

# A utilização de Redes Neurais Artificiais em características biológicas para apoio ao diagnóstico do Mal de Parkinson

Lívia Maria Alves Moreira<sup>1</sup>, Silvana Terezinha Faceroli<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Bacharelado em Sistemas de Informação  
Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais - Campus Juiz de Fora

<sup>2</sup> Departamento de Educação e Tecnologia – Núcleo de Informática  
Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais - Campus Juiz de Fora

alvesm.livia@gmail.com, silvana.faceroli@ifsudestemg.edu.br

**Abstract.** *The diagnosis of Parkinson's disease is a complex task since there are no computerized tests that can identify it. In this work, artificial neural network techniques are applied to analyze the biological characteristics of voice, writing and walking with the objective of classifying individuals with the disease, supporting the medical diagnosis. The results obtained were considered satisfactory indicating that the union of the tests performed can generate an efficient and low cost device.*

**Resumo.** *O diagnóstico da doença de Parkinson é uma tarefa complexa uma vez que não existem exames computadorizados que sejam capazes de identificá-la. Neste trabalho, são aplicadas técnicas de redes neurais artificiais para análise das características biológicas da voz, escrita e caminhar com o objetivo de classificar os indivíduos com a doença, apoiando o diagnóstico médico. Os resultados obtidos foram considerados satisfatórios indicando que a união dos testes realizados pode gerar um dispositivo eficiente e de baixo custo.*

## 1. Introdução

O Mal de Parkinson é uma doença neurodegenerativa, progressiva e sem cura. Dentre as doenças que afetam o sistema nervoso central, a doença de Parkinson (DP) é uma das mais frequentes na população com cerca de 100 a 150 casos por 100.000 habitantes (BARBOSA; SALLEM, 2005). Geralmente, os primeiros sintomas são notados pelos familiares dos pacientes, que não conseguem estimar seu início. A primeira manifestação notada é o tremor, porém antes disso, outros sentidos já sofrem alterações que nem sempre são observadas com facilidade, como por exemplo, a fala (TSANAS, 2009) e a escrita (ISENKUL; SAKAR; KURSUN, 2014). Já em estados mais avançados da doença, outros sintomas podem aparecer tal como alteração no caminhar (LIMONGI, 2009).

A alteração da articulação, fonação e ressonância na fala dos pacientes com o Mal de Parkinson decorrem principalmente devido à hiperfonia, que é o aumento anormal do tônus muscular. A voz quando é emitida tem sua origem nas vibrações de duas membranas denominadas cordas vocais. Quando há o aumento do tônus muscular, automaticamente há restrição da movimentação dos articuladores, ocasionando movimentos de menor amplitude e gerando os seguintes sintomas: diminuição do volume vocal, qualidade vocal tensa e áspera, menor contraste fônico, aumento da taxa de elocução e inconsistências na produção. A alteração na fala relacionada ao Mal de Parkinson denomina-se disartria hipocinética e ocorre em 90% dos pacientes (LIRANI-

SILVA, 2015).

A escrita é outro fator que sofre alteração nos Parkinsonianos. A micrografia é o segundo principal sintoma da doença devido à acinesia, que é a falta/pobreza de movimentos físicos (POSTUMA,2012). Além disso, a pressão que é aplicada no papel também diminui. Em decorrência de um distúrbio biológico, nos parkinsonianos alguns circuitos motores passam a trabalhar de forma mais lenta e não conseguem acompanhar o ritmo da pessoa normal. O paciente com Mal de Parkinson perde a amplitude do movimento e a extensão de cada gesto.

Outro sintoma apresentado pelos indivíduos com o Mal de Parkinson é a bradicinesia (KIM et al., 2013), que é a perda abrupta da capacidade de iniciar o movimento. Esse sintoma, geralmente afeta a marcha e acontece quando há mudanças no solo, como um degrau ou uma faixa pintada no chão, ou até mesmo uma situação de tensão emocional.

O diagnóstico antecipado da doença de Parkinson pode oferecer ao paciente uma maior qualidade de vida (FERNANDES et al., 2016), visto que será possível realizar o início do tratamento antes mesmo dos sintomas mais incapacitantes da doença serem notados, ou seja, a bradicinesia e a acinesia. Uma das formas de obter esse diagnóstico precoce é a avaliação da sintomatologia do paciente.

### **1.1.Revisão Bibliográfica**

Dentro desse contexto, foi realizada uma revisão sistemática da literatura buscando trabalhos que pudessem nortear esta pesquisa com a seguinte questão: Quais as principais técnicas computacionais utilizadas em sinais biológicos para auxílio de diagnóstico do Mal de Parkinson?

Para responder a questão, usou-se a *string* de busca (“parkinson’s disease”) AND (“computational techniques”) AND diagnosis no Portal de Periódicos da CAPES. Foram encontrados, inicialmente, 24.526 trabalhos. Iniciou-se, então, o processo de refinamento da pesquisa utilizando critérios de exclusão tais como ano da publicação, área, artigo revisados por seus pares, palavras importantes no título, dentre outros. Unindo os artigos intimamente relacionados com o tema, obtidos no processo de busca, mais alguns artigos considerados muito importantes para o desenvolvimento do trabalho, chegou-se a seis artigos, comentados a seguir.

No estudo de Almeida (2010), o objetivo é investigar a função motora referente ao equilíbrio em pacientes com a doença de Parkinson. É uma pesquisa de caráter descritiva, transversal, com abordagem quanti-qualitativa que foi realizada na clínica Escola de Fisioterapia da UEPB.

Em Mandal (2012), são apresentados métodos computacionais para aprimorar o diagnóstico do Mal de Parkinson em estágio inicial com base na detecção da disфонia. É dado como objetivo do estudo aprimorar a qualidade do tratamento da DP reforçando a viabilidade de aplicação de um tele monitoramento econômico, regular e preciso.

No trabalho de Ferreira (2013), foram utilizados acelerômetros e giroscópios para medir alguns parâmetros cinéticos de doenças neurodegenerativas, como o Mal de Parkinson. Utiliza-se, como metodologia, a aplicação de redes neurais artificiais para identificar padrões para possibilitar a adoção de medidas preventivas para essas doenças.

Em Lirani-Silva (2015), é feita a comparação da fonoarticulação de um grupo de idosos com o Mal de Parkinson e de um grupo controle a fim de identificar se essas características são relacionadas à doença, ou ao processo normal de envelhecimento, e

ainda calcular o impacto que a disartria acarreta na qualidade de vida.

O trabalho apresentado em Souza(2017) trata da análise dos algoritmos de aprendizagem supervisionada aplicada na marcha de parkinsonianos. Realiza a classificação das características da marcha humana com o objetivo de identificar quais atributos são mais relevantes para a identificação das fases dos ciclos da mesma.

No estudo de Lacy (2018) é utilizada uma Rede Neural Recursiva, denominada *Echo State Network*, com o objetivo de auxiliar no diagnóstico do Mal de Parkinson através da análise da desordem do movimento dos dedos. De acordo com o trabalho, os resultados foram muito promissores.

A partir da revisão bibliográfica e da análise dos demais artigos estudados sobre a DP, este trabalho propõe a utilização de técnicas de redes neurais artificiais para análise das características biológicas da voz, caminhar e escrita para auxiliar profissionais da área da saúde a realizarem um diagnóstico antecipado da doença.

## 2. Materiais e Métodos

### 2.1. Banco de dados

Através da revisão bibliográfica, foram levantadas as principais características da doença de Parkinson e o banco de dados selecionado de acordo com as mesmas. Decidiu-se, então, por utilizar dados com características do caminhar, voz e escrita. As bases de dados que utilizamos para desenvolver esse trabalho estão disponíveis na internet nos repositórios *Physionet.org* e *UCI Machine Learning* ambos com aprovação no Comitê de ética.

#### 2.1.1. Característica 1: Caminhar

Neste banco de dados (SAKAR, Betul Erdogan et al 2016), existem 16 pacientes controle, ou seja, sem a doença, e 15 pacientes com DP. Cada paciente deveria fazer uma caminhada de aproximadamente dois minutos em terreno nivelado e em ritmo habitual. Em baixo de cada pé, há resistores sensíveis a força. Há, no banco de dados, outras informações dos pacientes como: sexo, altura, peso e severidade da doença. A idade média dos pacientes é de 66 anos e 3 meses e 63% eram homens.

Através desses sensores, foram obtidas as medidas das características mostradas na Tabela (1).

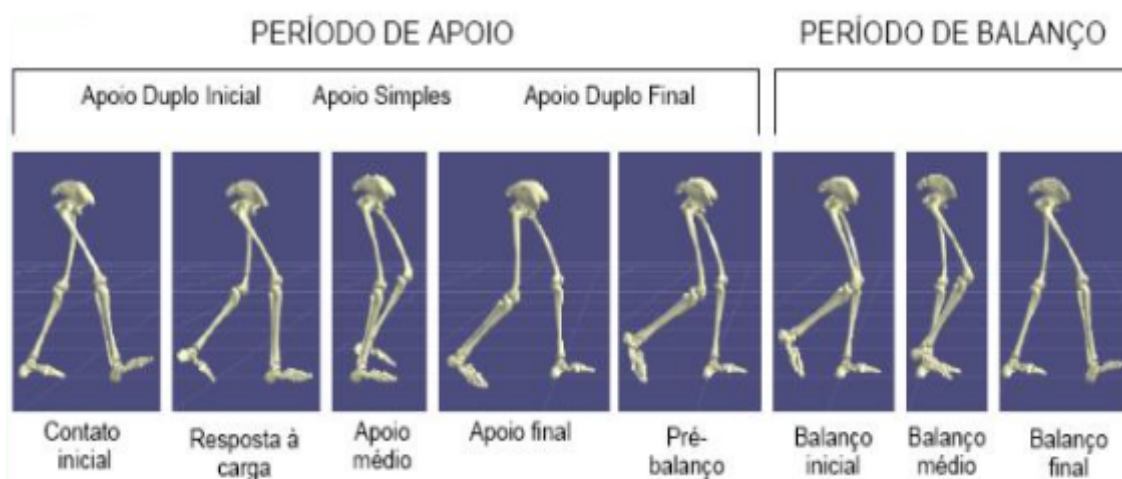
**Tabela 1: Características utilizadas no banco de dados**

<b>Características</b>	<b>Unidade</b>
Tempo percorrido	segundos
Intervalo do passo esquerdo	segundos
Intervalo do passo direito	segundos
Intervalo do balanço pé esquerdo	segundos
Intervalo do balanço pé direito	segundos
Intervalo do balanço pé esquerdo	%

Intervalo do balanço pé direito	%
Intervalo do apoio esquerdo	segundos
Intervalo do apoio direito	segundos
Intervalo do apoio esquerdo	%
Intervalo do apoio direito	%
Intervalo do suporte duplo	segundos
Intervalo do suporte duplo	%

Na Figura (1), são apresentadas as fases de uma caminhada. O ciclo da marcha é o intervalo de tempo ou sequência de movimentos que ocorrem entre dois contatos iniciais consecutivos do mesmo pé. Para cada pé, o ciclo da marcha apresenta dois períodos: *período de apoio* (60 a 65% do ciclo), e *período de balanço* (30 a 40% do ciclo).

## Fases da Marcha



**Barela AMF, 2005**

**Figura 1: Fases da caminhada.**

Fonte: <http://www.doccity.com>

Para cada uma das características apresentadas, foi criada uma tabela no Excel para posterior análise.

### 2.1.2. Característica 2: Voz

Esse banco de dados (TSANAS, 2009) contém 20 pacientes controle e 20 parkinsonianos. Os dados são provenientes de uma gravação feita a partir de uma ligação de celular de aproximadamente 1 minuto. Durante a ligação, os pacientes deveriam emitir o som de vogais em tempo habitual e o som das vogais em tempo sustentado. 70% dos voluntários desse banco de dados são homens. Os dados calculados através do sinal da voz são apresentados na Tabela (2).

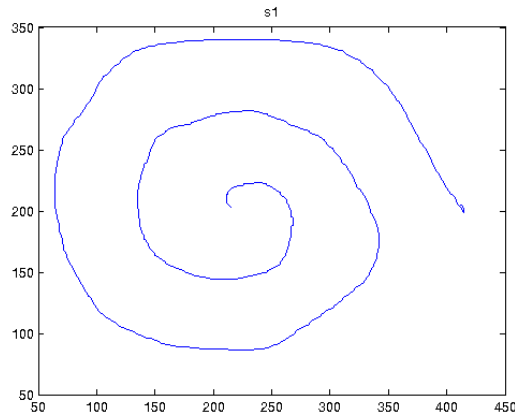
**Tabela 2: Características da voz**

<b>Características</b>
Frequência fundamental vocal média
Frequência fundamental vocal máxima
Frequência fundamental vocal mínima
Várias medidas de variação na frequência fundamental
Várias medidas de variação de amplitude
Dois medidas da proporção de ruído para componentes tonais na voz
Expoente de escala fractal de sinal
Três medidas não-lineares de variação de frequência fundamental
Dois medidas de complexidade dinâmica não linear

### 2.1.3. Característica 3: Escrita

Esta característica está relacionada com o tremor e força das mãos. No banco de dados da escrita, contamos com 15 pacientes controle e 20 pacientes com DP. Cada paciente foi submetido a três tipos de testes: estático, dinâmico e estabilidade em determinado ponto. Para a realização destes testes, foram utilizados um *tablet* gráfico e uma caneta digitalizadora. A seguir, são detalhados os testes realizados.

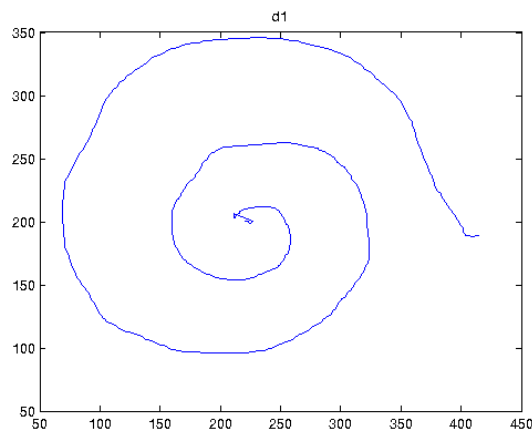
**Teste Estático:** Nesse teste, aparece o desenho de uma espiral e os pacientes devem desenhá-lo mantendo o padrão do desenho original. Esse tipo de teste é frequentemente utilizado para mensurar o desempenho motor (WANG et al., 2008), medir tremor (PULLMAN, 1998) e diagnosticar DP (SAUNDERS et al., 2008). A Figura (2) mostra um exemplo da imagem gerada pelo teste estático.



**Figura 2: Exemplo do teste estático controle**

Fonte: <http://archive.ics.uci.edu/ml/index.php>

**Teste Dinâmico:** Durante a realização desse teste, a espiral aparece e desaparece, ou seja, pisca. Isso faz com que o paciente tenha que manter o padrão em mente e continuar desenhando. O objetivo desse teste é identificar a mudança no desempenho do desenho do paciente e o tempo de pausa. A Figura (3) mostra um exemplo da imagem gerada pelo teste dinâmico.



**Figura 3: Exemplo do teste dinâmico controle**

Fonte: <http://archive.ics.uci.edu/ml/index.php>

**Teste de Estabilidade em Determinado Ponto:** Há um ponto vermelho no meio da tela e os pacientes são solicitados a fixar a caneta neste ponto sem encostar a mão *notablet*. Esse tipo de teste é utilizado para determinar a estabilidade da mão do paciente ou o nível de tremor da mão.

## 2.2. Método de classificação dos dados:

As redes neurais artificiais são sistemas de computação adaptativos que apresentam um modelo matemático inspirado na estrutura neural real e nas características de suas interconexões (MATSUNAGA, 2012).

O objetivo dessa estrutura é computar determinadas funções matemáticas que são dispostas em uma ou mais camadas interligadas por um grande número de conexões, geralmente, unidirecionais, que por sua vez, estão associadas a pesos que mantêm o

conhecimento representado no modelo e ponderaram a entrada recebida por cada neurônio da rede (ROQUE, 2009). As redes neurais têm a capacidade de aprender a partir de exemplos, e são configuradas para cada tipo específico de aplicação, como por exemplo, reconhecimento de padrões.

A habilidade de aprender a partir de referências e de estender a informação aprendida são os principais atrativos para a utilização das redes neurais para solução de problemas complexos. A generalização da rede está associada à capacidade de aprender através de um número reduzido de exemplos e, posteriormente, dar respostas coesas a dados que não foram apresentados anteriormente.

O processo usual na solução de problemas através de Redes Neurais passa inicialmente por uma fase de aprendizagem, onde um conjunto de exemplos é apresentado para rede, que extrai automaticamente as características necessárias para representar a informação fornecida. Essas características são utilizadas posteriormente para gerar respostas para o problema.

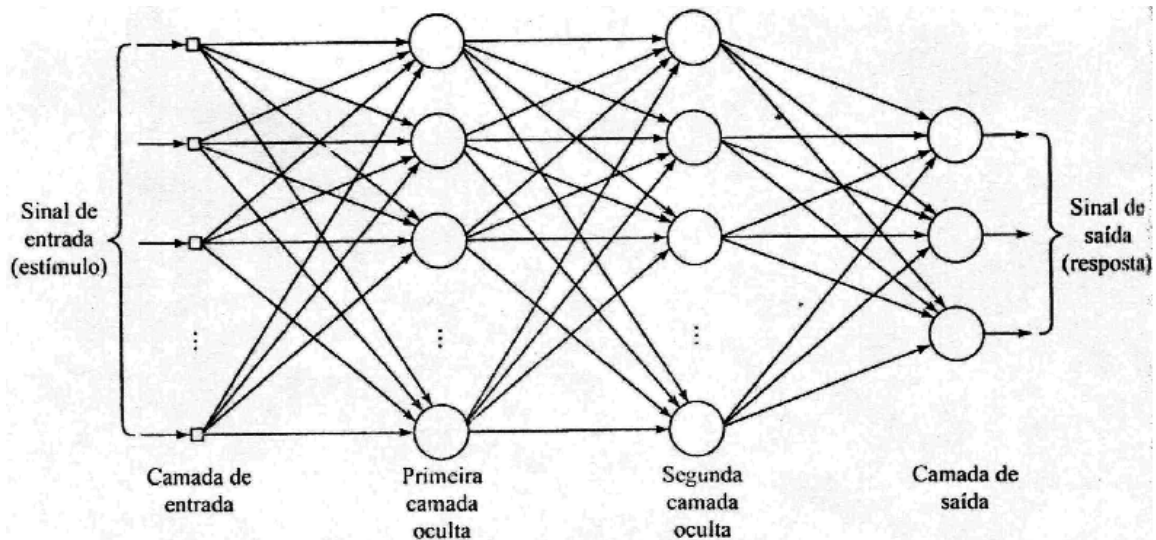
A fase de aprendizagem de uma RNA consiste na extração de características relevantes dos padrões de informações apresentadas. Trata-se de um processo iterativo de ajuste dos parâmetros, ou seja, dos pesos das conexões entre as unidades de processamento. É justamente nesses pesos que a rede neural armazena o conhecimento adquirido do ambiente que está operando.

Conforme Haykin(2005), o aprendizado de uma rede neural é um processo pelo qual os parâmetros livres são adaptados através de um processo de estimulação do ambiente no qual está inserida, sendo estabelecido pela forma através da qual é efetuada a mudança de parâmetro.

Em 1943 foi proposto o primeiro modelo de neurônio artificial por McCulloch e Pitts e a intenção era imitar a realidade biológica. Já em 1958, o perceptron foi proposto por Rosenblatt como uma amplificação do neurônio de McCulloch, fazendo assim a substituição da função degrau por uma função contínua que mapeia Z e Y facilitando o treinamento das redes. Seu modelo é uma estrutura de rede tendo como unidades básicas neurônioMCP ((Perceptron de McCulloch-Pitts)e uma regra de aprendizado (ROQUE, 2009).

O perceptron de camada única é composto por um conjunto de entradas, um nível intermediário e um nível de saída.As redes de camadas únicas resolvem apenas problemas linearmente separáveis. Embora essa topologia possua três níveis, somente na camada de saída há propriedades adaptativas, por isso essa nomenclatura.

Porém, o modelo de Rosenblatt sofreu várias críticas em relação a sua capacidade computacional. Esse quadro só mudou alguns anos mais tarde com a introdução do algoritmo *backpropagation*.Para a aplicação em problemas que não fossem linearmente separáveis, foi desenvolvido o perceptron multicamadas (MLP). Essas redes consistem de um conjunto de unidades sensoriais, que constituem a camada de entrada, uma ou mais camadas escondidas, e uma camada de saída (HAYKIN, 2005). A Figura (4) apresenta um modelo do algoritmo *backpropagation*.



**Figura 4: Rede MLP com camada intermediária.**  
**Fonte: Haykin (2005), Extraído.**

Neste trabalho, a topologia utilizada foi com uma camada intermediária e treinamento tipo supervisionado. A função de treinamento atualiza os pesos da rede de acordo com o método do gradiente conjugado escalonado. Foram utilizados 70% dos dados de entrada para treinamento, 15% para validação e 15% para teste. O número de neurônios na camada escondida foi variado buscando o melhor resultado.

### 3. Resultados e discussões

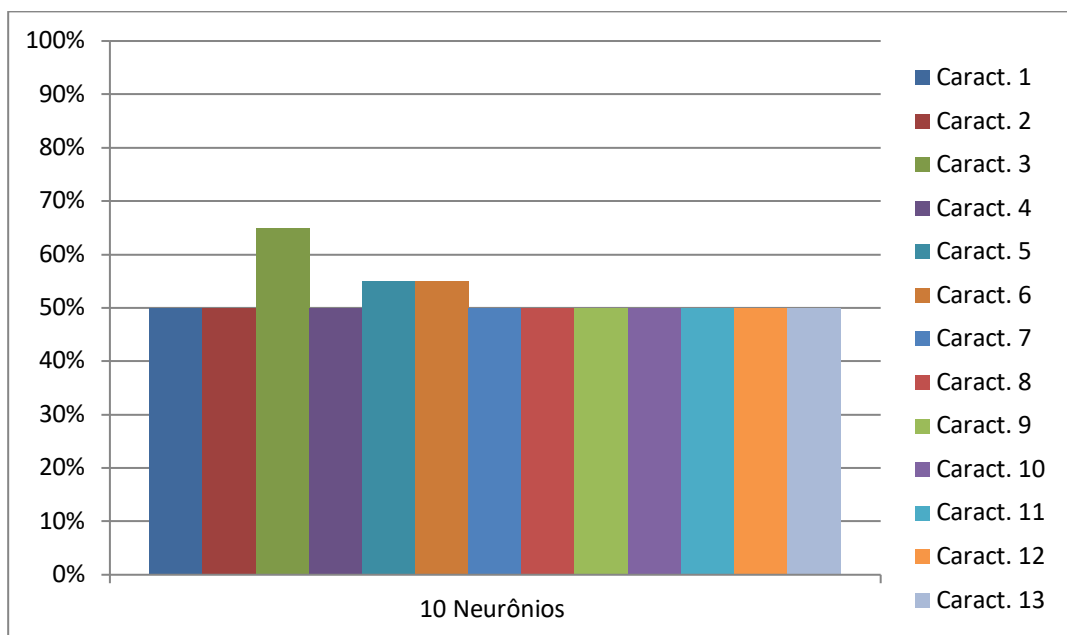
Cada banco de dados foi organizado em forma de planilha e, em todos os testes, foram aplicadas redes neurais. Foi utilizado o algoritmo de aprendizagem *backpropagation* com uma camada escondida.

#### 3.1. Teste 1: Análise do caminhar

A seguir, são apresentados os resultados obtidos na classificação realizada sob os dados da caminhada. A numeração das características segue a ordem apresentada na Tabela (1).

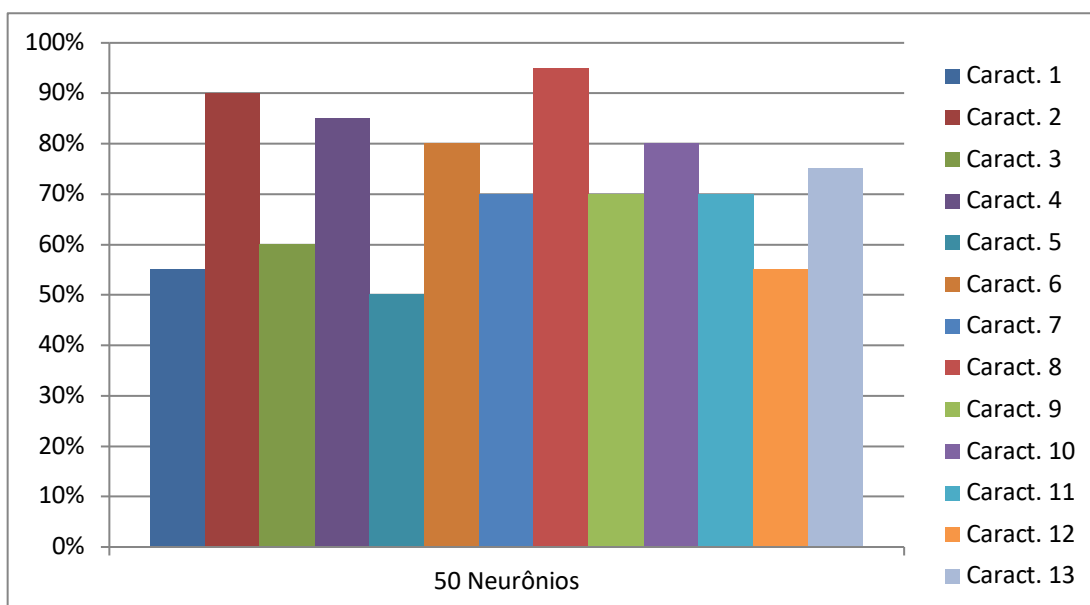
A Figura (5) mostra os resultados obtidos com 10 neurônios na camada escondida da rede. Como podemos observar, o melhor resultado foi obtido para a característica 3.





**Figura 5: Resultados da classificação para o banco de dados da característica caminhar com 10 neurônios**

Na Figura (6) são apresentados os resultados obtidos com 50 neurônios na camada escondida da rede. Neste caso, tivemos uma melhora significativa dos resultados chegando a 95% de acerto para a característica 8.



**Figura 6: Resultados da classificação para o banco de dados da característica caminhar com 50 neurônios**

Ao aumentar o número de neurônios na camada escondida, não houve aumento na porcentagem de acerto. A Figura (7) mostra os resultados apresentados por todas as características com 100 neurônios. A maioria das características teve redução significativa na porcentagem de acerto, confundindo parkinsonianos com pessoas sem a doença.

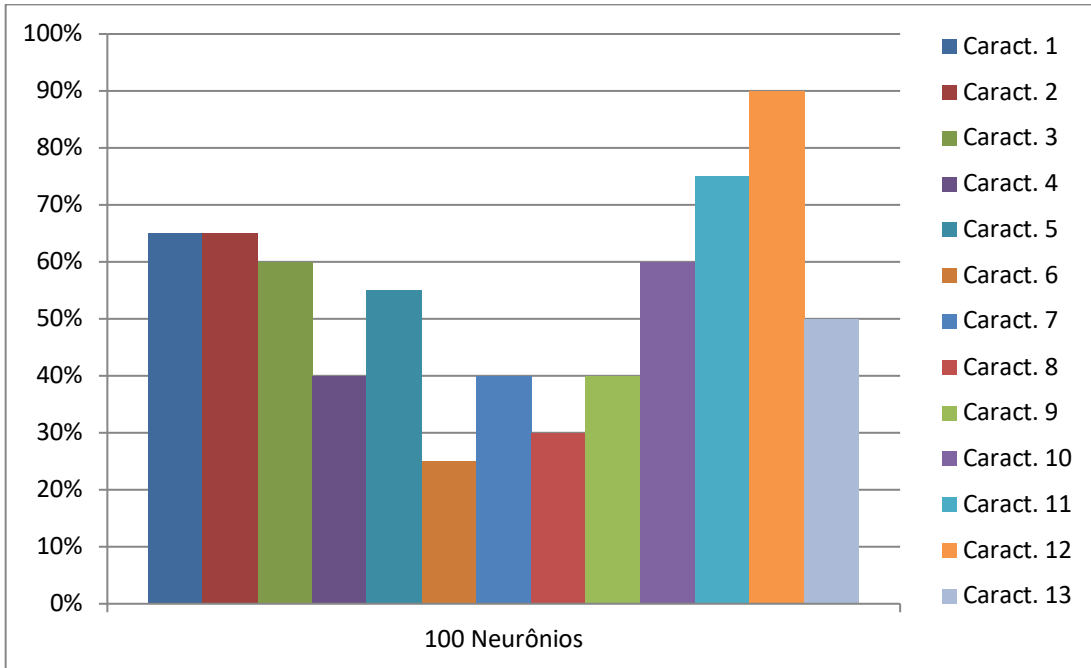


Figura 7: Resultados da classificação para o banco de dados da característica caminhar com 100 neurônios.

Os resultados mostrados nas figuras anteriores foram baseados na análise das matrizes de confusão geradas em cada teste. Para exemplificar, a Figura (8) mostra a matriz de confusão do melhor resultado obtido na simulação com 50 neurônios.

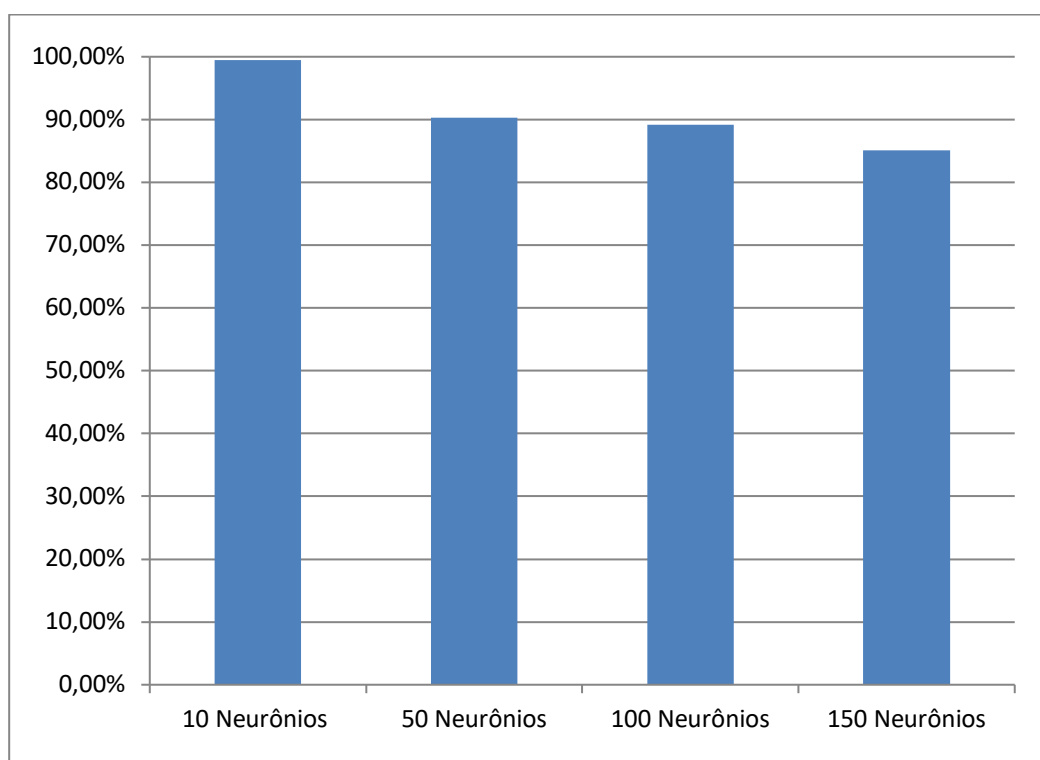


Figura 8: Matriz de Confusão da característica 8 com 50 neurônios na camada escondida

### 3.2. Teste 2: Análise da voz

O segundo teste realizado foi com o banco de dados das características da voz. A Figura (9) mostra a porcentagem de acerto da rede neural variando o número de neurônios. Como podemos observar, a rede apresentou um resultado bastante significativo e promissor com 10 neurônios na camada escondida obtendo 99% de acerto. A Figura (10) mostra a Matriz de Confusão para este caso.

Este resultado confirmou o que vem sendo apontado em trabalhos realizados nessa área: a voz é uma boa característica para a identificação da doença e pode vir a ser uma grande aliada para o diagnóstico precoce da DP.



**Figura9: Resultados da classificação para o banco de dados da característica voz**

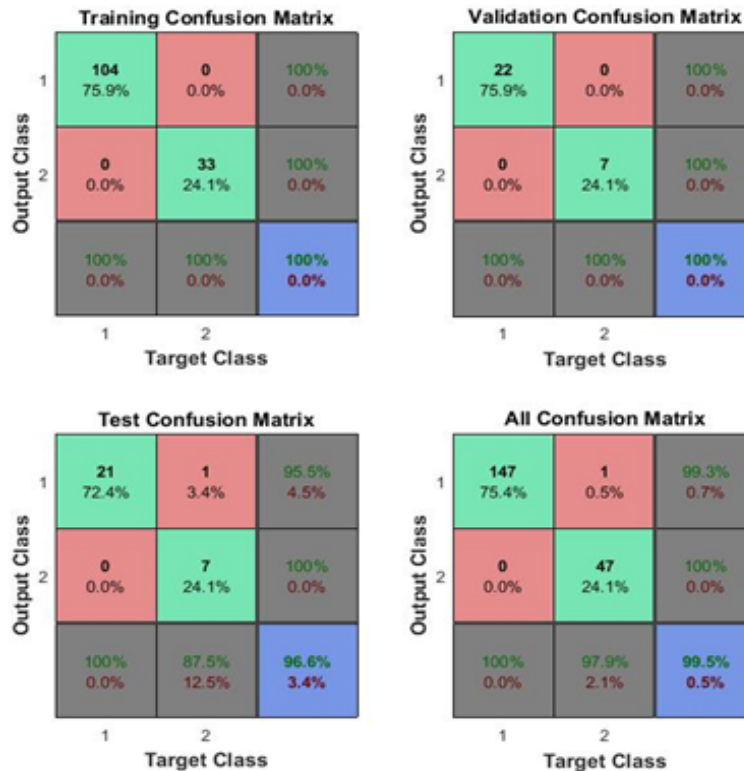


Figura 10: Matriz de confusão com dados da voz utilizando 10 neurônios

### 3.3. Teste 3: Análise da Escrita

O terceiro teste foi realizado com o banco de dados da característica da escrita. Neste caso, cada pessoa apresenta um tempo diferente para conseguir terminar a figura, independente de apresentar ou não a doença. Desta forma, os vetores  $x$  e  $y$ , utilizados para alimentar a rede, apresentam dimensões diferentes. Por este motivo, optou-se pela extração de características dos dados, que passaram a ser a entrada da rede.

Existem diversos fatores que determinam um ótimo conjunto de características. Os de maior relevância são a discriminação de classe e a complexidade computacional. A discriminação de classe mede o número de movimentos que um conjunto de características pode classificar corretamente enquanto a complexidade computacional mede o esforço e tempo necessário para extrair este conjunto. Diversos estudos mostram que as características no domínio do tempo são capazes de satisfazer esses requisitos pois não requerem transformação do sinal adicional e têm apresentado um alto nível de precisão. A extração de características foi feita através do cálculo do valor médio, valor médio absoluto, mediana, variância e desvio padrão (KHONG; HONS, 2016). Desta forma, a entrada da rede passou a ser um vetor com essas características.

Assim como o teste da voz, este teste nos apresentou resultados significativos, deixando claro que a escrita também pode vir a ser um bom parâmetro para ser utilizado no processo de diagnóstico precoce da DP. A Figura (11) apresenta alguns dos resultados obtidos na aplicação da rede neural nos dados da escrita. A Figura (12) mostra a matriz de confusão do melhor resultado.

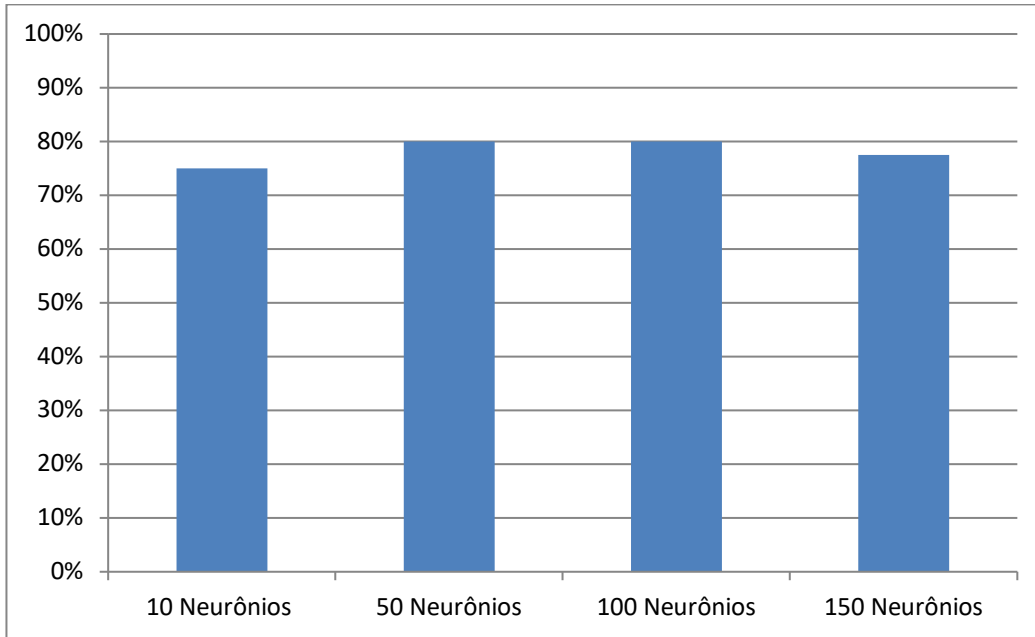


Figura11: Resultados da classificação para o banco de dados da característica da escrita

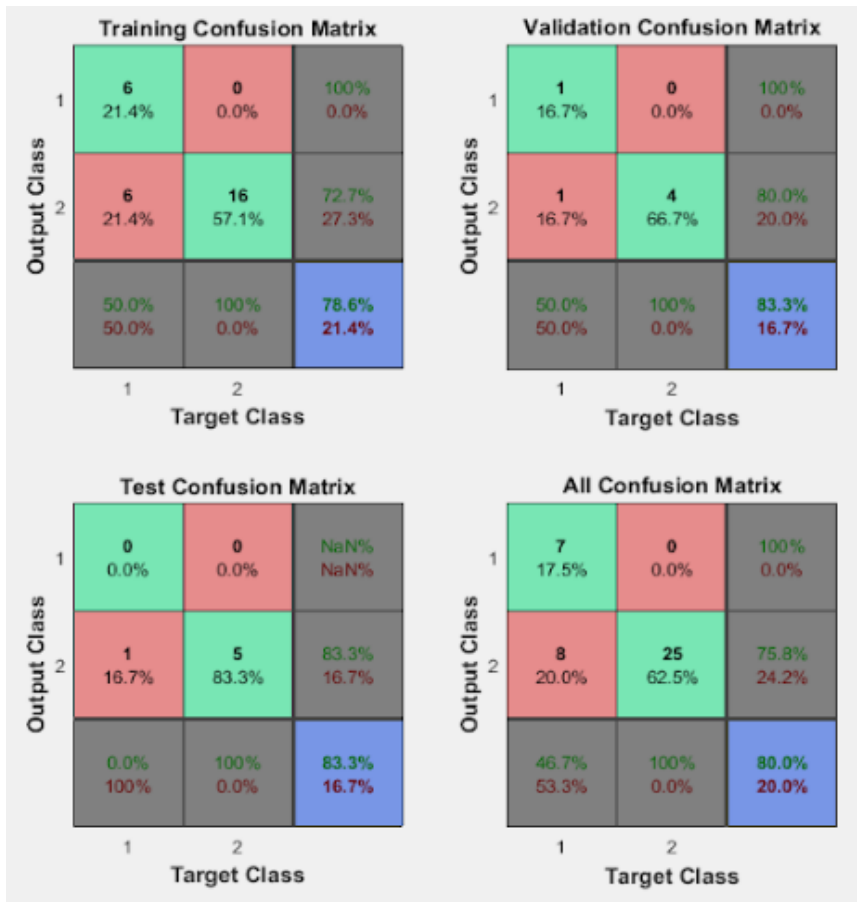


Figura 12: Matriz de confusão com dados da escrita utilizando 50 neurônios

## 4. Conclusão

Este trabalho tinha como objetivo aplicar técnicas de redes neurais artificiais para a análise de características biológicas ligadas ao mal de Parkinson que pudessem auxiliar no diagnóstico antecipado da doença.

Após a organização do banco de dados para a realização dos testes, foram aplicadas técnicas de redes neurais para análise do caminhar, da voz e da escrita. Através dos resultados, foi possível notar que com as características do caminhar obtivemos uma taxa de acerto menor em relação às outras características, mas isso não exclui tal característica do processo de diagnóstico precoce considerando que é uma informação importante sobre os parkinsonianos. Já as características voz e escrita, nos apresentou uma taxa de acerto mais elevada confirmando o que vem sendo dito em trabalhos da área.

A análise individual de cada característica biológica é um primeiro passo para o desenvolvimento de uma ferramenta computacional capaz de apoiar o diagnóstico precoce da DP ou, até mesmo, auxiliar na conclusão do diagnóstico na doença já em estado mais avançado. O diagnóstico da doença de Parkinson é feito por exclusão, sendo que os exames laboratoriais e de imagem apenas auxiliam na exclusão de outras doenças. Neste sentido, um dispositivo que avaliasse ao mesmo tempo o caminhar, a voz e a escrita poderia trazer mais segurança na investigação da doença.

### 4.1. Trabalhos futuros

Como trabalhos futuros, sugerimos:

- Realizar mais testes com as características do caminhar com o objetivo de melhorar seu desempenho, considerando que esta é uma importante característica da doença;
- Realizar a análise dos dados da escrita através de processamento de imagens;
- Desenvolver um algoritmo completo, unindo as características já analisadas individualmente, para gerar uma ferramenta computacional mais robusta capaz de auxiliar no diagnóstico precoce de DP.

## Referências

ALMEIDA, Camila Danielle Aragão. Estudo do equilíbrio em pacientes com Doença de Parkinson. 2012.

BARBOSA, Egberto Reis; SALLEM, Flávio Augusto S. Doença de Parkinson–diagnóstico. *Rev. Neurociências* v. 13, n. 3, p. 158-65, 2005.

Marcha – Apostila –**Fisioterapia**\_Parte1, Notas de estudo de Fisioterapia. Faculdade Medicina Estadual (ISEP). <<https://www.docsity.com/pt/marcha-apostilas-fisioterapia-parte1/301462/>>. Acesso em: 03 Maio 2018.

FERNANDES, Ângela et al. Cognitive predictors of balance in Parkinson's disease. *Somatosensory & motor research*, v. 33, n. 2, p. 67-71, 2016.33(2), 67-71.

FERREIRA, Jaime Adriano Barros Leite. **Desenvolvimento de rede neuronal artificial para o diagnóstico de doenças neurodegenerativas**. 2013. Tese de Doutorado.

HAYKIN, Simmon. **Neural Networks: A comprehensive foundation**. 2 ed. Prentice Hall, 2005.

ISENKUL, M.; SAKAR, B.; KURSUN, O. Improved spiral test using digitized graphics tablet for monitoring Parkinson's disease. In: **Proc. of the Int'l Conf. on e-Health and Telemedicine**. 2014. p. 171-5.

KIM, Samuel D. et al. Postural instability in patients with Parkinson's disease. **CNS drugs**, v. 27, n. 2, p. 97-112, 2013.

KHONG, L. M. D. **Feature selection for prosthetic control using myoelectric signals**. 2016. Tese de Doutorado. University of Tasmania.

LACY, Stuart E.; SMITH, Stephen L.; LONES, Michael A. Using echo state networks for classification: A case study in Parkinson's disease diagnosis. **Artificial intelligence in medicine**, v. 86, p. 53-59, 2018.

LIMONGI, J.C.P. Doença de Parkinson – 2018 <<https://drauziovarella.uol.com.br/doencas-e-sintomas/doenca-de-parkinson-2/>>. Acesso em 12 jan. 2018.

LIRANI-SILVA, C.; MOURÃO, L. F.; GOBBI, L. T. B. Disartria e Qualidade de Vida em idosos neurologicamente sadios e pacientes com doença de Parkinson. In: **CoDAS**. 2015.p.248254.

MANDAL, Indrajit; SAIRAM, N. Accurate telemonitoring of Parkinson's disease diagnosis using robust inference system. **International journal of medical informatics**, v. 82, n. 5, p. 359-377, 2013.

MATSUNAGA, Victoria Yukie. Curso de Redes Neurais utilizando o MATLAB. **Belém do Pará**, 2012.

Parkinson Disease Spiral Drawings Using Digitized Graphics Tablet Data Set.<<https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/Parkinson+Disease+Spiral+Drawings+Using+Digitized+Graphics+Tablet>>. Acesso em: 01 Fev. 2017

POSTUMA, Ronald B. et al. Identifying prodromal Parkinson's disease: Pre-Motor disorders in Parkinson's disease. **Movement Disorders**, v. 27, n. 5, p. 617-626, 2012.

PULLMAN, Seth L. Spiral analysis: a new technique for measuring tremor with a digitizing tablet. **Movement Disorders**, v. 13, n. S3, p. 85-89, 1998.

ROQUE, Reginaldo do Carmo; DE MELLO, Flávio Luís. Estudo sobre a empregabilidade da previsão do índice BOVESPA usando Redes Neurais Artificiais. 2009.

SAUNDERS-PULLMAN, Rachel et al. Validity of spiral analysis in early Parkinson's disease. **Movement disorders**, v. 23, n. 4, p. 531-537, 2008.

SAKAR, Betul Erdogdu et al. Collection and analysis of a Parkinson speech dataset with multiple types of sound recordings. **IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics**, v. 17, n. 4, p. 828-834, 2013.

SOUZA, Hugo Araújo et al. Classificação da marcha em parkinsonianos: análise dos algoritmos de aprendizagem supervisionada. 2017.

TSANAS, Athanasios et al. Accurate telemonitoring of Parkinson's disease progression by noninvasive speech tests. **IEEE transactions on Biomedical Engineering**, v. 57, n. 4, p. 884-893, 2010.

WANG, Hongzhi et al. Spiral analysis - Improved clinical utility with center detection. **Journal of Neuroscience Methods**, v. 171, n. 2, p. 264-270, 2008.