

Uma Abordagem de Monitoramento dos Sinais Motores da Doença de Parkinson Baseada em Jogos Eletrônicos

Defesa de Tese

Aluno: Leonardo Melo de Medeiros

Orientador: Leandro Dias da Silva

Orientador: Hyggo Oliveira de Almeida

Universidade Federal de Campina Grande - UFCG

03/06/2016

Roteiro

Introdução

Estudo de Caso

Abordagem JOGUE-ME

Experimentos

Conclusão e Trabalhos Futuros

Sistemas de Monitoramento de Saúde



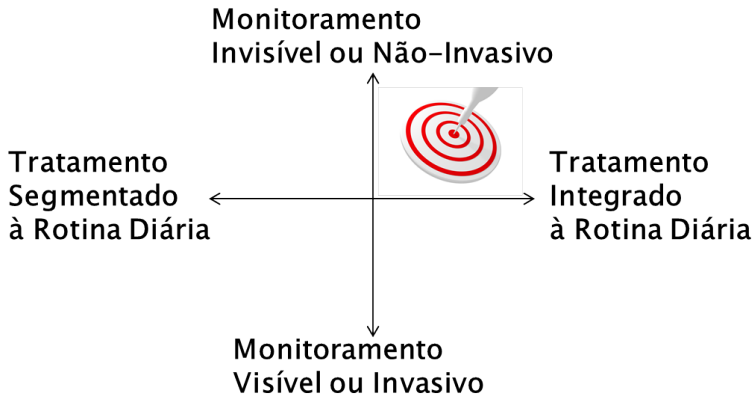
A concepção de um sistema não invasivo de monitoramento é um grande desafio [Alemdar *et al.* , 2015]

Aplicações dos Sistemas de Monitoramento da Saúde (SMS)

Atualmente, os Sistemas de Monitoramento da Saúde (SMS) permitem ao médico:

- ▶ Tratar preventivamente e pró-ativamente o estado de saúde [Mobyen Uddin Ahmed & Loutfi, 2013]
- ▶ Reabilitar o paciente [Graziadio *et al.* , 2014]
- ▶ Melhorar a qualidade de vida [Chen *et al.* , 2014]

Estratégias de Monitoramento da Saúde

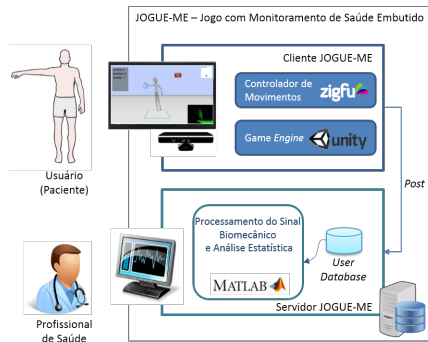


SMS Motores

Atualmente, os SMS motores permitem:

- ▶ Quantificar as habilidades motoras dos usuários [Friedman *et al.* , 2014, Patel *et al.* , 2009]
- ▶ Analisar a marcha dos usuários [Liao *et al.* , 2014]D
- ▶ Identificar sinais de bradicinesia (lentidão dos movimentos) presente no Parkinson [Zwartjes *et al.* , 2010]

Abordagem Proposta



Nesta tese, propomos monitorar a saúde de uma forma não invasiva usando jogos eletrônicos.

Cenário de Uso

Como possível cenário de uso para a pesquisa, supondo que:

- ▶ Um paciente faz uso do cliente JOGUE-ME no conforto de seus lar e, conseqüentemente, fornece os sinais motores em diferentes momentos do dia
- ▶ Logo, esses sinais motores são quantificados e enviados para o servidor JOGUE-ME
- ▶ O servidor JOGUE-ME analisa os sinais e identifica e quantificar a ocorrência dos sintomas motores
- ▶ Então, o médico recebe a informação sobre a saúde motora e consegue melhor gerenciar a saúde de seus pacientes

Jogos Aplicados à Saúde

Nos últimos anos, houve o surgimento de jogos para apoiar a prática de atividade física. Como por exemplo:

- ▶ Melhoria da saúde do idoso com: visado a reabilitação motora dos idosos [Graziadio *et al.* , 2014]
- ▶ Jogos com sensores hápticos para quantificar a habilidade motora do paciente com Parkinson [Atkinson & Narasimhan, 2010]
- ▶ Jogos para o monitoramento dos sinais vitais (Batimento cardíaco) [Sinclair *et al.* , 2009]

Motivação para uso de jogos para monitoramento dos dados motores

- ▶ Percentual expressivo de adultos e idosos que usam jogos em sua rotina diária (27% acima dos 50 anos [ESA, 2015])
- ▶ As tecnologias de sensores de movimento presentes nos jogos eletrônicos
- ▶ Reprodução de movimentos específicos em um ambiente lúdico

Objetivo Principal

Conceber um SMS embutido num jogo eletrônico para motivar e abstrair o monitoramento dos sinais motores de uma maneira não invasiva

Etapas do Trabalho

A metodologia deste trabalho consistiu de três etapas sequenciais:

- ETAPA 1 Quais os benefícios de acompanhar os sinais motores do paciente diariamente, do ponto de vista do profissional da saúde?
- ETAPA 2 Como melhor adquirir e quantificar sinais motores utilizando sensores de movimento para monitorar os sinais do Parkinson?
- ETAPA 3 Na perspectiva dos usuários, a abordagem de quantificar os sinais motores é considerada não-invasiva e aplicável à rotina diária?

Estudo de Caso

Como estudo de caso, escolhemos a Doença de Parkinson (Parkinson) por ser uma doença neurodegenerativa crônica, progressiva

- ▶ Comum em idosos
- ▶ Existem casos precoces em indivíduos antes dos 40 anos
- ▶ **flutuabilidade dos sintomas devido o tratamento medicamentoso**

Parkinson

O Parkinson é uma afecção do sistema nervoso central, a qual é expressa de forma crônica e progressiva.

- ▶ Causada pela morte dos neurônios produtores de dopamina da substância negra [Picon *et al.* , 2010]
- ▶ Caracterizada pelos sinais cardinais de rigidez, bradicinesia, tremor e instabilidade postural [Jankovic, 2008]

Doença de Parkinson

Bradicinesia

- ▶ Enquanto que o tremor é o sintoma motor mais visível do Parkinson, a bradicinesia é o mais incapacitante
- ▶ A bradicinesia é acompanhada de: rigidez dos músculos, assimetria dos movimentos e dificuldade nos movimentos

Estágios da Doença

Escala Unificada de Avaliação da Doença de Parkinson (UPDRS)

A escala contém itens referentes a:

- ▶ Mental, comportamento e humor
- ▶ Atividades da vida diária
- ▶ Exame motor
- ▶ Complicações no tratamento

Escala (UPDRS)

Disease Data Form

THE **WE MOVE** CLINICIANS' GUIDE TO PARKINSON'S DISEASE

Name _____ Unit Number _____

Date _____

DOPA mg/day _____ hrs DOPA lasts _____

| | ON | OFF | ON | OFF | ON | OFF | ON | OFF | ON | OFF | ON | OFF | ON | OFF | ON | OFF |
|------------------------------------|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|
| 1. Mentation | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2. Thought Disorder | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3. Depression | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4. Motivation/Initiative | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Subtotal 1-4 (maximum = 16) | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5. Speech | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6. Salivation | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7. Swallowing | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8. Handwriting | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9. Cutting food | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10. Dressing | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11. Hygiene | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 12. Turning in bed | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 13. Falling | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 14. Freezing | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 15. Walking | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 16. Total | | | | | | | | | | | | | | | | |

- ▶ Avaliação dos sintomas de maneira subjetiva e esporádica
- ▶ Flutuação dos sintomas (fenômeno *on/off*)

ETAPA 1

Quais os benefícios de acompanhar os sinais motores do paciente diariamente, do ponto de vista do profissional da saúde?

Entrevista Semi-Estruturada com Profissionais de Saúde

Objetivo da Pesquisa

O objetivo da entrevista semiestruturada foi entender como é feito o acompanhamento do paciente com sintomatologia do Parkinson, juntamente aos profissionais de saúde

Participantes

| LEGENDA | PROFISSÃO | EXPERIÊNCIA (ANOS) |
|---------|----------------|--------------------|
| FIS_01 | Fisioterapeuta | 10 |
| FIS_02 | Fisioterapeuta | 10 |
| NEU_01 | Neurologista | 15 |
| NEU_02 | Neurologista | 30 |

Resultado da Entrevista

- ▶ Identificamos a importância de **monitorar a bradicinesia para acompanhar a evolução do Parkinson**
- ▶ Os profissionais de saúde informaram da importância de calcular:
 1. amplitude dos movimentos de abdução e adução dos braços
 2. a velocidade angular desse movimento

ETAPA 2

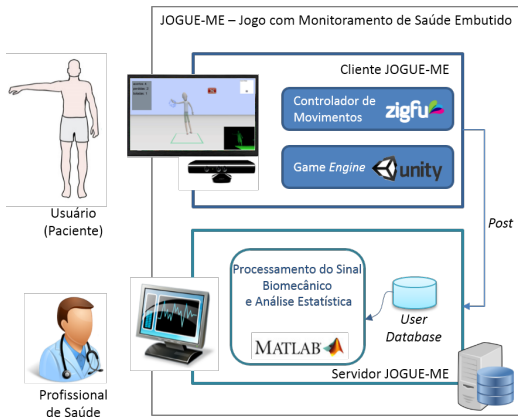
Como melhor adquirir e quantificar sinais motores utilizando sensores de movimento para monitorar os sinais do Parkinson?

Abordagem JOGUE-ME

A abordagem **JOGUE-ME** faz uso de jogos eletrônicos como interface de aquisição de sinais, tornando os usuários mais motivados a fornecer seus dados motores, em comparação ao uso dos dispositivos vestíveis

Este trabalho pretende usar um ambiente de jogo para a execução de movimentos específicos com o propósito de quantificar os sinais motores dos usuários e consequentemente realizar o monitoramento

Visão Geral da Abordagem JOGUE-ME



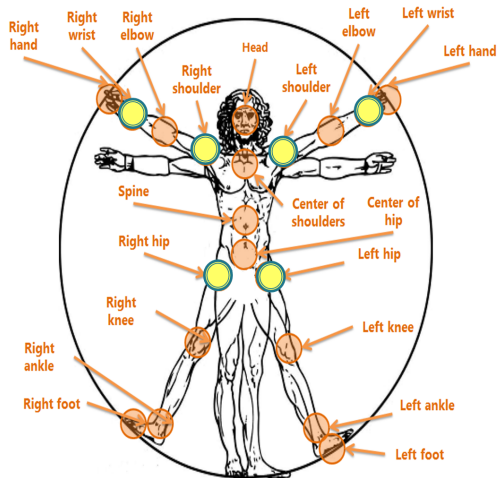
JOGUE-ME - *Jogo com Monitoramento de Saúde Embutido*

- ▶ **REQ-JOGUE-ME-01** - Pontuação e taxa de acerto
- ▶ **REQ-JOGUE-ME-02** - Progresso e evolução do jogador e dos desafios
- ▶ **REQ-JOGUE-ME-03** - Estado de fluxo
- ▶ **REQ-JOGUE-ME-04** - Preocupação com integridade física do jogador
- ▶ **REQ-JOGUE-ME-05** - Aquisição e armazenamento de sinais motores
- ▶ **REQ-JOGUE-ME-06** - Mecanismo de identificação de sintomas motores
- ▶ **REQ-JOGUE-ME-07** - Mecanismo de visualização

Estudo Biomecânico da Cinemática Angular

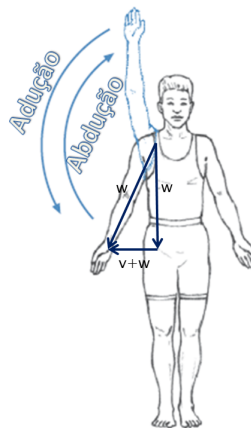
- ▶ A cinemática angular permite examinar o movimento angular a partir de segmentos de um movimento, divididos em partes identificáveis que aumentam a compreensão do movimento humano
- ▶ Estudo das forças e momentos que resultam no movimento do corpo e seus segmentos
- ▶ Processamento das grandezas cinemáticas considerando:
 1. tempo
 2. ângulo
 3. amplitude
 4. velocidade angular

Sensor de Captura de Movimentos

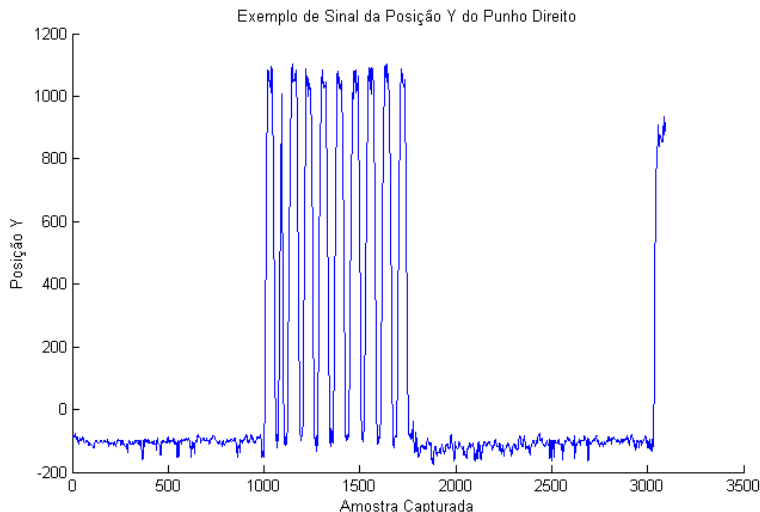


Movimento Angular

Movimento de Abdução e Adução do Braço [McGinnis, 2013]

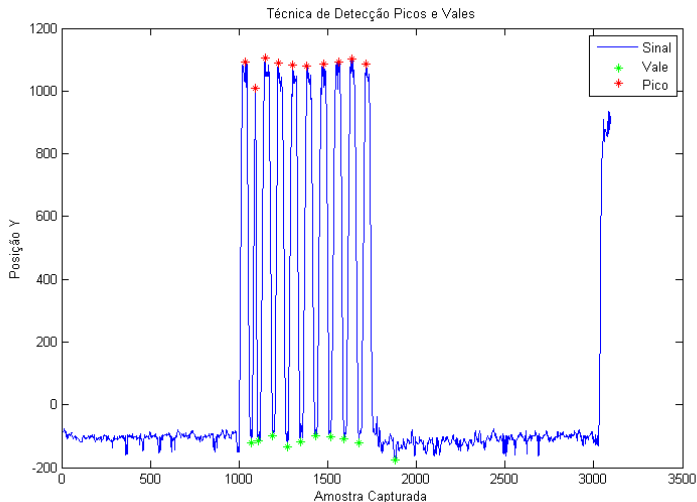


Mecanismo de Identificação de Sintomas Motores

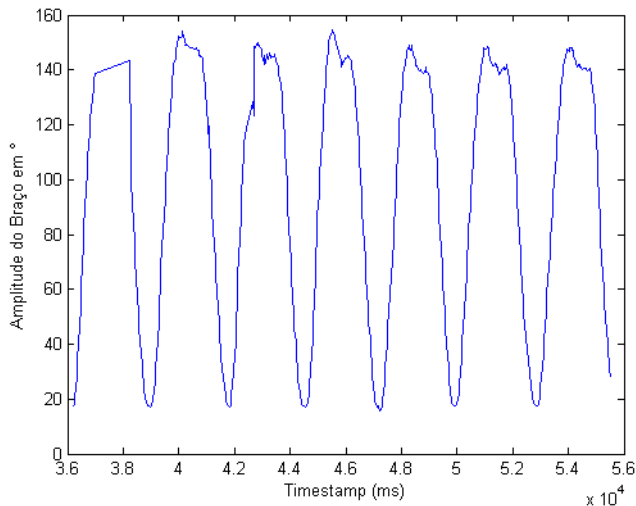




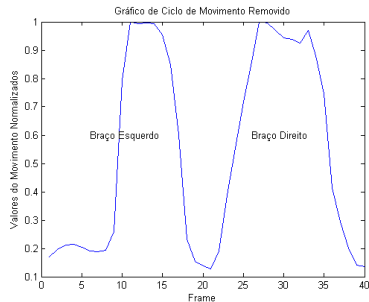
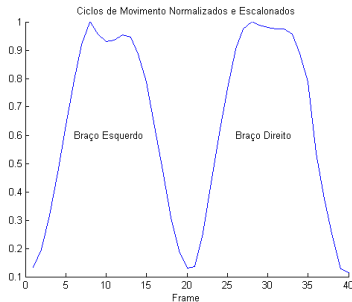
Técnicas de Picos e Vales do Sinal



Velocidade Angular do Movimento de Abdução e Adução



Filtragem de Dados: Remoção de Ciclos Incompletos



Visualização das Características do Movimento

| Velocidades %S | | | | Amplitudes | |
|------------------|-----------------|-----------------|----------------|------------|---------|
| Abdução Esquerda | Abdução Direita | Adução Esquerda | Adução Direita | Esquerda | Direita |
| 78,95 | 77,82 | 83,06 | 106,42 | 130,00 | 124,72 |
| 79,94 | 34,68 | 104,69 | 39,98 | 131,50 | 132,44 |
| 81,05 | 47,05 | 107,38 | 56,52 | 132,22 | 123,66 |
| 74,73 | 47,09 | 109,05 | 47,75 | 132,33 | 122,20 |
| 72,01 | 56,02 | 102,36 | 76,00 | 131,40 | 119,75 |

Tabela 3.1: Extração das Características de Indivíduo Com Diagnóstico da DP

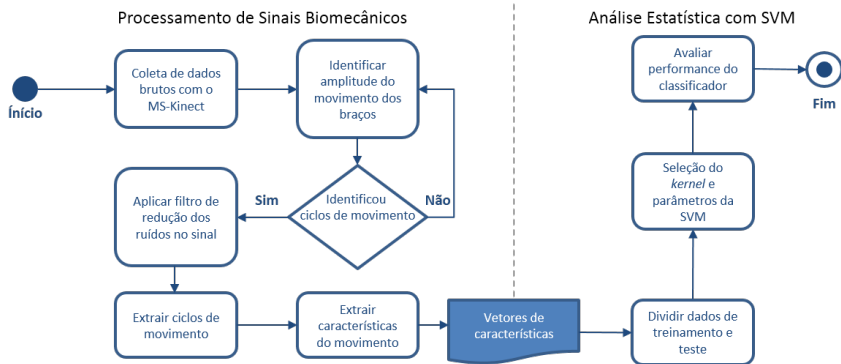
| Velocidades %S | | | | Amplitudes | |
|------------------|-----------------|-----------------|----------------|------------|-----------|
| Abdução Esquerda | Abdução Direita | Adução Esquerda | Adução Direita | Esquerda | Amplitude |
| 129,35 | 61,59 | 78,74 | 176,30 | 159,39 | 143,50 |
| 115,67 | 118,15 | 71,72 | 79,46 | 156,37 | 153,97 |
| 120,96 | 135,27 | 66,70 | 78,17 | 154,30 | 149,91 |
| 125,96 | 137,43 | 64,75 | 81,57 | 153,18 | 154,58 |
| 139,99 | 117,60 | 69,96 | 84,08 | 151,68 | 148,90 |
| 120,51 | 111,92 | 75,85 | 75,18 | 152,58 | 148,35 |

Tabela 3.2: Extração das Características de Indivíduo Sem Diagnóstico da DP

Classificador de Dados

Nesta tese, o classificador de dados foi utilizado para identificar o sintoma da bradicinesia em pacientes com Parkinson

Processamento dos Sinais Biomecânicos



Estudo Analítico de Caso-Controle: Identificação da Bradicinesia

Objetivo da Pesquisa

Como melhor adquirir e quantificar sinais motores utilizando sensores de movimento para monitorar os sinais do Parkinson?

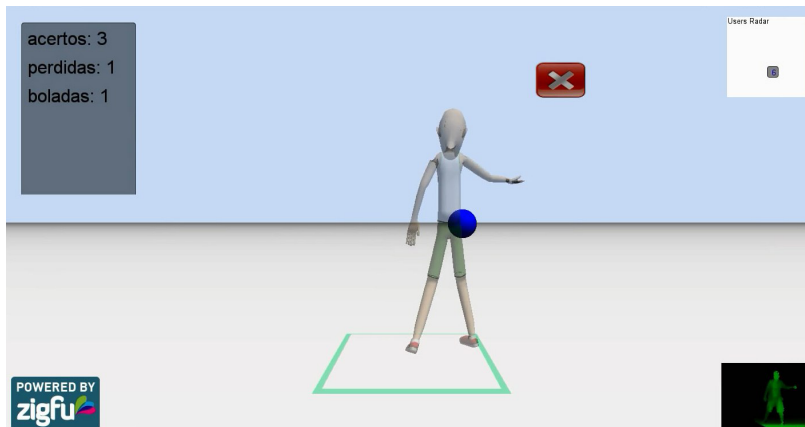
Coleta de Dados

- ▶ Protocolo de pesquisa submetido aprovado junto ao CEP da UFCG (**CAAE: 14408213.9.1001.5182**)
- ▶ Coleta realizada nas instituições:
 1. Hospital Universitário da UFAL
 2. Fundação Pestalozzi
 3. Clínica Fisioterapia do CESMAC

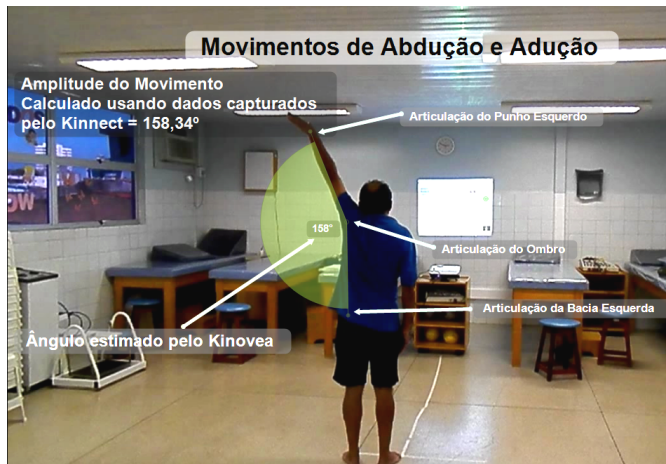
Amostra

- ▶ A técnica de amostragem utilizada para seleção, foi por conveniência, composta por:
 1. 15 indivíduos portadores do Parkinson entre 51 e 65 anos (média de idade : 58 anos)
 2. 15 sem o diagnostico, como grupo controle entre 50 e 65 anos (média : 57 anos)
- ▶ No grupo de portadores do Parkinson, foram inclusos indivíduos até o Estágio 3 (Doença bilateral leve a moderada com alguma instabilidade postural e capacidade para viver independente), segundo a UPDRS

Coleta dos Dados Utilizando o Jogo: *Catch the Spheres*

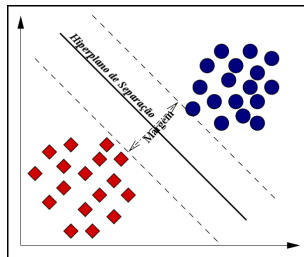


Coleta de Dados



Máquina de Vetor de Suporte (SVM)

- ▶ Uma SVM busca encontrar vetores de suporte que consigam separar duas classes
- ▶ Formalmente, esse classificador separa os dados por meio de um hiperplano através de uma função discriminante



Optimização dos Parâmetros da SVM

Aplicação do Método de *Grid-Search*

Para identificar os melhores parâmetros da SVM, foi aplicado o método *Grid-Search* [Li *et al.* , 2010] usando validação cruzada *Leave-One-Out* [Kantardzic, 2011].

Parâmetros da SVM

Custo (C)

O C é o parâmetro que controla a influência de individual de cada vetor de suporte no resultado da classificação.

Gamma (γ)

O parâmetro γ controla a flexibilidade da função de *kernel*, valores pequenos de γ permitem ao classificador ajustar todos os rótulos havendo risco de sobre ajustamento (*overfitting*).

Optimização dos Parâmetros

O objetivo da optimização dos parâmetros é encontrar no espaço formado por (γ, C) pontos nos quais a acurácia do classificador seja a maior possível.

Os valores dos parâmetros de pesquisa do *grid-search* foram:

- ▶ $C = [2^{-5}, \dots, 2^2]$
- ▶ $\gamma = [2^{-15}, \dots, 2^3]$

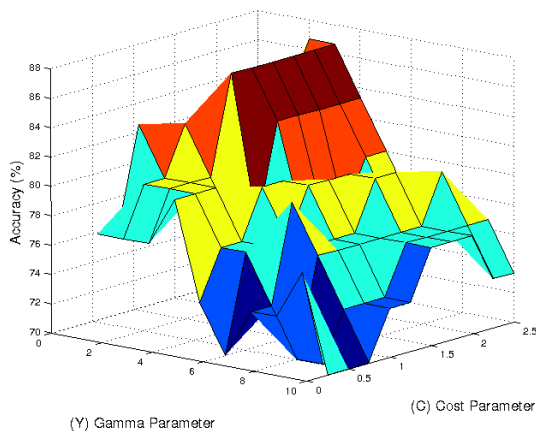
Valores da Busca Detalhada:

- ▶ $C = [0.25, 0.5, \dots, 2.5]$
- ▶ $\gamma = [1, 2, \dots, 10]$

Parâmetros Encontrados

Logo, usando o método *grid-search*, encontramos os seguintes valores para os parâmetros: $C = 2$ e $\gamma = 3$

Grid-Search - Acurácia da Classificação



Matriz de Confusão do Estudo Analítico Caso-Controle Usando SVM

| | Classe Preditiva | |
|-----------|------------------|----------|
| | Parkinson | Controle |
| Parkinson | 12 | 3 |
| Controle | 1 | 14 |

Métricas da Classificação

TpRate : taxa de amostras positivas corretamente classificadas

FpRate : taxa de falso alarme obtido

Accuracy : taxa de amostras classificadas corretamente

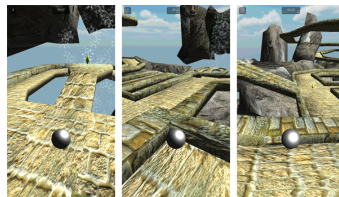
Precision : taxa de acerto de uma instância em determinada classe

F-Measure : considera a média harmônica da taxa de *precision* e do *tp rate*

| | |
|------------------|--------|
| TpRate | 80,00% |
| FpRate | 6,67% |
| Accuracy | 86,67% |
| Precision | 92,31% |
| F-Measure | 85,71% |

Outros Experimentos

Uso de Jogo em *Smartphone* Para Detecção de Tremor



Insucesso na Quantificação do Tremor

- ▶ Tremor do Parkinson é de repouso
- ▶ Indivíduos quando utilizavam o jogo reduziam drasticamente o sintoma
- ▶ Como os dados não seriam satisfatórios, logo a coleta tornou-se inviável

ETAPA 3

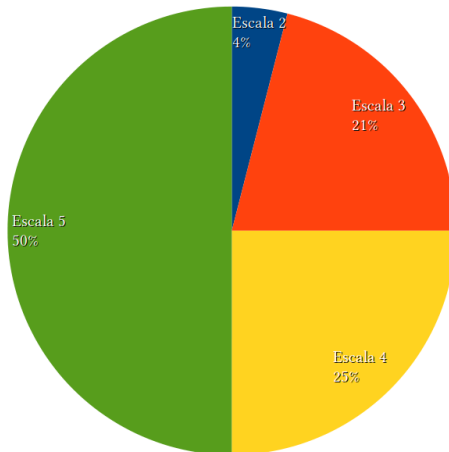
Na perspectiva dos usuários, a abordagem de quantificar os sinais motores é considerada não-invasiva e aplicável à rotina diária?

Questões da Pesquisa

1. O usuário poderia integrar a abordagem JOGUE-ME à sua rotina diária ?
2. A segurança com a integridade física está de acordo com a faixa etária do usuário ?

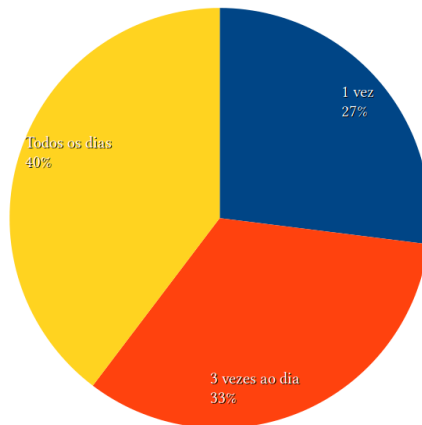
Integrar a Abordagem à Rotina Diária

Numa escala de 1 a 5 qual o grau de diversão do jogo ?



Integrar a Abordagem à Rotina Diária

**Se você tivesse adquirido esse jogo,
com que frequência você o utilizaria durante a semana?**

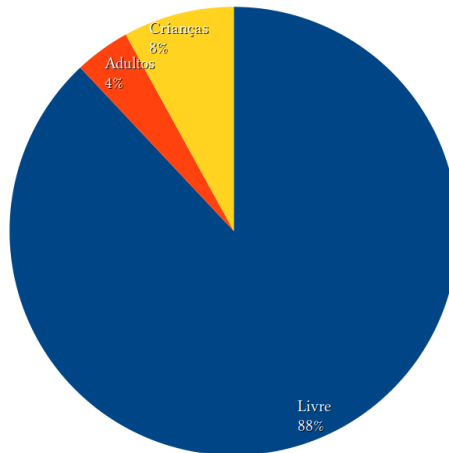


Integrar a Abordagem à Rotina Diária

| Métrica | Sim | Não |
|---|--------|--------|
| 1.2: O jogo traz motivação ao usuário? | 91,67% | 8,33% |
| 1.4: O usuário considera o jogo simples, sem muitas regras e de fácil entendimento? Ele pode ser aplicado em diferentes idades? | 91,67% | 8,33% |
| 1.5: O usuário tem o costume de jogar esses jogos casuais em casa? | 41,67% | 58,33% |
| 1.6: O usuário agregaria um jogo desse estilo em sua rotina diária? | 75% | 25% |

Segurança à Integridade Física

Qual a sua opinião sobre a faixa etária do jogo ?



Segurança à Integridade Física

| Métrica | Sim | Não |
|---|------|-----|
| 2.1: Uma criança estaria segura jogando esse jogo, ao efetuar os movimentos dos braços? | 100% | 0% |
| 2.2: Um adulto estaria seguro ao jogar esse jogo, ao efetuar os movimentos dos braços? | 100% | 0% |
| 2.3: Um idoso estaria seguro ao jogar esse jogo, ao efetuar os movimentos dos braços? | 75% | 25% |

Conclusão

Nos experimentos realizados, conseguimos demonstrar:

- ▶ A importância do acompanhamento dos sinais motores integrados à rotina diária do paciente
- ▶ A viabilidade do desenvolvimento de jogos para o monitoramento, pois, obtivemos uma taxa de acurácia de 86,67% e falsos positivos de 6,67%
- ▶ Um percentual de 83% dos usuários integrariam a solução de monitoramento proposta em sua rotina diária

Trabalhos Futuros

A partir dos resultados apresentados nesta tese e extensão da mesma, alguns trabalhos futuros são propostos para contribuição científica:

- ▶ Coletar uma amostra maior de pacientes com Parkinson, e agrupá-los de acordo com o estágio da doença [Goulart & Pereira, 2005]
- ▶ Usar técnicas de multi-classificação de dados [Chamasemani & Singh, 2011] para identificar o progresso do Parkinson de acordo com as escalas de avaliação
- ▶ Avaliar o sinal da bradicinesia em diferentes momentos do dia, para verificar a eficácia do tratamento medicamentoso [Picon *et al.* , 2010]

Publicações

Foram publicados três artigos, em conferências internacionais, relacionados à tese:

- ▶ **Abstract: Monitoring Parkinson related Gait Disorders with Eigengaits**, *XX World Congress on Parkinson's Disease and Related Disorders* (2013)
- ▶ **Full Paper: A Game-Based Approach to Monitor Parkinson's Disease: The bradykinesia symptom classification**, *International Symposium on Computer-Based Medical Systems* (CBMS 2016)
- ▶ **Full Paper: A Gait Analysis Approach to Track Parkinson's Disease Evolution Using Principal Component Analysis**, *International Symposium on Computer-Based Medical Systems* (CBMS 2016)

DÚVIDAS ?



Alemdar, Hande, Tunca, Can, & Ersoy, Cem. 2015.

Daily life behaviour monitoring for health assessment using machine learning: Bridging the gap between domains.

Personal ubiquitous computing.



Atkinson, S.D., & Narasimhan, V.L. 2010.

Design of an introductory medical gaming environment for diagnosis and management of parkinson's disease.

In: Trendz in information sciences computing.

IEEE.



Chamasemani, F. F., & Singh, Y. P. 2011.

Multi-class support vector machine (svm) classifiers - an application in hypothyroid detection and classification.

In: Sixth international conference on bio-inspired computing: Theories and applications.

IEEE.



Chen, Huan, Liao, Guo-Tan, Fan, Yao-Chung, Cheng, Bo-Chao, Chen, Cheng-Min, & Kuo, Ting-Chun. 2014.

Design and implementation of a personal health monitoring system with an effective svm-based pvc detection algorithm in cardiology.

In: Symposium on applied computing.
ACM.



ESA. 2015.

Essential facts about the u.s. computer and video game industry: Sales, demophahy and usage data.



Friedman, N., Rowe, J.B., Reinkensmeyer, D.J., & Bachman, M. 2014.

The manumeter: A wearable device for monitoring daily use of the wrist and fingers.

lee journal of biomedical and health informatics.



Goulart, Fátima, & Pereira, Luciana Xavier. 2005.

Uso de escalas para avaliação da doença de parkinson em fisioterapia.

Fisioterapia e pesquisa.



Graziadio, S., Davison, R., Shalabi, K., Sahota, K. M. A., Ushaw, G., Morgan, G., & Eyre, J. A. 2014.

Bespoke video games to provide early response markers to identify the optimal strategies for maximizing rehabilitation.

In: Proceedings of the 29th annual acm symposium on applied computing.

ACM.



Jankovic, J. 2008.

Parkinson's disease: clinical features and diagnosis.

Journal of neurology, neurosurgery & psychiatry.



Kantardzic, M. 2011.

Data mining: Concepts, models, methods, and algorithms. 2nd edn.

Piscataway, NJ, USA: John Wiley & Sons.



Li, Cheng-Hsuan, Lin, Chin-Teng, Kuo, Bor-Chen, & Ho, H.-H. 2010.

An automatic method for selecting the parameter of the normalized kernel function to support vector machines.

In: International conference on technologies and applications of artificial intelligence.

IEEE.



Liao, Chien-Ke, Lim, Chung Dial, Cheng, Ching-Ying, Huang, Cheng-Ming, & Fu, Li-Chen. 2014.

Vision based gait analysis on robotic walking stabilization system for patients with parkinson's disease.

In: International conference on automation science and engineering (case).

IEEE.



McGinnis, Peter. 2013.

Biomechanics of sport and exercise.

Human Kinetics.



Medeiros, Leonardo, Fischer, Robert, Almeida, Hyggo, Silva, Leandro, & Perkusich, Angelo. 2013.

Monitoring parkinson related gait disorders with eigengaits.

In: Xx world congress on parkinson's disease and related disorders.

Keynes International.



Medeiros, Leonardo, Almeida, Hyggo, Silva, Leandro, Perkusich, Mirko, & Fischer, Robert. 2016a.

A gait analysis approach to track parkinson's disease evolution using principal component analysis.

In: The 29th international symposium on computer-based medical systems (cbms 2016).
IEEE.



Medeiros, Leonardo, Almeida, Hyggo, Silva, Leandro, Perkusich, Mirko, & Fischer, Robert. 2016b.

A game-based approach to monitor parkinson's disease: The bradykinesia.

In: The 29th international symposium on computer-based medical systems (cbms 2016).
IEEE.



Mobyen Uddin Ahmed, Hadi Banaee, & Loutfi, Amy. 2013.

Health monitoring for elderly: An application using case-based reasoning and cluster analysis.

Isrn artificial intelligence.



Patel, S., Lorincz, K., Hughes, R., Huggins, N., Growdon, J., Standaert, D., Akay, M., Dy, J., Welsh, M., & Bonato, P. 2009.

Monitoring motor fluctuations in patients with parkinson's disease using wearable sensors.

IEEE transactions on information technology in biomedicine.



Picon, Paulo, Gadelha, Maria, & Beltrame, Alberto. 2010.

Protocolo clínico e diretrizes terapêutica - doença de parkinson.

Ministério da Saúde.



Sinclair, Jeff, Hingston, Philip, Masek, Martin, & Nosaka, Kazunori (Ken). 2009.

Using a virtual body to aid in exergaming system development.

IEEE computer graphics applications.



Zwartjes, D.G.M., Heida, T., van Vugt, J.P.P., Geelen, J.A.G., & Veltink, P.H. 2010.

Ambulatory monitoring of activities and motor symptoms in parkinson's disease.

IEEE transactions on biomedical engineering.