

Universidade Federal de Campina Grande
Centro de Engenharia Elétrica e Informática
Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação

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

Leonardo Melo de Medeiros

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Doutor em Ciência da Computação.

Área de Concentração: Ciência da Computação
Linha de Pesquisa: Engenharia de Software

Leandro Dias da Silva (Orientador)
Hyggo Oliveira de Almeida (Orientador)

Campina Grande, Paraíba, Brasil
©Leonardo Melo de Medeiros, Julho - 2016

Resumo

Os Sistemas de Monitoramento da Saúde (SMS) possibilitam aos médicos obterem informações sobre o estado de saúde de seus pacientes. Além disso, a identificação dos sintomas das doenças podem auxiliar no diagnóstico precoce e prevenir a ocorrência de situações críticas.

Para acompanhar e avaliar a saúde motora de um paciente, é necessário realizar uma avaliação motora por meio de movimentos específicos. Isto dificulta a concepção de um SMS de dados motores não-invasivo e engajados na rotina diária dos pacientes. A abordagem apresentada nesta tese, utiliza os jogos eletrônicos como fator motivacional para o fornecimento dos dados motores. Durante o jogo, o usuário é induzido a executar movimentos relevantes, de modo que um sensor de movimento possa adquiri-los e quantificá-los. Este ambiente lúdico, de jogo eletrônico, abstrai o usuário do contexto de tratamento da saúde e incentiva a execução dos movimentos de um maneira mais natural do que a imposta por um exame clínico.

Para avaliar esta abordagem, foi desenvolvido um jogo com a arquitetura proposta para identificar sintomas motores relacionadas com a Doença de Parkinson. Num estudo de caso-controle, foram avaliados os movimentos angulares dos braços para quantificar as habilidades motoras desses grupos. Os dados coletados foram processados e aplicados a uma Máquina de Vetor de Suporte (SVM) para classificar a ocorrência do sintoma da bradicinesia do Parkinson. Obteve-se uma classificação com uma acurácia de 86,67% e falsos positivos de 6,67%. Além disso, em uma experimento para avaliação da aceitação dos usuários, 90% ficaram motivados com o jogo desenvolvido e afirmaram que integrariam o SMS em sua rotina diária. Estes resultados demonstram que a abordagem de monitoramento baseado em jogos, apresentada nesta tese, tem potencial para ser um SMS para monitoramentos dos sintomas motores.

Abstract

Health Monitoring Systems (HMS) allow doctors to gain a better picture of their patient's health status. An early identification of symptoms can support the disease's diagnostic and prevent critical situations.

In order to monitor a patient's motor abilities, it is necessary to record and evaluate specific movements. This makes it difficult to design a HMS that non-obtrusively integrates into the patient's daily routine. The approach presented in this thesis makes use of the motivational power of electronic games. While playing the game, the user is incited to make the relevant movements, so that an optical sensor can detect and measure them. The playful situation distracts the user from thinking about health issues and therefore encourages more natural movements with improved validity for a health examination.

To evaluate this approach, a game has been developed and employed to detect Parkinson related motor symptoms. In a study with patients diagnosed as affected by the Parkinson Disease and a healthy control group, the angular movements of the arms were used to measure motor abilities. The data was then processed and applied to a Support Vector Machine (SVM) to predict, based on the detected movements, whether a subject shows Parkinson related symptoms or should be classified as healthy. The system classified the subjects with an accuracy of 86.67% and a rate of 6.67% false positives. Furthermore, the user acceptance of the game-based approach was studied and showed that 90% of the users felt motivated to play the game as part of their daily routine. These results demonstrate that the game-based approach presented in this thesis has the potential to become a base for HMS that monitor motor symptoms.

Conteúdo

1	Introdução	1
1.1	Relevância da Tese	2
1.2	Trabalhos Relacionados	3
1.3	Contribuições	5
1.4	Objetivos	6
1.5	Metodologia	6
1.5.1	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE)	8
1.5.2	Relação Risco Benefício da Pesquisa	8
1.5.3	Confidencialidade	8
1.6	Organização do Documento	9
2	Fundamentação Teórica	10
2.1	Doença de Parkinson	10
2.1.1	Diagnóstico	11
2.1.2	Principais Sinais do Parkinson	12
2.1.3	Escalas e os Estágios da Doença	13
2.2	Cinemetria	14
2.2.1	Movimento Angular	14
2.3	Máquina de Vetor de Suporte (SVM)	15
2.4	Conclusão	17
3	Abordagem <i>JOGUE-ME</i>	19
3.1	Definição de Requisitos da Solução	19
3.2	Visão geral da solução	20
3.3	Aquisição dos Sinais Por Meio de Sensores	21
3.4	Processamento de Dados Biomecânicos	22
3.4.1	Identificação de Ciclos de Movimento	22
3.4.2	Extração das Características do Movimento	24
3.4.3	Filtragem de Dados	25
3.5	Classificação de Dados por Máquina de Aprendizagem	28

3.6	Visualização dos Dados	29
3.7	Conclusão	30
4	Arquitetura de Software do JOGUE-ME	31
4.1	Arquitetura do JOGUE-ME	31
4.1.1	Arquitetura do JOGUE-ME Webservice	34
4.1.2	Módulo de Escrita	37
4.2	Processador de Dados Biomecânicos	38
4.2.1	Identificação dos Ciclos de Movimento	38
4.2.2	Extração das Características do Movimento	39
4.2.3	Filtro de Dados	40
4.3	Classificador de Dados	41
4.4	Conclusão	41
5	Avaliação Experimental	42
5.1	Entrevista Semiestruturada com Profissionais de Saúde	42
5.1.1	Objetivo da Entrevista Semiestruturada	43
5.1.2	Perfil dos Participantes	43
5.1.3	Análise	44
5.1.4	Requisitos Identificados	50
5.1.5	Considerações Finais Sobre a Entrevista SemiEstruturada	52
5.2	Máquina de Vetor de Suporte para Estudo Analítico de Caso Controle Por Intermédio de Sensor de Movimento Usado em Jogos Eletrônicos	54
5.2.1	Estudo analítico de caso-controle	54
5.2.2	Aplicação do Método	58
5.2.3	Resultados	58
5.2.4	Aprendizagem de Máquina (SVM)	59
5.3	Avaliação Da Aceitação Da Abordagem Junto aos Pacientes com Parkinson Utilizando <i>Goal Question Metric</i>	64
5.3.1	Aplicação do Método	65
5.3.2	Resultados	66
6	Conclusões e Trabalhos Futuros	70
6.1	Conclusões	70
6.2	Limitações do Trabalho	71
6.3	Trabalhos Futuros	71
6.4	Publicações	72

A	Projeto do Comitê de Ética em Pesquisa	83
A.1	Resumo	83
A.2	Introdução	83
A.3	Problemática	87
A.4	Objetivo	87
A.4.1	Específicos	87
A.5	Material E Método	88
A.5.1	Tipo de Estudo	88
A.5.2	Local	88
A.5.3	Amostra	88
A.5.4	Formas de Recrutamento	88
A.5.5	Material	89
A.5.6	Procedimentos	89
A.5.7	Base de Dados	90
A.5.8	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE)	90
A.5.9	Confidencialidade	91
A.5.10	Crerios Para Interromper a Pesquisa	91
A.5.11	Relaçaõ Risco Benefício da Pesquisa	91
A.5.12	Infra-Estrutura	91
A.6	Etapas da Pesquisa e Cronograma	92
A.6.1	Etapa da Pesquisa	92
A.6.2	Cronograma	92
A.7	Orçamento Estimado	93
B	Questionário Entrevista Semi-Estruturada	94
B.1	Entrevista com Profissionais de Neurologia	94
B.1.1	Sintomas da Doença de Parkinson	94
B.1.2	Monitoramento de dados Motores	94
B.1.3	Benefícios	95
C	Crerios Estabelecidos de Diagnóstico da Doença de Parkinson	97
D	Questionário GQM	99

Lista de Símbolos

Parkinson Doença de Parkinson

GQM *Goal-Question-Metric*

OMS Organização Mundial de Saúde

SMS Sistemas de Monitoramento da Saúde

SVM Máquina de Vetor de Suporte

JOGUE-ME Jogo com Monitoramento de Saúde Embutido

Lista de Figuras

1.1	Aplicação para <i>smartphone</i> com a finalidade de identificar sinais de tremor	5
2.1	Movimentos de abdução e adução do braço	15
2.2	Hiperplano de separação para duas classes	16
3.1	Visão geral da abordagem <i>JOGUE-ME</i>	20
3.2	Processamento de sinais biomecânicos.	23
3.3	Exemplo de sinal capturado da articulação do punho direito usando MS-Kinect na posição Y	24
3.4	Exemplo da aplicação da técnica de detecção de picos e vales no sinal . . .	25
3.5	Amplitude do movimento de abdução e adução	26
3.6	Detecção de picos e vales na amplitude do movimento de abdução e adução do braço	27
3.7	Ciclo de movimento removido	28
4.1	Arquitetura de software	31
4.2	Arquitetura JOGUE-ME: módulo cliente de aquisição de sinais motores . .	32
4.3	Diagrama de classe do ZigSkeleton e ZigSkeletonHealth	33
4.4	O jogo <i>Catch the Spheres</i>	34
4.5	Diagrama de Classes do Serviço JOGUE-ME	35
5.1	Teste de um jogo usando acelerômetro para quantificação do sinal de tremor do Parkinson	51
5.2	Movimentos de abdução e adução	56
5.3	Exemplo do gráfico dos ângulos de adução e abdução dos braços em função do tempo	57
5.4	Vetor médio do movimento de abdução e adução	59
5.5	<i>Grid-search</i> - acurácia da classificação	61
5.6	<i>Grid-search</i> - <i>fpRate</i>	62
5.7	O paradigma GQM	65
5.8	Resultado da pergunta 1	67
5.9	Resultado da pergunta 3	68

5.10 Resultado da pergunta 10	68
A.1 O jogo <i>Catch the Spheres</i>	89

Lista de Tabelas

3.1	Extração das características do indivíduo com diagnóstico do Parkinson . .	29
3.2	Extração das características do indivíduo sem diagnóstico do Parkinson . .	30
4.1	Operações disponibilizadas pelo <i>web service</i>	36
5.1	Perfil dos participantes	44
5.2	Matriz de Rastreabilidade: fragmento x requisitos	53
5.3	Requisitos implementados	53
5.4	Descrição do vetor de características extraído da coleta de dados.	57
5.5	Descrição da matriz de confusão	60
5.6	Resultado da matriz de confusão usando SVM	61
5.7	Média da amplitude do movimento de abdução do braço	63
5.8	Métricas da matriz de confusão	64
5.9	Métricas avaliadas pelo <i>GQM</i>	67
A.1	Etapas da Pesquisa	92
A.2	Cronograma	92
A.3	Material Permanente	93
A.4	Material de Consumo	93
D.1	O Questionário GQM	99

Lista de Códigos Fonte

2.1	Código de Predição da Classes	17
4.1	Identificar início e término do movimento periódico	38
4.2	Calcular ângulos relativos do movimento	39
4.3	Calcular velocidade angular da adução e abdução	39
4.4	Filtro para remoção de ciclos	40
4.5	Uso da SVM para classificação dos dados	41

Capítulo 1

Introdução

A idade média da população mundial está aumentando progressivamente devido à melhora da expectativa de vida. No entanto, tem-se um aumento da população idosa e, segundo estudos da Organização Mundial de Saúde (OMS) [71], muito em breve, teremos mais idosos do que crianças. Considerando que a população idosa possui uma maior incidência de doenças crônicas [52], é necessário melhorar o monitoramento do estado da saúde dessa população. Portanto, diante do crescimento da quantidade de pacientes crônicos, da iminente redução do número de leitos hospitalares disponíveis e da insuficiência de profissionais especializados para atender esta demanda [4], faz-se necessário transpor serviços de monitoramento dos pacientes crônicos dos leitos hospitalares para o acompanhamento domiciliar [95].

Na investigação desta demanda, pesquisadores da computação aplicada à saúde buscam prover mecanismos de monitoramento da saúde [4; 8; 1] como os Sistemas de Monitoramento da Saúde (SMS). Os SMS permitem ao médico acompanhar à distância o estado de saúde de seus pacientes de maneira colaborativa [4]. Atualmente, os SMS realizam tratamento preventivo e pró-ativo do estado de saúde [8]; suporte à reabilitação do paciente [38]; e auxílio para o paciente atingir uma melhor qualidade de vida [22]. Referente ao monitoramento dos sinais motores, os SMS conseguem quantificar as habilidades motoras [34; 74], efetuar análise da marcha [56] e identificar sinais de bradicinesia¹ [108]. Contudo, o maior desafio dessas abordagens é motivar e induzir o usuário a executar movimentos específicos para o monitoramento da habilidade motora.

Na busca por motivar os usuários a fornecer seus sinais motores, foi identificado que os jogos eletrônicos encontram-se presentes na rotina diária de 26% da população americana acima dos 50 anos [11]. Com base nesse número, têm-se um público de jogadores idosos que podem ser beneficiados por uma abordagem de monitoramento de dados de saúde embutida num jogo eletrônico. Aliado a esse estudo, foi encontrado jogos voltados para o público idoso aplicados à melhoria do estado de saúde, tais como jogos para a persuasão da prática de atividades físicas [24] e jogos para a melhoria das capacidades físicas e cognitivas [9].

¹Sintoma do Parkinson que consiste na lentidão da execução dos movimentos.

Dentro deste contexto, é que os jogos eletrônicos serão utilizados como um mecanismo para motivar a frequência do monitoramento da saúde, e induzir a execução dos movimentos específicos necessários para o monitoramento da saúde motora. Mais especificamente, busca-se integrar os SMS na vida diária de indivíduos através dos jogos, com foco em doenças motoras. Nesta tese, a Doença de Parkinson (Parkinson) foi escolhido como objeto de estudo devido a suas características: doença neurodegenerativa crônica, progressiva, que possui sintomas motores que são reduzidos por tratamento medicamentoso.

O Parkinson é uma doença mais comum em idosos, no entanto, existem casos precoces em indivíduos antes dos 40 anos ou até mesmo abaixo dos 21 [66]. A incidência da doença é estimada entre 100 a 200 casos por 100.000 habitantes e, com o envelhecimento da população, o contingente de pessoas diagnosticadas com Parkinson tende a aumentar nos próximos anos. Após os 10 anos de tratamento, a doença leva o indivíduo a irreversíveis debilidades: motoras e cognitivas. Logo, a abordagem de monitorar os sinais em diferentes momentos do dia permite um melhor gerenciamento da doença e, por consequência, melhora a qualidade de vida destes indivíduos.

1.1 Relevância da Tese

Nos últimos anos, a criação de tecnologias computacionais para o monitoramento da saúde [16] tem sido tema relevante e recorrente na computação [59; 85; 61]. Uma área de grande interesse é o monitoramento não invasivo para pacientes com Parkinson, incluindo os de: funções autônomas² dos sinais vitais [41], pressão sanguínea e batimentos cardíacos [99], nível de concentração do tratamento medicamentoso no sangue [97], além de sua classificação entre indivíduos normais e portadores de Parkinson usando máquinas de aprendizagem [85; 59; 57].

No entanto, realizar o monitoramento não-invasivo dos sinais motores ainda é um desafio [104; 72]. Por este motivo, nesta tese, foi desenvolvida uma arquitetura de *software* que, de uma maneira não-invasiva, proporciona usar jogos eletrônicos para induzir e motivar o indivíduo a executar movimentos passíveis de monitoramento dos sinais motores.

O uso dos SMS para pacientes com Parkinson permite mensurar, identificar e quantificar sintomas do Parkinson para auxiliar o médico no acompanhamento do estado de saúde de seus pacientes [59]. Além disso, a disseminação destes sistemas pode aumentar a compreensão clínica da evolução da doença e até mesmo identificar um diagnóstico completo, que ainda não foi estabelecido [75], baseado nas evidências identificadas pelo uso de soluções computacionais [85].

Atualmente, entidades internacionais de fomento industrial e científico da computação,

²Distúrbio funcional, de natureza primária ou secundária, resultante de alterações puramente funcionais ou orgânicas localizadas em um ou em ambos os componentes do sistema nervoso autônomo.

como *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE) [94] e *Association for Computing Machinery* (ACM) [93], promovem simpósios como o *Computer Based Medical Systems* (CBMS) [44], *Symposium On Applied Computing* (SAC) (*track on Healthcare*) [3], conferências como *Healthcare Conference* (HEALTHCON) [43] e *International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare* (PervasiveHealth) [2] e até mesmo revistas científicas como *Journal of Biomedical and Health Informatics* (JBHI) [45], *IEEE Transactions on Biomedical Engineering* [46] (TBE). Em 2015, o *Journal of Biomedical and Health Informatics* (JBHI) publicou uma *special issue* cujo tema foi sobre tecnologias para o gerenciamento do Parkinson [42]. No Brasil, a Sociedade Brasileira de Computação (SBC) [26] promove, no seu principal congresso [25], o *Workshop de Informática Médica* (WIM) [82], que tem como objetivo reunir pesquisadores, estudantes, professores, empresários e profissionais da computação aplicada à Saúde. Dessa maneira, evidencia-se a importância desta tese tanto nas comunidades científicas nacionais quanto internacionais.

Por fim, a elaboração desta tese gerou desdobramentos e discussões científicas no grupo de pesquisa na área de computação aplicada à saúde dentro da UFCG. Como resultado desta sinergia, foi possível colaborar com duas defesas de mestrado [79; 15].

1.2 Trabalhos Relacionados

Nesta seção, serão apresentados os trabalhos relacionados e os benefícios providos por estes.

Devido ao aumento do número de indivíduos sedentários, as pesquisas para a promoção da atividade física têm se tornado tópico de interesse para a comunidade científica [7; 58]. Atualmente, os dispositivos de sensores de movimento permitem desenvolver jogos que beneficiam a saúde e o bem estar de forma promissora [24]. Por esse motivo, houve um incremento significativo de jogos comerciais aplicados à saúde e ao bem-estar da população [104]. Nos últimos anos [30], os idosos ficaram motivados a usar jogos eletrônicos que aumentam a atividade física e trazem benefícios à saúde. Por este motivo, foram desenvolvidos jogos para este público com o objetivo de promover a reabilitação motora [55], o auto-gerenciamento da saúde [24] e até mesmo acompanhar a saúde de pacientes portadores de doenças crônicas como o Parkinson [90; 38].

Zavala-Ibarra e Favela [105] propuseram uma arquitetura de monitoramento da saúde usando jogos com o objetivo de monitorar a força dos usuários. Além do jogo, os autores criaram um dispositivo de aquisição de força para avaliar a proposta. A avaliação foi realizada com 5 idosos para verificar a usabilidade e o interesse do jogo proposto. Além disso, os resultados obtidos foram comparados aos métodos clínicos tradicionais que utilizam instrumentos clínicos, como um dinamômetro, por exemplo. Os resultados identificaram que o dispositivo proposto mediu a pressão com exatidão. No entanto, esta proposta é dependente do dispositivo e isso dificulta a replicação dos resultados em outros estudos científicos. Por

este motivo, é importante que o sensor de coleta de dados seja de uso comercial, facilitando a sua aquisição.

Atkinson e Narasimhan [12] desenvolveram um jogo que utiliza um sensor de toque para quantificar a habilidade motora do paciente com Parkinson. Teoricamente, esta abordagem auxilia no diagnóstico do Parkinson. No entanto, não foi realizado nenhum estudo com os pacientes para avaliar sua eficácia. Synnott *et al.* [90] desenvolveu um sistema de gerenciamento medicamentoso e um jogo, utilizando um sensor de captura de movimentos, para identificar o sinal de tremor de Parkinson. Porém, o tremor de Parkinson é de repouso [40]. Logo, quando o usuário está concentrado, entra no estado de ação e reduz drasticamente o tremor.

Papastergiou *et al.* [73] identificaram efeitos positivos para a reabilitação através do uso do jogo *Wii Sports* e um potencial mecanismo de prevenção e reeducação motora com o uso do *Wii Fit*. Porém, esses jogos possuem suas limitações e não são substitutos dos esportes reais. Ainda assim, o autor salienta que um ambiente mais controlado, que permite a execução de atividades físicas, inibe a ocorrência de situações de risco como um movimento brusco e que venha causar um dano físico maior. Baseado nessas observações, esse trabalho primou por demonstrar as dificuldades e os efeitos positivos em combinar os jogos sérios de esportes e saúde com as tecnologias de sensores, para a personalização e adaptação dos jogos. Paraskevopoulos *et al.* [38] propõem um conjunto de diretrizes para o desenvolvimento de jogos com o objetivo de acompanhar o tratamento fisioterápico dos pacientes com Parkinson e dar suporte à reabilitação destes.

Sinclair *et al.* [84] consideram que os jogos comerciais para prática de exercício físico (*exergames*) não devem ser usados apenas como um motivador para a prática, mas também podem ser usados para monitorar sinais vitais como batimento cardíaco e reconhecer atividades via acelerômetros. Arntzen [9] se preocupou com os aspectos cognitivos e físicos da aprendizagem baseada em jogos para idosos [9], defendendo que é necessário identificar quais habilidades cognitivas e físicas precisam ser desenvolvidas, além de considerar a limitação do idoso em relação aos movimentos bruscos no intuito de evitar lesões.

LeMoyne [53] quantificou os sinais de tremores de Parkinson usando um *smartphone* (Figura 1.1). Ele considerou que os *smartphones* estão presentes na rotina dos pacientes e que estes iriam mensurar seus tremores em diferentes momentos do dia. No entanto, o principal problema em mensurar o tremor usando *smartphones* é que o tremor do Parkinson é de repouso [47]. Logo, os pacientes reduzem drasticamente o sinal, o que impacta diretamente na coleta dos dados. Deve-se considerar também que LeMoyne [53] não realizou avaliações com pacientes ou estudo de caso-controle.

Como apresentado nos trabalhos relacionados, as soluções existentes para SMS dos sinais motores utilizam sensores vestíveis (*wearables*), que comumente são incorporados à roupa ou ao corpo do usuário [57]. De acordo com a perspectiva do usuário, estes sensores são considerados invasivos e estereotipados [1]. Por outro lado, o gerenciamento medicamentoso



Figura 1.1: Aplicação para iPhone com a finalidade de identificar sinais de tremor [53]

do Parkinson necessita de um cuidado acurado e diário [50; 27]. Por este motivo, é que esta tese pretende prover um mecanismo para quantificar os sinais motores do Parkinson através da indução da execução dos movimentos.

1.3 Contribuições

Nesta tese, foi definida uma arquitetura de *software* (Capítulo 4) que usa um jogo eletrônico para induzir a execução de movimentos para quantificar, avaliar e identificar o sintoma de bradicinesia do Parkinson de uma forma lúdica e longe do contexto de tratamento da saúde.

Do ponto de vista clínico, tornou-se possível identificar o estado da saúde dos paciente e a eficácia do tratamento medicamentoso. Atualmente, o acompanhamento das flutuações motoras do Parkinson é realizado de forma subjetiva por auto-relatórios de avaliações diárias [50; 72] dos pacientes que informam em que período do dia a medicação está surtindo efeito. No entanto, para uma avaliação mais acurada dos sintomas motores, é necessário induzir a execução de movimentos que permitem a avaliação motora do indivíduo portador do Parkinson [104].

Por estes argumentos apresentados, foi implementado nesta tese um mecanismo quantitativo de avaliação da eficácia do tratamento que utiliza um jogo eletrônico que induz o usuário a executar movimentos de avaliação motora de uma maneira não-invasiva. Esta abordagem de monitoramento resulta em benefícios aos médicos para um tratamento mais efetivo e acurado da dosagem medicamentosa.

Como possível cenário de uso desta tese, supondo que um paciente de uma doença crônica como o Parkinson faz uso de medicamento antiparkinsoniano e possui um jogo de monitoramento de sinais do Parkinson em sua residência, caso ele utilize o jogo em diferentes momentos do dia, os sinais podem ser quantificados sem a presença de um profissional de saúde, que poderia visualizar a melhora ou a piora do estado de saúde do seu paciente ao longo dos dias. A partir da presente abordagem, o médico, ao possuir a informação, poderia gerenciar melhor a dosagem medicamentosa e, conseqüentemente, prolongar a qualidade de vida do paciente.

1.4 Objetivos

Esta tese objetivou conceber uma solução computacional que induz o usuário a executar movimentos para avaliação motora. Pretende-se usar jogos eletrônicos como forma de: *induzir*, *motivar* e abstrair o monitoramento de dados de saúde de uma maneira *não invasiva* e longe *do contexto de tratamento de saúde*.

Nesta tese, foi definida uma arquitetura de software para o desenvolvimento de jogos eletrônicos integrados a um SMS, onde, demonstrou-se a viabilidade desta arquitetura com a implementação de um jogo capaz de monitorar um sintoma do Parkinson, como estudo de caso.

A avaliação da tese foi realizada em duas etapas: na primeira, avaliou-se a capacidade de monitoramento dos indivíduos com Parkinson em um estudo analítico de caso-controle; na segunda, avaliou-se a possibilidade de inserir este monitoramento na rotina diária dos pacientes. O estudo analítico de caso-controle, onde foi realizado uma avaliação com 30 sujeitos de pesquisa (15 do grupo controle e 15 diagnosticados com Parkinson). Como resultado, foi identificado e quantificado o sintoma da bradicinesia. Para distinguir os grupos (caso-controle e diagnosticados com Parkinson), utilizamos uma Máquina de Vetor de Suporte (SVM) para classificação dos dados [102], com a qual obteve-se uma acurácia de 86,66%. Avaliou-se a adequação da abordagem de monitoramento dos sinais motores na rotina diária usando jogos eletrônicos, aplicando a técnica *Goal-Question-Metric* (GQM) [86]. Nesta avaliação, 90,00% dos avaliados consideraram a abordagem não-invasiva e incorporável a rotina diária.

1.5 Metodologia

Esta pesquisa foi submetida à avaliação pelo Comitê de Ética da UFCG (CAAE: **14408213.9.1001.5182**)³ (Apêndice A), somente depois da aprovação deste é que os dados foram coletados. A metodologia de pesquisa possui aspectos qualitativos e quantitativos. Referente ao aspecto qualitativo, buscou-se identificar a importância desta tese junto à comunidade de especialistas da área de saúde (Seção 5.1). Nos aspectos quantitativos, essa pesquisa fez uma análise dos sensores de movimento e avaliou a acurácia da aquisição de sinais motores e possibilidade de identificar os sinais do Parkinson por meio da coleta de dados usando a Cinemática Angular do Movimento Humano. A partir desses dados, pôde-se classificar a normalidade e dificuldade na execução dos movimentos de abdução e adução dos braços [62], como será apresentado na Seção 5.2. A perspectiva do usuário referente a aceitabilidade da proposta foi avaliada usando uma análise GQM, que consiste numa abordagem hierárquica que inicia com uma questão principal e a subdivide em questões mensu-

³Plataforma Brasil, url: <http://aplicacao.saude.gov.br/plataformabrasil/>

ráveis [80], como será apresentado na Seção 5.3.

Em resumo, três questões foram utilizadas como base para a definição da metodologia do trabalho:

QUESTÃO 1 Quais os benefícios de acompanhar os sinais motores do paciente diariamente, do ponto de vista do profissional da saúde?

QUESTÃO 2 Como melhor adquirir e quantificar sinais motores utilizando sensores de movimento para monitorar os sinais de Parkinson?

QUESTÃO 3 Na perspectiva dos usuários, a abordagem de quantificar os sinais motores é considerada não-invasiva e aplicável à rotina diária?

A execução da metodologia de trabalho foi realizada de acordo com as seguintes atividades:

1. Realização da revisão bibliográfica e coleta de requisitos junto a profissionais de saúde.
2. Definição da abordagem, denominada Jogo com Monitoramento de Saúde Embutido (JOGUE-ME), baseada em captura de sinais motores através de sensores de movimento, utilizando jogos eletrônicos e processamento dos sinais para transformá-los em informações de saúde.
3. Análise da perspectiva dos profissionais de saúde relacionados ao acompanhamento dos sinais motores dos pacientes com Parkinson (os profissionais foram indagados sobre a melhora na tomada de decisão quanto ao acompanhamento dos sinais). Procurou-se encontrar, junto ao profissional de saúde, a importância do monitoramento dos sinais motores e os benefícios trazidos por este, através de uma abordagem de pesquisa qualitativa. Com esta pesquisa, foi possível avaliar a **QUESTÃO 1**, que consiste em verificar a importância do acompanhamento de sinais motores integrados à rotina diária do paciente.
4. Validação do uso de sensores para classificação dos dados através do processamento dos sinais motores adquiridos por sensores de movimento utilizados em jogos eletrônicos. A classificação consistiu em aplicar os sinais numa SVM para distinguir indivíduos do grupo controle ante indivíduos diagnosticados com Parkinson. O resultado dessa pesquisa demonstrou a viabilidade da abordagem e, consequentemente, validou a **QUESTÃO 2** do trabalho.
5. Definição da arquitetura de software que viabilizou tecnicamente a abordagem JOGUE-ME. Nesta pesquisa, definimos um arcabouço de software para encapsular o desenvolvimento de jogos com essa abordagem.

6. Validação a solução JOGUE-ME do ponto de vista computacional. A solução foi validada através da implementação da arquitetura e do desenvolvimento de jogos. Com esta etapa, demonstrou-se ser possível realizar monitoramento de dados motores de forma não invasiva, ou seja, sem os jogadores perceberem que estão fornecendo dados de saúde.
7. Avaliação junto ao público alvo (portadores de Parkinson) sobre: os requisitos de usabilidade, adequação à rotina diária, segurança física e se a proposta é considerada não-invasiva na perspectiva do paciente. Com esta avaliação, avaliou-se a **QUESTÃO 3** da pesquisa.

1.5.1 Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE)

Antes da realização da coleta dos dados, expomos aos sujeitos da pesquisa as informações necessárias para a realização do estudo. Desta maneira, o indivíduo consentiu com sua participação através da assinatura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido⁴ (Apêndice A).

1.5.2 Relação Risco Benefício da Pesquisa

Os riscos inerentes podem decorrer da exposição de dados dos participantes da pesquisa, o que pode acarretar danos morais e/ou psicológicos. Por esse motivo, foram tomados todos os cuidados para que a identidade do indivíduo não fosse revelada, garantindo assim, privacidade e confidência das informações. Todos os dados coletados, estão disponibilizados para pesquisa futura, permitindo o uso para pesquisa a todas instituições envolvidas (UFCG, UFAL e IFAL). No entanto, preservamos a identidade dos participantes da pesquisa e omitimos todos os dados que permitissem sua identificação, conforme descrito no Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.

Durante a realização da pesquisa com os participantes da pesquisa, houve uma preocupação referente a possíveis constrangimentos por parte do sujeito da pesquisa. Caso, não conseguisse realizar a pesquisa ou responder alguma pergunta devido ao comprometimento da doença. O pesquisador prestou total assistência, orientando-os adequadamente. Mas, salienta-se que os riscos apresentados justificam-se pelo benefício de monitorar os sinais do Parkinson para um melhor tratamento da doença.

1.5.3 Confidencialidade

Os dados do estudo em questão são considerados propriedade conjunta das partes envolvidas (UFCG, UFAL e IFAL). Porém, sua utilização por terceiros necessita de prévia autorização

⁴Resolução Nº 196/96, do Conselho Nacional de Saúde, do Ministério da Saúde (CNS/MS).

de todos. No entanto, na submissão do Projeto ao Comitê de Ética da UFCG (CAAE: **14408213.9.1001.5182**), expressou-se o comprometimento em tornar público os resultados da pesquisa, sejam estes favoráveis ou não.

1.6 Organização do Documento

O restante deste documento está organizado da seguinte forma:

- No Capítulo 2 está descrita a fundamentação teórica relacionada ao trabalho.
- No Capítulo 3 está definida a abordagem JOGUE-ME para indução e monitoramento dos sinais motores de maneira não invasiva usando jogos eletrônicos.
- No Capítulo 4 é apresentada a arquitetura de software da abordagem.
- No Capítulo 5 são apresentados os experimentos realizados para avaliar a tese.
- No Capítulo 6 são apresentadas as conclusões do trabalho e propostos trabalhos futuros.

Capítulo 2

Fundamentação Teórica

Neste capítulo, pretende-se oferecer ao leitor uma visão geral das principais áreas nas quais esse trabalho está fundamentado. Mais especificamente, apresenta-se uma explicação sobre o Parkinson, seus sinais motores, os estágios da doença, o uso da cinemetria como ferramenta para medição dos parâmetros cinemáticos do movimento humano, e a SVM como classificador de dados para a identificação dos padrões presentes em um conjunto de dados.

2.1 Doença de Parkinson

O termo Parkinsonismo é genérico e designa uma série de doenças com causas diferentes, que têm em comum a presença de sinais frequentemente encontrados no Parkinson. Esta doença é uma das muitas formas de parkinsonismo, correspondendo a cerca de 75% dos casos. Os sinais associados ao Parkinson [81] são causados pela degeneração dos neurônios dopaminérgicos presentes na substância negra. O Parkinson é mais comum em idosos, porém existem casos precoces de início da doença em indivíduos antes dos 40 anos ou até mesmo abaixo dos 21 [66]. A incidência da doença é estimada de 100 a 200 casos por 100.000 habitantes e, com o avanço da idade populacional, o contingente de pessoas diagnosticadas com Parkinson tende a aumentar.

O Parkinson é uma doença progressiva e incapacitante e, após os 10 anos de tratamento, o custo operacional, o impacto social e financeiro aumentam vertiginosamente. Estima-se que o custo anual mundial com medicamentos antiparkinsonianos esteja em torno de 11 bilhões de dólares, tornando-se de 3 a 4 vezes mais caro nas fases avançadas da doença [81]. Outro fator crucial para a escolha do Parkinson como objeto de estudo é a variação dos sinais motores ao longo do dia em virtude da resposta ao tratamento medicamentoso. Portanto, a abordagem de monitorar os sinais, em diferentes momentos do dia, permite um melhor gerenciamento da doença e, como consequência, uma melhora na qualidade de vida dessa população.

Atualmente, o levodopa é o tratamento medicamentoso mais utilizado para o tratamento

de redução dos sinais do Parkinson. Porém, sua efetividade é reduzida ao longo do tempo, o que requer um aumento progressivo das dosagens ou o uso de outros tratamentos associados. Isso acarreta em um gerenciamento complexo entre drogas e seus respectivos efeitos colaterais. Portanto, ao buscar prolongar a qualidade de vida dos pacientes com o uso deste tratamento, é recomendável um gerenciamento medicamentoso com uma dosagem mínima [40], para reduzir os sinais motores e prolongar a qualidade de vida do paciente. Como o gerenciamento medicamentoso é de responsabilidade do neurologista, este o faz de acordo com as visitas clínicas dos pacientes, quando estes ou seus cuidadores fazem relatos sobre o progresso do tratamento. Contudo, esta avaliação clínica é realizada de forma esporádica e subjetiva [81; 27]. Dessa maneira, é necessário uma quantificação destes sinais para um tratamento mais adequado e preciso.

Com o surgimento do tratamento para o Parkinson é possível manter uma mobilidade funcional durante anos, além de aumentar a expectativa de vida dos pacientes tratados [28]. Os fármacos do grupo dos antiparkinsonianos, como a levodopa, permitem restaurar a atividade dopaminérgica que se encontra reduzida; dessa maneira, as drogas aliviam os sinais característicos da doença. Entretanto, devido aos efeitos colaterais frequentes induzidos pelos fármacos, é preciso iniciar o tratamento com esses medicamentos somente quando os sinais estiverem prejudicando o desempenho profissional ou as atividades diárias do paciente [28]. A natureza progressiva do Parkinson e suas manifestações clínicas (motoras e não motoras) estão associadas a efeitos colaterais precoces e tardios da intervenção terapêutica, o que torna o tratamento da doença bastante complexo [81]. Estima-se que a taxa de morte dos neurônios dopaminérgicos da substância negra situa-se ao redor de 10% ao ano [40]. Consequentemente, com o passar do tempo, a sintomatologia parkinsoniana tende a evoluir, o que aumenta a necessidade de uma maior dosagem medicamentosa, pois a resposta aos medicamentos decresce com o progresso da doença [81].

2.1.1 Diagnóstico

Os sinais mais característicos do Parkinson e que são frequentemente usados para diagnosticar a doença são [77]: tremor em repouso (que diminui durante movimentos voluntários); bradicinesia (lentidão e escassez de movimentos, além de dificuldade na marcha); rigidez muscular (aumento da resistência ao movimento passivo dos membros); e perda de reflexos posturais, que leva à alteração da marcha e aumenta a ocorrência de queda [28; 96].

A evolução da doença, a gravidade e a progressão dos sinais variam de um paciente para outro. Atualmente, não existe teste diagnóstico estabelecido para a doença, e os estudos comprovam dificuldade na diferenciação clínica entre o Parkinson e outras formas de parkinsonismo. A maioria dos neurologistas concorda que o diagnóstico do Parkinson requer a identificação de alguma combinação de sinais motores cardinais, como: tremor de

repouso, bradicinesia, rigidez tipo roda denteada e alterações posturais. No entanto, uma classificação clínica padrão ainda não foi obtida [81]. Além do mais, um diagnóstico auxiliar importante é a resposta dos pacientes aos medicamentos antiparkinsonianos, tal como a levodopa [81]. Os protocolos clínicos [81; 40] sugerem que o diagnóstico do Parkinson está diretamente relacionado à resposta satisfatória ao levodopa. No entanto, uma resposta satisfatória à levodopa não confirma o diagnóstico do Parkinson [77], porque existem muitos casos de parkinsonismo sintomáticos e muitas formas de síndromes de Parkinson, que, em seus estágios iniciais, respondem bem ao levodopa.

Atualmente, os critérios estabelecidos pelo Banco de Cérebros da Sociedade de Parkinson do Reino Unido [40] são os mais utilizados para diagnosticar a doença (Apêndice C).

2.1.2 Principais Sinais do Parkinson

Nesta seção serão descritos sintomas motores mais frequentes do Parkinson [81] e que foram objetos deste estudo.

Tremor

O tremor é o sintoma mais frequente e mais perceptível [47] do Parkinson, embora não seja o mais incapacitante. No entanto, para a maioria dos pacientes, este sinal é o principal motivo que os leva a procurar ajuda médica. Sua principal característica é o rítmico relativamente lento quando comparado a outros tipos de tremor (4 a 7 ciclos por segundo), em que sua maior frequência é quando o membro está em repouso, sendo denominado de tremor de repouso. No início da enfermidade, o tremor ocorre em um lado (tremor assimétrico), e assim permanece por diferentes períodos de tempo. Situações de estresse emocional ou a sensação de ser observado aumentam, visivelmente, a intensidade do tremor [47].

Por ser um sinal relacionado ao repouso do membro, os usuários cessavam o sinal assim que eram confrontados com um jogo eletrônico desenvolvido para quantificação do tremor. Por esse motivo, não foi possível desenvolver um jogo que quantificasse este sinal.

Bradicinesia

Enquanto que o sintoma de tremor é o mais visível do Parkinson, a bradicinesia é o sintoma mais incapacitante da doença. A bradicinesia consiste numa lentidão do movimento voluntário e num comprometimento de todos os movimentos associados a ele. A acinesia é uma progressão da bradicinesia e implica na ausência completa do movimento voluntário, sem a perda da força muscular [29].

A bradicinesia pode estar presente nos sinais iniciais do Parkinson, em diferentes partes do corpo: olhos, com a redução do movimento de piscar; face, com a redução das expressões faciais; voz robótica, devido à redução da velocidade dos músculos das cordas vocais; e

redução do movimento dos membros superiores e inferiores [29]. Normalmente, nos estágios iniciais da doença, a bradicinesia é acompanhada de: rigidez dos músculos, assimetria dos movimentos entre os membros e dificuldade nos movimentos (por exemplo, levantar de uma cadeira, virar na cama ou andar).

2.1.3 Escalas e os Estágios da Doença

A partir dos tratamentos do Parkinson, foram criadas escalas de avaliação do progresso da doença [32; 37]. Essas escalas permitem avaliar a condição clínica geral, incapacidades, funções motoras, mentais e até mesmo a qualidade de vida dos pacientes. Esses instrumentos são importantes tanto no nível clínico quanto no científico, pois permitem monitorar a progressão da doença e a eficácia do tratamento medicamentoso [32; 37]. Por conseguinte, foi criada em 1987 a Escala Unificada de Avaliação da Doença de Parkinson (*Unified Parkinson's Disease Rating Scale – UPDRS*) [32], que é amplamente utilizada para monitorar o progresso da doença e a eficácia do tratamento. Segundo Goulart [37], as escalas de estágios de incapacidade representadas por *Hoehn/Yahr* e a *UPDRS* [32] são consideradas as de maior confiabilidade, podendo ser usadas por fisioterapeutas para melhor avaliação do estado clínico- funcional do paciente.

Segundo a *UPDRS*, a evolução do Parkinson é classificada nas seguintes fases [32]:

- **ESTÁGIO 0:** Nenhum sinal da doença;
- **ESTÁGIO 1:** Doença unilateral;
- **ESTÁGIO 1,5:** Envolvimento unilateral e axial;
- **ESTÁGIO 2:** Doença bilateral sem déficit de equilíbrio;
- **ESTÁGIO 2,5:** Doença bilateral leve, com recuperação no “teste do empurrão”;
- **ESTÁGIO 3:** Doença bilateral leve a moderada; alguma instabilidade postural; capacidade para viver independente;
- **ESTÁGIO 4:** Incapacidade grave, ainda capaz de caminhar ou permanecer de pé sem ajuda;
- **ESTÁGIO 5:** Confinado à cama ou à cadeira de rodas.

A *UPDRS* é composta por 42 itens, divididos em quatro partes: atividade mental; comportamento e humor; atividades de vida diária; exploração motora e complicações da terapia medicamentosa. Estes itens, são avaliados por auto-relato ou observação clínica. Dessa maneira subjetiva, é realizada a classificação do estágio da doença no paciente. Contudo,

justamente por ser baseada em auto-relato e observação clínica, a qual é realizada eventualmente com a presença de um profissional, pesquisadores questionam a efetividade da análise do estágio da doença e propõem alternativas para avaliação dos itens motores de forma quantitativa, através de sensores, os quais permitem quantificar os sinais motores do paciente [51; 90; 74]. Os sinais bradikinéticos são avaliados por intermédio da parte motora da tabela de avaliação UPDRS [32], através de exercícios como tocar as pontas dos dedos, pronar e supinar o antebraço.

A identificação dos sinais do Parkinson durante a rotina diária permite um diagnóstico mais precoce da doença e, conseqüentemente, a obtenção de benefícios para um tratamento mais duradouro. Além disso, o monitoramento dos efeitos da medicação junto ao paciente permite um melhor gerenciamento medicamentoso e, assim, uma redução dos efeitos colaterais do tratamento e um prolongamento da sua qualidade de vida [77].

2.2 Cinemetria

A **Cinemetria** consiste em um conjunto de métodos para medição dos parâmetros cinemáticos do movimento humano, tais como: posição, orientação, velocidade e aceleração [62]. Os instrumentos básicos das medidas cinemáticas podem ser adquiridos por câmeras de vídeo; pela análise das imagens e dos movimentos; e por meio de software específico, os quais calculam as variáveis cinemáticas de interesse. Atualmente, com o uso de câmeras infravermelho, é possível reconhecer o movimento humano e calcular as grandezas cinemáticas das características do movimento com precisão e robustez [35].

A cinemetria relaciona técnicas e métodos para o processamento de grandezas cinemáticas; entre elas, destacamos as técnicas de medição direta [62], utilizadas para:

1. medidas de tempo;
2. medidas de ângulos;
3. medidas de amplitude;
4. medidas de velocidade angular.

2.2.1 Movimento Angular

O movimento angular ocorre quando todas as partes do corpo se movem pelo mesmo ângulo, mas não realizam o mesmo deslocamento linear. A subdivisão da cinemática que trata do movimento angular é chamada de cinemática angular, que permite examinar o movimento angular a partir de segmentos de um movimento, divididos em partes identificáveis que aumentam a compreensão do movimento humano [39].

Quase todos os movimentos humanos envolvem as rotações de segmentos do corpo. Os segmentos giram sobre os centros articulares que formam os eixos de rotação para esses segmentos [39]. No movimento angular, a unidade de medida utilizada é o grau($^{\circ}$) e a unidade de tempo é o segundo(s). Logo, as velocidades angulares calculadas são mensuradas em /s.

A anatomia funcional consiste no estudo dos componentes do corpo, necessários para desempenhar um movimento ou uma função humana, como, por exemplo, a abdução ou a adução do braço (Figura 2.1).

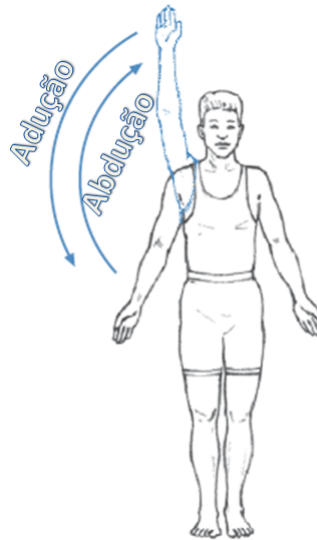


Figura 2.1: ©Movimentos de Abdução e Adução do Braço [62]

Na análise biomecânica do movimento humano, são calculados dois tipos de ângulos:

- **Ângulo Relativo:** este ângulo é formado entre os eixos longitudinais de segmentos corporais adjacentes [39]. Logo, os ângulos relativos não descrevem a posição de segmentos ou os lados do ângulo no espaço. Se um indivíduo tem um ângulo relativo de 90° no cotovelo e esse ângulo é mantido, o braço pode ficar em qualquer posição. A interpretação dada a cada segmento irá determinar o tipo de movimento realizado.
- **Ângulo Absoluto:** este ângulo identifica a orientação angular de um segmento corporal em relação a uma linha fixa de referência [39]. Dessa forma, os ângulos absolutos devem ser medidos na mesma direção a partir de uma única referência, seja ela horizontal ou vertical.

2.3 Máquina de Vetor de Suporte (SVM)

A teoria da aprendizagem estatística fornece um conjunto de técnicas para a análise de dados, a qual permite a aquisição de conhecimento [98]. As máquinas SVM fazem uso de um conjunto de métodos de aprendizagem supervisionada [102] para classificação de dados. Ou seja,

a SVM é uma ferramenta de predição de classificação, que usa a teoria da aprendizagem de máquina e busca maximizar a acurácia. Normalmente, a SVM é aplicada para classificação binária, ou seja, permite classificar os dados em duas classes. No entanto, essa técnica também tem sido aplicada em dados com mais de duas classes [21].

Optou-se utilizar a SVM devido a sua capacidade de generalização nos problemas de classificação de dados [98; 103], sua robustez nos resultados [103] e sua performance com baixa complexidade computacional em comparação a outras abordagens como Redes Neurais [20].

Um classificador SVM foi inicialmente desenvolvido para problemas de aprendizagem linearmente separáveis e utiliza vetores de separação, através de uma técnica de hiperplano de separação ótima [98]. O hiperplano tenta separar as diferentes classes, maximizando a margem entre os pontos extremos de cada classe [36]. O melhor hiperplano de uma SVM é aquele que possui a maior margem entre as duas classes, como pode ser visto na Figura 2.2.

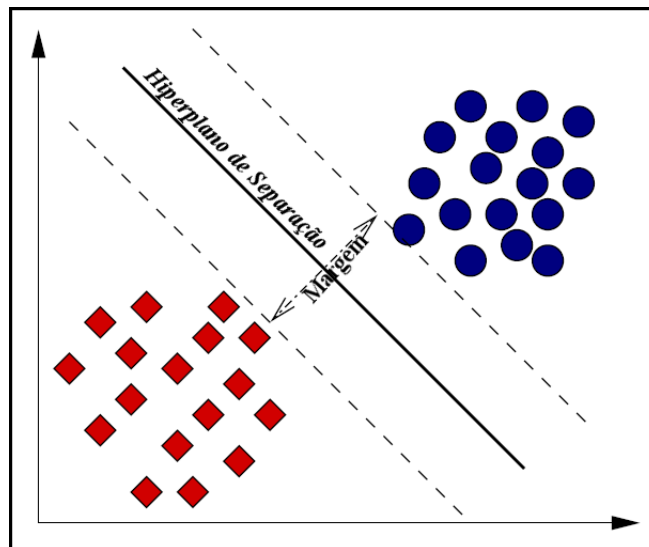


Figura 2.2: Hiperplano de separação para duas classes

Para entender o funcionamento da SVM, é necessário conhecer a notação: R^n é um número real n -dimensional no espaço de vetores. Onde os pontos \mathbf{u} , \mathbf{v} , \mathbf{w} e \mathbf{x} serão utilizados para denotar pontos em R^n . Estes pontos são chamados de vetores ou padrões na literatura de Aprendizagem de Máquina.

Cada ponto possui x_i e um rótulo y_i , que denotam a qual classe x_i pertence. Logo, se $y_i = +1$, então x_i pertence a classe 1; e caso $y_i = -1$, então x_i pertence a classe 2. A classificação binária como o nome sugere, significa classificar os dados em duas classes. Para tanto, primeiramente os dados do grupo de treinamento são usados para preencher os espaços com pontos. E depois um segundo grupo de teste é aplicado para verificar a hipótese de qual classe aquele ponto pertence. Formalmente, dado um conjunto de pontos x_i , qual será os valores y_i correspondentes, dado que o classificador possui os padrões adquiridos do

grupo de treinamento, além dos rótulos associados a sua classe. A SVM irá usar o hiperplano de separação para tentar dividir os dados de treinamento em duas classes. Dessa maneira, o resultado da classificação dos dados de teste dependerá da localização da projeção desses dados.

Formalmente, classificadores que separam os dados por meio de um hiperplano utilizam um discriminante [36] de Equação 2.1. Um hiperplano é considerado de Margem Máxima (ou de Separação Ótima) quando uma função discriminante consegue separar um conjunto de vetores sem erro. Uma função é discriminante quando consegue discriminar os valores em diferentes padrões.

O produto escalar $w \cdot x$ entre os vetores w e x , w é o vetor normal ao hiperplano descrito, o vetor w é denominado de peso e a constante parâmetro b é chamada de *bias* ou desvio.

$$f(x) = w^T x + b = 0 \quad (2.1)$$

Se u e v são dois padrões e $f(x)$ é a função discriminante, então os valores de $f(u)$ e $f(v)$ irão auxiliar na determinação dos valores de u e v que pertencem a classe; logo, a regra para a predição da classe está no Código 2.1.

Código Fonte 2.1: Código de Predição da Classes

```

1 classificacao = 0;
2 if (w^t.x + b >= 0)
3     classificacao = 1
4 else
5     classificacao = -1;
6 endif

```

A partir desse método de separação dos dados, é que a SVM foi aplicada para classificar indivíduos diagnosticados com Parkinson ante indivíduos sem o diagnóstico estabelecido. Para corroborar com a nossa escolha de SVM, encontrou-se trabalhos de classificação de indivíduos com parkinson utilizando a mesma abordagem [59; 18; 74]. No entanto, o que diferencia este trabalho dos demais, é que os dados classificados foram adquiridos utilizando a abordagem de um jogo eletrônico que induz o paciente a executar movimentos para a avaliação motora [27; 104].

2.4 Conclusão

Neste capítulo, foi explicitado os motivos para quantificar os comprometimentos motores do Parkinson. Para avaliar a saúde motora, foi utilizado os estudos cinemáticos do movimento humano para quantificar as amplitudes do movimento e a velocidade angular dos mesmos.

A identificação do sintoma foi realizada por meio da máquina de aprendizagem, SVM, aqui descrita. A SVM recebe como dados de entrada os valores dos parâmetros motores e identifica-o como saudável ou parkinsoniano.

Nos capítulos seguintes, serão apresentados o o Processador de Dados Biomecânicos (Seção 4.2) responsável por extrair as características do movimento [62] para obter o resultado da classificação da SVM exposta na Seção 5.2.

Bibliografia

- [1] Aarhus, Rikke e Stinne Aaløkke Ballegaard: *Negotiating Boundaries: Managing Disease at Home*. Em *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. ACM, 2010, ISBN 978-1-60558-929-9.
- [2] ACM: *International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare*. Disponível em: <http://pervasivehealth.org>, 2016. Último acesso: 3 de Junho de 2016.
- [3] ACM: *SAC Track on HealthCare - A Growing Scenario for Applied Computing*. Disponível em: <http://www.sigapp.org/sac/sac2016/>, 2016. Último acesso: 3 de Junho de 2016.
- [4] Ahmed, Mobyen Uddin, Hadi Banaee e Amy Loutfi: *Health Monitoring for Elderly: An Application Using Case-Based Reasoning and Cluster Analysis*. ISRN Artificial Intelligence, 2013, ISSN 2356-7872.
- [5] Albanese, Alberto e Joseph Jankovic: *Distinguishing Clinical Features of Hyperkinetic Disorders*. Wiley-Blackwell, 2011, ISBN 978-1-44434-618-3.
- [6] Alemdar, Hande e Cem Ersoy: *Wireless Sensor Networks For Healthcare: A Survey*. Computer Networks, 54(15), 2010, ISSN 1389-1286.
- [7] Aresti, Nuria, Amaia Mendez e Begona Garcia Zapiain: *Can Game-based Therapies Be Trusted? Is Game-based Education Effective? A Systematic Review of the Serious Games for Health and Education*. Em *Proceedings of the ICCG International Conference on Computer Games*. IEEE Computer Society, 2011, ISBN 978-1-4577-1451-1.
- [8] Arnrich, Bert, Oscar Mayora, Jakob Bardram e Gerhard Tröster: *Pervasive Healthcare - Paving the Way for a Pervasive, User-Centered and Preventive Healthcare Model*. Methods of Information in Medicine, 49, 2010, ISSN 0026-1270.
- [9] Arntzen, Aurelie Aurilla Bechina: *Game based Learning to Enhance Cognitive and Physical Capabilities of Elderly People: Concepts and Requirements*. International Journal of Social, Behavioral, Educational, Economic, Business and Industrial Engineering, 5(12), 2011, ISSN 2010-3778.

- [10] Association, Entertainment Software: *Essential Facts About The U.S. Computer And Video Game Industry*. Relatório Técnico, ESA, 2011.
- [11] Association, Entertainment Software: *Essential Facts About The Computer And Video Game Industry: 2016 Sales, Demographic And Usage Data*. Relatório Técnico, ESA, 2016.
- [12] Atkinson, Stephen e Lakshmi Narasimhan: *Design Of An Introductory Medical Gaming Environment For Diagnosis And Management Of Parkinson's Disease*. Em *Trends in Information Sciences Computing*. IEEE, 2010, ISBN 978-3-642-24043-0.
- [13] Bachlin, Marc, Meir Plotnik, Daniel Roggen, Noit Inbar, Nir Giladi, Jeffrey Hausdorff e Gerhard Troster: *Parkinsons Disease Patients Perspective On Context Aware Wearable Technology For Auditive Assistance*. Em *International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare*, 2009, ISBN 978-963-9799-30-1.
- [14] Ballegaard, Stinne Aaløkke, Thomas Riisgaard Hansen e Morten Kyng: *Healthcare in Everyday Life: Designing Healthcare Services for Daily Life*. Em *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. ACM, 2008, ISBN 978-1-60558-011-1.
- [15] Barbosa, Gustavo José: *Reconhecimento de Atividades Humanas Através de um Smartphone*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Alagoas, 2014.
- [16] Bardram, Jakob: *Pervasive Healthcare as a Scientific Discipline*. *Methods of Information in Medicine*, 2008, ISSN 0026-1270.
- [17] Basili, Victor R., Gianluigi Caldiera e H. Dieter Rombach: *The Goal Question Metric Approach*. Em *Encyclopedia of Software Engineering*. Wiley, 1994, ISBN 978-0-47102-895-6.
- [18] Bhattacharya, Ipsita e Meetu Bhatia: *SVM Classification to Distinguish Parkinson Disease Patients*. Em *Proceedings of the 1st Amrita ACM-W Celebration on Women in Computing in India*. ACM, 2010, ISBN 978-1-4503-0194-7.
- [19] Billauer, Eli: *Peak Detection in Matlab. Software*, Disponível em: <http://www.billauer.co.il/peakdet.html>, 2012. Último acesso: 3 de Junho de 2016.
- [20] Bragatto, Ticiano, Gabriel Ruas e Marcus Lamar: *Uma Comparação Entre Redes Neurais Artificiais E Máquinas De Vetores De Suporte Para Reconhecimento De Posturas Manuais em Tempo-Real*. Em *Congresso Brasileiro De Redes Neurais*, 2007, ISBN 0329-5184.

- [21] Chamaseamani, Fereshteh e Yashwant Singh: *Multi-class Support Vector Machine (SVM) Classifiers – An Application in Hypothyroid Detection and Classification*. Em *International Conference on Bio-Inspired Computing: Theories and Applications*, 2011, ISBN 978-81-322-1037-5.
- [22] Chen, Huan, Guo Tan Liao, Yao Chung Fan, Bo Chao Cheng, Cheng Min Chen e Ting Chun Kuo: *Design and Implementation of a Personal Health Monitoring System with an Effective SVM-based PVC Detection Algorithm in Cardiology*. Em *Symposium On Applied Computing*. ACM, 2014, ISBN 978-1-60558-639-7.
- [23] Cho, Chien Wen, Wen Hung Chao, Sheng Huang Lin e You Yin Chen: *A Vision-based Analysis System for Gait Recognition in Patients with Parkinson's Disease*. *Expert Systems with Applications*, 36(3), 2009, ISSN 0957-4174.
- [24] Codreanu, Ioana e Adina Florea: *A Proposed Serious Game Architecture to Self-Management HealthCare for Older Adults*. Em *International Symposium on Symbolic and Numeric Algorithms for Scientific Computing*, 2015, ISBN 978-1-5090-0461-4.
- [25] Computação, Sociedade Brasileira de: *Congresso da Sociedade Brasileira de Computação*. Disponível em: www.csbc.com.br, 2016. Último acesso: 3 de Junho de 2016.
- [26] Computação, Sociedade Brasileira de: *SBC*. Disponível em: www.sbc.org.br, 2016. Último acesso: 3 de Junho de 2016.
- [27] Das, S., L. Trutoiu, A. Murai, D. Alcindor, M. Oh, F. De la Torre e J. Hodgins: *Quantitative Measurement Of Motor Symptoms In Parkinson's Disease: A Study With Full-body Motion Capture Data*. Em *International Conference of Engineering in Medicine and Biology Society*. EMBC, 2011, ISBN 978-142447-927-6.
- [28] Dias-Tosta, Elza, Carlos Roberto de Mello Rieder, Vanderci Borges e Ylmar Correa Neto: *Doença de Parkinson - Recomendações da Academia Brasileira de Neurologia*. 1ª edição, 2010, ISBN 978-85-62477-05-8.
- [29] Do, Stewart e William Weiner: *Parkinson's Disease: Diagnosis Clinical Management*. Demos Medical Publishing, 2ª edição, 2007, ISBN 193-386-400-1.
- [30] Erickson, Kirk, Regina Leckie e Andrea Weinstein: *Physical Activity, Fitness, and Gray Matter Volume*. *Neurobiology of Aging*, 2014, ISSN 0197-4580. *Proceedings of International Conference on Nutrition and the Brain*.
- [31] Espejo, Mariano Ruiz: *The Oxford Dictionary of Statistical Terms*. *Journal of the Royal Statistical Society Series A*, 167(2), 2004, ISSN 1467-9868.

- [32] Fish, Jessica: *Unified Parkinson's Disease Rating Scale*. Springer, 2011, ISBN 978-0-387-79948-3.
- [33] Flick, U.: *Uma Introdução à Pesquisa Qualitativa*. Bookman, 2ª edição, 2004, ISBN 978-853630-414-4.
- [34] Friedman, Nizan, Justin Rowe, David Reinkensmeyer e Mark Bachman: *The Manu-meter: A Wearable Device for Monitoring Daily Use of the Wrist and Fingers*. IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics, 18(6), 2014, ISSN 2168-2194.
- [35] Gabel, Moshe, Ran Gilad-Bachrach, Erin Renshaw e Assaf Schuster: *Full Body Gait Analysis With Kinect*. Em *International Conference of Engineering in Medicine and Biology Society*. EMBC, 2012, ISBN 978-142447-927-6.
- [36] Gonçalves, Valter Filipe Carnim: *Análise Comparativa Dos Classificadores Máquinas De Suporte Vectorial E Redes Neurais Artificiais: Aplicação Na Detecção De Peões E Veículos*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Coimbra, 2010.
- [37] Goulart, Fátima e Luciana Pereira: *Uso De Escalas Para Avaliação Da Doença De Parkinson Em Fisioterapia*. Fisioterapia e Pesquisa, 11(1), 2005, ISSN 2316-9117.
- [38] Graziadio, Sara, Richard Davison, Koholood Shalabi, Calvin Sahota e Gary Ushaw: *Bespoke Video Games to Provide Early Response Markers to Identify the Optimal Strategies for Maximizing Rehabilitation*. Em *Symposium On Applied Computing*. ACM, 2014, ISBN 978-1-4503-2469-4.
- [39] Hamill, Joseph e Kathleen Knutzen: *Bases Biomecânicas do Movimento Humano*. Manole, 3ª edição, 2012, ISBN 978-852042-356-1.
- [40] Health, National Institute for e Clinical Excellence: *Parkinson's Disease: Diagnosis and Management in Primary and Secondary Care*. NICE Clinical Guideline, 1ª edição, 2006, ISBN 1-86016-283-5.
- [41] Hellman, Amy, Shital Shah, Stephanie Pawlowski, John Duda e James Morley: *Continuous Non-invasive Monitoring To Detect Covert Autonomic Dysfunction In Parkinson's Disease*. Parkinsonism and Related Disorders, 21, 2015, ISSN 1353-8020.
- [42] IEEE: *Enabling Technologies in Parkinson's Disease Management*. Disponível em: <http://jbhi.embs.org/special-issues/enabling-technologies-parkinsons-disease-management/>, 2016. Último acesso: 3 de Junho de 2016.
- [43] IEEE: *International Conference on E-Health Networking, Application & Services*. Disponível em: <http://ieeehealthcom2016.com>, 2016. Último acesso: 3 de Junho de 2016.

- [44] IEEE: *International Symposium on Computer-Based Medical Systems*. Disponível em: cbms2016.org, 2016. Último acesso: 3 de Junho de 2016.
- [45] IEEE: *Journal of Biomedical and Health Informatics*. Disponível em: <http://jbhi.embs.org/>, 2016. Último acesso: 3 de Junho de 2016.
- [46] IEEE: *Transactions on Biomedical Engineering*. Disponível em: <http://tbme.embs.org/>, 2016. Último acesso: 3 de Junho de 2016.
- [47] Jankovic, Joseph: *Parkinson's Disease: Clinical Features And Diagnosis*. Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry, 79(4), 2008, ISSN 0022-3050.
- [48] Kantardzic, Mehmed: *Data Mining: Concepts, Models, Methods, and Algorithms*. John Wiley & Sons, 3ª edição, 2011, ISBN 978-111802-913-8.
- [49] Keijsers, Noël, Martin Horstink e Stan Gielen: *Ambulatory Motor Assessment In Parkinson's Disease*. Movement Disorders, 21, 2006, ISSN 1531-8257.
- [50] Kim, Bona, Jeff Baldwin, Kara Lukasiewicz, Mark Hallett, John Harrington, Anne Altemus e Codrin Lungu: *Development of Tablet Device App for Parkinson's Disease Patients' Continuous Self-Monitoring and Management*. Neuroscience and Biomedical Engineering, 2015, ISSN 2213-3860.
- [51] Kostek, Bozena, Katarzyna Kaszuba, Pawel Zwan, Piotr Robowski e Jaroslaw Slawek: *Automatic Assessment Of The Motor State Of The Parkinson's Disease Patient—a Case Study*. Diagnostic Pathology, 7(1), 2012, ISSN 1746-1596.
- [52] Leite-Cavalcanti, Christiane, Maria da Conceição Rodrigues-Gonçalves, Luiza Sonia Rios-Asciutti e Alessandro Leite-Cavalcanti: *Prevalência De Doenças Crônicas E Estado Nutricional Em Um Grupo De Idosos Brasileiros*. Revista de Salud Pública, 11, 2009, ISSN 0124-0064.
- [53] LeMoyné, Robert, Timothy Mastroianni, Michael Cozza, Cristian Coroian e Warren Grundfest: *Implementation of an iPhone for characterizing Parkinson's disease tremor through a wireless accelerometer application*. Em *International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology*, 2010, ISBN 978-142447-927-6.
- [54] Li, Cheng Hsua, Chin Teng Lin, Bor Chen Kuo e Hsin Hua Ho: *An Automatic Method for Selecting the Parameter of the Normalized Kernel Function to Support Vector Machines*. Em *International Conference on Technologies and Applications of Artificial Intelligence*, 2010, ISBN 978-3-319-13986-9.

- [55] Li, Saiyi e Pubudu Pathirana: *Cloud-based non-invasive tele-rehabilitation exercise monitoring*. Em *Conference on Biomedical Engineering and Sciences*, Dec 2014, ISBN 1476-4687.
- [56] Liao, Chien Ke, Chung Lim, Ching Ying Cheng, Cheng Ming Huang e Li Chen Fu: *Vision based gait analysis on robotic walking stabilization system for patients with Parkinson's Disease*. Em *IEEE International Conference on Automation Science and Engineering*, 2014, ISBN 978-146738-184-0.
- [57] Lones, Michael, Stephen Smith, Jane Alty, Stuart Lacy, Katherine Possin, Jamieson e Andy Tyrrell: *Evolving Classifiers to Recognize the Movement Characteristics of Parkinson's Disease Patients*. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 18(4):559–576, 2014, ISSN 1089-778X.
- [58] Mandryk, Regan, Kathrin Gerling. e Kevin Stanley: *Designing Games to Discourage Sedentary Behaviour*. Em *Playful User Interfaces: Interfaces that Invite Social and Physical Interaction*. Springer, 2014, ISBN 978-981-4560-96-2.
- [59] Manzanera, Octavio, Martijn Beudel Elizabeth Roosma, Robert Borgemeester, Teus Laar e Natasha Maurits: *A Method for Automatic and Objective Scoring of Bradykinesia Using Orientation Sensors and Classification Algorithms*. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 63(5), 2016, ISSN 0018-9294.
- [60] Mathworks: *Matlab R2015a. Software*, Disponível em: <http://mathworks.com/>. Último acesso: 3 de Junho de 2016.
- [61] Mazilu, Sinziana, Ulf Blanke, Moran Dorfman, Eran Gazit, Anat Mirelman, Jeffrey M. Hausdorff e Gerhard Troster: *A Wearable Assistant for Gait Training for Parkinson's Disease with Freezing of Gait in Out-of-the-Lab Environments*. *ACM Transactions Interactive Intelligent Systems*, 5(1), março 2015, ISSN 2160-6455.
- [62] McGinnis, Peter: *Biomechanics of Sport and Exercise*. Human Kinetics, 3ª edição, 2013, ISBN 978-073607-966-2.
- [63] Medeiros, Leonardo, Hyggo Almeida, Leandro Silva, Mirko Perkusich e Robert Fischer: *A Gait Analysis Approach to Track Parkinson's Disease Evolution Using Principal Component Analysis*. Em *International Symposium on Computer-Based Medical Systems (CBMS 2016)*. IEEE, 2016, ISBN 978-146736-776-9.
- [64] Medeiros, Leonardo, Hyggo Almeida, Leandro Silva, Mirko Perkusich e Robert Fischer: *A Game-Based Approach to Monitor Parkinson's Disease: The bradykinesia symptom classification*. Em *International Symposium on Computer-Based Medical Systems (CBMS 2016)*. IEEE, 2016, ISBN 978-146736-776-9.

- [65] Medeiros, Leonardo, Robert Fischer, Hyggo Almeida, Leandro Silva e Angelo Perkusich: *Abstract Book: Monitoring Parkinson related Gait Disorders with Eigengaits*. Em *World Congress on Parkinson's Disease and Related Disorders*. Keynes International, 2013, ISBN 978-044463-488-7.
- [66] Meneses, Murilo e H lio Teive: *Doença De Parkinson*. Guanabara Koogan, 3  ed  o, 2003, ISBN 8527708159.
- [67] Meyer, Carl: *Matrix Analysis and Applied Linear Algebra*. Society for Industrial and Applied Mathematics, Philadelphia, PA, USA, 2000, ISBN 0-89871-454-0.
- [68] Microsoft: *Ms-Kinect*. Disponível em: <http://www.xbox.com/pt-BR/kinect>, 2012.  ltimo acesso: 3 de Junho de 2016.
- [69] Nuseibeh, Bashar e Steve Easterbrook: *Requirements Engineering: A Roadmap*. Em *Proceedings of the Conference on The Future of Software Engineering*. ACM, 2000, ISBN 1-58113-253-0.
- [70] Oliveira Bastos Junior, Paulo Roberto de: *Elicita  o de Requisitos de Software Através da Utilização de Question rios*. Dissertação de Mestrado, PUC-Rio, 2005.
- [71] Organization, World Health: *Global Health and Ageing*. Relatório Técnico, US National Institute of Aging, 2011.
- [72] Oung, Qi, Hariharan Muthusamy, Hoi Lee, Shafriza Basah, Sazali Yaacob, Mohamed Sarillee e Chia Lee: *Technologies for Assessment of Motor Disorders in Parkinson's Disease: A Review*. *Sensors*, 15(9), 2015, ISSN 1424-8220.
- [73] Papastergiou, Marina: *Exploring the Potential of Computer and Video Games for Health and Physical Education: A Literature Review*. *Computing Education*, 53(3), 2009, ISSN 0360-1315.
- [74] Patel, Shyamal, Konrad Lorincz, Richard Hughes, Nancy Huggins, John Growdon, David Standaert, Metin Akay, Jennifer Dy, Matt Welsh e Paolo Bonato: *Monitoring Motor Fluctuations in Patients With Parkinson's Disease Using Wearable Sensors*. *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, 13(6), 2009, ISSN 1089-7771.
- [75] Postuma, Ronald, Daniela Berg, Matthew Stern, Werner Poewe, Warren Olanow, Wolfgang Oertel, José Obeso, Kenneth Marek, Irene Litvan, Anthony Lang, Glenda Halliday, Christopher Goetz, Thomas Gasser Bruno Dubois, Piu Chan, Bastiaan Bloem, Charles Adler e Gunther Deuschl: *MDS Clinical Diagnostic Criteria for Parkinson's Disease*. *Movement Disorders*, 2015, ISSN 1531-8257.

- [76] Research, Provalis: *QDA MINER Lite v1.2.2. Software*, Disponível em: <http://provalisresearch.com/products/qualitative-data-analysis-software/>. Último acesso: 3 de Junho de 2016.
- [77] Rowland, Lewis: *Tratado De Neurologia*. Guanabara Koogan, 10ª edição, 2011, ISBN 8527707357.
- [78] Sano, Yuko, Akihiko Kandori, Toshinori Miyoshi, Toshio Tsuji, Keisuke Shima, Masaru Yokoe e Saburo Sakoda: *Severity Estimation Of Finger-tapping Caused By Parkinson's Disease By Using Linear Discriminant Regression Analysis*. Em *International Conference of Engineering in Medicine and Biology Society*. EMBC, 2012, ISBN 9781424479276.
- [79] Santos Júnior, Antônio Dias dos: *Arcabouço de Software para a Aquisição de Dados de Saúde Através de Jogos Eletrônicos*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Campina Grande, 2013.
- [80] Saraiva, Alessandra Vilches: *Utilização da Abordagem Goal-Question-Metrics (GQM) Na Elaboração e Execução de Planos de Avaliação de Usabilidade de Software: Um Estudo Empírico Sobre Um Software Agropecuário*. Dissertação de Mestrado, Universidade Metodista De Piracicaba, 2006.
- [81] Saúde, Ministério da: *Protocolo Clínico E Diretrizes Terapêuticas - Doença De Parkinson - Portaria SAS/MS Nº 228*. Relatório Técnico, Sistema Único de Saúde, 2010.
- [82] SBC: *Workshop de Informática Médica*. Disponível em: <http://www.csbc2016.com.br/!blank-2/q8wct>, 2016. Último acesso: 3 de Junho de 2016.
- [83] Sinclair, Jeff, Philip Hingston e Martin Masek: *Considerations for the Design of Exergames*. Em *Proceedings of the 5th International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques in Australia and Southeast Asia*. ACM, 2007, ISBN 978-1-59593-912-8.
- [84] Sinclair, Jeff, Philip Hingston, Martin Masek e Ken Nosaka: *Using a Virtual Body to Aid in Exergaming System Development*. IEEE Computer Graphics Applications, 29(2), 2009, ISSN 0272-1716.
- [85] Smith, Stephen, Michael Lones, Matthew Bedder, Jane Alty, Jeremy Cosgrove, Richard Maguire, Mary Pownall, Diana Ivanoiu, Camille Lyle, Amy Cording e Christopher J. H. Elliott: *Computational Approaches for Understanding the Diagnosis and Treatment of Parkinson's Disease*. IET Systems Biology, 9(6):226–233, 2015, ISSN 1751-8849.

- [86] Solingen, Rini e Egon Berghout: *The Goal/Question/Metric Method: A Practical Guide for Quality Improvement of Software Development*. McGraw-Hill, 1999, ISBN 978-007709-553-6.
- [87] Sommerville, Ian: *Engenharia de Software*. Addison Wesley Bra, 2011, ISBN 978-858863-928-7.
- [88] Suhonen, Katja, Heli Väättäjä, Tytti Virtanen e Roope Raisamo: *Seriously Fun: Exploring How to Combine Promoting Health Awareness and Engaging Gameplay*. Em *Proceedings of the International Conference on Entertainment and Media in the Ubiquitous Era*. ACM, 2008, ISBN 978-1-60558-197-2.
- [89] Sweetser, Penelope e Peta Wyeth: *GameFlow: A Model for Evaluating Player Enjoyment in Games*. Computing Entertainment, 3(3), 2005, ISSN 1544-3574.
- [90] Synnott, J., L. Chen, C. D. Nugent e G. Moore: *WiiPD-Objective Home Assessment of Parkinson's Disease Using the Nintendo Wii Remote*. IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine, 16(6), 2012, ISSN 1089-7771.
- [91] Tao, Weijun, Tao Liu, Rencheng Zheng e Hutian Feng: *Gait Analysis Using Wearable Sensors*. Sensors, 12(12), 2012, ISSN 1424-8220.
- [92] Technologies, Unity: *Unity 3D 3.0. Software*, Disponível em: <http://unity3d.com/>. Último acesso: 3 de Junho de 2016.
- [93] *Association for Computing Machinery: ACM*. Disponível em: www.acm.org, 2016. Último acesso: 3 de Junho de 2016.
- [94] *Institute of Electrical and Electronics Engineers: IEEE*. Disponível em: www.ieee.org, 2016. Último acesso: 3 de Junho de 2016.
- [95] Thumé, Elaine, Luiz Augusto Facchini, Grace Wyshak e Paul Campbell: *The Utilization of Home Care by the Elderly in Brazil's Primary Health Care System*. American Journal Of Public Health, 101, 2011, ISSN 1541-0048.
- [96] Tolosa, Eduardo, Gregor Wenning e Werner Poewe: *The Diagnosis Of Parkinson's Disease*. The Lancet Neurology, 5(1), 2006, ISSN 1474-4422.
- [97] Tsunoda, Makoto, Masaaki Hirayama, Takao Tsuda e Kinji Ohno: *Noninvasive Monitoring Of Plasma L-dopa Concentrations Using Sweat Samples In Parkinson's Disease*. Clinica Chimica Acta, 2015, ISSN 0009-8981.
- [98] Vapnik, Vladimir: *The Nature of Statistical Learning Theory*. Springer-Verlag New York, Inc., 2ª edição, 2000, ISBN 978-1-4757-3264-1.

- [99] Vichayanrat, Eva Stuebner and Ekawat, David Low, Chirstopher Mathias, Stefan Isenmann e Carl Albrecht Haensch: *Twenty-four hour non-invasive ambulatory blood pressure and heart rate monitoring in Parkinson's Disease*. *Frontiers In Neurology*, 4, 2013, ISSN 1664-2295.
- [100] Vicini, Lorena: *Análise Multivariada Da Teoria À Prática*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Maria, 2005.
- [101] Wasserman, Larry: *All of Statistics: A Concise Course in Statistical Inference*. Springer Publishing Company, Incorporated, 1ª edição, 2010, ISBN 978-144192-322-6.
- [102] Witten, Ian, Eibe Frank e Mark Hall: *Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques*. Morgan Kaufmann, 3ª edição, 2011, ISBN 9780123748560.
- [103] Xu, Huan, Constantine Caramanis e Shie Mannor: *Robustness and Regularization of Support Vector Machines*. *Journal of Machine Learning Research*, 10, 2009, ISSN 1532-4435.
- [104] Yang, Ke, Wei Xi Xiong, Eng Tao Liu, Yi Min Sun, Susan Luo, Zheng Tong Ding, Jian Jun Wu e Jian Wang: *Objective And Quantitative Assessment Of Motor Function In Parkinson's Disease-from The Perspective Of Practical Applications*. *Annals of Translational Medicine*, 4(5), 2016, ISSN 2305-5847.
- [105] Zavala-Ibarra, Iván e Jesus Favela: *Ambient Videogames for Health Monitoring in Older Adults*. Em *International Conference on Intelligent Environments*, IE '12. IEEE Computer Society, 2012, ISBN 978-0-7695-4741-1.
- [106] Zigfu: *Zigfu 4.0. Software*, Disponível em: <http://zigfu.com/>. Último acesso: 3 de Junho de 2016.
- [107] Zowghi, Didar e Chad Coulin: *Requirements Elicitation: A Survey of Techniques, Approaches, and Tools*. Em *Engineering and Managing Software Requirements*. Springer Berlin Heidelberg, 2005, ISBN 978-3-540-28244-0.
- [108] Zwartjes, Daphne, Tjitske Heida, Jeroen van Vugt, Jan Geelen e Peter H. Veltink: *Ambulatory Monitoring of Activities and Motor Symptoms in Parkinson's Disease*. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 57(11), 2010, ISSN 0018-9294.