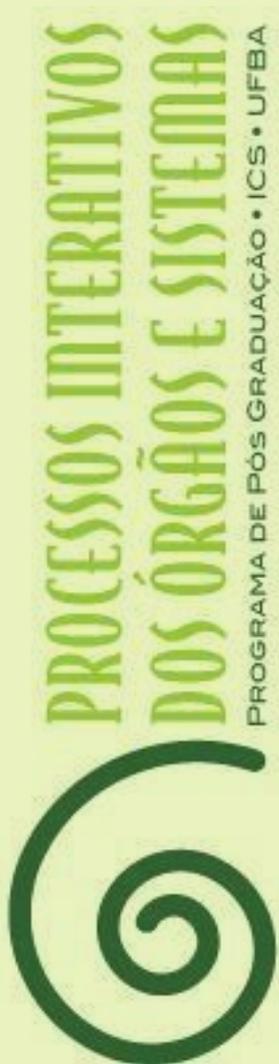


Dayana da Silva Santos



Caracterização dos estágios da doença de Parkinson através de variáveis biomecânicas do equilíbrio

Salvador
2022



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA INSTITUTO DE
CIÊNCIAS DA SAÚDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO DE PROCESSOS
INTERATIVOS DOS ÓRGÃOS E SISTEMAS**



DAYANA DA SILVA SANTOS

**Caracterização dos estágios da doença de Parkinson
através de variáveis biomecânicas do equilíbrio**

Salvador
2022

DAYANA DA SILVA SANTOS

**Caracterização dos estágios da doença de Parkinson
através de variáveis biomecânicas do equilíbrio**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação Processos Interativos dos Órgãos e Sistemas, do Instituto de Ciências da Saúde, da Universidade Federal da Bahia, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Pondé de Sena

Coorientador: Prof. Dr. José Garcia Vivas Miranda

Salvador
2022

Dados internacionais de catalogação-na-publicação

S586 Santos, Dayana da Silva.
Caracterização dos estágios da doença de Parkinson através de variáveis biomecânicas do equilíbrio/Dayana da Silva Santos. – Salvador, 2022.
64f. il.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Pondé de Sena; Coorientador: Prof. Dr. José Garcia Vivas Miranda.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Bahia, Instituto de Ciências da Saúde/Programa de Pós-graduação Processos Interativos dos Órgãos e Sistemas, 2022.

Inclui referências e anexos.

1. Doença de Parkinson. 2. Medidas não lineares. 3. Equilíbrio postural.
4 Variáveis biomecânicas. I. Universidade Federal da Bahia. II. Título.

CDU 616.853

DAYANA DA SILVA SANTOS

**CARACTERIZAÇÃO DOS ESTÁGIOS DA DOENÇA DE PARKINSON
ATRAVÉS DE VARIÁVEIS BIOMECÂNICAS DO EQUILÍBRIO**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Processos Interativos de Órgãos e Sistemas, Instituto de Ciências da Saúde, da Universidade Federal da Bahia.

Aprovada em 11 de fevereiro de 2022.

Banca Examinadora

Eduardo Pondé de Sena (Orientador)
Doutor em Medicina e Saúde, pela Universidade Federal da Bahia
Universidade Federal da Bahia, Brasil

José Garcia Vivas Miranda (Coorientador)
Doutor em Ciências Ambientais, pela Universidade de La Coruña , Espanha.
Universidade Federal da Bahia, Brasil

Cristiano Sena da Conceição
Doutor em Medicina e Saúde Humana, pela Escola Bahiana de Medicina e Saúde Pública
Universidade Federal da Bahia, Brasil

Ana Paula Andrade Gomes Quixadá Carneiro.....
Doutora em Difusão do Conhecimento pela Universidade Federal da Bahia, Brasil
Universidade Federal da Bahia, Brasil

Maria Elisa Pimentel Piemonte
Doutora em Neurociências e Comportamento pela Universidade de São Paulo, Brasil
Universidade de São Paulo, Brasil

Dedico esta dissertação a toda minha família, em especial a meus pais, Raimundo da Luz Santos e Adenildes da Silva Santos, e à minha companheira, Tainan Rocha de Almeida.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por ter me permitido chegar até aqui, por ter me sustentado e por ter me dado forças para não desistir.

Meu agradecimento a Ana Paula Quixadá, que me apresentou ao Professor Garcia e assim pude fazer parte do grupo de pesquisa NITRE, ao qual também deixo meu agradecimento.

A Adilza Mattos, por todo suporte técnico.

Ao professor José Garcia Vivas Miranda que com toda sua humildade e empatia sempre esteve disposto a me ajudar, mesmo quando eu achava que não seria capaz, e, de uma forma única e especial, ele me fortaleceu.

Ao professor Eduardo Pondé, por ter aceitado me orientar.

A meu amigo Igor Pinheiro, por toda parceria no período do mestrado.

A Matheus D'Alencar, por ter compartilhado os dados do seu estudo comigo.

A Gabriel Venas, parceiro, que me ajudou na organização dos dados.

Agradeço à minha turma de 2020.1, pela solidariedade. Levarei vocês no coração.

À Universidade Federal da Bahia, especificamente ao PPGPIOS, por me permitir viver este momento tão especial.

Não poderia deixar de agradecer a meu amor, Tainan Rocha de Almeida, que não soltou minha mão em momento nenhum e sempre acreditou no meu potencial.

Por fim, agradeço a todos que, direta ou indiretamente, me ajudaram e torceram por mim.

SANTOS, Dayana da Silva Santos. **Caracterização dos estágios da doença de Parkinson através de variáveis biomecânicas do equilíbrio**. 2022. 64f. il. Orientador: Eduardo Pondé de Sena. Dissertação (Mestrado em Processos Interativos de Órgãos e Sistemas) – Instituto de Ciências da Saúde, Universidade Federal da Bahia, 2022.

RESUMO

Introdução: A doença de Parkinson é uma enfermidade neurodegenerativa, progressiva, caracterizada pela diminuição de neurônios dopaminérgicos na substância negra (*pars compacta*). Seus sintomas motores são bradicinesia, instabilidade postural, tremor de repouso e rigidez muscular que se manifestam quando há morte de 60 a 70% dos referidos neurônios. As escalas que avaliam a evolução da doença são escala de Hoehn e Yahr e a escala Unificada de Avaliação da Doença de Parkinson. Nem sempre as medidas de estatísticas descritivas conseguem mensurar e descrever a dinâmica dos dados da tarefa do equilíbrio, por isso medidas não lineares vêm sendo utilizadas para análise do controle postural. **Objetivos:** Identificar as alterações das propriedades biomecânicas relacionadas aos estágios da doença de Parkinson, utilizando as medidas clássicas (velocidade e trajetória), Decomposição em Elementos de Movimento, Expoente de Hurst e o Índice de Fourier. **Metodologia:** Trata-se de um estudo observacional de corte transversal, com uma amostra composta por sujeitos com doença de Parkinson, registrados no Laboratório de Aprendizagem Sensorio-Motora, da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, e por idosos sem a referida comorbidade que compuseram o grupo controle. Analisaram-se todas as variáveis biomecânicas possíveis de detecção através do CvMob e da decomposição em elementos de movimento e a partir das variáveis analisadas foram criados alguns índices biomecânicos, na condição de tarefa simples. Utilizou-se para análise estatística o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis porque as variáveis não apresentaram distribuição normal. **Resultados:** Participaram do estudo 53 indivíduos, sendo 17 do grupo controle e 36 do grupo experimental. Observou-se que indivíduos com doença de Parkinson, principalmente no HY2, oscilam mais lateralmente e mais rápido. O tremor se mostrou mais presente no grupo HY3. **Conclusão:** A quantidade de elementos de movimento presente no estágio 2 da doença, mostrou que esses indivíduos apresentam uma grande oscilação nessa fase e que esta oscilação pode sofrer influência do tremor principalmente no estágio 3. Diante disso, neste estudo, foi possível identificar alterações biomecânicas através da análise do equilíbrio em pacientes com a doença, especialmente no estágio 2 da escala Hoehn Yahr.

Palavras-chave: Doença de Parkinson. Equilíbrio postural. Medidas não lineares. Variáveis biomecânicas.

SANTOS, Dayana da Silva Santos. **Characterization of Parkinson's disease stages through biomechanical variables of balance**. 2022. 61s. il. 2022. 64f. il. Advisor: Eduardo Pondé de Sena. Dissertation (Master in Interactive Processes of Organs and Systems) – Institute of Health Sciences, Federal University of Bahia, 2022.

ABSTRACT

Introduction: Parkinson's disease is a progressive and neurodegenerative disease which is characterized by a decrease in dopaminergic neurons in substantia nigra (pars compacta). Its motor symptoms are dyskinesia, postural instability, resting tremor and muscle rigidity which manifest when 60 -70% of brain cells die. Scales that evaluate the evolution of the disease are Hoehn and Yahr scale (HY) and Unified Parkinson's Disease Rating Scale (UPDRS). Descriptive statistics measures are not always able to measure and describe the dynamics of balance task data, so nonlinear measures were used in order to analyze postural control. **Objectives:** To characterize changes in biomechanical properties related to the stages of Parkinson's disease by using classical measures (velocity and trajectory), Decomposition of movements, Hurst's Exponent and Fourier Index. **Methodology:** It is a cross-sectional observational study, which analyze a sample composed of subjects with Parkinson's disease from Sensory-Motor Learning Laboratory in the Faculty of Medicine of the University of São Paulo, as well as elderly people without Parkinson's disease which made up the control group. All possible biomechanical variables of detection through CvMob and Decomposition of movements were analyzed and from the analyzed variables some biomechanical indices were created: all in simple task condition. Non-parametric Kruskal-Wallis Test was used for statistical analysis because the variables did not present normal distribution. **Results:** 53 individuals participated in the study, 17 from the control group and 36 from the experimental group. It was observed that individuals with Parkinson's disease, especially in HY2, oscillate more laterally and faster. Tremor was higher in HY3 group. **Conclusion:** Amount of movements in stage 2 of the disease showed high oscillation level which can be influenced by tremor mainly in stage 3. Therefore, in this study, it was possible to characterize biomechanical changes through the analysis of balance in patients with Parkinson's disease, especially in stage 2 of Hoehn Yahr scale.

Keywords: Parkinson's disease. Postural balance. Nonlinear measures. Biomechanical variables.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Formação de elementos de movimento saída da posição inerte e retorno ao zero (acelerações e desacelerações)	27
Figura 2	Diagrama ilustrativo para exemplificar o efeito da mudança de velocidade ou deslocamento do movimento	28
Figura 3	Ilustração esquemática do procedimento experimental de coleta de dados	32
Figura 4	Gráfico da amplitude da Transformada de <i>Fourier</i> para detectar tremor	34
Figura 5	Exemplo de aplicação do método R/S para obtenção do expoente de <i>Hurst</i>	35
Figura 6	Gráfico da distribuição dos elementos de movimento na direção laterolateral	40
Figura 7	Gráfico da distribuição dos elementos de movimento na direção anteroposterior	40
Figura 8	Gráfico da duração do movimento na direção laterolateral	41
Figura 9	Gráfico da duração do movimento na direção anteroposterior	41
Figura 10	Gráfico da análise do tremor através da Transformada de <i>Fourier</i>	42

LISTA DE TABELAS E QUADRO

Tabela 1	Caracterização da amostra no estudo, 2018/2019	37
Tabela 2	Estatística Descritiva das variáveis analisadas por grupo	38
Tabela 3	Medianas estaticamente significativas no estudo	39
Tabela 4	Resultados Estatísticos das comparações por pares de acordo com o grupo	39
Quadro 1	Estágio da doença de Parkinson de acordo com a escala Hoehn e Yahr	24

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- BS – Base de sustentação
- CM – Centro de Massa
- CoP – Centro de Pressão
- DF – Dimensão Fractal
- DP – Doença de Parkinson
- Durx – Duração do movimento na direção laterolateral
- Dury – Duração do movimento na direção anteroposterior
- EM – Elemento de movimento
- GC – Grupo controle
- GE – Grupo experimental
- Hv – Expoente de Hurst
- HY – Hoehn e Yahr
- HY2 – Estágio 2 da Hoehn e Yahr
- HY3 – Estágio 3 da Hoehn e Yahr
- Hz – Hertz
- m – Metro
- m/s – Metro por segundo
- MED – Moviment Element Decomposition (Decomposição em elementos de movimento)
- MOCA – Montreal Cognitive Assessment (Avaliação Cognitiva de Montreal)
- Ne – Número de elemento de movimento
- Nx – Número de elemento laterolateral
- Ny – Número de elemento anteroposterior
- OMS – Organização Mundial de Saúde
- R – Deslocamento
- Rm – Deslocamento médio
- Rmx – Deslocamento médio laterolateral
- Rmy – Deslocamento médio anteroposterior
- s – Segundo
- SampEm – Índice de Entropia da amostra
- StdRx – Desvio padrão de oscilação e variabilidade da oscilação laterolateral

StdRy – Desvio padrão de oscilação e variabilidade da oscilação anteroposterior

TCLE – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

TFF – Transformada de *Fourier*

TS – Tarefa simples

UPDRS – Escala unificada de avaliação da doença de Parkinson

USP – Universidade de São Paulo

Vm – Velocidade média

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
2 OBJETIVO GERAL	19
2.1 OBJETIVO ESPECÍFICO	19
3 JUSTIFICATIVA	20
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
4.1 ETIOLOGIA DA DOENÇA DE PARKINSON	21
4.2 EPIDEMIOLOGIA	21
3 NEUROPATOLOGIA	22
4.4 SINAIS E SINTOMAS	22
4.5 ESCALAS DE AVALIAÇÃO DA DOENÇA	23
4.5.1 Classificação dos estágios- Escala Hoehn e Yahr	23
4.5.2 Escala Unificada de Avaliação da doença de Parkinson (UPDRS)	24
4.6 CONTROLE POSTURAL	24
4.6.1 Equilíbrio postural	25
4.7 MEDIDAS NÃO LINEARES	26
4.8 DECOMPOSIÇÃO EM ELEMENTOS DE MOVIMENTO (MED)	27
4.9 RELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS DO MED	28
5. MATERIAIS E MÉTODOS	30
5.1 DESENHO DO ESTUDO	30
5.2 COLETA DE DADOS	30
5.3 ÍNDICES BIOMECÂNICOS	32
5.4 PROCESSAMENTO DE DADOS	35
5.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA	35
6. RESULTADOS	36
7. DISCUSSÃO	43
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS	45
REFERÊNCIAS	46

APÊNDICE – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido	53
ANEXO A – Escala Hoehn Yahr modificada	55
ANEXO B – Escala Mini BESTest	58
ANEXO C – Escala Unificada De Avaliação Para Doença De Parkinson (UPDRS)	59

1 INTRODUÇÃO

A doença de Parkinson (DP) é uma enfermidade neurodegenerativa, progressiva, caracterizada histologicamente pela diminuição de neurônios dopaminérgicos (ND) no mesencéfalo, especialmente na substância negra (*pars compacta*), resultando na diminuição da produção de dopamina¹⁻³.

Por estar envolvida diretamente na modulação dos movimentos voluntários, a diminuição da dopamina leva ao surgimento de sinais e sintomas relacionados à motricidade nesses indivíduos^{4,5}. Seus sintomas motores são: (i) tremor ao repouso, que se caracteriza por diminuir de intensidade com ato motor voluntário⁶; (ii) rigidez muscular do tipo plástica, definida como um aumento persistente do tônus muscular, não velocidade-dependente, com alteração na co-contracção dos músculos agonista e antagonista⁷; (iii) instabilidade postural, manifestada por deficiência das ações reflexas posturais, que afeta ajustes para manutenção do equilíbrio⁸; e (iv) bradicinesia, considerada o principal e, provavelmente, o mais incapacitante sintoma clínico da DP. A bradicinesia é marcada por deficiência generalizada no planejamento, iniciação e execução dos movimentos, ocorrendo redução progressiva da sua velocidade e amplitude, além de perda da automaticidade⁶.

O início da neuropatologia molecular e celular da DP provavelmente ocorre décadas antes do início dos sintomas motores característicos da doença. O diagnóstico da DP continua a ser eminentemente clínico. Sua avaliação pode ser feita a partir de dados obtidos através da Escala Unificada de Avaliação da Doença de Parkinson (UPDRS)⁹ e da Escala de Hoehn & Yahr (HY)¹⁰, que avaliam o estágio da enfermidade, baseando-se principalmente na presença dos principais sintomas motores, particularmente da bradicinesia¹¹ e na resposta favorável com a levodopa.

Entretanto, as manifestações clínicas da DP não aparecem até que 50% a 70% dos neurônios dopaminérgicos tenham sido perdidos, retardando o diagnóstico dos pacientes. Portanto, criar e desenvolver escalas objetivas e quantificáveis para avaliar a doença pode contribuir para o diagnóstico da DP, especialmente nos seus estágios iniciais¹².

Por apresentar uma evolução lenta e difícil diagnóstico, tornou-se necessário criar e desenvolver escalas para avaliar a doença¹³. Essas escalas estimam desde a condição clínica geral, incapacidades, função motora e mental até a qualidade de vida dos pacientes. Tais instrumentos são importantes tanto clinicamente quanto cientificamente, uma vez que permitem monitorar o estágio e a progressão da doença e a eficácia de tratamentos e drogas¹⁴.

Dentre essas escalas, destaca-se a Escala Hoehn & Yahr (HY), que é prática e amplamente aceita e utilizada e a que permite conhecer o estágio da doença em que o paciente se encontra fazendo um breve resumo de seus sinais e sintomas. Não obstante é uma escala que apresenta limitações, com pouca sensibilidade para detectar mudanças clínicas nesta população, principalmente nos estágios iniciais da enfermidade¹⁵. Os indivíduos classificados nos estágios de 1 a 3 apresentam incapacidade leve a moderada, enquanto os que estão nos estágios 4 e 5 apresentam incapacidade grave¹⁶.

Referente aos problemas encontrados no paciente com DP, nota-se que a instabilidade postural é um dos sintomas de grande impacto nesses indivíduos, que ocorre tipicamente em estágios mais avançados da doença (HY3), representando um marco de início da incapacidade severa¹⁷, favorecendo o risco de queda nessa população.

Nem sempre as medidas de estatísticas descritivas conseguem medir e descrever a dinâmica dos dados da tarefa do equilíbrio, pois nesse processo há uma redução das oscilações à magnitude da sua variabilidade, em função da complexidade que envolve a manutenção desta tarefa¹⁸. No que diz respeito a parte clínica, a dificuldade na mensuração e descrição da dinâmica dos dados, compromete também a identificação da patologia^{19,20}.

Atualmente muitas ferramentas são utilizadas para avaliar o controle postural²¹, porém a maioria dos posturógrafos que são utilizados atualmente presumem que os mecanismos envolvidos no controle postural pode ser mensurado por meio de análise de oscilação postural através da variação da força de reação do solo²² ou da trajetória de pontos anatômicos distintos²³ acarretando no deslocamento do centro de pressão, no momento que o indivíduo permanece em pé sobre uma plataforma sensível à pressão. Dentre elas destacam-se plataformas de força e acelerômetros que fornecem informações de pressão realizada no solo, força de reação e estabilometria, videogrametria, e acelerômetro²⁴.

Sendo assim, medidas não lineares estão sendo utilizadas para análise do controle postural, pois são capazes de capturar o componente temporal da variação no deslocamento do centro de pressão (CoP) em relação ao comportamento motor, permitindo quantificar regularidade, adaptabilidade ao ambiente e estabilidade^{25,26}, sendo os sinais provenientes desses diversos instrumentos muito utilizados na área da saúde, a partir da análise dos métodos não lineares, para entender as características da doença^{27,28}, e examinar efeitos de terapias²⁹.

Índices como Entropia da Amostra (SampEn), Dimensão Fractal (DF), Expoente de Lyapunov e o Expoente de Hurst são algumas medidas não lineares muito utilizadas para avaliar a estabilidade postural³⁰. O uso desses coeficientes dinâmicos, oferece maior clareza sobre a especificidade do estado de saúde do paciente em termos da quantidade de atenção

usada para realizar uma tarefa, podendo ser útil também para avaliar o equilíbrio em todas as condições. Sua grande vantagem é conseguir diferenciar mudanças fisiológicas sutis no equilíbrio, relacionadas ao processo de envelhecimento e doenças neurológicas³⁰ como a DP. Além dos índices citados acima, foi criada recentemente, uma nova metodologia, com abordagem não linear, que faz uma análise através da decomposição do movimento humano³¹ (MED, na sigla em inglês).

O MED surgiu através de um conjunto de elementos derivados do movimento de alcance e trata-se de um método matemático para decomposição de movimentos complexos, incluindo o equilíbrio. Este modelo permite análise de movimentos em três dimensões, quando capturados por equipamentos tridimensionais (Vicon/Motion Capture) ou duas dimensões, quando capturados por vídeo. Sendo um elemento de movimento considerado cada vez que a velocidade sai de zero e retorna a zero, para cada eixo do movimento separadamente em um plano cartesiano (x, y e z), podendo esta medida ser feita através de um ponto localizado na cabeça.

Partindo da premissa que existe uma relação entre os movimentos da cabeça sobre o equilíbrio^{32,33}, tendo esta relação uma forte correlação e coerência entre a oscilação da cabeça e a oscilação do centro de pressão (CoP), Ciria; et al., 2017, acreditam que a medida da cabeça é um método alternativo ou complementar ao CoP para análise das alterações de equilíbrio.

Considerando a necessidade do refinamento de ferramentas capazes de identificar os sistemas subjacentes responsáveis pelo equilíbrio, a fim de respaldar profissionais do movimento na identificação e diagnóstico de déficits, além de subsidiar no desenvolvimento de intervenções³⁴ este estudo se propôs a apresentar o MED³¹ e testar medidas não lineares, através da análise do equilíbrio para através da análise de índices biomecânicos detectar alterações sutis entre os estágios determinados pela escala HY.

2 OBJETIVO

2.1 OBJETIVO GERAL

Identificar as alterações das propriedades biomecânicas relacionadas aos estágios da doença de Parkinson.

2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

Identificar as alterações das propriedades biomecânicas relacionadas aos estágios da doença de Parkinson, utilizando índices convencionais (velocidade e trajetória), o método de Decomposição do Elemento de Movimento (MED), o Expoente de *Hurst* e o índice de Fourier.

3 JUSTIFICATIVA

Entender as alterações das propriedades biomecânicas em pacientes com Doença de Parkinson parece ser importante, uma vez que pode contribuir para detectar, de forma confiável, pequenas mudanças entre os estágios determinados pela escala HY; ademais, além disso, pode ajudar a detalhar o significado biomecânico das alterações na escala HY.

4 REVISÃO DE LITERATURA

Esta revisão de literatura consiste em trazer informações acerca da doença de Parkinson, abordando a sua etiologia e epidemiologia, neuropatologia, sinais e sintomas, especificamente os sinais cardinais; além disso, haverá uma abordagem sobre controle postural, medidas não lineares e o MED, métodos que podem ser utilizados para classificar variáveis biomecânicas através da avaliação do equilíbrio.

4.1 ETIOLOGIA DA DOENÇA DE PARKINSON

Sua etiologia é tida como idiopática, mas estudos pontuam que a DP pode ser multifatorial, envolvendo fatores genéticos, toxinas ambientais, estresse oxidativo, anormalidades mitocondriais e/ou alterações do envelhecimento que comprometem a substância negra³⁵⁻³⁸.

4.2 EPIDEMIOLOGIA

De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS)³⁹, a DP vem em curva de crescimento ao longo dos anos, atingindo 4 milhões de pessoas no mundo⁴⁰. No Brasil, apesar dos estudos epidemiológicos serem escassos, estima-se que haja 200 mil indivíduos com a doença³⁸, contudo, um estudo de base comunitária mostrou uma prevalência de 3,3% em idosos com DP⁴¹.

A incidência e prevalência da DP tem uma relação diretamente proporcional com o fator idade, estando presente em 1% das pessoas com mais de 65 anos⁴². É duas vezes mais comum em homens do que em mulheres, o que pode ser justificado pelo efeito protetor de alguns hormônios sexuais, assim como pela menor exposição a fatores de riscos ambientais e a presença de mecanismos genéticos associados ao sexo^{43,44}.

A título de diagnóstico, atualmente, o critério mundial mais aceito é o clínico, por meio do *UK Parkinson's Disease Society Brain Bank Clinical Diagnostic Criteria*⁶, que representou o primeiro critério diagnóstico formal proposto para DP; consiste em um processo de três etapas: a etapa 1 refere-se ao diagnóstico de uma síndrome parkinsoniana a etapa 2 refere-se aos critérios de exclusão para DP; e a etapa 3 refere-se aos critérios de suporte prospectivos para DP. Mediante esses critérios são necessários a presença de bradicinesia e de pelo menos um outro sinal entre rigidez muscular, tremor de repouso (4-6 Hz) e instabilidade postural para estabelecer o diagnóstico clínico da DP⁴⁵.

4.3 NEUROPATOLOGIA

A DP está relacionada à degeneração dos neurônios dopaminérgicos, localizados na *pars compacta* da substância negra, e ao acúmulo de corpos de Lewy, agregados intracelulares anormais, contendo proteínas, como alfa-sinucleína e ubiquitina. O início dos sintomas motores se dá com a perda de 70% dos neurônios dopaminérgicos⁴⁶ e se manifestam cerca de uma década depois da presença dos sintomas não motores⁹.

4.4 SINAIS E SINTOMAS

As manifestações clínicas dependem da área acometida pela doença. A DP se apresenta com distúrbios motores, chamados de sinais cardinais (tremor em repouso, rigidez, bradicinesia e instabilidade postural), que aparecem quando há redução de dopamina na substância negra, com cerca de 60-70% de degeneração dos neurônios dopaminérgicos^{3, 46}.

O mecanismo responsável pelo aparecimento da síndrome rígido-acinética geralmente é associado à presença de tremor e de instabilidade postural, que se dá pela disfunção do sistema nigroestriatal, com diminuição da concentração de dopamina no nível dos receptores dopaminérgicos situados nos gânglios da base. Do ponto de vista de disfunção do circuito dos gânglios da base, observa-se perda de ação inibitória do segmento lateral do globo pálido sobre o núcleo subtalâmico, bem como a existência de uma ação hiperexcitatória do núcleo subtalâmico sobre o segmento medial do globo pálido, cujo resultado final será uma menor ação excitatória do tálamo sobre o córtex motor, determinando a síndrome rígido-acinética, a qual se apresenta de forma desigual em sua distribuição, afetando primeiramente os músculos proximais, especialmente ombros e pescoço, progredindo para os músculos da face, membros superiores e inferiores. Inicialmente os sintomas despontam unilateralmente, alastrando-se até envolver todo o corpo; na evolução clínica da DP, os sintomas se tornam mais graves e diminui a habilidade de os pacientes se moverem com facilidade⁴⁷.

A bradicinesia é o sintoma mais incapacitante da DP, com a lentidão e o tempo prolongado de movimento, levando a um aumento da dependência nas tarefas da vida diária⁴⁸. Uma teoria fortemente aceita é que esse sintoma seja o resultado da ausência de dopamina no estriado, o que gera um desequilíbrio entre os sistemas inibitórios e excitatórios. Em face de os padrões de movimentos tenderem à alternância de excitação/inibição, o movimento tranca em uma direção com dificuldade de progressão, o que leva a uma lentidão da motricidade, especialmente a automática, havendo restrição dos movimentos voluntários e queixa frequente

de fraqueza⁴⁹.

Tido como o sintoma inicial e mais prevalente na DP, o tremor ocorre em decorrência de oscilações involuntárias de uma parte do corpo e em cerca de 50% dos casos tem início nas extremidades distais. Caracteriza-se por ser assimétrico, com amplitude de 4-6Hz, que geralmente envolve o polegar, mas também pode ser encontrado em outras partes do corpo, como antebraço, membro inferior ou mandíbula. É observado em condições de repouso e diminui ou desaparece com o início de alguma ação, podendo aparecer novamente quando o paciente mantiver uma ação ou postura mais prolongada, acometendo cerca de 70% desses indivíduos^{50,51}. Entretanto, esse sintoma não é exclusivo da DP. Cerca de 6% da população apresenta um outro tipo de tremor chamado de tremor essencial, que apresenta uma condição monossintomática, o qual tem a amplitude de frequência de 5-7Hz, e que pode ser confundido com o tremor característico da DP.⁹⁰

4.5 ESCALAS DE AVALIAÇÃO DA DOENÇA

Duas escalas são muito utilizadas para avaliar a doença de Parkinson: a Escala de Hoehn Yahr (HY), apresentada no Quadro 1, que tem a sua versão modificada com acréscimo de dois estágios⁹¹ (Anexo A) e a *Unified Parkinson's Disease Rating Scale* – UPDRS, (anexo B). Uma avalia o estadiamento da doença e a outra os sinais e sintomas da DP, respectivamente.

4.5.1 Classificação dos Estágios da Doença (Escala Hoehn e Yahr)

O estágio da DP tem relação com o modo como os sintomas motores se manifestam no indivíduo. Conforme a doença evolui, percebe-se uma maior dificuldade em manter o equilíbrio funcional⁵², sendo sua progressão definida através da escala de HY. Essa escala avalia os estágios da doença e utiliza números de 1 a 5 para classificar a gravidade da patologia, determinando o grau de incapacidade. Os indivíduos com DP acumulam ao longo do desenvolvimento da doença inúmeras alterações posturais que, somadas aos demais distúrbios, comprometem a orientação postural. O marco da escala é o agravamento das condições de marcha e a instabilidade postural apresentada por esses indivíduos^{53,54}, a partir do estágio 3.

Os pacientes na escala de HY podem permanecer no mesmo estágio por vários anos, não sendo, portanto, um instrumento sensível para medir o avanço da doença⁵⁵.

Quadro 1 - Estágios da doença de Parkinson de acordo com a Escala de Hoehn e Yahr**ESCALA HOEHN E YAHR**

ESTÁGIO 0	Nenhum sinal da doença
ESTÁGIO 1	Doença unilateral
ESTÁGIO 2	Doença bilateral sem comprometer o equilíbrio
ESTÁGIO 3	Doença bilateral de leve a moderada, alguma instabilidade postural, fisicamente independente
ESTÁGIO 4	Incapacidade grave, ainda capaz de ficar ereto sem ajuda
ESTÁGIO 5	Preso à cadeira de rodas ou leito. Necessita de ajuda

Fonte: adaptado de Freitas e colaboradores ⁽⁵⁶⁾

4.5.2 Escala de Avaliação da Doença de Parkinson

Criada em 1987, a *Escala Unificada de Avaliação da Doença de Parkinson* (em inglês, *Unified Parkinson's Disease Rating Scale*) - UPDRS é, até os dias atuais, a escala mais aceita para monitorar a progressão da doença, por sua confiabilidade ($r = -0,96$) e suas validades (convergente e critério), tornando-se adequada para a avaliação de indivíduos com DP por meio dos sintomas motores e da eficácia do tratamento medicamentoso. A UPDRS avalia os sinais e sintomas da DP, bem como atividades dos pacientes por autorrelato e observação clínica. Compreende 42 itens, divididos em quatro subseções: I – Atividade mental, comportamento e humor; II – Atividade de vida diária (durante os períodos *on* e *off* de efeito da medicação); III – Exame das funções motoras; e IV – Complicações do tratamento. A pontuação em cada item é de 0 a 4, sendo que, quanto maior o escore obtido, maior o comprometimento da doença⁵⁷.

4.6 CONTROLE POSTURAL

Definido como habilidade de assumir e manter a posição corporal desejada durante uma atividade, seja ela estática ou dinâmica⁵⁸, está relacionado com a interação do sistema visual, vestibular e somatossensorial, constituindo-se em um fenômeno complexo que combina a orientação postural e o equilíbrio postural³⁰. A respeito dessa afirmação, a orientação postural envolve o alinhamento ativo do tronco e da cabeça em relação à linha de gravidade, à base de apoio, ao campo visual e às referências internas. A forma como o corpo irá se comportar diante da tarefa e do contexto ambiental vai depender da interação dos sistemas relacionados ao controle postural⁵⁹. Por outro lado, o equilíbrio postural está relacionado à forma como as estratégias de movimento são organizadas para estabilizar o centro de massa (CM) corporal, durante perturbações de estabilidade autoiniciadas e influenciadas pelo ambiente³⁰.

4.6.1 Equilíbrio Postural

É definido como uma habilidade motora capaz de manter a posição do corpo - CM, dentro da base de sustentação (BS), que também envolve a coordenação de estratégias sensório-motoras^{59,60} através da interrelação de várias forças que atuam sobre o corpo, sendo elas a força da gravidade, dos músculos e as forças inerciais⁶⁰.

O controle do equilíbrio durante a postura ortostática quieta e durante os movimentos depende de uma interação complexa entre mecanismos fisiológicos, processamento de nível superior, informação sensorial de acordo com o esquema corporal postural e as expectativas, metas, fatores cognitivos e experiência prévia do indivíduo⁶¹.

O equilíbrio na postura estática, também conhecido como ortostatismo imóvel, trata-se da capacidade de manter o corpo em uma postura quieta^{62, 63} com pequenos balanços corporais espontâneos e sofre influência do alinhamento biomecânico postural. A oscilação corporal durante a postura ereta é detectada por três sistemas sensoriais: visual, vestibular e somatossensorial, que englobam proprioceptores e aferências da pele⁶⁴. A postura ortostática requer a ativação muscular principalmente dos músculos antigravitacionais: sóleo e gastrocnêmios, tibial anterior, glúteo médio, tensor da fáscia lata, iliopsoas, eretor espinal do tronco e ação constante dos abdominais, músculos posteriores da coluna cervical e levantadores da mandíbula; associados aos estímulos sensoriais, são fundamentais para a manutenção do tônus postural^{62,65}.

Pacientes com DP apresentam instabilidade postural e *deficit* no equilíbrio; assim, a habilidade para manter uma postura estável pode não estar comprometida com condições de equilíbrio sem perturbação e com atenção plena e, à medida que a base de apoio se estreita ou as demandas de atenção variam, a instabilidade postural pode aumentar⁴⁸. Os pacientes tendem a apresentar uma postura anteriorizada da cabeça e do tronco e têm muita dificuldade de ajustar a postura quando se inclinam ou quando há súbitos deslocamentos do corpo, o que favorece a ocorrência de quedas^{50, 66}. Porém, alguns autores defendem que avaliar somente a estabilidade postural não é suficiente e defendem que é necessário também avaliar o processamento central associado a esse desempenho para entender as possíveis demandas neurais envolvidas na postura ereta^{67, 68}.

4.7 MEDIDAS NÃO LINEARES

São muito utilizadas para avaliar e/ou quantificar adaptabilidade ao ambiente, regularidade e estabilidade. Elas são capazes de capturar o componente temporal da variação no deslocamento do CoP em relação a como o comportamento motor se desenvolve ao longo do tempo^{25,26}. As medidas mais utilizadas para capturar a estabilidade na postura ereta são:

- Entropia da amostra (SampEn): usada para determinar a regularidade da oscilação postural, quantifica a estrutura temporal do sinal por meio do cálculo da probabilidade de que duas sequências semelhantes, com o mesmo número de pontos de dados, permaneçam semelhantes quando outro ponto de dados for adicionado⁶⁹. Valores menores de SampEn estão associados a menor complexidade da estrutura, ou seja, o sinal de CoP é mais regular e previsível⁷⁰.
- Dimensão Fractal (DF): mudanças no DF podem indicar uma mudança nas estratégias de controle para manter uma postura quieta⁷¹. Valores mais altos indicam um sinal mais irregular ao longo do tempo³⁰.
- Expoente de Lyapunov: seus valores altos significam um sistema postural saudável e altamente irregular que se adapta a perturbações externas³⁰.
- Expoente de Hurst: originalmente elaborado por Hurst (1951), é definido como uma medida de autossimilaridade; a estimação desse índice pode ser feita através da seguinte relação $H = \frac{\text{Log}(\frac{R}{S})}{\text{LOG}(N)}$, sendo que: R/S = diferença da amplitude entre a maior e a menor ocorrência registrada (R), dividida pelo desvio padrão encontrado na série (S); N = número de observações; H = fator da lei de potência, que pode variar entre zero e um. O H é normalmente obtido a partir a inclinação da reta do gráfico de log (R/S (T) *versus* o logaritmo da escala de tempo (T) observada.

Diante disto, tem-se a seguinte interpretação: se $0 < H < 0,5$, a série é antipersistente, ou seja, uma tendência positiva no passado é mais provável de se converter em tendência negativa e vice-versa. Porém, quando $H = 0,5$, tem-se a situação de um movimento puramente aleatório, ou seja, os passos do futuro não dependem dos passos do passado. E quando $0,5 < H < 1$, os dados são persistentes, o que significa que uma tendência positiva no passado tem maior probabilidade de continuar positiva e vice-versa^{72,73}.

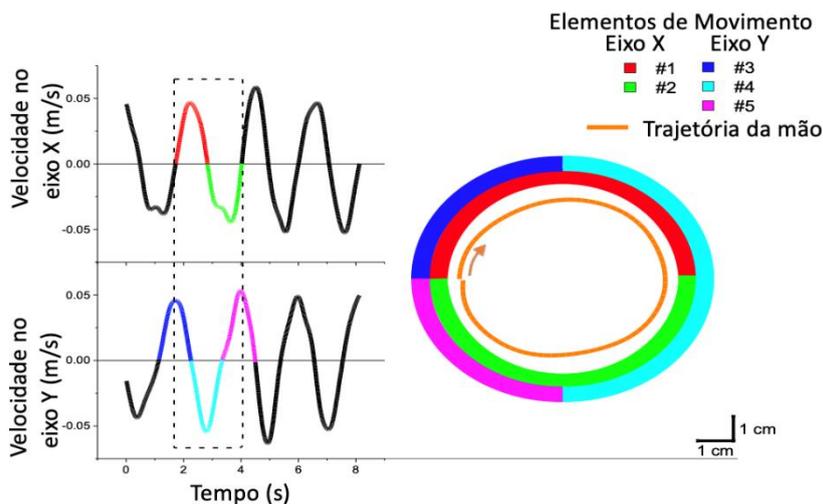
Na Medicina, a identificação de alguns padrões, como os gerados através do Expoente de Hurst, serve como um diferencial para auxiliar na análise de imagens. O reconhecimento de padrões nos expoentes de Hurst, possibilita estabelecer, junto a análises clínicas, conclusões

mais confiáveis que podem ser usadas, por exemplo, no processo de avaliação e conclusão de diagnósticos, possibilitando uma intervenção precoce⁶³.

4.8 DECOMPOSIÇÃO EM ELEMENTO DE MOVIMENTO (MED)

A Decomposição em Elementos de Movimento (MED)³¹ surgiu através de um conjunto de elementos derivados do movimento de alcance; trata-se de um método matemático para decomposição de movimentos humanos, considerados complexos, que podem ser visualizados pela composição de pequenos movimentos separadamente. Esse modelo possibilita a análise desses movimentos em três dimensões, quando capturados por equipamentos tridimensionais (Vicon/Motion Capture) ou duas dimensões, quando capturados por vídeo. Um Elemento de Movimento (EM) é considerado toda vez que, no plano cartesiano, a velocidade do movimento sai de zero (saída da posição inerte) e retorna a zero (acelerações e desacelerações), para cada eixo do movimento separadamente (x, y e z). Esse processo acontece repetidas vezes durante o movimento, sendo invisível ao olho nu, mas possivelmente detalhado pelo MED, como mostra a Figura 1.

Figura 1- Formação de elementos de movimento saída da posição inerte e retorno ao zero (acelerações e desacelerações)



Fonte: Quixadá, Barbosa e Miranda⁷⁵

A Figura 1 representa a análise de movimento, separando os elementos de movimento em cada eixo (X,Y), usando como exemplo a tarefa de desenhar um círculo à mão. De acordo

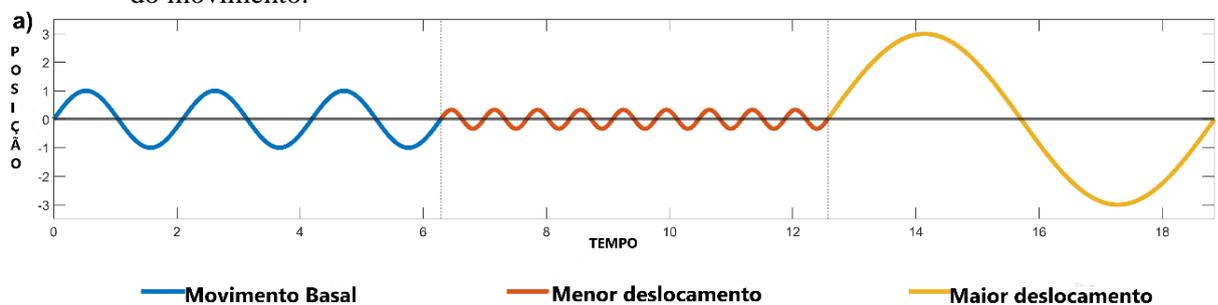
com a figura, a cor laranja representa a trajetória da mão que se inicia, de acordo com a seta, à esquerda, e segue em direção à direita, para depois retornar ao ponto de partida. Observa-se, então, que cada cor representa um elemento de movimento. Por exemplo, no eixo x (horizontal), o vermelho descreve o início do movimento e o verde descreve o retorno. No eixo y (vertical), primeiramente o movimento acelera (subida) – azul escuro – seguido de uma desaceleração (descida) – azul claro – e finalizando em mais uma aceleração (subida) – lilás.

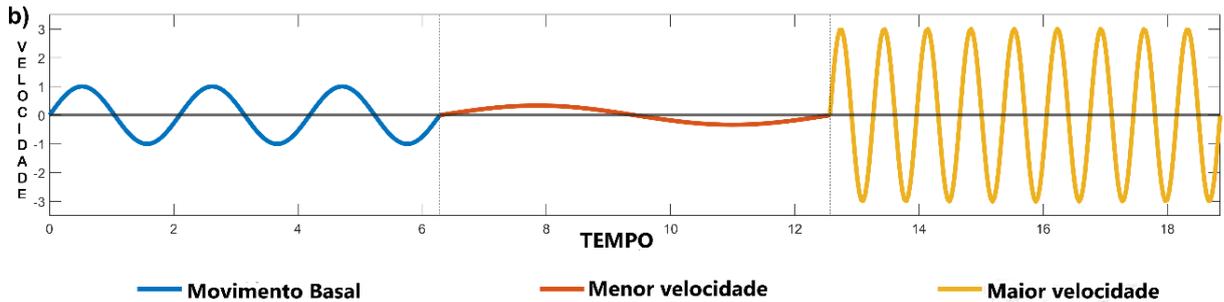
Cada movimento gera variáveis biomecânicas que se relacionam de acordo com cada situação, sendo elas o Ne que representa a quantidade de elementos utilizados na tarefa; Rm é o tamanho médio dos deslocamentos em metros; e Vm que é a velocidade média de execução dos elementos de movimento.

4.9 RELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS DO MED

Existe uma relação diretamente proporcional entre as variáveis Ne , Ve e inversamente proporcional entre Ne e deslocamento (Rm), ilustradas esquematicamente na Figura 2. Em 2.a) ao reduzir o deslocamento com velocidade constante, o número de elementos aumenta em um mesmo intervalo de tempo e mantém a velocidade média de elementos; ao aumentar o deslocamento, mantendo a velocidade constante, o número de elementos diminui. A figura 2a) ilustra a variação da velocidade com deslocamento dos elementos fixo, mostrando uma dinâmica oposta àquela encontrada na Figura 2b), pois, ao diminuir a velocidade, o número de elementos também diminui, ao passo que aumentar a velocidade aumenta o número de elementos. A relação entre essas três variáveis está descrita pela equação (1).

Figura 2 - Diagrama ilustrativo para exemplificar o efeito da mudança de velocidade ou deslocamento do movimento.





Fonte: Dados da pesquisa.

(1)

$$Ne \propto \frac{Vm}{Rm}$$

A obtenção dessas variáveis se dá pela decomposição da amostra em um conjunto de *EM*, sendo que cada *EM* tem um valor de deslocamento (*R*) e velocidade do elemento (*Ve*); a partir deles, calcula-se o deslocamento médio dos elementos (*Rm*), assim como a velocidade média dos elementos (*Vm*). Já o expoente α é obtido na relação de lei de potência entre a velocidade média de cada elemento (*Ve*) e seu correspondente deslocamento (*R*), cuja relação está descrita na equação (2), onde *k* é uma constante de proporcionalidade.

(2)

$$ve = kR^\alpha$$

Identificar variáveis biomecânicas pela decomposição dos elementos de movimento, por meio da análise do equilíbrio, pode ser uma possibilidade para classificar os comprometimentos presentes nos indivíduos com DP, uma vez que esse método pode facilitar a padronização dos resultados, evitando uma subjetividade na avaliação.

5 MATERIAIS E MÉTODO

Nesta sessão, apresenta-se um detalhamento dos métodos aplicados ao desenho da amostra estudada, das informações sobre a coleta de dados e de testes e escalas utilizados. Acompanham a descrição da coleta dos dados, os instrumentos utilizados para avaliação, as variáveis utilizadas, a conversão dos índices biomecânicos e, por fim, são esboçados o processamento dos dados e a análise estatística.

5.1 DESENHO DO ESTUDO E PARTICIPANTES

Trata-se de um estudo observacional, de corte transversal, com uma amostra composta por pacientes com doença de Parkinson, credenciados no Laboratório de Aprendizagem Sensorio-Motora, da Faculdade de Medicina, da Universidade de São Paulo (FMUSP).

5.2 COLETA DE DADOS

O presente estudo é parte de um estudo maior intitulado *Investigação sobre a relação da aprendizagem implícita probabilística e da automaticidade da marcha em pacientes com doença de Parkinson*, aprovado pelo Comitê de Ética e Pesquisa do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da USP (CAAE 67388816.2.0000.0065). Um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) foi assinado por participante, antes de iniciar o estudo (Apêndice A).

Incluíram-se no estudo indivíduos a partir de 60 anos. Os participantes foram separados em grupo experimental (GE) e grupo controle (GC). No GE, constaram idosos com diagnóstico de DP, em uso de medicação antiparkinsoniana, que tinham algum nível de incapacidade física de acordo com a Escala Hoehn & Yahr e que conseguiam se manter em pé sem algum tipo de órtese ou dispositivo auxiliar. O GC contemplou idosos sem diagnóstico de DP e que conseguiam se manter em pé sem algum tipo de órtese ou dispositivo auxiliar.

Em ambos os grupos, excluíram-se indivíduos com distúrbios neurológicos (excluindo a DP para o GE), alterações cardiovasculares e/ou respiratórias graves, alterações visuais e/ou auditivas não corrigidas, *deficits* cognitivos detectáveis por meio da *Avaliação Cognitiva de Montreal (Montreal Cognitive Assessment - MoCA)*⁷⁶, e depressão, detectável pela *Escala de Depressão Geriátrica*⁷⁷.

Cada participante foi avaliado em um único dia, no período de 2018 a 2019, sempre no mesmo horário. Todos os participantes com DP foram testados entre 40 e 120 minutos após a administração do medicamento dopaminérgico (período “ON”). Todas as avaliações foram realizadas sob as mesmas condições por examinadores devidamente treinados.

As informações iniciais foram coletadas a partir de dados como nome completo, sexo, data de nascimento, endereço completo, estado civil, acompanhante, com quem mora, procedência, nível de escolaridade e renda. A continuação da avaliação inicial dos participantes ocorreu mediante investigação de dados sobre a doença de Parkinson, mediante a aplicação da *Escala Hoehn & Yahr* e da *Balance Evaluation Systems Test* (BESTest). A pontuação abaixo de 75 pontos na BESTest é usada para caracterizar *deficit* de equilíbrio nessa população.⁹² (ANEXO A)

Os instrumentos utilizados para avaliação foram: a) uma câmera GoPro® Hero 4 Silver; b) uma tiara de cor preta; c) um adesivo PIMACO® amarelo de 19 mm de diâmetro; d) um papel para calibração com 20 cm de distância entre dois pontos; e) um tripé com ajuste de altura para a colocação da câmera; f) aplicativo GoPro®; g) um cronômetro do modelo *Sport Timer* da marca Siemens® Mobile; h) *software* CvMob® 3.6 (<http://www.cvmob.ufba.br>)⁷⁸.

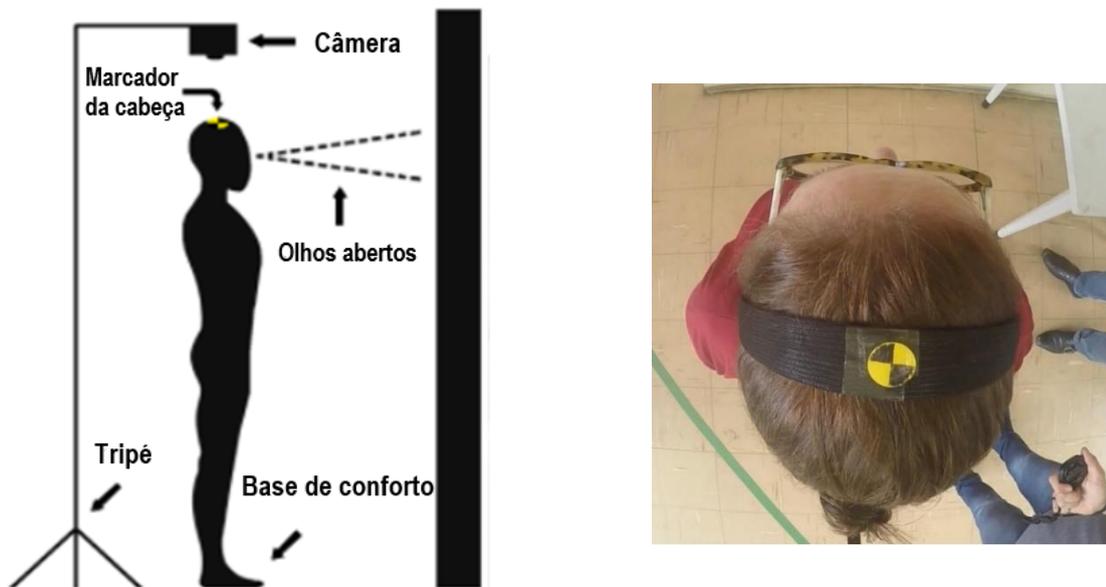
A condição de tarefa simples foi examinada através de vídeos gravados por uma câmera GoPro® Hero 4 Silver (Figura 3) e foram posteriormente exploradas pelo CvMob®, ferramenta de código aberto, criada com as bibliotecas OpenCv e Qt, para a análise de movimento, desenvolvida por pesquisadores da UFBA. O *software* é capaz de analisar as trajetórias e determinar as variáveis cinemáticas de um filme, que podem ser feitas com uma câmera simples⁷⁸.

O referido *software* tem sido usado para estimar parâmetros espaço-temporais. Trata-se de uma ferramenta bidimensional livre, que permite analisar a motricidade em diversas áreas do conhecimento, buscando traçar trajetórias, calcular velocidade e aceleração, ademais de gerar um banco de dados consistente sobre o movimento executado, caracterizando quantitativamente avaliações cinesiológicas da mobilidade, ajudando a entender os padrões de movimento, comparando resultados de tratamento, analisando *performances*, dentre outros objetivos. Com seu uso, obtêm-se dados sobre a oscilação corporal, deslocamento total de oscilação e desvio padrão do deslocamento anteroposterior e lateromedial⁷⁸.

Os participantes foram orientados a ficar em pé em um local determinado, durante o teste de equilíbrio, sendo usada na cabeça uma tiara preta, em cujo centro adesivo constava a marca PIMACO®. Uma câmera foi posicionada a uma distância de 15 cm do ponto de referência (adesivo) para registrar a parte superior da cabeça. (Figura 1)

Avaliou-se a tarefa simples (TS), onde o participante ficou em pé, com os braços estendidos ao lado do corpo e olhando para um ponto fixo; o tempo foi registrado por um cronômetro entre os comandos "AGORA" e "PARAR".

Figura 3 - Ilustração esquemática do procedimento experimental de coleta de dados



Fonte: Elaboração da autora.

5.3 ÍNDICES BIOMECÂNICOS

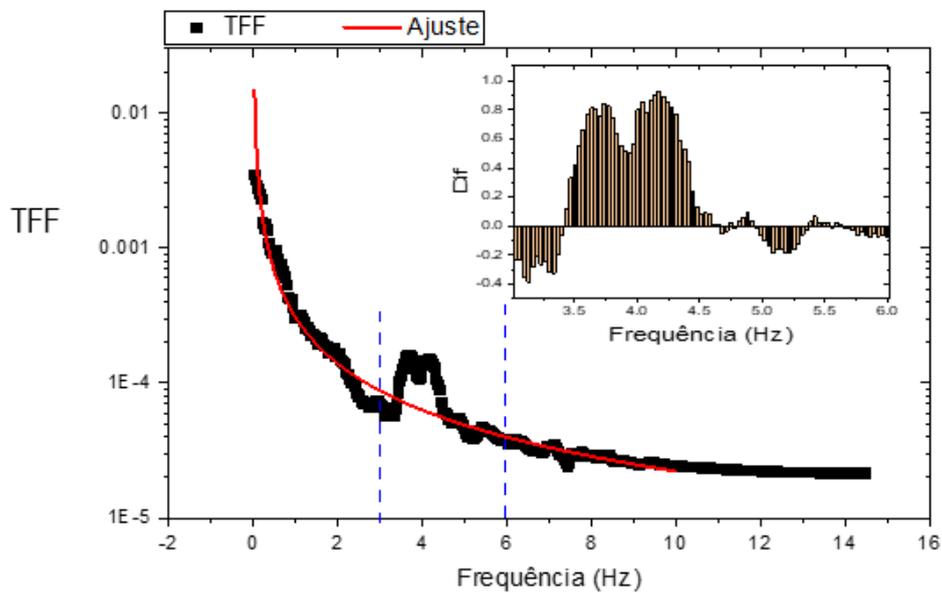
Avaliaram-se todas as variáveis possíveis de detecção através do CVmob e do MED, todas na condição de tarefa simples, sendo ela: duração média do movimento anteroposterior ($DurY$) e laterolateral ($Durx$), trajetória, número de elemento no sentido anteroposterior (Ny) e laterolateral (Nx), alfa, deslocamento médio na direção laterolateral (Rmx) e anteroposterior (RmY), desvio padrão da oscilação e variabilidade da oscilação laterolateral ($StdRx$) e anteroposterior ($StdRy$), velocidade média dos elementos de movimento na direção anteroposterior (VmY) e laterolateral (VmX).

Partindo da premissa de que a doença de Parkinson se caracteriza por apresentar comprometimentos motores, que tendem a piorar de forma progressiva, com o avanço da doença, evoluindo para comprometimento bilateral, usaram-se índices biomecânicos, através da análise do equilíbrio, para representar tais alterações baseadas nos sinais cardinais da doença. Neste trabalho, utilizaram-se quatro variáveis, obtidas a partir do método proposto por

Miranda – MED:

- N_e , Número de elementos – Obtido, contabilizando-se a quantidade de vezes que os componentes das velocidades cruzaram o eixo zero, nos planos médio lateral e anteroposterior. Cada intervalo de movimento entre dois cruzamentos foi definido como um elemento do movimento (EM). Espera-se que, através desse índice, seja possível definir a rigidez muscular traduzida pelo N_e , apresentando uma relação diretamente proporcional onde, quanto maior o N_e , ou seja, a oscilação, com velocidade constante, maior a rigidez;
- R_m , Deslocamento médio dos elementos (m) – Obtido com a média dos deslocamentos de todos os EM . No equilíbrio, avalia-se a estimativa da amplitude de oscilação.
- V_m , Velocidade média dos elementos (m/s) – estimada pela média das velocidades médias de todos os EM . Indica a velocidade com que as oscilações são executadas.
- α , Expoente de *scaling* – Calculado a partir da inclinação da reta que melhor ajusta os dados de velocidade *versus* deslocamento dos elementos. No equilíbrio, pode caracterizar a estratégia motora em relação à escolha da velocidade para as diferentes amplitudes de oscilação.
- $DurX$ e $DurY$, duração média dos EM (s) – Calculado mediante a média da duração de todos os EM , no equilíbrio pode estimar o quanto em segundos pode durar a oscilação. Além desses métodos, usaram-se o índice de *Fourier*, criado a partir do cálculo da Transformada de *Fourier* (TFF), e o expoente de *Hurst* (H_v).
- TFF Índice de oscilação do tremor do Parkinson – Obtido a partir da soma da diferença entre a amplitude da transformada de Fourier e seu respectivo ajuste em lei de potência, entre as frequências de 3 e 6Hz, como ilustrado na Figura 4. Esse índice ajudou a avaliar o tremor nesses indivíduos. Tal sintoma pode se manifestar desde o início da doença, em repouso, sendo inicialmente unilateral; mas que pode evoluir para bilateral e cinético.

Figura 4 - Gráfico da amplitude da Transformada de *Fourier* para detectar tremor



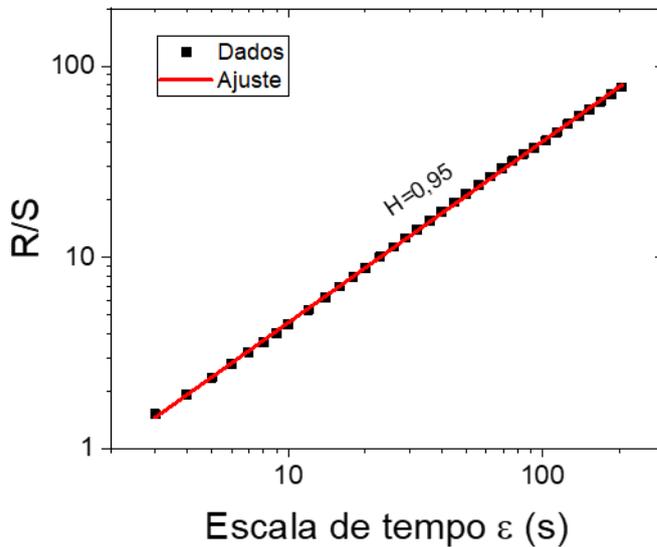
Fonte: Elaboração da autora.

A Figura 4 é um exemplo de estimação do índice de *Fourier*; o Inset representa a diferença entre a TFF (pontos pretos) e o ajuste em forma de lei de potência (linha vermelha), entre as frequências de 3 e 6Hz (linhas pontilhadas em azul). O índice TFF representa a soma dessas diferenças e quanto mais positivo for esse índice mais influência do tremor o dado terá.

- H_v , Expoente de *Hurst* – Obtido utilizando o método R/S, através da inclinação da curva de ajuste dos pontos de R/S(ϵ) versus ϵ^{79} tendo sido utilizado para avaliar a instabilidade postural através da análise das flutuações da velocidade ao longo do tempo, como mostra a Figura 5.

Tais resultados podem nos ajudar a interpretar as alterações biomecânicas encontradas nos estágios da doença de Parkinson.

Figura 5 - Exemplo de aplicação do método R/S para obtenção do expoente de *Hurst*



Fonte: Elaboração da autora.

5.4 PROCESSAMENTO DOS DADOS

Os vídeos foram capturados a uma resolução de 1080p, modo *narrow*, e processados pelo *software* de captura CvMob® 3.6 [24], que faz o rastreamento do marcador e exporta os dados cinemáticos da trajetória nos eixos X e Y. A incerteza sobre as medidas foi estimada a partir da captura de um marcador fixado em uma mesa à mesma distância da câmera que a utilizada nos sujeitos, nas mesmas condições de iluminação e de configuração da câmera. Neste estudo, utilizou-se um filtro passa baixa de 10 Hz e ignoraram-se todas as oscilações com deslocamento < 0.1 mm, velocidade média < 1 mm/s ou duração < 100 ms.

5.5 ANÁLISE ESTÁTISTICA

Inicialmente, no presente estudo, foi utilizada a ANOVA por meio do teste paramétrico de Shapiro Wilk para testar a normalidade e homogeneidade da amostra. Contudo, foi observado que não havia distribuição normal das variáveis; diante disto, adotou-se, para a análise estatística, o teste de Kruskal-Wallis, método não paramétrico para testar se amostras se originam da mesma distribuição, sendo toda análise realizada na condição de Tarefa Simples (TS).

6 RESULTADOS

Participaram do estudo 60 indivíduos, com idade variando de 60 a 82 anos. Destes, 7 foram excluídos; destes, 6 indivíduos se encontravam no estágio 1 da escala HY, o qual tende a apresentar poucos sintomas motores, sendo, portanto, considerado leve; e um indivíduo no estágio 4 da escala, em função do quantitativo. Ao final, 53 indivíduos totalizaram o estudo, sendo 17 do grupo controle (GC) e 36 do grupo experimental (GE), o qual foi subdividido de acordo com o estágio da doença (Tabela 1).

A amostra foi composta por idosos de ambos os sexos, sendo que os indivíduos do sexo masculino representaram 52,8% da amostra. A média de idade foi de $69,47 \pm 5,61$, estando a maior parte dos indivíduos na faixa de idade entre 60 e 69 anos. Com relação ao nível de escolaridade, quase 85% apresentaram mais de 5 anos de estudo. Já com relação aos grupos, houve uma igualdade no quantitativo dos pacientes do grupo com DP, 18 idosos em cada estágio, contudo, o grupo sem DP foi composto por 17 idosos. Com relação à pontuação do *Best Test*, o grupo sem DP apresentou pontuação mínima de 76 pontos e máxima de 94, com média de 94 pontos $\pm 4,62$. Com relação aos grupos com DP, o HY2, apresentou pontuação mínima de 69 e máxima de 98, com média de $80,1 \pm 7,05$. E o grupo HY3 apresentou pontuação mínima de 53 pontos e máxima de $98 \pm 9,45$.

Tabela 1 - Caracterização da amostra do estudo (N=53), 2018/2019

VARIÁVEIS	n	%
Sexo		
masculino	28	52,8%
feminino	25	47,2%
Idade		
60-69 anos	28	52,8%
70-79 anos	21	39,6%
80-82 anos	4	7,5%
Nível de escolaridade		
Nunca estudou	0	-
até sete anos de escolaridade	8	15%
acima de sete anos de escolaridade	45	85%
Grupo		
Sem DP	17	32,10%
HY2	18	34%
HY3	18	34%

Legenda: HY= Escala Hoehn Yahr; HY2 – estágio 2 da escala Hoehn Yahr; HY3 - estágio 3 da escala Hoehn Yahr.

Fonte: Elaboração da autora.

A amostra tem uma composição total de 53 indivíduos que foram separados por grupo, sendo essa divisão, GC=17, HY2 =18 e HY3 =18. A partir das variáveis analisadas, criaram-se alguns índices biomecânicos: Expoente de *Hurst* (H_v), estimado a partir do perfil de velocidade, e a Transformada de *Furier*, através de equações físicas, a fim de complementar a representação dos sinais cardinais identificados nessa população. Todas as variáveis utilizadas no estudo, como as medidas clássicas, as variáveis derivadas do MED e os índices oriundos dessas variáveis, estão descritos, de acordo com o grupo, na Tabela 2.

Tabela 2 - Estatística descritiva das variáveis analisadas por grupo

Variáveis	Mínimo			Máximo			Média			Desvio Padrão		
	GC	HY2	HY3	GC	HY2	HY3	GC	HY2	HY3	GC	HY2	HY3
Idade (anos)	60	60	63	75	82	81	67	69	71	5	5,61	5
alfa	0,4	0,4	0,38	0,51	0,46	0,53	0,46	0,44	0,44	0,03	0,02	0,04
Trajectoria (m)	0,2	0,17	0,1	0,3	0,4	0,9	0,2	0,3	0,3	0,5	0,1	0,2
Nx	34	38	32	74	148	204	52	78	83	11	32	51
Ny	40	33	37	82	150	202	55	70	80	11	30	37
RmX (m)	0,001	0,001	0,001	0,005	0,004	0,01	0,003	0,002	0,002	0,001	0,001	0,002
RmY (m)	0,001	0,001	0,001	0,004	0,01	0,01	0,003	0,003	0,003	0,001	0,002	0,002
VmX (m/s)	0,002	0,002	0,002	0,01	0,01	0,01	0,003	0,004	0,004	0,001	0,001	0,001
VmY (m/s)	0,003	0,003	0,003	0,01	0,01	0,02	0,004	0,004	0,01	0,001	0,001	0,003
StdRx	0,001	0,001	0,001	0,01	0,01	0,01	0,003	0,003	0,003	0,001	0,002	0,003
StdRy	0,002	0,002	0,001	0,01	0,01	0,01	0,004	0,004	0,004	0,001	0,002	0,003
DurX (s)	0,4	0,2	0,1	0,8	0,7	0,8	0,5	0,4	0,4	0,1	0,1	0,2
DurY (s)	0,3	0,2	0,1	0,7	0,8	0,7	0,5	0,4	0,4	0,08	0,2	0,1
Hv	0,7	0,7	0,71	0,9	0,9	0,88	0,8	0,82	0,8	0,04	0,05	0,06
TFF (Hz)	-28	-16	-19	31	50	58	-12	-5	-3	13	15	17

Legenda: GC= Grupo controle; HY2= Estágio 2 da escala Hoehn Yahr; HY3= Estágio 3 da escala Hoehn Yahr; Nx= Número de elemento de movimento na direção laterolateral; Ny= Número de elemento de movimento na direção anteroposterior; RmX= deslocamento na direção laterolateral; RmY= deslocamento na direção anteroposterior; VmX= Velocidade média dos elementos de movimento na direção laterolateral; VmY= Velocidade média dos elementos de movimento na direção anteroposterior; StdRx= variabilidade da oscilação laterolateral; StdRy= variabilidade da oscilação anteroposterior; TFF= Transformada de *Fourier*

Fonte: Elaboração da autora.

No que diz respeito a TFF, o HY3 apresentou maior influência do tremor, com uma média de -3 e ± 17 . No presente estudo, o GC apresentou um valor de referência de -12 e ± 13 ; sendo assim, quanto mais positiva for a média do valor do tremor, maior será a influência desse sintoma.

As variáveis que apresentaram efeito significativo, através das medianas com $p \leq 0,05$, no teste não paramétrico de Kruskal-Wallis, foram destacadas na Tabela 3, sendo, portanto, consideradas para análise apenas as variáveis, cujos valores foram estaticamente significativos.

Tabela 3 - Medianas estaticamente significativas no estudo

	Nx	Ny	alfa	DurX	DurY	TFF
Qui quadrado	7,966	8,055	6,527	8,122	9,249	9,582
Graus de liberdade	2	2	2	2	2	2
p - valor	0,019	0,018	0,038	0,017	0,01	0,008

Legenda: Nx= Número de elemento de movimento na direção laterolateral, Ny= Número de elemento de movimento na direção anteroposterior, DurX= Duração média do movimento na direção laterolateral, DurY= Duração média do movimento na direção anteroposterior; TFF = Transformada de *Fourier*

Fonte: Dados da pesquisa.

As análises pareadas das variáveis com valores estatisticamente significantes, de acordo co, o estágio da HY, estão representadas na Tabela 4, sendo que, em toda segunda coluna denominada Grupo, o grupo na primeira ordem representa o menor valor em relação ao grupo da segunda ordem, ou seja, HY2 apresenta maior número de elemento de movimento e menor DurX, quando comparado com o GC, ou seja, indivíduos no HY2 oscilam mais e mais rápido na direção laterolateral, quando comparados ao GC. O mesmo acontece no HY3, porém, na direção anteroposterior, contudo, no que diz respeito ao tremor, o grupo na primeira ordem é maior em relação ao da segunda ordem, ou seja, no HY3 o tremor está mais intenso do que no GC.

Tabela 4 - Resultados estatísticos das comparações por pares de acordo com o grupo

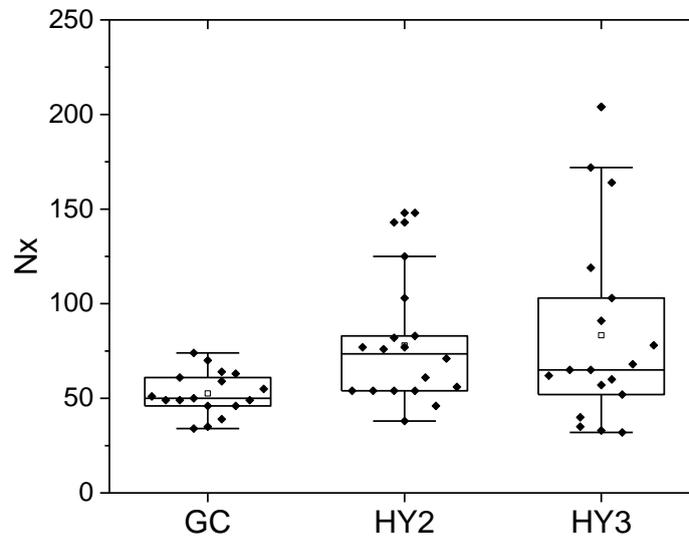
VARIÁVEIS	GRUPO	VALOR ESTATÍSTICO
Nx	GC -2	0,028
Ny	GC-3	0,014
DurX	2-GC	0,024
DurY	3-GC	0,008
TFF	GC-3	0,008

Legenda: Nx = Número de elemento de movimento na direção laterolateral; Ny = Número de elemento de movimento na direção anteroposterio; Durx = Duração do movimento na direção laterolateral; Dury = Duração do movimento na direção anteroposterior; TFF = Transformada de *Fourier*; GC = Grupo controle; 2= Estágio 2 da escala Hoehn Yahr, 3= Estágio 3 da escala Hoehn Yahr

Fonte: Dados da pesquisa.

Para ilustrar mais os resultados, criaram-se gráficos de caixa (*boxplot*) o qual fornece uma análise visual da posição, dispersão, simetria, caudas e valores discrepantes (*outliers*) do conjunto de dados. A Figura 6 mostra que, no grupo HY2, os *Ne* na direção laterolateral (*Nx*) estão menos dispersos e mais bem distribuídos.

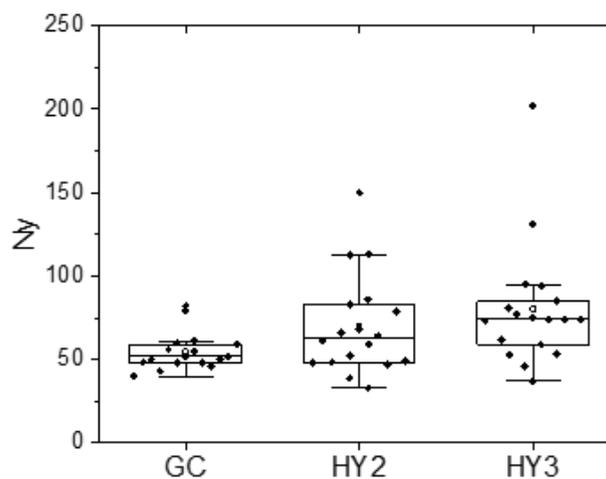
Figura 6 - Gráfico da distribuição dos elementos de movimento na direção laterolateral



Fonte: Dados da pesquisa.

Já a Figura 7, que diz respeito ao N_e na direção anteroposterior (N_y), mostra que o grupo GC apresenta uma baixa variabilidade, o HY3 apresenta uma mediana mais alta comparado aos dois grupos, porém, tem menor variabilidade quando comparado ao HY2.

Figura 7 - Gráfico da distribuição dos elementos de movimento na direção anteroposterior

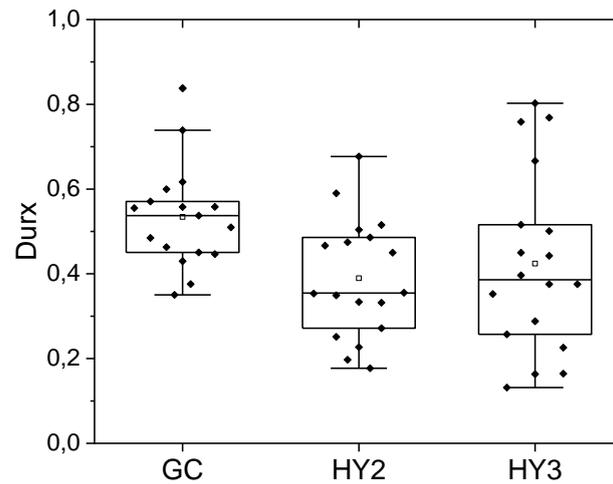


Fonte: Dados da pesquisa.

A Figura 8 mostra uma grande imprevisibilidade no que se refere à duração do

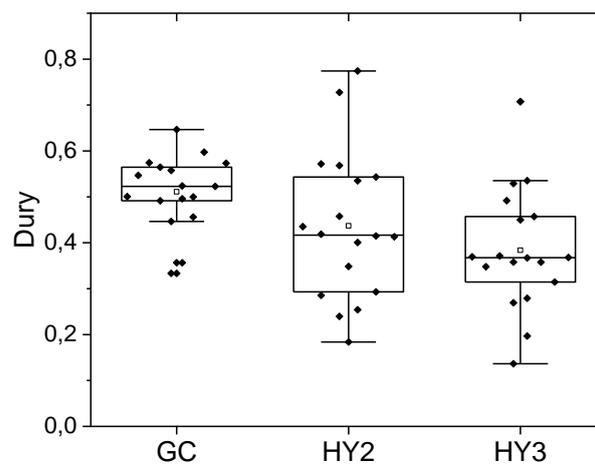
movimento na direção laterolateral, pois há uma grande variabilidade e dispersão tanto no HY2, quanto no HY3, sendo essa variabilidade maior no grupo HY3, porém, na direção anteroposterior, conforme consta na Figura 9.

Figura 8 - Gráfico da duração do movimento na direção laterolateral



Fonte: Dados da pesquisa

Figura 9 - Gráfico da duração do movimento na direção anteroposterior

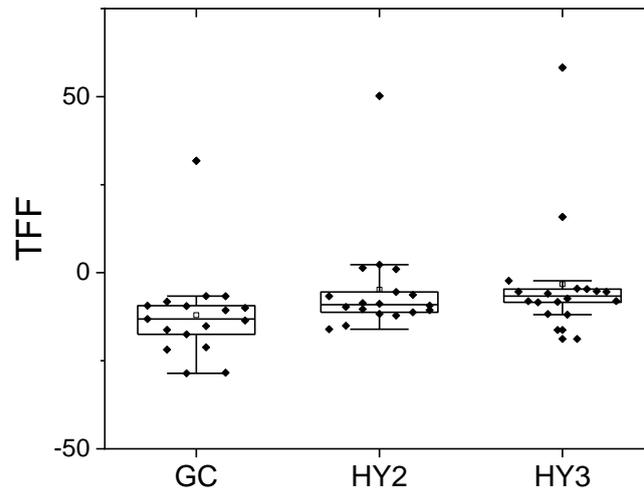


Fonte: Dados da pesquisa.

O tremor se apresentou mais intenso no grupo HY3, mostrando que este grupo apesar

de ter uma maior mediana quando comparado aos outros dois grupos, conta com menor variabilidade (desvio padrão), fazendo perceber que esse sintoma se torna muito mais previsível nesse estágio, como demonstrado na Figura 10.

Figura 10 - Gráfico da análise do tremor através da Transformada de *Fourier*.



Fonte: Dados da pesquisa.

7 DISCUSSÃO

O presente estudo visou identificar as alterações biomecânicas em paciente com a doença de Parkinson, por meio da análise do equilíbrio. Considere-se, no entanto, que essa análise foi realizada apenas nos estágios 2 e 3 da escala HY, tendo como grupo comparativo aquele sem a doença de Parkinson. Para tanto, utilizou-se o MED, do qual constam medidas clássicas, como velocidade e trajetória e índices que foram criados a partir dessas variáveis.

Observou-se que os indivíduos que estavam na HY2 apresentaram um maior número de elemento de movimento na direção laterolateral e menor duração do movimento, ou seja, oscilavam mais rápido, nessa direção; e que os indivíduos que estavam na HY3 apresentaram as mesmas alterações, porém, na direção anteroposterior (para frente e para trás), podendo esse resultado ter relação com a rigidez muscular, favorecendo uma maior oscilação nessas direções. Uma possível explicação para esse fenômeno pode estar relacionada ao aumento da rigidez no movimento postural dos idosos que pode exacerbar na DP, causada tanto por perdas de mobilidade, em decorrência das alterações fisiológicas relacionada ao processo de envelhecimento⁸⁰, quanto pela estratégia motora com co-contração de tornozelo⁸¹, ratificando os resultados de Reis⁸² que relacionam rigidez muscular dos parkinsonianos com sérias alterações, como o encurvamento e a projeção do corpo para a frente (propulsão) e para trás (retropulsão), aumentando o risco de queda.

Contudo, Moreno⁸³, associa o *déficit* de força muscular de tornozelo com a instabilidade postural e o desequilíbrio, aumentando significativamente o risco de queda nessa população, concordando com achado de Cano-de-la-Cuerda⁸⁴ quanto aos comprometimentos relacionados aos sistemas não dopaminérgicos, como a fraqueza muscular, que podem ser observados em indivíduos com DP.

Levando em consideração que o número de elementos é uma variável que se assemelha a uma frequência do movimento e que a DP acarreta uma série de alterações funcionais ao equilíbrio, tendemos a acreditar que o *Ne* é uma medida que consegue capturar tais alterações. Estudos anteriores já demonstraram que há diferença entre os grupos com DP em relação ao grupo sem DP, no sentido de redução do número de graus de liberdade do equilíbrio e que essa população tem movimentos mais rígidos^{82,85}, o que está de acordo com os resultados aqui encontrados.

A instabilidade postural que ocorre tipicamente em estágios mais avançados da doença (HY3) e, geralmente, constitui um marco de início da incapacidade severa¹⁷ não foi identificada no presente estudo pela análise do *expoente de Hurst*, em nenhum estágio

analisado, porém, há possibilidade de que esse sintoma seja influenciado pelo aumento da rigidez do controle postural, a qual apresenta menor complexidade do movimento físico (menor flexibilidade), sendo ela crucial para a flexibilidade na adaptação ao meio⁸⁶.

Além disso, também não foi possível classificar, através do deslocamento do CoP (mudanças na trajetória), um aumento da instabilidade postural, talvez pela razão de a análise ter ocorrido na tarefa simples. Este resultado poderia ter sido diferente se a análise acontecesse diante de uma privação visual ou pelo aumento da demanda cognitiva, com atividades de dupla tarefa, pois, na grande maioria das situações que envolvem a vida real, a atenção está dividida entre o controle postural e outras atividades⁸⁷. Segundo Donker e colaboradores⁸⁸, ficar de olhos fechados (ou seja, criar um foco interno, aumentando a dificuldade da tarefa por meio da privação visual) aumenta significativamente a regularidade do CoP, pois há um aumento na variabilidade, podendo implicar a redução da estabilidade, tendo como consequência um controle postural ineficaz.

Para análise do tremor, utilizou-se o TFF, um índice contínuo que indica anomalia nas frequências na faixa de tremor de Parkinson (3-6HZ), a mesma frequência descrita por Deuschl⁸⁹. O tremor de repouso é o sintoma mais prevalente na DP, acometendo aproximadamente 70% dos pacientes⁵¹ e no presente estudo essas anomalias foram positivas em 9 sujeitos. Indivíduos no HY 3, quando comparados ao GC, apresentaram um aumento da frequência e da amplitude de movimento, caracterizando presença do tremor nesse grupo. Ademais, pessoas com DP podem também apresentar tremor em ação, normalmente de baixa amplitude e frequência maior, entre 6 e 8 Hz⁸⁹.

Medidas clássicas que generalizam o resultado, como velocidade e trajetória, não apresentaram diferenças estatisticamente significativas no presente estudo. O oposto aconteceu com as medidas não lineares, o que possibilitou um maior detalhamento do movimento, permitindo a identificação de alterações mais sutis, principalmente no estágio 2 da HY.

Contudo, o estudo apresenta algumas limitações principalmente no que diz respeito à análise em estágio mais avançado como o HY3, em decorrência da influência, em maior escala, da ação do tremor nessa fase, que influencia o aumento de oscilação do movimento da cabeça. O fato de esse sintoma poder ser encontrado em indivíduos sem a doença, como o tremor essencial, que apresenta a amplitude de frequência similar ao tremor característico da DP, pode levar ao mascaramento das alterações biomecânicas e comprometer uma análise mais assertiva.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por haver grande variabilidade dos efeitos biomecânicos da doença em cada indivíduo, a separação dos grupos se tornou difícil. A quantidade de elementos de movimento presente no estágio 2 da doença mostrou que esses indivíduos apresentam uma grande oscilação nessa fase e que essa oscilação pode sofrer influência do tremor, principalmente no estágio 3. Diante disso, neste estudo, a identificação das alterações biomecânicas, através da análise do equilíbrio em pacientes com DP, foi possível principalmente no estágio 2 da escala Hoehn Yahr.

A realização de estudos futuros, com enfoque em tarefas que envolvam aumento da demanda cognitiva, favorecendo dividir a atenção entre o controle postural e outras atividades, traçando assim uma experiência mais funcional, pode ser mais adequada para se fazer essa análise. Além disso, a posição para colocação do marcador pode ser alterada para uma região que permita captar as oscilações geradas pelo movimento do tronco e não somente da cabeça, como, por exemplo, em região sacral, proporcionando mais robustez dos dados coletados.

REFERÊNCIAS

1. Barker RA, Foltynie T. The future challenges in Parkinson's disease. *J Neurol*. 2004;251(3):361-5.
2. Burch D, Sheerin F. Parkinson's disease. *Lancet*. 2005;365(9459):622-7.
3. Wirdefeldt K, Adami HO, Cole P, Trichopoulos D, Mandel J. Epidemiology and etiology of Parkinson's disease: a review of the evidence. *Eur J Epidemiol*. 2011;26 Suppl 1:S1-58.
4. Braak H, Del Tredici K. Poor and protracted myelination as a contributory factor to neurodegenerative disorders. *Neurobiol Aging*. 2004;25(1):19-23.
5. Blandini F, Armentero MT. Animal models of Parkinson's disease. *FEBS J*. 2012;279(7):1156-66.
6. Lees AJ, Hardy J, Revesz T. Parkinson's disease. *Lancet*. 2009;373(9680):2055-66.
7. Doherty KM, van de Warrenburg BP, Peralta MC, Silveira-Moriyama L, Azulay JP, Gershanik OS, et al. Postural deformities in Parkinson's disease. *Lancet Neurol*. 2011;10(6):538-49.
8. Jankovic J. Parkinson's disease: clinical features and diagnosis. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 2008;79(4):368-76.
9. Martignoni E, Franchignoni F, Pasetti C, Ferriero G, Picco D. Psychometric properties of the Unified Parkinson's Disease Rating Scale and of the Short Parkinson's Evaluation Scale. *Neurol Sci*. 2003;24(3):190-1.
10. Schenkman ML, Clark K, Xie T, Kuchibhatla M, Shinberg M, Ray L. Spinal movement and performance of a standing reach task in participants with and without Parkinson disease. *Phys Ther*. 2001;81(8):1400-11.
11. Samii A, Nutt JG, Ransom BR. Parkinson's disease. *Lancet*. 2004;363(9423):1783-93.
12. Ding H, Huang Z, Chen M, Wang C, Chen X, Chen J, et al. Identification of a panel of five serum mirnas as a biomarker for Parkinson's disease. *Parkinsonism Relat Disord*. 2016;22:68-73.
13. Hely MA, Chey T, Wilson A, Williamson PM, O'Sullivan DJ, Rail D, et al. Reliability of the Columbia scale for assessing signs of Parkinson's disease. *Mov Disord*. 1993;8(4):466-72.
14. Van Hilten JJ, van der Zwan AD, Zwinderman AH, Roos RA. Rating impairment and disability in Parkinson's disease: evaluation of the Unified Parkinson's Disease Rating Scale. *Mov Disord*. 1994;9(1):84-8.
15. Horta W. Escalas clínicas para avaliação de pacientes com doença de parkinson. In: Meneses MS, Teive HAG, editors. *Doença de Parkinson: aspectos clínicos e cirúrgicos* Rio de Janeiro Guanabara Koogan; 1996. p. 83-96.

16. Rodrigues de Paula Goulart F, Barbosa C, Silva C, Teixeira-Salmela L, Cardoso F. O impacto de um programa de atividade física na qualidade de vida de pacientes com doença de Parkinson. *Braz J Phys Ther.* 2005;9(1):49-55.
17. Bloem BR. Postural instability in Parkinson's disease. *Clin Neurol Neurosurg.* 1992;94:41-5.
18. Delignières D, Torre K, Bernard PL. Transition from persistent to anti-persistent correlations in postural sway indicates velocity-based control. *Plos Comput Biol.* 2011 Feb;7(2):e1001089. Doi: 10.1371/journal.pcbi.1001089.
19. Goldberger, A. L. Complex systems. *Proc Am Thorac Soc.* 2006; 3:467-72.
20. Herman, T. Gait instability and fractal dynamics of older adults with a "cautious" gait: why do certain older adults walk fearfully? *Gait & Posture.* 2005;21(2):178-85
21. Ciria LF, Muñoz MA, Gea J, Peña N, Miranda JGV, Montoya P, et al. Head movement Measurement: An alternative method for posturography studies. *Gait Posture.* 2017;52:100-6.
22. Duarte M, Freitas S M S F. Revisão sobre posturografia baseada em plataforma de força para avaliação do equilíbrio. *Brazilian Journal of Physical Therapy.* 2010;14(3):183-92.
23. Ashtiani M N, Mahmood-Reza, A. Nonlinear dynamics analysis of the human balance control subjected to physical and sensory perturbations. *Acta Neurobiologiae Experimentalis.* 2017;77(2):, p. 168-75.
24. Fukunaga, JA et al. Postural control in Parkinson's disease. *Brazilian Journal of Otorhinolaryngology.* 2014;80(6):508-14.
25. Roerdink M, Hlavackova P, Vuillerme N. Center-of-Pressure Regularity as a Marker for Attention Investment in Postural Control: A comparison between standing and standing postures. *Zumbir. Mov. Sci.* 2011;30:203-12.
26. Ladislao L, Fioretti S. Nonlinear Analysis of Data. *Posturographic Med. Biol. Eng. Comput.* 2007;45:679-88.
27. Cimolin V, Galli M, Grugni G, Vismara L, Precilios H, Albertini G, Rigoldi C, Capodaglio P. Postural strategies in Prader-Willi and Down syndrome patients. *Research in Developmental Disabilities.* 2011;32:669-73. 10.1016/j.ridd.2010.11.017.
28. Costa N N S, Castro EVS, Jesus I A, Trippo K. V. Fatores biomecânicos relacionados à postura em bailarinos: uma revisão integrativa. *Revista Pesquisa em Fisioterapia.* 2017;7(2):261-75.
29. Bateni H. Changes in balance in older adults based on use of physical therapy vs the Wii Fit gaming system: a preliminary study. *Physiotherapy.* 2012; 98(3):211-6.
30. Kędziorek J, Błażkiewicz M. Nonlinear measures to evaluate upright postural Stability: A systematic review. *Entropy (Basel).* Nov. 2020;22(12):1357.
31. Miranda J GV et al. Complex upper-limb movements are generated by combining motor primitives that scale with the movement size. *Sci. Reports,* 2018;8:1-11. Deprá PP, Amado A, van Emmerik REA. Postural Control Underlying Head Movements While Tracking Visual

- Targets. *Motor Control*. 2019 Jul 1;23(3):365-83.
32. Zhang F, Deshpande N. Sensory interactions for head and trunk control in space in young and older adults during normal and narrow-base walking. *Motor Control*. 2016; 20(1):21-32. <https://doi.org/10.1123/mc.2014-0046>
 33. Marques, A. et al. Reliability, validity and ability to identify fall status of the balance evaluation systems test, mini-balance evaluation systems test, and brief-balance evaluation systems test in older people living in the community. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2016;97(12):2166-73. E1.
 34. Teive HA. Etiopatogenia da doença de Parkinson. *Revista Neurociências*. 2005;13(4):201-14.
 35. Pinheiro JES. Distúrbios do movimento: doença de Parkinson e não-Parkinson. In: Freitas EV, Py L, Cançado FAX, Doll J, Gorzoni ML, eds. *Tratado de geriatria e gerontologia*. Rio de Janeiro: Guanabara-Koogan; 2006. p. 355-60.
 36. Pereira D, Garrett C. Factores de risco da doença de Parkinson: um estudo epidemiológico. *Acta Med Port*. 2010;23(1):15-24.
 37. Steidl EM dos Santos, Ziegler JR, Ferreira FV. Doença de Parkinson: revisão bibliográfica. *Disciplinarum Scientia| Saúde*. 2016;8(1):115-29.
 38. Organização Mundial da Saúde. Active ageing – A police framework. A contribution of the World Health Organization to the second United Nations World Assembly on Aging. Madrid, Spain. 2002.
 39. Dorsey ER, Elbaz A, Nichols E, Abd-Allah F, Abdelalim A, Adsuar JC, et al. Global, regional, and national burden of Parkinson's disease, 1990–2016: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2016. *Lancet Neurol*. Nov.2018;17(11):939–53.
 40. Barbosa ER, Melo LM. Importância das manifestações não motoras da Doença de Parkinson. *Revista Neurociências*. 2007;15(1):49-59.
 41. Goldman SM, Tanner C. Etiology of Parkinson's disease. In: Jankovic J, Tolosa E, eds. *Doença de Parkinson e distúrbios do movimento*. 3ª ed. Baltimore, MD: Lippincott-Williams & Wilkins; 1998. p. 133-58.
 42. Baldereschi M, Di Carlo A, Rocca, WA, Vanni P, Maggi S, Perissinotto E, et al . Doença de Parkinson e Parkinsonismo em um estudo longitudinal: incidência duas vezes maior em homens. Grupo de Trabalho ILSA. *Estudo Longitudinal Italiano sobre Envelhecimento*. *Neurology* 2000; 55:1358-63.
 43. Van Den Eeden SK, Tanner CM, Bernstein AL, Fross RD, Leimpeter A et al. Incidência da doença de Parkinson: variação por idade, sexo e raça/etnia. *Am J Epidemiol*. 2003; 57:1015-22.
 44. Gibb WR, Lees AJ. A relevância do corpo de Lewy para a patogênese da doença de Parkinson idiopática. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*.1988;51:745-52. Doi: 10.1136 / jnnp.51.6.745.

45. Postuma RB, Gagnon JF, Montplaisir J. Clinical prediction of Parkinson's disease: Planning for the age of neuroprotection. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 2009; 81:1008-13.
46. O'Sullivan SB, Schmitz TJ. *Fisioterapia: avaliação e tratamento*. São Paulo: Manole; 2004. p. 747-73.
47. Rebelatto JR, Calvo JI, Orejuela JR, Portillo JC. Influência de um programa de atividade física de longa duração sobre a força muscular manual e a flexibilidade corporal de mulheres idosas. *Rev Bras Fisioter*. 2006;10(1):127-32.
48. Prado ALC. *Avaliação da memória emocional na doença de Parkinson [Tese de Doutorado]*. Brasília: Universidade de Brasília; 2008.
49. Lana RC, Álvares LMRS, Nasciutti-Prudente C, de Paula Goulart FR, Teixeira-Salmela LF, Cardoso FE. Percepção da qualidade de vida de indivíduos com doença de Parkinson através do PDQ-39. *Rev Bras Fisioter*. 2007;11(5):397-402.
50. Harris DM, Rantalainen T, Muthalib M, Johnson L, Teo W-P. Exergaming as a viable therapeutic tool to improve static and dynamic balance among older adults and people with idiopathic Parkinson's disease: a systematic review and meta-analysis. *Front Aging Neurosci*. 2015;7:167.
51. Kegelmeyer DA, Kloos AD, Thomas KM, Kostyk SK. Reliability and validity of the tinetti mobility test for individuals with Parkinson disease. *Phys Ther*. 2007;87(10):1369-78. <http://dx.doi.org/10.2522/ptj.20070007>. Pmid:17684089.
52. Ramos ML, Neves DR, Lima VP, Orsini M, Machado D, Bastos VHV et al. Análise de parâmetros pneumofuncionais em pacientes com doença de Parkinson: estudo piloto. *Rev Bras Neurol*. 2014;50(2):38-43.
53. Horta W. Escalas clínicas para avaliação de pacientes com doença de Parkinson. In: MENEZES, M .S.; TEIVE, H. G. (eds.) *Doença de Parkinson*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2003; cap. 22, p. 153.
54. FREITAS, M. R. M. *Musicoterapia e Psicanálise caminham juntas no tratamento de doenças e problemas psicossomáticos*. 2016. Disponível em: Acesso em: 10 Dez. 2021
55. Fahn S, Elton E. The UPDRS Development Committee. Unified Parkinson's Disease Rating Scale. In: Fahn S. et al. *Recent Developments in Parkinson's Disease*. Florham Park, NJ: Macmillan Healthcareinformation, 198; 2:153-63.
56. Cupps B. Postural control: a current view. *Neuro Developmental Treatment*. jan.-fev. 1997; 3-8.
57. Horak FB. Postural orientation and equilibrium: what do we need to know about neural control of balance to prevent falls? *Age Ageing*. Sep. 2006;35:Suppl 2:ii7-11.
58. Carvalho RL, Almeida GL. Aspectos sensoriais e cognitivos do controle postural. *Rev Neuroc*. 2009;17(2):156-60.
59. Ivanenko Y, Gurfinkel VS. Human postural control. *Front Neurosci*. 2018;12:171.

60. Shumway-Cook A, Woollacott MH. Controle motor: teoria e aplicações práticas. São Paulo; Manole; 2010.
61. Silva NPO. Validade e reprodutibilidade do Wii Balance Board para avaliação do equilíbrio vertical estático: um novo método de avaliação. 2014. 65 f. Dissertação (Mestrado em Movimento e Saúde) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014
62. Naves ELM, Soares AB, Pereira AA, Andrade AO. Modelagem do controle neuromuscular da postura ereta quasi-estática humana. *Braz J Biomech Rev Bras Biomecânica*. 9 abr. 2008;8(14):1-9
63. Douglas CR. Tratado de fisiologia aplicada à fisioterapia. Tecmedd; 2004. 970 p.
64. Ike D. Análise da incidência de quedas e a influência da fisioterapia no equilíbrio e na instabilidade postural de pacientes com doença de Parkinson. *Fisioter Bras*. 2017;9(1):4-8.
65. Boisgontier, Matthieu P et al. Age-related differences in attentional cost associated with postural dual tasks: increased recruitment of generic cognitive resources in older adults. *Neuroscience & Biobehavioral Review*.2013;37(8):1824-37.
66. Montero-odasso, M; Speechley, M. Falls in cognitively impaired older adults: implications for risk assessment and prevention. *Journal of the American Geriatrics Society*. 2018;66(2): 367-75.
67. Potvin-Desrochers A, Richer N, Lajoie Y. Tarefas cognitivas promovem a automatização do controle postural em adultos jovens e idosos. *Postura da Marcha*. 2017; 57:40-5.
68. Hansen C, Wei Q, Shieh JS, Fourcade P, Isableu B, Majed L. Sample entropy, univariate e multivariate multi-scale entropy in comparison with classical postural sway parameters in young healthy adults. *Frente. Zumbir. Neurosci*. 2017;11:206.
69. Hiugichi, T. Abordagem de uma série temporal irregular com base na teoria fractal. *Phys. D Fenômeno não linear*. 1988;31:277-83.
70. Hurst, E. Long term storage capacity of reservoirs. *Transactions of the American Society of Civil Engenieers*.1951, 16:770-99.
71. Mandelbrot BB, Wallis JR. Robustness of the rescaled range R/S in the measurement of noncyclic log run statistical dependence. *Water Resources Research*;1969;5:967-88.
72. Silva FAC. Os expoentes de Hurst no reconhecimento de padrões em medicina. In: Fadel B, Bandos MFC, Pimenta SF (Org.). *Na vanguarda do conhecimento: diálogo e debates*. Franca,S: Uni-FACEF;2013. P. 161-6.
73. Quixadá, AP; Barbosa, ECC, Miranda, JGV. *Introdução à complexidade do movimento humano*. Salvador: EDUFBA; 2020
74. Memoria CM, Yassuda MS, Nakano EY, Forlenza OV. Brief screening for mild cognitive impairment: validation of the Brazilian version of the Montreal cognitive assessment. *Int J Geriatr Psychiatry*. 2013;28(1):34-40.

75. Almeida OP, Almeida SA. Confiabilidade da versão brasileira da Escala de Depressão em Geriatria (GDS) versão reduzida. *Arq Neuropsiquiatr.* 1999;57(2B):421-6.
76. Peña N, Credidio BC, Corrêa LPNRM, França LGS, Cunha MV, Sousa MC et al. Free instrument for measurements of motion. *Rev Bras Ens Fis.* 2013;35(3):1-5.
77. Liu, YH et al. Statistical properties of the volatility of price fluctuations. *Physical Review E.* 1999;60:13901400.
78. Misner, James E. Et al. Long-term effects of exercise on the range of motion of aging women. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy.* 1992;16(1):37-42.
79. Benjuya N, Melzer I, Kaplanski J. Aging-induced shifts from a reliance on sensory input to muscle cocontraction during balanced standing. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences.* 2004;59(2):166-M171.
80. Moreno Catalá M, Woitalla D, Arampatzis A. Central Factors Explain Muscle Weakness in Young Fallers With Parkinson's Disease. *Neurorehabil Neural Repair.* 2013;27(8):753-9. Doi:10.1177/1545968313491011.
81. Cano-de-la-Cuerda R, Pérez-de-Heredia M, Miangolarra-Page JC, Muñozhellín E, Fernández-de-Las-Peñas C. Is there muscular weakness in Parkinson's disease? *Am J Phys Med Rehabil.* 2010;89(1):70-6.
82. Reis T. *Doença de Parkinson: pacientes, familiares e cuidadores.* Porto Alegre: Palloti; 2004, 368p.
83. Uitti RJ, Baba Y, Whaley NR, Wszolek ZK, Putzke JD. Parkinson disease: Handedness predicts asymmetry. *Neurology.* 2005;64(11):1925-30.
84. Georgoulis AD, Moraiti C, Ristanis S, Stergiou N. Uma nova abordagem para medir a variabilidade no joelho deficiente do ligamento cruzado anterior durante a caminhada: o uso da entropia aproximada em ortopedia. *J. Clin. Monit. Comput.* 2006;20:11-8.
85. Moghadam Mo et al. Reliability of center of pressure measures of postural stability in healthy older adults: effects of postural task difficulty and cognitive load. *Gait & Posture.* 2011;33(4):651-5.
86. Donker SF, Ledebt A, Roerdink M. Savelsberghet GJP, Beek PJ. Children with cerebral palsy exhibit greater and more regular postural sway than typically developing children. *Exp Brain Res.* 2008;184:363-70.
87. Deuschl G, Bain PE, Brin M. Consensus statement of the movement disorder society on tremor. *Movement Disorders.* 1998;13(S3):2-23.
88. Magrinelli F, Picelli A, Tocco P, et al. Pathophysiology of Motor Dysfunction in Parkinson's Disease as the Rationale for Drug Treatment and Rehabilitation. *Parkinsons Dis.* 2016;10(6):1-18.
89. Rocha, MS. Alterações Posturais na Doença de Parkinson. *Revista Neurociências.* 2015;23:475-6. DOI 10.34024/rnc.2015.v23.7974.

90. Mattos JP. Diagnóstico diferencial dos tremores. *Arq Neuropsiquiatr.* 1998; 56(2):320-3; 1998.
91. Goetz CG, Poewe W, Rascol O, Sampaio C, Stebbins GT, Counsell C et al. Movement disorder society task force on the Hoehn and Yahr staging scale: status and recommendations. *Mov Disord.* 2004;1020-8.
92. Leddy AL, Crowner BE, Earhart GM. Utility of the mini-BESTest, BESTest, and BESTest sections for balance assessments in individuals with Parkinson disease. *J Neurol Phys Ther.* 2011;35(2):90-7.

APÊNDICE – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

FACULDADE DE MEDICINA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

1

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

DADOS DE IDENTIFICAÇÃO DO SUJEITO DA PESQUISA OU RESPONSÁVEL LEGAL

1. NOME:

DOCUMENTO DE IDENTIDADE Nº: SEXO: M F

DATA NASCIMENTO:/...../.....

ENDEREÇO: Nº APTO:

BAIRRO: CIDADE:

CEP: TELEFONE: DDD (.....)

2. RESPONSÁVEL LEGAL

NATUREZA (grau de parentesco, tutor, curador etc.)

DOCUMENTO DE IDENTIDADE: SEXO: M F

DATA NASCIMENTO:/...../.....

ENDEREÇO: Nº APTO:

BAIRRO: CIDADE:

CEP: TELEFONE: DDD (.....)

DADOS SOBRE A PESQUISA

1. TÍTULO DO PROTOCOLO DE PESQUISA: INVESTIGAÇÃO SOBRE A RELAÇÃO DA APRENDIZAGEM IMPLÍCITA PROBABILÍSTICA E DA AUTOMATICIDADE DA MARCHA EM PACIENTES COM DOENÇA DE PARKINSON

PESQUISADOR : MARIA ELISA PIMENTEL PIEMONTE

CARGO/FUNÇÃO: DOCENTE INSCRIÇÃO CONSELHO REGIONAL Nº 12863-F

UNIDADE DO HCFMUSP: DEPARTAMENTO DE FISIOTERAPIA, FONOAUDIOLOGIA E TERAPIA OCUPACIONAL

2. AVALIAÇÃO DO RISCO DA PESQUISA:

RISCO MÍNIMO x RISCO MÉDIO

RISCO BAIXO RISCO MAIOR

3. DURAÇÃO DA PESQUISA : DOIS ANOS

FACULDADE DE MEDICINA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

2

Este estudo tem como objetivo investigar a relação entre a automaticidade da marcha, i.e., capacidade de caminhar sem prestar atenção nos passos, e a aprendizagem implícita, i.e., aprender uma tarefa sem controlar conscientemente o que está sendo aprendido, em paciente com Doença de Parkinson. Caso aceite participar deste estudo, o(a) Senhor(a) terá que comparecer neste local 4 dias dentro das próximas duas semanas, em horários previamente combinados, conforme a sua disponibilidade. Cada sessão terá por volta de 40 minutos. No primeiro dia, o(a) Senhor(a) realizará uma avaliação da sua forma de caminhar. Para isso, o(a) Senhor(a) terá que caminhar por alguns minutos em uma sala sem obstáculos, com um tipo de sensor preso ao seus tornozelos por meio de uma tomozeleira de velcro. Após essa avaliação, o o(a) Senhor(a) será convidado a responder algumas perguntas sobre as suas atividades motoras do seu dia-a-dia. No segundo dia, o(a) Senhor(a) receberá dois sensores com todas as instruções sobre como utiliza-los em sua casa durante os próximos três dias, das 9:00 as 19:00 horas. No terceiro dia, uma semana após o primeiro dia, o(a) Senhor(a) deverá devolver os sensores e realizar uma avaliação da sua capacidade de aprender jogando um jogo no computador no qual o(a) Senhor(a) será um goleiro que terá que defender vários pênaltis, pressionando teclas do computador. Finalmente, no quarto e último dia, duas semanas após o primeiro dia, o(a) Senhor(a) jogará novamente o mesmo jogo do goleiro para avaliarmos como a sua aprendizagem foi mantida.

Durante qualquer um dos procedimentos do estudo, a possibilidade de riscos é mínima, sendo que o o(a) Senhor(a) poderá ficar um pouco cansado pelos testes. O(A) Senhor(a) não terá nenhum risco de quedas durante a avaliação da marcha realizada no primeiro dia, pois estará sempre acompanhado pelo fisioterapeuta.

Como o objetivo deste estudo é apenas analisar as relações entre o desempenho da marcha e a capacidade de aprender uma nova tarefa em pacientes com Doença de Parkinson, não é possível garantir que o Senhor(a) perceba qualquer melhoras tanto na sua forma de andar como na sua aprendizagem. Os resultados apenas nos ajudarão a entender melhor os sintomas da doença, para que no futuro possamos melhorar as formas de tratamento.

Colocamo-nos a disposição para responder qualquer pergunta ou esclarecer qualquer dúvida sobre o estudo. A pesquisadora principal e orientadora é a fisioterapeuta Maria Elisa Pimentel Piemonte e o pesquisador executante é o fisioterapeuta Matheus Alencar que pode ser localizadas no endereço – Rua Cipotânea, 51 na Cidade Universitária ou pelo telefone (11) 3091-8427. Se você tiver alguma consideração ou dúvida sobre a ética da pesquisa, entre em contato com o Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) –Av. Dr. Arnaldo, 455 – Instituto Oscar Freire – 2º andar– tel: 3061-8004, FAX: 3061-8004– E-mail: cep_fm@usp.br.

O(A) Senhor(a) tem liberdade de retirar o seu consentimento a qualquer momento e deixar de participar do estudo, sem qualquer prejuízo à continuidade das suas atividades aqui neste local.

ANEXO A – Escala Mini BESTest

Examiner: _____
Subject: _____

Date: _____

MINI BESTest- of DYNAMIC BALANCE Balance Evaluation – Systems Test Copyright 2009

Subjects should be tested with flat-heeled shoes OR shoes and socks off.
If subject must use an assistive device for an item, score that item one category lower. If subject requires physical assistance to perform an item, score the lowest category (0) for that item.

1. SIT TO STAND

- (2) Normal: Comes to stand without use of hands and stabilizes independently.
(1) Moderate: Comes to stand WITH use of hands on first attempt.
(0) Severe: Impossible to stand up from chair without assistance –OR- several attempts with use of hands.

2. RISE TO TOES

- (2) Normal: Stable for 3 sec with maximum height
(1) Moderate: Heels up, but not full range (smaller than when holding hands)-OR-noticeable instability for 3 s
(0) Severe: \leq 3 sec

3. STAND ON ONE LEG

- | | |
|---|--|
| <u>Left</u> Time in sec Trial 1: _____ Trial 2: _____ | <u>Right</u> Time in sec Trial 1: _____ Trial 2: _____ |
| (2) Normal: 20 s | (2) Normal: 20 s |
| (1) Moderate: < 20 sec | (1) Moderate: < 20 sec |
| (0) Severe: Unable | (0) Severe: Unable |

4. COMPENSATORY STEPPING CORRECTION- FORWARD

- (2) Normal: Recovers independently a single, large step (second realignment step is allowed)
(1) Moderate: More than one step used to recover equilibrium
(0) Severe: No step, OR would fall if not caught, OR falls spontaneously

5. COMPENSATORY STEPPING CORRECTION- BACKWARD

- (2) Normal: Recovers independently a single, large step
(1) Moderate: More than one step used to recover equilibrium
(0) Severe: No step, OR would fall if not caught, OR falls spontaneously

6. COMPENSATORY STEPPING CORRECTION- LATERAL

- | | |
|--|--|
| <u>Left</u> | <u>Right</u> |
| (2) Normal: Recovers independently with 1 step (crossover or lateral OK) | (2) Normal: Recovers independently with 1 step (crossover or lateral OK) |
| (1) Moderate: Several steps to recovers equilibrium | (1) Moderate: Several steps to recovers equilibrium |
| (0) Severe: Falls, or cannot step | (0) Severe: Falls, or cannot step |

7. EYES OPEN, FIRM SURFACE (FEET TOGETHER)

- Time in sec: _____
(2) Normal: 30s
(1) Moderate: < 30s
(0) Severe: Unable

8. EYES CLOSED, FOAM SURFACE (FEET TOGETHER)

- Time in Sec: _____
(2) Normal: 30s
(1) Moderate: < 30s
(0) Severe: Unable

9. INCLINE- EYES CLOSED

Instruction: "Step onto the incline ramp. Please stand on the incline ramp with your toes toward the top. Place your feet shoulder width apart and have your arms down at your sides. I will start timing when you close your eyes."

Time in seconds: _____

- (2) Normal: Stands independently 30 s and aligns with gravity.
- (1) Moderate: Stands independently <30 s OR aligns with surface.
- (0) Severe: Unable.

DYNAMIC GAIT**SUB SCORE: _____ /10****10. CHANGE IN GAIT SPEED**

Instruction: "Begin walking at your normal speed, when I tell you 'fast', walk as fast as you can. When I say 'slow', walk very slowly."

- (2) Normal: Significantly changes walking speed without imbalance.
- (1) Moderate: Unable to change walking speed or signs of imbalance.
- (0) Severe: Unable to achieve significant change in walking speed AND signs of imbalance.

11. WALK WITH HEAD TURNS – HORIZONTAL

Instruction: "Begin walking at your normal speed, when I say "right", turn your head and look to the right. When I say "left" turn your head and look to the left. Try to keep yourself walking in a straight line."

- (2) Normal: performs head turns with no change in gait speed and good balance.
- (1) Moderate: performs head turns with reduction in gait speed.
- (0) Severe: performs head turns with imbalance.

12. WALK WITH PIVOT TURNS

Instruction: "Begin walking at your normal speed. When I tell you to 'turn and stop', turn as quickly as you can, face the opposite direction, and stop. After the turn, your feet should be close together."

- (2) Normal: Turns with feet close FAST (≤ 3 steps) with good balance.
- (1) Moderate: Turns with feet close SLOW (≥ 4 steps) with good balance.
- (0) Severe: Cannot turn with feet close at any speed without imbalance.

13. STEP OVER OBSTACLES

Instruction: "Begin walking at your normal speed. When you get to the box, step over it, not around it and keep walking."

- (2) Normal: Able to step over box with minimal change of gait speed and with good balance.
- (1) Moderate: Steps over box but touches box OR displays cautious behavior by slowing gait.
- (0) Severe: Unable to step over box OR steps around box.

14. TIMED UP & GO WITH DUAL TASK [3 METER WALK]

Instruction TUG: "When I say 'Go', stand up from chair, walk at your normal speed across the tape on the floor, turn around, and come back to sit in the chair."

Instruction TUG with Dual Task: "Count backwards by threes starting at _____. When I say 'Go', stand up from chair, walk at your normal speed across the tape on the floor, turn around, and come back to sit in the chair. Continue counting backwards the entire time."

TUG: _____seconds; Dual Task TUG: _____seconds

- (2) Normal: No noticeable change in sitting, standing or walking while backward counting when compared to TUG without Dual Task.
- (1) Moderate: Dual Task affects either counting OR walking (>10%) when compared to the TUG without Dual Task.
- (0) Severe: Stops counting while walking OR stops walking while counting.

When scoring item 14, if subject's gait speed slows more than 10% between the TUG without and with a Dual Task the score should be decreased by a point.

TOTAL SCORE: _____ /28

Mini-BEST test instructions

Subject Conditions: Subject should be tested with flat-heeled shoes OR shoes and socks off.
Equipment: Temp@foam (also called "foam", 4 inches thick, medium density 141 firmness rating), chair without arm rests or wheels, incline ramp, stopwatch, a box 9" height and a 3 meter distance measured out and marked on the floor with tape (from chair).
Scoring: The test has a maximum score of 28 points from 14 items that are each scored from 0-2.

"0" indicates the lowest level of function and "2" the highest level of function.
 If a subject must use an assistive device to perform an item, score that item one category lower.
 For item 3 (stand on one leg) and item 6 (compensatory stepping-lateral) only include the score for one side (the worse score).
 For item 3 (stand on one leg) and item 6 (compensatory stepping-lateral) only include the score for one side (the worse score).
 For item 14 (lined up & go with dual task) if a person's gait slows greater than 10% between the TUG without and with a dual task then the score should be decreased by a point.

1. SIT TO STAND	Note the initiation of the movement, and the use of the subject's hands on the seat of the chair, the thighs, or the thrusting of the arms forward.
2. RISE TO TOES	Allow the subject two attempts. Score the best attempt. If you suspect that subject is using less than full height, ask the subject to rise up while holding the examiners' hands. Make sure the subject looks at a non-moving target 4-12 feet away.
3. STAND ON ONE LEG	Allow the subject two attempts and record the times. Record the number of seconds the subject can hold up to a maximum of 20 seconds. Stop timing when the subject moves hands off of hips or puts a foot down. Make sure the subject looks at a non-moving target 4-12 feet ahead. Repeat on other side.
4. COMPENSATORY STEPPING CORRECTION-FORWARD	Stand in front of the subject with one hand on each shoulder and ask the subject to lean forward (Make sure there is room for them to step forward). Require the subject to lean until the subject's shoulders and hips are in front of toes. After you feel the subject's body weight in your hands, very suddenly release your support. The test must elicit a step. NOTE: Be prepared to catch subject.
5. COMPENSATORY STEPPING CORRECTION - BACKWARD	Stand behind the subject with one hand on each scapula and ask the subject to lean backward (Make sure there is room for the subject to step backward). Require the subject to lean until their shoulders and hips are in back of their heels. After you feel the subject's body weight in your hands, very suddenly release your support. Test must elicit a step. NOTE: Be prepared to catch subject.
6. COMPENSATORY STEPPING CORRECTION-LATERAL	Stand to the side of the subject, place one hand on the side of the subject's pelvis, and have the subject lean their whole body into your hands. Require the subject to lean until the midline of the pelvis is over the right (or left) foot and then suddenly release your hold. NOTE: Be prepared to catch subject.
7. STANCE (FEET TOGETHER); EYES OPEN, FIRM SURFACE	Record the time the subject was able to stand with feet together up to a maximum of 30 seconds. Make sure subject looks at a non-moving target 4-12 feet away.
8. STANCE (FEET TOGETHER); EYES CLOSED, FOAM SURFACE	Use medium density Temp@foam, 4 inches thick. Assist subject in stepping onto foam. Record the time the subject was able to stand in each condition to a maximum of 30 seconds. Have the subject step off of the foam between trials. Flip the foam over between each trial to ensure the foam has retained its shape.
9. INCLINE EYES CLOSED	Ask the subject onto the ramp. Once the subject closes eyes, begin timing and record time. Note if there is excessive sway.
10. CHANGE IN SPEED	Allow the subject to take 3-5 steps at normal speed, and then say "fast". After 3-5 fast steps, say "slow". Allow 3-5 slow steps before the subject stops walking.
11. WALK WITH HEAD TURNS-HORIZONTAL	Allow the subject to reach normal speed, and give the commands "right, left" every 3-5 steps. Score if you see a problem in either direction. If subject has severe cervical restrictions allow combined head and trunk movements.
12. WALK WITH PIVOT TURNS	Demonstrate a pivot turn. Once the subject is walking at normal speed, say "turn and stop." Count the number of steps from "turn" until the subject is stable. Imbalance may be indicated by wide stance, extra stepping or trunk motion.
13. STEP OVER OBSTACLES	Place the box (9 inches or 23 cm height) 10 feet away from where the subject will begin walking. Two cardboard boxes/walkers will be used to create this apparatus.
14. LINED UP & GO WITH DUAL TASK	Use the TUG time to determine the effects of dual tasking. The subject should walk a 3 meter distance. TUG: Have the subject siting with the subjects back against the chair. The subject will be timed from the moment you say "Go" until the subject returns to sitting. Stop timing when the subject's buttocks hit the chair bottom and the subject's back is against the chair. The chair should be firm without arms. TUG With Dual Task: While sitting determine how fast and accurately the subject can count backwards by threes starting from a number between 100-90. Then, ask the subject to count from a different number and after a few numbers say "Go". Time the subject from the moment you say "Go" until the subject returns to the sitting position. Score dual task as affecting counting or walking if speed slows (>10%) from TUG and/or new signs of imbalance.

ANEXO B – Escala de Estadiamento de Hoehn e Yahr modificada

**Escala de Estadiamento de Hoehn & Yahr (1967),
modificada¹⁰.**

Nome: _____ I: _____

Neurologista: _____

Data: ___/___/___

ESTÁGIOS	SINAIS
Estágio 0	Sem sinais da doença.
Estágio 1	Doença unilateral.
Estágio 1,5	Acometimento unilateral maisaxial.
Estágio 2	Doença bilateral, sem comprometimento dos reflexos posturais.
Estágio 2,5	Doença bilateral leve, com recuperação nos testes de reflexos posturais.
Estágio 3	Doença bilateral de leve a moderada. Há instabilidade postural, independente das atividades diárias.
Estágio 4	Alto grau de incapacitação; ainda consegue andar ou ficar em pé com auxílio.
Estágio 5	Confinado a cama ou a cadeira de rodas, a menos que ajudado.

ANEXO C - Escala Unificada de Avaliação para Doença de Parkinson (UPDRS)

1. comportamento intelectual

0= NENHUM

1= MÍNIMO. Esquecimento consistente com lembrança parcial de eventos, sem outras dificuldades

2= MODERADO. Perda moderada da memória, com desorientação. Dificuldade moderada para resolver problemas complexos. Mínimo, mas definitivo comprometimento das atividades em casa, com necessidade de ajuda ocasional.

3= GRAVE. Perda grave de memória com desorientação temporal e, freqüentemente de lugar. Grande dificuldade de resolver problemas.

4= GRAVE. Perda grave da memória com orientação preservada apenas para sua pessoa. Incapaz de fazer julgamentos ou resolver problemas. Necessita de muita ajuda para cuidados pessoais. Não pode ficar sozinho em nenhuma situação.

2. desordem do pensamento (devido à demência ou intoxicação por drogas)

0= nenhum

1= sonhos vívidos

2= alucinações “benignas” com julgamento (insight) mantido

3= ocasionais a freqüentes alucinações sem julgamento, podendo interferir com as atividades diárias.

4= alucinações freqüentes ou psicose evidente. Incapaz de cuidar-se.

3. depressão

1= ausente

2= períodos de tristeza ou culpa acima do normal. Nunca permanece por dias ou semanas.

3= depressão permanente com sintomas vegetativos (insônia, anorexia, perda de peso, desinteresse).

4= depressão permanente com sintomas vegetativos. Pensamento ou tentativa de suicídio.

4. motivação/iniciativa

0= normal

1= mais passivo, menos interessado que o habitual

2= perda da iniciativa ou desinteresse por atividades fora do dia-a-dia

II. ATIVIDADES DA VIDA DIÁRIA

5. fala

0= normal

1= comprometimento superficial. Nenhuma dificuldade em ser entendido.

2= comprometimento moderado. Solicitado a repetir frases, às vezes.

3= comprometimento grave. Solicitado freqüentemente a repetir frases.

4= retraído, perda completa da motivação.

6. salivação

0= normal

1= excesso mínimo de saliva, mas perceptível. Pode babar à noite.

2= excesso moderado de saliva. Pode apresentar alguma baba (drooling).

3= excesso acentuado de saliva. Baba freqüentemente.

4= baba continuamente. Precisa de lenço constantemente.

7. deglutição

0= normal

1= engasgos raros

2= engasgos ocasionais

3= deglute apenas alimentos moles.

4= necessita de sonda nasogástrica ou gastrostomia.

8. escrita

0= normal

1= um pouco lenta ou pequena.

2= menor e mais lenta, mas as palavras são legíveis.

3= gravemente comprometida. Nem todas as palavras são comprometidas.

4= a maioria das palavras não são legíveis.

9. cortar alimentos ou manipular

0= normal

1= lento e desajeitado, mas não precisa de ajuda.

2= capaz de cortar os alimentos, embora desajeitado e lento. Pode precisar de ajuda.

3= alimento cortado por outros, ainda pode alimentar-se, embora lentamente.

4= precisa ser alimentado por outros.

10. vestir

0= normal.

1= lento mas não precisa de ajuda.

2= necessita de ajuda para abotoar e colocar os braços em mangas de camisa.

3= necessita de bastante ajuda, mas consegue fazer algumas coisas sozinho.

4= não consegue vestir-se (nenhuma peça) sem ajuda.

11. higiene

0= normal.

1= lento mas não precisa de ajuda.

2= precisa de ajuda no chuveiro ou banheira, ou muito lento nos cuidados de higiene.

3= necessita de assistência para se lavar, escovar os dentes, pentear-se, ir ao banheiro.

4= sonda vesical ou outra ajuda mecânica.

12. girar no leito e colocar roupas de cama.

0= normal.

1= lento e desajeitado mas não precisa de ajuda.

2= pode girar sozinho na cama ou colocar os lençóis, mas com grande dificuldade.

3= pode iniciar, mas não consegue rolar na cama ou colocar lençóis.

4= não consegue fazer nada.

13. quedas (não relacionadas ao *freezing*)

0= nenhuma

1= quedas raras.

2= cai ocasionalmente, menos de uma vez por dia.

3= cai, em média, uma vez por dia.

4= cai mais de uma vez por dia.

14. *freezing* quando anda

0= nenhum

1= raro *freezing* quando anda, pode ter hesitação no início da marcha.2= *freezing* ocasional, enquanto anda.3= *freezing* frequente, pode cair devido ao *freezing*.4= quedas frequentes devido ao *freezing*.

15. marcha

0= normal.

1= pequena dificuldade. Pode não balançar os braços ou tende a arrastar as pernas. 2= dificuldade moderada, mas necessita de pouca ajuda ou nenhuma.

3= dificuldade grave na marcha, necessita de assistência.

4= não consegue andar, mesmo com ajuda.

16. tremor

0= ausente.

1= presente, mas infrequente.

2= moderado, mas incomoda o paciente.

3= grave, interfere com muitas atividades.

4= marcante, interfere na maioria das atividades.

17. queixas sensitivas relacionadas ao parkinsonismo

0= nenhuma.

1= dormência e formigamento ocasional, alguma dor.

2= dormência, formigamento e dor frequente, mas suportável.

3= sensações dolorosas frequentes.

4= dor insuportável.

III. EXAME MOTOR

18. fala

0= normal.

1= perda discreta da expressão, volume ou dicção.

2= comprometimento moderado. Arrastado, monótono mas compreensível.

3= comprometimento grave, difícil de ser entendido.

4= incompreensível.

19. expressão facial

0= normal.

1= hipomimia mínima.

2= diminuição pequena, mas anormal, da expressão facial.

3= hipomimia moderada, lábios caídos/afastados por algum tempo.

4= fácies em máscara ou fixa, com pedra grave ou total da expressão facial. Lábios afastados ¼ de polegada ou mais.

20. tremor de repouso

0= ausente.

1= presente mas infrequente ou leve.

2= persistente mas de pouca amplitude, ou moderado em amplitude mas presente de maneira intermitente.

3= moderado em amplitude mas presente a maior parte do tempo.

4= com grande amplitude e presente a maior parte do tempo.

21. tremor postural ou de ação nas mãos

0= ausente

1= leve, presente com a ação.

2= moderado em amplitude, presente com a ação.

3= moderado em amplitude tanto na ação quanto mantendo a postura.

4= grande amplitude, interferindo com a alimentação.

22. rigidez (movimento passivo das grandes articulações, com paciente sentado e relaxado, ignorar roda denteada)

0= ausente

1= pequena ou detectável somente quando ativado por movimentos em espelho de outros.

2= leve e moderado.

3= marcante, mas pode realizar o movimento completo da articulação.

4= grave e o movimento completo da articulação só ocorre com grande dificuldade.

23. bater dedos continuamente – polegar no indicador em seqüências rápidas com a maior amplitude possível, uma mão de cada vez.

0= normal

1= leve lentidão e/ou redução da amplitude.

2= comprometimento moderado. Fadiga precoce e bem clara. Pode apresentar parada ocasional durante o movimento.

3= comprometimento grave. Hesitação freqüente para iniciar o movimento ou paradas durante o movimento que está realizando.

4= realiza o teste com grande dificuldade, quase não conseguindo.

24. movimentos das mãos (abrir e fechar as mãos em movimentos rápidos e sucessivos e com a maior amplitude possível, uma mão de cada vez).

0= normal

1= leve lentidão e/ou redução da amplitude.

2= comprometimento moderado. Fadiga precoce e bem clara. Pode apresentar parada ocasional durante o movimento.

3= comprometimento grave. Hesitação freqüente para iniciar o movimento ou paradas durante o movimento que está realizando.

4= realiza o teste com grande dificuldade, quase não conseguindo.

25. movimentos rápidos alternados das mãos (pronação e supinação das mãos, horizontal ou verticalmente, com a maior amplitude possível, as duas mãos simultaneamente).

0= normal

1= leve lentidão e/ou redução da amplitude.

2= comprometimento moderado. Fadiga precoce e bem clara. Pode apresentar parada ocasional durante o movimento.

3= comprometimento grave. Hesitação freqüente para iniciar o movimento ou paradas durante o movimento que está realizando.

4= realiza o teste com grande dificuldade, quase não conseguindo.

26. agilidade da perna (bater o calcanhar no chão em sucessões rápidas, levantando toda a perna, a amplitude do movimento deve ser de cerca de 3 polegadas/ $\pm 7,5$ cm).

0= normal

1= leve lentidão e/ou redução da amplitude.

2= comprometimento moderado. Fadiga precoce e bem clara. Pode apresentar parada ocasional durante o movimento.

3= comprometimento grave. Hesitação freqüente para iniciar o movimento ou paradas durante o movimento que está realizando.

4= realiza o teste com grande dificuldade, quase não conseguindo.

27. levantar da cadeira (de espaldo reto, madeira ou ferro, com braços cruzados em frente ao peito).

0= normal

1= lento ou pode precisar de mais de uma tentativa

2= levanta-se apoiando nos braços da cadeira.

3= tende a cair para trás, pode tentar se levantar mais de uma vez, mas consegue levantar

4= incapaz de levantar-se sem ajuda.

28. postura

0= normal em posição ereta.

1= não bem ereto, levemente curvado para frente, pode ser normal para pessoas mais velhas.

2= moderadamente curvado para frente, definitivamente anormal, pode inclinar-se um pouco para os lados.

3= acentuadamente curvado para frente com cifose, inclinação moderada para um dos lados.

4= bem fletido com anormalidade acentuada da postura.

29. marcha

0= normal

1= anda lentamente, pode arrastar os pés com pequenas passadas, mas não há festinação ou propulsão.

2= anda com dificuldade, mas precisa de pouca ajuda ou nenhuma, pode apresentar alguma festinação, passos curtos, ou propulsão.

3= comprometimento grave da marcha, necessitando de ajuda.

4= não consegue andar sozinho, mesmo com ajuda.

30. estabilidade postural (respostas ao deslocamento súbito para trás, puxando os ombros, com paciente ereto, de olhos abertos, pés separados, informado a respeito do teste)

0= normal

1= retropulsão, mas se recupera sem ajuda.

2= ausência de respostas posturais, cairia se não fosse auxiliado pelo examinador.

3= muito instável, perde o equilíbrio espontaneamente.

4= incapaz de ficar ereto sem ajuda.

31. bradicinesia e hipocinesia corporal (combinação de hesitação, diminuição do balançar dos braços, pobreza e pequena amplitude de movimentos em geral)

0= nenhum.

1= lentidão mínima. Podia ser normal em algumas pessoas. Possível redução na amplitude.

2= movimento definitivamente anormal. Pobreza de movimento e um certo grau de lentidão.

3= lentidão moderada. Pobreza de movimento ou com pequena amplitude.

4= lentidão acentuada. Pobreza de movimento ou com pequena amplitude.

IV. COMPLICAÇÕES DA TERAPIA (NA SEMANA QUE PASSOU)**A . DISCINESIAS**

32. duração. Que percentual do dia acordado apresenta discinesias?

0= nenhum

1= 25% do dia.

2= 26 - 50% do dia.

3= 51 – 75% do dia.

4= 76 – 100% do dia.

33. incapacidade. Quão incapacitante é a discinesia?

0= não incapacitante.

1= incapacidade leve.

2= incapacidade moderada.

3= incapacidade grave.

4= completamente incapaz.

34. discinesias dolorosas. Quão dolorosas são as discinesias?

0= não dolorosas.

1= leve.

2= moderada. 3= grave.

4= extrema.

35. presença de distonia ao amanhecer.

0= não 1= sim

B. FLUTUAÇÕES CLÍNICAS

36. algum período off previsível em relação ao tempo após a dose do medicamento?

0= não 1= sim

37. algum período *off imprevis*



Instituto de Ciências da Saúde Programa de Pós
Graduação
Processos Interativos dos Órgãos e Sistemas
Avenida Reitor Miguel Calmon s/n - Vale do Canela. CEP: 40110-100
Salvador, Bahia, Brasil
<http://www.ppgorgsistem.ics.ufba.br>