** 2010. Disponível em: <<http://www.censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?dados=12>>. Acesso em: 25 jun. 2016.

INDUSTRIA, Cni Confederação Nacional da; INDŪSTRIA, Procel; ELETROBRÁS. **Instrumentação e Controle: Guia Básico.** 2008. Disponível em: <http://arquivos.portaldaindustria.com.br/app/conteudo_18/2014/04/22/6281/Instrumentao_corrigido.pdf>. Acesso em: 15 jul. 2016.

JOSÉ, Antônio. **Circuito Integrado 741.** 2009. Disponível em: <<http://lusorobotica.com/index.php?topic=1187.0>>. Acesso em: 10 jul. 2016.

LEMOS, Naira Dutra; GAZZOLA, Juliana Maria; RAMOS, Luiz Roberto. Cuidando do paciente com Alzheimer: o impacto da doença no cuidador. **Saúde e Sociedade**, 2006.

LUZARDO, Adriana Remião; GORINI, M. I. P. C.; SILVA, A. P. S. S. Características de idosos com doença de Alzheimer e seus cuidadores: uma série de casos em um serviço de neurogeriatria. **Texto Contexto Enferm**, v. 15, n. 4, p. 587-94, 2006.

OLIVEIRA, Juarez de Castro; Albuquerque, Fernando Roberto P. de C.; LINS Ivan Braga. **PROJEÇÃO DA POPULAÇÃO DO BRASIL POR SEXO E IDADE PARA O PERÍODO 1980-2050.** 2004.

RECURSOSTERAPEUTICOS. **Você sabe o que é efeito piezoelétrico?** 2016. Disponível em: <<http://blog.recursoaterapeuticos.com.br/2013/04/voce-sabe-o-que-e-efeito-piezoelétrico.html>>. Acesso em: 10 jul. 2016.

REIS, Valdinei Rodrigues dos. **I2C – Protocolo de Comunicação** I2C – Protocolo de Comunicação. 2014. Disponível em: <<http://www.arduino.br.com/arduino/i2c-protocolo-de-comunicacao/>>. Acesso em: 15 ago. 2016.

RODRIGUES, Vinícius. **Review Accelerometer ADXL345**. 2012. Disponível em: <<http://microembarcado.blogspot.com.br/2012/10/review-accelerometer-adxl345.html>>. Acesso em: 18 ago. 2016.

SOUZA, Lucas Ferreira de; RIBEIRO, Rosa Maria. **SENSORES PIEZORESISTIVOS E SENSORES PIEZOELÉTRICOS**. 2013. Disponível em: <http://www.cesumar.br/prppge/pesquisa/epcc2013/oit_mostra/Lucas_Ferreira_de_Souza.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2016.

SPARKFUN. **SparkFun Triple Axis Accelerometer Breakout - ADXL345**. 2015. Disponível em: <<https://www.sparkfun.com/products/9836>>. Acesso em: 16 jul. 2016.

YAMANA, Yusuke et al. A sensor for monitoring pulse rate, respiration rhythm, and body movement in bed. In: **2011 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society**. IEEE, 2011. p. 5323-5326.