

# Monitoramento da equinoterapia através de MPU 6050 e Raspberry 3 B +

Arthur Azevedo Fernandes  
Curso de Engenharia de Computação  
Pontifícia Universidade Católica do  
Paraná – PUCPR  
Curitiba, Brasil  
ORCID: 0000-0002-0653-4690

Fernando de Sillos de Andrade  
Curso de Engenharia de Computação  
Pontifícia Universidade Católica do  
Paraná – PUCPR  
Curitiba, Brasil

Guilherme Nunes Nogueira Neto  
Programa de Pós-Graduação em  
Tecnologia em Saúde – PPGTS  
Pontifícia Universidade Católica do  
Paraná – PUCPR  
Curitiba, Brasil  
ORCID: 0000-0002-7040-6255

Percy Nohama  
Programa de Pós-Graduação em  
Tecnologia em Saúde – PPGTS  
Pontifícia Universidade Católica do  
Paraná – PUCPR  
Curitiba, Brasil  
ORCID: 0000-0002-8051-8453

**Resumo-** A paralisia cerebral é uma deficiência no sistema nervoso central, caracterizada pelo não desenvolvimento completo do sistema nervoso central e com isso afetando a parte cognitiva e motora. A equinoterapia é um método de reabilitação que se utiliza da marcha do cavalo e do envolvimento psicológico do paciente com o objetivo de se obter melhora no desenvolvimento cognitivo e motor da pessoa em tratamento. Geralmente, a avaliação de pacientes ocorre por meio do preenchimento de questionários com resultados coletados após a realização da terapia. A monitoração quantitativa da equinoterapia com sensores é valiosa pois realiza a aquisição dos dados durante a terapia e, com isso, ocorre a obtenção de dados mais precisos, e que podem ser interpretados de uma maneira melhor. Tal sensoriamento permite o acompanhamento de variáveis por vezes não disponíveis no pós-terapia, assim, possibilitando maior eficiência do tratamento. Desenvolveu-se um sistema composto pelo sensor de aceleração MPU6050 e o microprocessador Raspberry PI 3 B+, para realizar o monitoramento, no qual os dados foram armazenados em um cartão de memória e posteriormente transportados para um sistema disposto em um computador, e neste realizou-se a avaliação e classificação dos dados. Realizou-se uma análise em um indivíduo hígido, durante um período de 60 s, com isso foi possível observar a movimentação do tronco e da cabeça durante os testes, com uma taxa de aquisição de 53 Hz, hígido em um ambiente controlado. Ao final dos testes realizados, além do teste com o paciente hígido, testes do sistema sem estar aplicado ao indivíduo, comprovou-se que a taxa de aquisição ao adicionar mais sensores apresentava queda e, ao transmitir em tempo real, também ocorreu queda na taxa.

**Keywords —** Equinoterapia, plano, monitoramento, sensores, Raspberry, MPU 6050.

## I. INTRODUÇÃO

A equinoterapia é uma terapia assistiva para crianças e adultos com limitações de equilíbrio e movimentação, devido a alguma condição congênita ou adquirida. Assim sendo, a terapia utiliza-se da marcha do cavalo para promover um ganho no equilíbrio e na melhora de condição de vida do indivíduo participante [1].

A equinoterapia vem sendo aplicada na reabilitação de pacientes com paralisia cerebral (PC). Dependendo do grau da inabilidade, ela promove melhora significativa na realização das atividades diárias do indivíduo [1]. Além da PC, é amplamente difundida para crianças com autismo e síndrome de Down, devido à evolução que promove na parte cognitiva [2][3]. Outras aplicações são voltadas a idosos e indivíduos que sofreram acidente vascular cerebral e outras doenças que afetam o sistema nervoso central e alteram os aspectos físicos e psicomotores [8][9].

A Fig. 1 mostra a estratégia para melhorar o equilíbrio do paciente por meio do movimento de marcha do cavalo. Os movimentos realizados pelo cavalo durante a marcha demandam realimentação constante da percepção corporal do paciente para que realize adaptações posturais em movimento contrário ao cavalo para que possa manter-se montado [4]. Essa tarefa exige muito do sistema nervoso central do paciente que, ao longo das sessões, vai obtendo melhoras [5]. Na Fig. 1, enquanto a região lombar segue a inclinação do quadril do animal em marcha, as regiões torácica e cervical realizam periodicamente o contraponto para manter o equilíbrio do montador, ajustando e melhorando a postura [4].

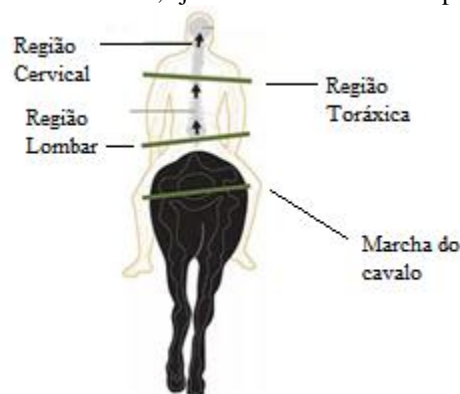


Fig. 1. Planos de inclinação dos quadril do animal e do montador, e das regiões torácica e cervical do montador. Destaque para a inclinação contrária das regiões torácica e cervical em comparação com a lombar [modificado de (Instituto Cisne, 2021)].

Quando não se coletam sinais biomecânicos durante a realização da marcha, podem estar sendo descartadas informações valiosas no tratamento e acompanhamento reabilitatório.

Os objetivos deste trabalho são: (i) descrever um actímetro microprocessado para acompanhamento de equinoterapia, capaz de adquirir e transmitir sinais de inclinação corporal por telemetria durante a marcha equina, e (ii) analisar a confiabilidade da aquisição dos dados.

## II. MÉTODOS

O projeto utilizou sensores de inclinação MPU 6050 que permitem extrair dados de acelerômetro e de um giroscópio, um microprocessador Raspberry Pi, e uma interface desenvolvida separadamente no MATLAB, para analisar os dados obtidos durante uma sessão de equinoterapia.

Os sensores foram dispostos em dois locais, no tronco e na cabeça e, com isso, foi possível avaliar sua movimentação durante a equinoterapia. Após a sessão, os dados armazenados no microprocessador, alimentado por uma bateria, foram transferidos para um computador para análise dos resultados obtidos.

Durante um período de 60 s, foram adquiridos 3406 sinais dos sensores, representando 20436 dados de acelerometria, e 20436 sinais do giroscópio. Isso deve-se ao fato de que, para cada sinal enviado do sensor existem 12 sinais, sendo 6 de acelerometria e 6 do giroscópio, onde foi medida a movimentação nos 3 planos,

O sensor e microprocessador são retirados do colete, e o boné também é desacoplado da cabeça juntamente com o sensor, após a sessão de equinoterapia, e transferidos para a interface desenvolvida no MATLAB em outro computador, via pendrive. Ao inserir os dados, obteve-se uma resposta do deslocamento nos três planos, e assim realizar uma avaliação mais detalhada da equinoterapia. Com isso o projeto pode ser decomposto em duas partes, parte 1 sistema físico, onde faz-se a aquisição de dados, e onde estão os sensores e o microprocessador, e a parte 2, computador que recebe os dados, onde está desenvolvida uma interface independente que analisa resultados de acelerometria e do giroscópio, que foram captados pelo MPU 6050, e interpretados pelo Raspberry Pi.

O sistema desenvolvido consiste em arquitetura computacional para aquisição e monitoração de inclinação e velocidade de segmentos corporais durante a sessão de equinoterapia. O projeto consiste em 3 módulos operacionais, conforme indica a Fig.2.

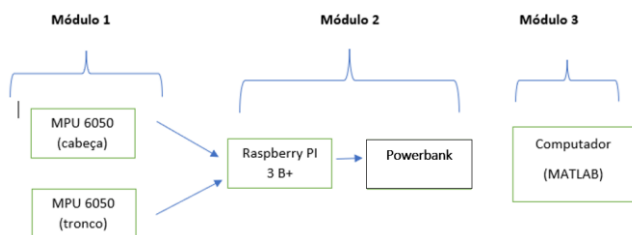


Fig.2 Módulos operacionais do sistema.

O módulo 1 é composto de dois módulos MPU 6050 utilizados como acelerômetro e giroscópio, com dados

expressos, respectivamente, em  $m/s^2$  e  $^\circ/s$ . Os valores são armazenados no microprocessador Raspberry PI 3 B+, que possui um processador com 64 bits de resolução, e 1,4 GHz como frequência de aquisição, consiste no módulo 2, juntamente com um *powerbank*, que executa o programa desenvolvido em sistema operacional Linux. A rotina foi implementada em Python, realizando leitura e gravação dos dados em planilha (.csv). Por fim, o módulo 3, que consiste em um computador para onde os dados do microprocessador do módulo 2 são extraídos via *pendrive* são carregados no *software* MATLAB, que realiza a interpretação de dados e monta duas figuras com as movimentações do tronco e da cabeça e um resumo dos pontos mais relevantes extraídos durante a sessão, juntamente com dados do paciente. Este último contém informações básicas dos pacientes, e dados que foram considerados importantes destacar durante a terapia.

Como pode ser observado na Fig. 3, o sistema proposto consiste em um sensor disposto na cabeça, um no tronco, e o microprocessador em um bolso do colete.

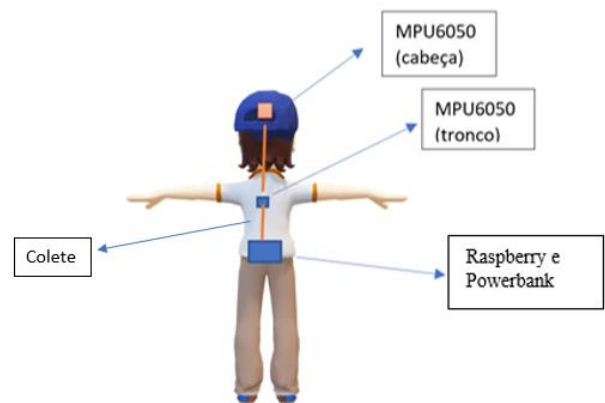


Fig 3. Exemplo de disposição dos componentes do sistema no usuário.

O sistema físico obtido ao final, está ilustrado na Fig. 5, onde (1) representa o sensor que é posicionado no tronco, (2) o sensor da cabeça, que foi colocado em um boné e (3) onde o microprocessador e um *powerbank* ficam dentro de um bolso do colete.

Os testes foram realizados em bancada de laboratório de pesquisa, não correspondendo a uma sessão de equinoterapia, com um indivíduo hígido, durante um período de 60 s, evitando qualquer tipo de ruído para conseguir a melhor obtenção de dados possíveis, onde o indivíduo, para testar o sistema realizou movimentos bruscos para direita e esquerda, primeiramente mantendo o tronco fixo, e após isso foram feitos testes realizando pulos, onde foi verificado um aumento da força da gravidade nos planos, que são os valores adquiridos pelo acelerômetro. Para conseguirmos avaliar melhor utilizamos o sinal do acelerômetro, pois nele é possível observar quando ocorre alguma movimentação, ou pulos como foram feitos nos testes, a uma variação e os pontos ficam mais destacados, porque a força da gravidade age sobre aquele plano.

Os planos foram definidos conforme a Fig. 4, onde a orientação de instalação do MPU 6050 considerou o eixo X para parte superior, e para observar o movimento foram definidos planos como forma de avaliar melhor as forças que agem e o equilíbrio do indivíduo.

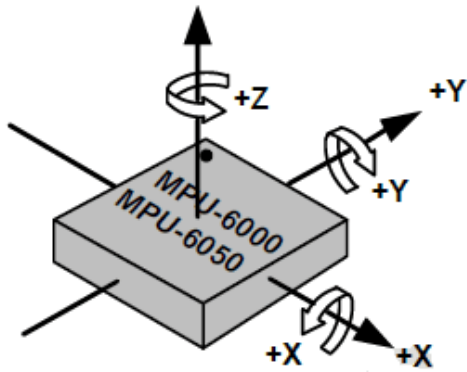


Fig 4 Eixos MPU 6050 Fonte: MPU-6050 Acelerômetro e Giroscópio (systronyx.com).

qual pode ser observado que, durante o movimento, o valor obtido em todos os planos manteve-se igual. Porém, ao participante realizar uma mudança da postura do tronco ou da cabeça, observou-se que houve pontos de maior gravidade e força em um plano. Os valores da segunda linha representam o valor adquirido pelo sensor de giroscópio (em  $^{\circ}/s$ ), correspondendo à velocidade que se desloca nos planos do sensor.

A Fig. 9 ilustra os dados básicos do paciente, e os resultados de área e desvio padrão de todos os planos, tanto do giroscópio quanto do acelerômetro. Porém, os dados não foram transmitidos em tempo real para evitar que a taxa de aquisição fosse mais baixa que 53 Hz.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
0.63354421875	0.88232421875	0.298021875	0.3664122374	4.0610687029	1.35114503817	1.05639648438	0.104921875	0.13149804675	1.7786205541	0.94054885496	0.418847128244	...	...	...	...	...	...	...	...

Fig 6. Planilha de dados adquiridos pelos sensores no microprocessador.

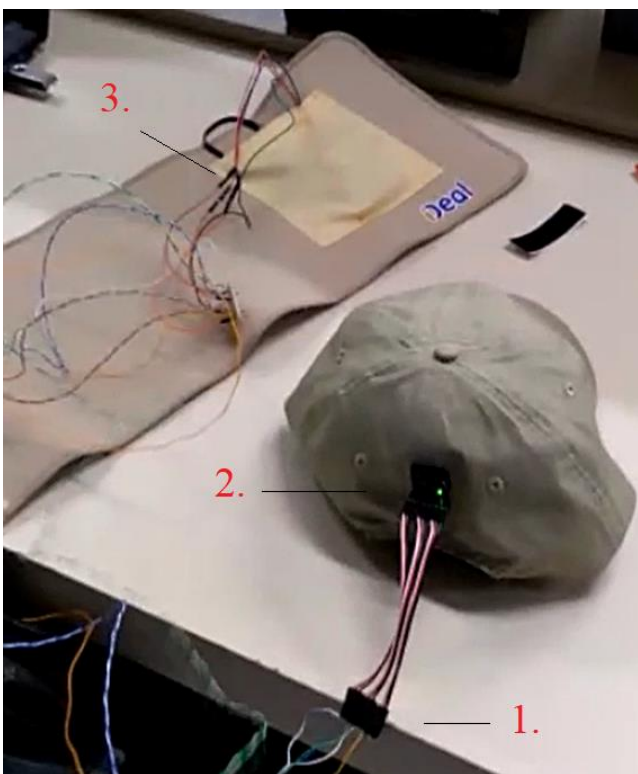


Fig. 5 Sistema físico.

### III. RESULTADOS

Conforme pode ser observado na Fig. 6, a planilha foi preenchida, com os valores obtidos nos 3 planos, nos dois sensores, e resultados do acelerômetro e giroscópio, sendo assim cada linha obteve doze aquisições, a uma frequência de 53 Hz aproximadamente, e para confirmarmos a taxa de aquisição realizamos testes com um sensor foi de aproximadamente de 115 Hz, e com isso conseguimos comprovar que a utilização de sensores do tipo I2c, ocasiona em uma diminuição da frequência. Os gráficos obtidos ficaram de acordo as Fig. 7 e 8, onde a Fig. 7 representa o movimento da cabeça, e a Fig. 8 o tronco. Ambos os dados de acelerometria são expressos em unidade de g ( $m/s^2$ ), no

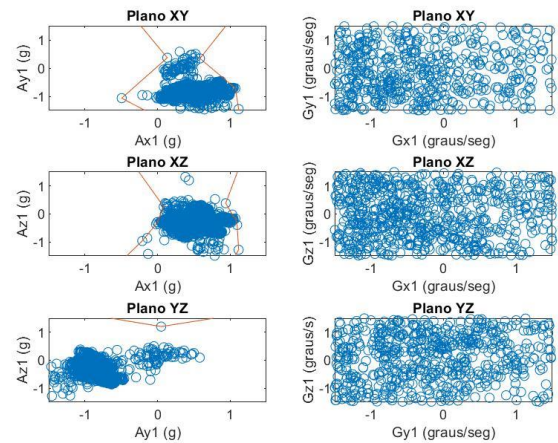


Fig 7. Deslocamento da cabeça nos planos XY, XZ e YZ, giroscópio e acelerômetro.

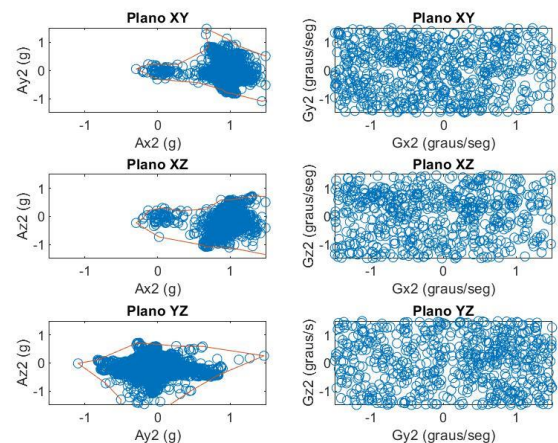


Fig 8. Deslocamento do tronco nos planos XY, XZ e YZ, giroscópio e acelerômetro.



```

-----Ficha Técnica-----
Código do paciente : 123 // Código do terapeuta : 147
Data da coleta : 12/11/2019 // Hora da coleta : 9:20
Nome : Fernando // Data de Nascimento : 17/03/1995
Condição do paciente : Saudável
Observações : Movimento bem executado
-----Acelerometro-----
Tronco-----
Desvio padrão Acelerometro no eixo X : 0.171355 eixo Y : 0.304802 eixo Z : 0.251319
Área no Acelerometro plano XY : 4.209892 plano XZ : 4.735228 plano YZ : 13.484901
-----Giroscópio-----
Tronco-----
Desvio padrão no Giroscópio eixo X : 4.481665 eixo Y : 4.635641 eixo Z : 3.226013
Área no Giroscópio plano XY : 4472.868539 plano XZ : 1637.688625 plano YZ : 1014.126042
-----Acelerometro-----
Cabeça-----
Desvio padrão Acelerometro no eixo X : 0.215400 eixo Y : 0.253778 eixo Z : 0.291809
Área no Acelerometro plano XY : 2.632123 plano XZ : 3.411560 plano YZ : 3.419481
-----Giroscópio-----
Cabeça-----
Desvio padrão no Giroscópio eixo X : 6.491598 eixo Y : 3.786443 eixo Z : 3.167460
Área no Giroscópio plano XY : 2642.119136 plano XZ : 948.858575 plano YZ : 1119.900385

```

Fig 9. Dados importantes extraídos na equinoterapia, e informações do paciente.

#### IV. DISCUSSÃO

Os resultados obtidos apresentaram uma taxa de aquisição baixa a 53 Hz. Apesar da falha na aquisição, os testes foram considerados promissores, pois permitiram observar o deslocamento do tronco e da cabeça e a velocidade de deslocamento. Com esses dados, permite-se ao terapeuta elaborar um tratamento para cada paciente conforme a necessidade detectada durante a terapia.

Comparando com um outro sistema, do qual utilizou-se de Arduino, e um sensor com uma sensibilidade de 16384 LSB/G e um filtro passa baixa, e obteve uma taxa de aquisição de 260 Hz, e um grupo de 9 indivíduos, e realizou a análise dos dados via MATLAB [7]. Percebe-se que o sistema desenvolvido exige um refinamento, pois a taxa de aquisição do nosso sistema foi mais baixa, e ocorreu mais perda de dados, e era o mesmo princípio. Uma perspectiva para aplicação futura passa por empregar o componente LSM6DSOX 6, que permite obter uma taxa de aquisição maior e com estabilidade, além de transmitir dados em tempo real, para a interface desenvolvida no MATLAB no outro computador.

Com mais refinamento é possível obter um sistema ainda mais confiável, e no qual se pode basear para avaliar totalmente a equinoterapia e com isso tornar o resultado da terapia ainda mais proveitoso. Mesmo assim, o sistema desenvolvido traz boa perspectiva de que possa contribuir futuramente na avaliação da equinoterapia, pois mostrou parâmetros que são de interesse terapêutico, como o deslocamento e a velocidade, nos planos do tronco e da cabeça. [9].

#### V. CONCLUSÃO

Conclui-se que o sistema desenvolvido consegue realizar coletas de sinais, armazená-los em uma planilha, que

posteriormente pode ser armazenada, no pendrive, para posterior análise do terapeuta. Porém, a taxa obtida não foi a desejada, e nem foi conseguido realizar a transferência e análise dos dados em tempo real. Os sinais coletados e analisados permitiriam ao terapeuta analisar o que ocorreu durante a sessão de equinoterapia. Porém, ficou evidente que é necessário realização mais testes com outro módulo de LSM6DSOX 6, para melhorar a taxa de aquisição de dados.

#### AGRADECIMENTOS

Aos co-autores, Fernando de Sillos de Andrade, Guilherme Nunes Nogueira Neto, e Percy Nohama.

#### REFERENCES

- [1] Silkwood-Sherer DJ, Killian CB, Long TM, Martin KS. Hippotherapy- an intervention to habilitate balance deficits in children with movement disorders: a clinical trial. *Phys Ther.* 2012J.
- [2] Debuse, Dorothee & Chandler, Colin & Gibb, Catherine. (2005). An exploration of German and British physiotherapists' views on the effects of hippotherapy and their measurement. *Physiotherapy theory and practice.* 21. 219-42.
- [3] Silkwood-Sherer DJ, McGibbon NH. Can hippotherapy make a difference in the quality of life of children with cerebral palsy? A pragmatic study. *Physiother Theory Pract.* 2020 May 14:1-11.
- [4] [4] M. M. da Silveira e L. M. Wibelinger, "Reeducação da Postura com a Equoterapia", *Rev Neurocienc*, vol. 19, nº 3, p. 519–524, set. 2011.M. Young, *The Technical Writer's Handbook.* Mill Valley, CA: University Science, 1989.
- [5] Bonvicine C, Quibáo EF, Silva PN, Asa SKP, Gaetan ESM. Aquisição do controle de cabeça em lactentes nascidos pré-termo e a termo. *Fisioter pesqui.* 2005;12(2):45-50.
- [6] ILHA, Paula Mercedes Vilanova; SILVA, Roseane Carla Rosendo da; PETROSKI, Edio Luiz. Validade do acelerômetro tri-axial tritrac: um estudo de revisão. *Rev. Bras. cineantropom.* v. 7, n. 1, p. 75–81, 2005.
- [7] E. da L. dos . Santos, "Avaliação do deslocamento angular de cabeça e tronco de pacientes durante a equoterapia com actímetro", *Conexões*, vol. 17, p. e019043, mar. 2020.
- [8] Thais BA, Nélide AS, Juliana NC, Marcio MP, Marisete PS. Efeito da equoterapia no equilíbrio postural de idosos. *Rev Bras Fisioter.* 2011;15:414–9.
- [9] PEDEBOS, B. M. et al. Avaliação do controle postural e sua relação com o hemisfério acometido em pacientes com acidente vascular cerebral praticando equoterapia. *Fisioterapia Brasil*, v. 15, n. 1, p. 22-28, jan./fev. 2014.