



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO,  
CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA  
ELÉTRICA -PPGEE**

**PABLO HENRIQUE URSULINO DE PINHO**

**AVALIAÇÃO DE DESORDENS VOCAIS POR MEIO DE  
CARACTERÍSTICAS DO ESPAÇO DE FASE  
RECONSTRUÍDO**

João Pessoa, PB  
Fevereiro - 2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação – CIP  
Biblioteca Nilo Peçanha – IFPB, *Campus* João Pessoa

P654a	<p>Pinho, Pablo Henrique Ursulino. Avaliação de desordens vocais por meio de características do espaço de fase reconstruído / Pablo Henrique Ursulino de Pinho. – 2017. 138 f. : il.</p> <p>Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba – IFPB / Coordenação de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, 2017. Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Silvana Luciene N. Cunha Costa.</p> <p>1. Redes neurais. 2. Desvios vocais. 3. Sinais de voz. I. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDU 621.391</p>
-------	--

**PABLO HENRIQUE URSULINO DE PINHO**

**AVALIAÇÃO DE DESORDENS VOCAIS POR MEIO DE  
CARACTERÍSTICAS DO ESPAÇO DE FASE  
RECONSTRUÍDO**

Dissertação de Mestrado submetida à Banca Examinadora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba como requisito necessário à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Elétrica.

Orientadora: Prof. Dra. Silvana Luciene do Nascimento Cunha Costa

Coorientadora: Prof. Dra. Suzete Élide Nobrega Correia

João Pessoa, PB  
Fevereiro - 2017

PABLO HENRIQUE URSULINO DE PINHO

**AVALIAÇÃO DE DESORDENS VOCAIS POR MEIO DE  
CARACTERÍSTICAS DO ESPAÇO DE FASE  
RECONSTRUÍDO**

Dissertação aprovada pela Banca Examinadora em: 20/02/2017.

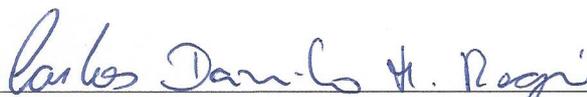
**BANCA EXAMINADORA**



Silvana Luciene do Nascimento Cunha Costa, Dra. – IFPB  
Orientadora



Suzete Elida Nobrega Correia, Dra. – IFPB  
Coorientadora



Carlos Danilo Miranda Regis, Dr. – IFPB  
Membro da Banca



Leonardo Wanderley Lopes, Dr. – UFPB  
Membro da Banca



Waslon Terlizzie Araújo Lopes, Dr. – UFPB  
Membro da Banca

João Pessoa – PB, Fevereiro de 2017

© Pablo Henrique Ursulino de Pinho – pablohenriqueifpb@gmail.com

*“Cada pessoa deve trabalhar para o seu aperfeiçoamento e, ao mesmo tempo, participar da responsabilidade coletiva por toda a humanidade.”*

*- Marie Curie*

## AGRADECIMENTOS

- ❖ A Deus, ser supremo do universo, que permitiu que tudo isso acontecesse, ao longo de minha vida, e não somente nestes anos como mestrando, mas que em todos os momentos é o maior mestre que alguém pode conhecer;
- ❖ Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba - IFPB, seu corpo docente, direção e administração que oportunizaram a janela que hoje vislumbro. Além do apoio financeiro ofertado pela PRPIG, onde fui bolsista durante o mestrado;
- ❖ À minha Orientadora, Professora Silvana Costa, por dedicar grande parte do seu tempo para compartilhar comigo seus preciosos conhecimentos, tanto na área acadêmica, como na vida pessoal;
- ❖ À minha Coorientadora Suzete Correia, por ter compartilhado também grande parte do seu tempo na transmissão de conhecimentos e valores essenciais no processo de formação profissional;
- ❖ Aos professores examinadores Leonardo Lopes, Waslon Terllizzie e Carlos Danilo que fizeram parte da minha banca de defesa de dissertação, pelas valiosas sugestões, que contribuíram para o enriquecimento deste trabalho de pesquisa;
- ❖ À minha família, em especial aos meus pais Leny Campelo e Edilson Ursulino (in *memorian*), aos meus avós Maria do Desterro e Luiz Campelo, aos meus irmãos Fernanda Brígida e Edilson Filho, aos meus tios Leonildo Campelo, Lécio Campelo e Leovan Campelo, ao meu sogro Francisco Bezerra (in *memorian*), a minha sogra Pastoura Gomes e a minha esposa Maria de Fátima pelo apoio incondicional;
- ❖ Aos meus amigos, em especial Pedro Lucas, Monalisa Serafim, Gabriel Gonçalves, Evandson Dantas, Nairon Vasconcelos, Moisés Hamsés, Giulliana Lacerda, Gilberto Sobreira, Andrécia Pereira, Laís Felix e Gilliane Oliveira, que foram meus companheiros de trabalho e irmãos na amizade que fizeram parte da minha formação e que vão continuar presentes em minha vida.

## RESUMO

Neste trabalho, são empregadas técnicas de processamento digital de sinais baseadas na análise dinâmica não linear para analisar alterações vocais causadas por patologias laríngeas e desvios vocais. São utilizadas informações das imagens do espaço de fase reconstruído dos sinais de voz, pois o comportamento do traçado do espaço de fase representa a dinâmica do sistema vocal. Pretende-se investigar a desordem vocal provocada pela presença de patologia e/ou desvios vocais, a partir das modificações no espaço de fase dos sinais analisados. São utilizados quatro métodos de extração de características para obter medidas das imagens do espaço de fase que mostram o comportamento da dinâmica vocal do sistema: o método da contagem de caixas, o método da diferença, o método da similaridade e o método da contagem de caixas ponderadas. Com o auxílio de um classificador MLP (*Multilayer Perceptron – Perceptron Multicamadas*) é realizada a classificação com as medidas extraídas individualmente e de forma combinada. Os métodos que obtiveram melhor desempenho foram o da contagem de caixas ponderadas e da similaridade tanto com medidas individuais como também combinadas que, no segundo caso, obteve-se acurácia de 99% na classificação de vozes patológicas. Os resultados obtidos com o método da similaridade foram satisfatórios na classificação, principalmente na distinção entre patologias (edema e paralisia nas pregas vocais) e vozes saudáveis, com acurácia de 99%. Na classificação dos desvios vocais, o melhor resultado foi encontrado para a distinção entre vozes soprosas e saudáveis com taxa de acurácia de 88% utilizando o método da similaridade, sendo que, em alguns casos, a classificação dos desvios vocais com os métodos empregados não foi tão efetiva. Os métodos empregados se mostram promissores e podem ser viáveis na implementação de um sistema de avaliação da qualidade vocal, na detecção de alterações vocais provocadas pela presença ou não de patologias laríngeas.

**Palavras-chave:** Reconstrução do Espaço de Fase, Redes Neurais, Patologias Laríngeas, Processamento de Sinais de voz, Desvios Vocais.

## ABSTRACT

In this work, are employed techniques of digital signal processing based on nonlinear dynamics analysis to analyze vocal changes caused by laryngeal pathologies and vocal deviations). Information from images of the reconstructed phase space of speech signals are used, because the behavior of the phase space represents the dynamics of the vocal system. It is intended to investigate the vocal disorder caused by the presence of pathology or vocal deviations from the changes in the phase space of the signals. Four methods of extracting features for measurements of phase space images that demonstrate the behavior of the dynamic vocals of the system are employed: are used: the box counting method, difference method, the similarity method and the weighted box counting method. With the aid of a MLP (Multilayer Perceptron) classifier the classification is performed with the measures taken individually and in combination. The methods with better performance were the weighted boxes counting and the similarity, both with individual as well as combined measures, that in the second case reached 99% of accuracy in classification of pathological voices. The results obtained with the similarity method were satisfactory in the classification, especially in the distinction between pathologies (edema and paralysis in the vocal folds) and healthy voices with accuracy of 99%. In the classification of the vocal deviations, the best result was found for the distinction between breathiness and healthy voices with accuracy rate of 88%, using the similarity method, and in some cases the classification of vocal deviations with methods employed was not as effective.

**Keywords:** Reconstruction of Phase Space, Neural Networks, Laryngeal Diseases, Speech Signal Processing, Vocal Deviations.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Trajetória no espaço de fase bidimensional de um sistema dinâmico arbitrário. ....	33
Figura 2 - Curva de Informação Mútua para obtenção do $\tau$ ótimo = 6 para um sinal de voz classificado como saudável. ....	34
Figura 3 – (a) Sinal de voz classificado como saudável (vogal sustentada /a/). (b) Espaço de fase reconstruído para o sinal de voz saudável da letra (a), com $\tau$ ótimo = 6 e dimensão de imersão $m = 2$ . ....	35
Figura 4 – Imagens obtidas a partir do MCC para os espaços de fases reconstruídos dos sinais de voz: (a) saudável; (b) edema (c) paralisia nas pregas vocais com as diversas grades. ....	37
Figura 5 - Imagens obtidas a partir do MCC para os espaços de fases reconstruídos, com as diversas grades, dos sinais de voz: (a) saudável; (b) rugosa; (c) tensa e (d) soprosa. ....	37
Figura 6 - Imagens obtidas a partir do MDIF com a grade 10 aplicado em um sinal de voz (a) saudável; (b) afetado por edema; e (c) afetado por paralisia nas pregas vocais. ....	39
Figura 7 - Imagens obtidas a partir do MDIF com a grade 10 aplicado em um sinal de voz (a) saudável; (b) rugosa; (c) tensa; e (d) soprosa. ....	39
Figura 8 - Imagens obtidas a partir do MSIM com a grade 10 aplicado em um sinal de voz (a) saudável; (b) afetado por edema; e (c) afetado por paralisia nas pregas vocais. ....	40
Figura 9 - Imagens obtidas a partir do MSIM com a grade 10 aplicado em um sinal de voz (a) saudável; (b) rugosa; (c) tensa; e (d) soprosa. ....	41
Figura 10 - Imagens obtidas a partir do MCCP com a grade 10 aplicado em um sinal de voz (a) saudável; (b) afetado por edema; e (c) afetado por paralisia nas pregas vocais. ....	42
Figura 11 - Imagens obtidas a partir do MCCP com a grade 10 aplicado em um sinal de voz (a) saudável; (b) rugosa; (c) tensa; e (d) soprosa. ....	43
Figura 12 - Diagrama em blocos da metodologia empregada. ....	47
Figura 13 – <i>Boxplots</i> para os valores do $\tau$ ótimo obtidos para sinais da base de dados <i>Kay Elemetrics</i> (a) e da base de dados LIEV/UFPB (b). 13 (a) Valores de $\tau$ ótimo para as classes edema (EDM), paralisia (PRL) e saudável (SDL) e 13 (b) Valores de $\tau$ ótimo para as classes de vozes rugosas (RUG), tensas (TEN), soprosas (SOP) e saudáveis (SDL). ....	48
Figura 14 - Espaços de fase reconstruídos para um sinal de voz: (a) saudável; (b) edema; (c) paralisia nas pregas vocais (I - $\tau$ ótimo; II- $\tau_o$ min; III - $\tau_o$ med e IV - $\tau_o$ max). ....	50
Figura 15 - Espaços de fase reconstruídos para um sinal de voz: (a) saudável; (b) rugosa; (c) tensa; (d) soprosa (I - $\tau$ ótimo; II- $\tau_o$ min; III - $\tau_o$ med e IV - $\tau_o$ max). ....	51
Figura 16 – Rede <i>feedforward</i> MLP utilizada. ....	52

Figura 17 - Gráfico em barras apresentando o comparativo do desempenho da classificação obtida com as medidas individuais e combinadas para a classificação dos sinais da base de dados <i>Kay Elemetrics</i> . .....	65
Figura 18 - Gráfico em barras apresentando o comparativo do desempenho da classificação obtida com as medidas individuais e combinadas para a classificação dos sinais da base de dados LIEV/UFPB.....	85
Figura C 1 - <i>Boxplots</i> para o método da contagem de caixas para sinais afetados por Edema (EDM), afetados por Paralisia (PAR) e sinais Saudáveis (SDL). (a) $d_{cc}(\tau_o \text{ ótimo})$ , (b) $d_{cc}(\tau_o \text{ min})$ , (c) $d_{cc}(\tau_o \text{ med})$ e (d) $d_{cc}(\tau_o \text{ max})$ .....	113
Figura C 2 - <i>Boxplots</i> para o método da contagem de caixas para sinais Patológicos (PAT) e sinais Saudáveis (SDL). (a) $d_{cc}(\tau_o \text{ ótimo})$ , (b) $d_{cc}(\tau_o \text{ min})$ , (c) $d_{cc}(\tau_o \text{ med})$ e (d) $d_{cc}(\tau_o \text{ max})$ . .....	114
Figura C 3 - <i>Boxplots</i> para o método da diferença para sinais afetados por Edema (EDM), afetados por Paralisia (PAR) e sinais Saudáveis (SDL). (a) $ d_{cc}(\tau_o \text{ med}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) $ , (b) $ d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ med}) $ , (c) $ d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) $ .....	115
Figura C 4 - <i>Boxplots</i> para o método da diferença para sinais Patológicos (PAT) e sinais Saudáveis (SDL). (a) $ d_{cc}(\tau_o \text{ med}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) $ , (b) $ d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ med}) $ , (c) $ d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) $ .....	116
Figura C 5 - <i>Boxplots</i> para o método da similaridade para sinais afetados por Edema (EDM), afetados por Paralisia (PAR) e sinais Saudáveis (SDL). (a) $d_{sim}(\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ min})$ , (b) $d_{sim}(\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ max})$ , (c) $d_{sim}(\tau_o \text{ max e } \tau_o \text{ min})$ .....	118
Figura C 6 - <i>Boxplots</i> para o método da similaridade para sinais Patológicos (PAT) e sinais Saudáveis (SDL). (a) $d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med})$ , (b) $d_{sim}(\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ max})$ , (c) $d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ max})$ .....	119
Figura C 7 - <i>Boxplots</i> para o método da contagem de caixas ponderadas para sinais afetados por Edema (EDM), afetados por Paralisia (PAR) e sinais Saudáveis (SDL). (a) $d_{ccp}(\tau_o \text{ ótimo})$ , (b) $d_{ccp}(\tau_o \text{ min})$ , (c) $d_{ccp}(\tau_o \text{ med})$ e (d) $d_{ccp}(\tau_o \text{ max})$ .....	121
Figura C 8 - <i>Boxplots</i> para o método da contagem de caixas ponderadas para sinais afetados por Edema (EDM), afetados por Paralisia (PAR) e sinais Saudáveis (SDL). (a) $ d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) $ , (b) $ d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) $ , (c) $ d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) $ .....	122
Figura C 9 - <i>Boxplots</i> para o método da contagem de caixas ponderadas para sinais Patológicos (PAT) e sinais Saudáveis (SDL). (a) $d_{ccp}(\tau_o \text{ ótimo})$ , (b) $d_{ccp}(\tau_o \text{ min})$ , (c) $d_{ccp}(\tau_o \text{ med})$ e (d) $d_{ccp}(\tau_o \text{ max})$ . .....	123

Figura C 10 - <i>Boxplots</i> para o método da contagem de caixas para sinais Patológicos (PAT) e sinais Saudáveis (SDL). (a) $ d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) $ , (b) $ d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) $ , (c) $ d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) $ .....	124
Figura D 1 - <i>Boxplots</i> para o método da contagem de caixas para sinais de vozes rugosas (RUG), vozes tensas (TEN), vozes soprosas (SOP) e saudáveis (SDL). (a) $d_{cc}(\tau \text{ ótimo})$ , (b) $d_{cc}(\tau_o \text{ min})$ , (c) $d_{cc}(\tau_o \text{ med})$ e (d) $d_{cc}(\tau_o \text{ max})$ . ....	126
Figura D 2 - <i>Boxplots</i> para o método da contagem de caixas para sinais de vozes desviadas (DES) e saudáveis (SDL). (a) $d_{cc}(\tau \text{ ótimo})$ , (b) $d_{cc}(\tau_o \text{ min})$ , (c) $d_{cc}(\tau_o \text{ med})$ e (d) $d_{cc}(\tau_o \text{ max})$ . ....	127
Figura D 3 - <i>Boxplots</i> para o método da diferença para sinais de vozes rugosas (RUG), vozes tensas (TEN), vozes soprosas (SOP) e saudáveis (SDL). (a) $ d_{cc}(\tau_o \text{ med}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) $ , (b) $ d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ med}) $ e (c) $ d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) $ . ....	128
Figura D 4 - <i>Boxplots</i> para o método da diferença para sinais de vozes desviadas (DES) e saudáveis (SDL). (a) $ d_{cc}(\tau_o \text{ med}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) $ , (b) $ d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ med}) $ e (c) $ d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) $ .....	129
Figura D 5 - <i>Boxplots</i> para o método da similaridade para sinais de vozes rugosas (RUG), vozes tensas (TEN), vozes soprosas (SOP) e saudáveis (SDL). (a) $d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med})$ , (b) $d_{sim}(\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ max})$ e (c) $d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ max})$ .....	131
Figura D 6 - <i>Boxplots</i> para o método da similaridade para sinais de vozes desviadas (DES) e saudáveis (SDL). (a) $d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med})$ , (b) $d_{sim}(\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ max})$ e (c) $d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ max})$ .....	132
Figura D 7 - <i>Boxplots</i> para o método da contagem de caixas ponderadas para sinais de vozes rugosas (RUG), vozes tensas (TEN), vozes soprosas (SOP) e saudáveis (SDL). (a) $d_{ccp}(\tau \text{ ótimo})$ (b) $d_{ccp}(\tau_o \text{ min})$ , (c) $d_{ccp}(\tau_o \text{ med})$ e (d) $d_{ccp}(\tau_o \text{ max})$ .....	134
Figura D 8 - <i>Boxplots</i> para o método da contagem de caixas ponderadas para sinais de vozes rugosas (RUG), vozes tensas (TEN), vozes soprosas (SOP) e saudáveis (SDL). (a) $ d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) $ , (b) $ d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) $ e (c) $ d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) $ .....	135
Figura D 9 - <i>Boxplots</i> para o método da contagem de caixas ponderadas para sinais de vozes desviadas (DES) e saudáveis (SDL). (a) $d_{ccp}(\tau \text{ ótimo})$ (b) $d_{ccp}(\tau_o \text{ min})$ , (c) $d_{ccp}(\tau_o \text{ med})$ e (d) $d_{ccp}(\tau_o \text{ max})$ .....	136
Figura D 10 - <i>Boxplots</i> para o método da contagem de caixas ponderadas para sinais de vozes desviadas (DES) e saudáveis (SDL). (a) $ d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) $ , (b) $ d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) $ e (c) $ d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) $ .....	137

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores médios e desvio da avaliação perceptivo auditiva com a Escala Analógica Visual (EAV) para cada classe da Base de dados LIEV/UFPB. ....	46
Tabela 2 - Valores para o tempo de atraso (em amostras) para a base de dados <i>Kay Elemetrics</i> . ....	49
Tabela 3 - Valores para o tempo de atraso (em amostras) para a base de dados LIEV/UFPB.	49
Tabela 4 - Melhores resultados para a classificação com as características individuais – MCC. ....	55
Tabela 5 - Matriz de confusão para o melhor caso de discriminação entre sinais afetados por paralisia e sinais afetados por edema – medidas individuais. – MCC.....	56
Tabela 6 - Resultado para a classificação com as características combinadas – MCC.....	56
Tabela 7 - Matriz de confusão para a discriminação entre sinais afetados por paralisia e sinais afetados por edema – medidas combinadas – MCC.....	57
Tabela 8 - Melhores resultados para a classificação com as características individuais – MDIF. ....	57
Tabela 9 - Matriz de confusão para o melhor caso de discriminação entre sinais afetados por paralisia e sinais afetados por edema – medidas individuais. – MDIF.....	58
Tabela 10 - Resultado para a classificação com as características combinadas – MDIF.....	58
Tabela 11 - Matriz de confusão para a discriminação entre sinais afetados por paralisia e sinais afetados por edema – medidas combinadas – MDIF.....	59
Tabela 12 - Melhores resultados para a classificação com as características individuais – MSIM. ....	59
Tabela 13 - Matriz de confusão para o melhor resultado na discriminação entre sinais afetados por paralisia e sinais afetados por edema – medidas individuais - MSIM. ....	59
Tabela 14 - Melhores resultados para a classificação com as características combinadas - MSIM. ....	60
Tabela 15 - Matriz de confusão para a discriminação entre sinais afetados por paralisia e sinais afetados por edema – medidas combinadas - MSIM.....	60
Tabela 16 - Melhores resultados para a classificação com as características individuais – MCCP.....	61
Tabela 17 - Matriz de confusão para o melhor resultado na discriminação entre sinais afetados por paralisia e sinais afetados por edema – medidas individuais – MCCP.....	61

Tabela 18 -Melhores resultados para a classificação com as características combinadas - MCCP.....	62
Tabela 19 -Matriz de confusão para o melhor caso de discriminação entre sinais afetados por paralisia e sinais afetados por edema – medidas combinadas - MCCP.....	62
Tabela 20 - Resultado geral para a classificação com os métodos empregados - características individuais. ....	63
Tabela 21 - Resultado geral para a classificação entre sinais afetados por edema e por paralisia com os métodos empregados - características individuais. ....	64
Tabela 22 - Resultado geral para a classificação com os métodos empregados - características combinadas. ....	64
Tabela 23 - Resultado geral para os melhores casos na classificação entre sinais afetados por edema e por paralisia com os métodos empregados - características combinadas.....	65
Tabela 24 - Melhores resultados para a classificação com as características individuais – MCC. ....	66
Tabela 25 - Matriz de confusão para a discriminação entre sinais de voz rugosos e sinais de voz soprosos – medidas individuais – MCC. ....	67
Tabela 26 - Matriz de confusão para a discriminação entre sinais de voz rugosos e sinais de voz tensos – medidas individuais – MCC. ....	67
Tabela 27 - Matriz de confusão para a discriminação entre sinais de voz tensos e sinais de voz soprosos – medidas individuais – MCC. ....	67
Tabela 28 -Melhores resultados para a classificação com as características combinadas – MCC. ....	68
Tabela 29 - Matriz de confusão para o melhor caso na discriminação entre sinais de voz rugosos e sinais de voz soprosos – medidas combinadas – MCC. ....	68
Tabela 30 - Matriz de confusão para o melhor caso na discriminação entre sinais de voz rugosos e sinais de voz tensos – medidas individuais – MCC. ....	69
Tabela 31 - Matriz de confusão para o melhor caso na discriminação entre sinais de voz tensos e sinais de voz soprosos – medidas individuais – MCC.....	69
Tabela 32 - Melhores resultados para a classificação com as características individuais – MDIF. ....	69
Tabela 33 - Matriz de confusão para a discriminação entre sinais de voz rugosos e sinais de voz soprosos – medidas individuais – MDIF. ....	70
Tabela 34 - Matriz de confusão para a discriminação entre sinais de voz rugosos e sinais de voz tensos – medidas individuais – MDIF. ....	70

Tabela 35 - Matriz de confusão para a discriminação entre sinais de voz tensos e sinais de voz soprosos – medidas individuais – MDIF. ....	71
Tabela 36 -Melhores resultados para a classificação com as características combinadas – MDIF. ....	71
Tabela 37 - Matriz de confusão para o melhor caso na discriminação entre sinais de voz rugosos e sinais de voz soprosos – medidas combinadas – MDIF. ....	72
Tabela 38 - Matriz de confusão para o melhor caso na discriminação entre sinais de voz rugosos e sinais de voz tensos – medidas individuais – MDIF. ....	72
Tabela 39 - Matriz de confusão para o melhor caso na discriminação entre sinais de voz tensos e sinais de voz soprosos – medidas individuais – MDIF. ....	72
Tabela 40 - Melhores resultados para a classificação com as características individuais - MSIM. ....	73
Tabela 41 - Matriz de confusão para o melhor caso na discriminação entre sinais de voz rugosos e sinais de voz soprosos – medidas individuais - MSIM. ....	73
Tabela 42 - Matriz de confusão para o melhor caso na discriminação entre sinais rugosos e sinais de tensos – medidas individuais - MSIM. ....	74
Tabela 43 - Matriz de confusão para o melhor caso na discriminação entre sinais de voz tensos e sinais de voz soprosos – medidas individuais - MSIM. ....	74
Tabela 44 - Melhores resultados para a classificação com as características combinadas - MSIM. ....	75
Tabela 45 - Matriz de confusão para a discriminação entre sinais de voz rugosos e sinais de voz soprosos – medidas combinadas - MSIM. ....	75
Tabela 46 - Matriz de confusão para o melhor caso na discriminação entre sinais de voz rugosos e sinais de voz tensos – medidas combinadas - MSIM. ....	76
Tabela 47 - Matriz de confusão para a discriminação entre sinais de voz tensos e sinais de voz soprosos – medidas combinadas - MSIM. ....	76
Tabela 48 - Melhores resultados para a classificação com as características individuais - M CCP. ....	77
Tabela 49 - Matriz de confusão para a discriminação entre sinais de voz rugosos e sinais de voz soprosos – medidas individuais - M CCP. ....	77
Tabela 50 - Matriz de confusão para a discriminação entre sinais de voz rugosos e sinais de voz tensos – medidas individuais - M CCP. ....	78
Tabela 51 - Matriz de confusão para a discriminação entre sinais de voz tensos e sinais de voz soprosos – medidas individuais - M CCP. ....	78

Tabela 52 - Melhores resultados para a classificação com as características combinadas - MCCP. ....	78
Tabela 53 - Matriz de confusão para a discriminação entre sinais de voz rugosos e sinais de voz soprosos – medidas combinadas - MCCP. ....	79
Tabela 54 - Matriz de confusão para a discriminação entre sinais de voz rugosos e sinais de voz tensos – medidas combinadas - MCCP. ....	79
Tabela 55 - Matriz de confusão para a discriminação entre sinais de voz tensos e sinais de voz soprosos – medidas combinadas - MCCP. ....	80
Tabela 56 - Resultado geral para a classificação com os métodos empregados - características individuais. ....	81
Tabela 57 - Resultado geral para a classificação entre sinais afetados por edema e por paralisia com os métodos empregados - características individuais. ....	82
Tabela 58 - Resultado geral para a classificação com os métodos empregados - características combinadas. ....	83
Tabela 59 - Resultado geral para a classificação entre sinais afetados por edema e por paralisia com os métodos empregados - características combinadas. ....	84
Tabela A 1 - Patológico Vs. Saudável (melhores resultados individuais).....	96
Tabela A 2 - Edema Vs. Saudável (melhores resultados individuais).....	96
Tabela A 3 - Classificação Paralisia Vs. Saudável (melhores resultados individuais).....	96
Tabela A 4 - Classificação Edema Vs. Paralisia (melhores resultados individuais). ....	96
Tabela A 5 - Classificação Patológico Vs. Saudável (melhores resultados combinados).....	96
Tabela A 6 - Classificação Edema Vs. Saudável (melhores resultados combinados).....	97
Tabela A 7 - Classificação Paralisia Vs. Saudável (melhores resultados combinados).....	97
Tabela A 8 - Classificação Edema Vs. Paralisia (melhores resultados combinados).....	97
Tabela A 9 - Patológico Vs. Saudável (melhores resultados individuais).....	97
Tabela A 10 - Edema Vs. Saudável (melhores resultados individuais).....	97
Tabela A 11 - Classificação Paralisia Vs. Saudável (melhores resultados individuais).....	97
Tabela A 12 - Classificação Edema Vs. Paralisia (melhores resultados individuais). ....	98
Tabela A 13 - Classificação Patológico Vs. Saudável (melhores resultados combinados).....	98
Tabela A 14 - Classificação Edema Vs. Saudável (melhores resultados combinados).....	98
Tabela A 15 - Classificação Paralisia Vs. Saudável (melhores resultados combinados). ....	98
Tabela A 16 - Classificação Edema Vs. Paralisia (melhores resultados combinados).....	98
Tabela A 17 - Patológico Vs. Saudável (melhores resultados individuais),.....	99
Tabela A 18 - Edema Vs. Saudável (melhores resultados individuais),.....	99

Tabela A 19 - Classificação Paralisia Vs. Saudável (melhores resultados individuais),.....	99
Tabela A 20 - Classificação Edema Vs. Paralisia (melhores resultados individuais), .....	99
Tabela A 21 - Classificação Patológico Vs. Saudável (melhores resultados combinados),.....	99
Tabela A 22 - Classificação Edema Vs. Saudável (melhores resultados combinados),.....	99
Tabela A 23 - Classificação Paralisia Vs. Saudável (melhores resultados combinados), .....	100
Tabela A 24 - Classificação Edema Vs. Paralisia (melhores resultados combinados),.....	100
Tabela A 25 - Patológico Vs. Saudável (melhores resultados individuais),.....	100
Tabela A 26 - Edema Vs. Saudável (melhores resultados individuais),.....	100
Tabela A 27 - Classificação Paralisia Vs. Saudável (melhores resultados individuais),.....	100
Tabela A 28 - Classificação Edema Vs. Paralisia (melhores resultados individuais), .....	100
Tabela A 29 - Classificação Patológico Vs. Saudável (melhores resultados combinados),...	101
Tabela A 30 - Classificação Edema Vs. Saudável (melhores resultados combinados),.....	101
Tabela A 31 - Classificação Paralisia Vs. Saudável (melhores resultados combinados), .....	101
Tabela A 32 - Classificação Edema Vs. Paralisia (melhores resultados combinados),.....	101
Tabela B 1 - Desviada Vs. Saudável (melhores resultados individuais), .....	102
Tabela B 2 - Rugosa Vs. Saudável (melhores resultados individuais),.....	102
Tabela B 3 - Tensa Vs. Saudável (melhores resultados individuais), .....	102
Tabela B 4 - Classificação Soprosa Vs. Saudável (melhores resultados individuais),.....	102
Tabela B 5 - Classificação Rugosa Vs. Tensa (melhores resultados individuais),.....	102
Tabela B 6 - Classificação Rugosa Vs, Soprosa (melhores resultados individuais), .....	102
Tabela B 7 - Classificação Rugosa Vs. Soprosa (melhores resultados individuais), .....	103
Tabela B 8 - Classificação Desviada Vs. Saudável (melhores resultados combinados), .....	103
Tabela B 9 - Classificação Rugosa Vs. Saudável (melhores resultados combinados),.....	103
Tabela B 10 - Classificação Tensa Vs. Saudável (melhores resultados combinados), .....	103
Tabela B 11 - Classificação Soprosa Vs. Saudável (melhores resultados combinados), .....	103
Tabela B 12 - Classificação Rugosa Vs. Tensa (melhores resultados combinados), .....	103
Tabela B 13 - Classificação Rugosa Vs. Soprosa (melhores resultados combinados),.....	104
Tabela B 14 - Classificação Tensa Vs. Soprosa (melhores resultados combinados), .....	104
Tabela B 15 - Desviada Vs. Saudável (melhores resultados individuais),.....	104
Tabela B 16 - Rugosa Vs. Saudável (melhores resultados individuais),.....	104
Tabela B 17 - Tensa Vs. Saudável (melhores resultados individuais), .....	104
Tabela B 18 - Classificação Soprosa Vs. Saudável (melhores resultados individuais),.....	104
Tabela B 19 - Classificação Rugosa Vs. Tensa (melhores resultados individuais),.....	105
Tabela B 20 - Classificação Rugosa Vs. Soprosa (melhores resultados individuais), .....	105

Tabela B 21 - Classificação Tensa Vs. Soprosa (melhores resultados individuais),.....	105
Tabela B 22 - Classificação Desviada Vs. Saudável (melhores resultados combinados), .....	105
Tabela B 23 - Classificação Rugosa Vs. Saudável (melhores resultados combinados),.....	105
Tabela B 24 - Classificação Tensa Vs. Saudável (melhores resultados combinados), .....	105
Tabela B 25 - Classificação Soprosa Vs. Saudável (melhores resultados combinados), .....	106
Tabela B 26 - Classificação Rugosa Vs. Tensa (melhores resultados combinados), .....	106
Tabela B 27 - Classificação Rugosa Vs. Soprosa (melhores resultados combinados),.....	106
Tabela B 28 - Classificação Tensa Vs. Soprosa (melhores resultados combinados), .....	106
Tabela B 29 - Desviada Vs. Saudável (melhores resultados individuais),.....	106
Tabela B 30 - Rugosa Vs. Saudável (melhores resultados individuais),.....	107
Tabela B 31 - Tensa Vs. Saudável (melhores resultados individuais), .....	107
Tabela B 32 - Classificação Soprosa Vs. Saudável (melhores resultados individuais),.....	107
Tabela B 33 - Classificação Rugosa Vs. Tensa (melhores resultados individuais),.....	107
Tabela B 34 - Classificação Rugosa Vs. Soprosa (melhores resultados individuais), .....	107
Tabela B 35 - Classificação Tensa Vs. Soprosa (melhores resultados individuais),.....	107
Tabela B 36 - Classificação Desviada Vs. Saudável (melhores resultados combinados), .....	108
Tabela B 37 - Classificação Rugosa Vs. Saudável (melhores resultados combinados),.....	108
Tabela B 38 - Classificação Tensa Vs. Saudável (melhores resultados combinados), .....	108
Tabela B 39 - Classificação Soprosa Vs. Saudável (melhores resultados combinados), .....	108
Tabela B 40 - Classificação Rugosa Vs. Tensa (melhores resultados combinados), .....	108
Tabela B 41 - Classificação Rugosa Vs. Soprosa (melhores resultados combinados),.....	109
Tabela B 42 - Classificação Tensa Vs. Soprosa (melhores resultados combinados), .....	109
Tabela B 43 - Desviada Vs. Saudável (melhores resultados individuais),.....	109
Tabela B 44 - Rugosa Vs. Saudável (melhores resultados individuais),.....	109
Tabela B 45 - Tensa Vs. Saudável (melhores resultados individuais), .....	109
Tabela B 46 - Classificação Soprosa Vs. Saudável (melhores resultados individuais),.....	109
Tabela B 47 - Classificação Rugosa Vs. Tensa (melhores resultados individuais),.....	110
Tabela B 48 - Classificação Rugosa Vs. Soprosa (melhores resultados individuais), .....	110
Tabela B 49 - Classificação Tensa Vs. Soprosa (melhores resultados individuais),.....	110
Tabela B 50 - Classificação Desviada Vs. Saudável (melhores resultados combinados), .....	110
Tabela B 51 - Classificação Rugosa Vs. Saudável (melhores resultados combinados),.....	110
Tabela B 52 - Classificação Tensa Vs. Saudável (melhores resultados combinados), .....	111
Tabela B 53 - Classificação Soprosa Vs. Saudável (melhores resultados combinados), .....	111
Tabela B 54 - Classificação Rugosa Vs. Tensa (melhores resultados combinados), .....	111

Tabela B 55 - Classificação Rugosa Vs. Soprosa (melhores resultados combinados),.....	111
Tabela B 56 - Classificação Tensa Vs. Soprosa (melhores resultados combinados), .....	112

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ACUR – Acurácia

AND – Operador lógico “e”

CA – Correta aceitação

CAPE-V – Conselho de Avaliação Perceptivo-Auditiva da Voz

CR – Correta rejeição

CRP – *Cross Recurrence Plots*

EAV – Escala Analógico-Visual

EDM – Edema

ESP – Especificidade

FA – Falsa aceitação

FMMI – *First Minimum of Mutual Information*

FR – Falsa rejeição

LIEV – Laboratório Integrado de Estudos da Voz

MCC – Método da Contagem de Caixas

MCCP – Método da Contagem de Caixas Ponderadas

MDIF - Método da Diferença

MEEI – *Massachusetts Eye and Ear Infirmary*

MLP – (*Perceptron* Multicamadas) *Multilayer Perceptron*

MSIM – Método da Similaridade

NPS – Nível de Pressão Sonora

PAT – Patologia

PAR – Paralisia

RUG – Rugoso

SCG – Gradiente Conjugado Escalonado

SLD – Saudável

SEN – Sensibilidade

SNR – (Relação Sinal-Ruído) *Signal-to-Noise Ratio*

SOP – Soproso

TEN – Tenso

UFPB – Universidade Federal da Paraíba

VRA – (Análise Visual de Recorrência) *Visual Recurrence Analysis*

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\xi_i$  – Vetores  $m$ -dimensionais reconstruídos (estados)

$\xi_1$  – Estado inicial

$\xi_n$  – Estado final

$\tau$  - Passo de reconstrução do espaço de fase

$\tau$  ótimo – Tempo de atraso ótimo

$\tau_o$  max – Tempo de atraso ótimo máximo

$\tau_o$  min – Tempo de atraso ótimo mínimo

$\tau_o$  med – Tempo de atraso ótimo médio

$[A_{ij}]$  – Posição do pixel na matriz

$d$  – Dimensão caótica do espaço de fase

$d_{cc} (\tau_o \text{ max})$  – Dimensão caótica para tempo de atraso ótimo máximo com o Método da Contagem de Caixas

$d_{cc} (\tau_o \text{ med})$  – Dimensão caótica para tempo de atraso ótimo médio com o Método da Contagem de Caixas

$d_{cc} (\tau_o \text{ min})$  – Dimensão caótica para tempo de atraso ótimo mínimo com o Método da Contagem de Caixas

$d_{cc} (\tau \text{ ótimo})$  – Dimensão caótica para tempo de atraso ótimo com o Método da Contagem de Caixas

$d_{ccp} (\tau_o \text{ max})$  – Dimensão caótica para tempo de atraso ótimo máximo com o Método da Contagem de Caixas Ponderada

$d_{ccp} (\tau_o \text{ med})$  – Dimensão caótica para tempo de atraso ótimo médio com o Método da Contagem de Caixas Ponderada

$d_{ccp} (\tau_o \text{ min})$  – Dimensão caótica para tempo de atraso ótimo mínimo com o Método da Contagem de Caixas Ponderada

$d_{ccp} (\tau \text{ ótimo})$  – Dimensão caótica para tempo de atraso ótimo com o Método da Contagem de Caixas Ponderada

$d_{sim} (\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ min})$  – Dimensão caótica para a intercessão entre tempo de atraso ótimo médio e mínimo com o Método da Similaridade

$d_{sim} (\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ max})$  – Dimensão caótica para a intercessão entre tempo de atraso ótimo médio e máximo com o Método da Similaridade

$d_{sim}(\tau_o \text{ max e } \tau_o \text{ min})$  – Dimensão caótica para a intercessão entre tempo de atraso ótimo máximo e mínimo com o Método da Similaridade

$|d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ med})|$  – Diferença absoluta entre tempo de atraso ótimo máximo e tempo de atraso ótimo médio com o Método da Contagem de Caixas

$|d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min})|$  – Diferença absoluta entre tempo de atraso ótimo máximo e tempo de atraso ótimo mínimo com o Método da Contagem de Caixas

$|d_{cc}(\tau_o \text{ med}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min})|$  – Diferença absoluta entre tempo de atraso ótimo médio e tempo de atraso ótimo mínimo com o Método da Contagem de Caixas

$|d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ med})|$  – Diferença absoluta entre tempo de atraso ótimo máximo e tempo de atraso ótimo médio com o Método da Contagem de Caixas Ponderadas

$|d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min})|$  – Diferença absoluta entre tempo de atraso ótimo máximo e tempo de atraso ótimo mínimo com o Método da Contagem de Caixas Ponderadas

$|d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min})|$  – Diferença absoluta entre tempo de atraso ótimo médio e tempo de atraso ótimo mínimo com o Método da Contagem de Caixas Ponderadas

$I(\tau)$  – Informação mútua média

$m$  – Dimensão de imersão

$P_i(x(\tau))$  – Probabilidade

$x(t_i)$  – Série temporal

$W_{ij}$  – Peso camada de entrada

$W_{jk}$  – Peso camada oculta

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>24</b>
1.1 Formulação do Problema .....	24
1.2. Justificativa .....	25
1.3 Objetivos .....	27
1.3.1 Geral .....	27
1.3.2 Específicos .....	27
<b>1.4 Organização do Trabalho.....</b>	<b>27</b>
<b>2. ESTADO DA ARTE .....</b>	<b>29</b>
<b>3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>32</b>
3.1 Espaço de Fase .....	32
3.2 Métodos de Extração de Características do Espaço de Fase .....	36
<b>4. MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>44</b>
4.1 Descrição das Bases de Dados .....	44
4.1.1 Base de dados - <i>Kay Elemetrics</i> .....	44
4.1.2 Base de dados – LIEV/UFPB .....	45
4.2 Metodologia .....	46
4.2.1 Método para reconstrução do espaço de fase .....	47
4.2.2 Extração de características do espaço de fase reconstruído .....	51
4.2.3 Classificador <i>Multilayer Perceptron</i> (MLP) .....	51
<b>5. RESULTADOS.....</b>	<b>55</b>
5.1 Resultados para a Base <i>Kay Elemetrics</i> .....	55
5.1.1 Método da Contagem de Caixas.....	55
5.1.2 Método da Diferença.....	57
5.1.3 Método da Similaridade.....	59
5.1.4 Método da Contagem de Caixas Ponderadas.....	61
5.1.5 Discussão dos resultados para a base de dados <i>Kay Elemetrics</i> .....	62
5.2 Resultados para a Base LIEV/UFPB.....	66
5.2.1 Método da Contagem de Caixas.....	66
5.2.2 Método da Diferença.....	69
5.2.3 Método da Similaridade.....	73
5.2.4 Método da Contagem de Caixas Ponderadas.....	76
5.2.5 Discussão dos resultados para a base de dados LIEV/UFPB.....	80
<b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>86</b>
6.1 Aspectos Relacionados ao Estudo de Caso 1 .....	86

6.2 Aspectos Relacionados ao Estudo de Caso 2 .....	87
6.3 Contribuições da Pesquisa.....	89
6.4 Sugestão para Trabalhos Futuros .....	89
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>91</b>
<b>APÊNDICES.....</b>	<b>96</b>
<b>A Tabelas de classificação com características individuais e combinadas com cada método para a Base de Dados Kay Elemetrics .....</b>	<b>96</b>
A 1. Tabelas de classificação para o Método da Contagem de Caixas (MCC) para cada grade empregada. ....	96
A 2. Tabelas de classificação para o Método da Diferença (MDIF) para cada grade empregada. ....	97
A 3. Tabelas de classificação para o Método da Similaridade (MSIM) para cada grade empregada. ....	99
A 4. Tabelas de classificação para o Método da Contagem de Caixas Ponderadas (MCCP) para cada grade empregada. ....	100
<b>B Tabelas de classificação com características individuais e combinadas com cada método para a Base de Dados LIEV/UFPB.....</b>	<b>102</b>
B 1. Tabelas de classificação para o Método da Contagem (MCC) para cada grade empregada. ....	102
B 2. Tabelas de classificação para o Método da Diferença (MDIF) para cada grade empregada. ....	104
B 3. Tabelas de classificação para o Método da Similaridade (MSIM) para cada grade empregada. ....	106
B 4. Tabelas de classificação para o Método da Contagem de Caixas Ponderadas (MCCP) para cada grade empregada. ....	109
<b>C Boxplots para os Métodos empregados na classificação com os sinais da Base de Dados Kay Elemetrics .....</b>	<b>112</b>
C 1. <i>Boxplots</i> para o Método da Contagem de Caixas (MCC) e Método da Diferença (MDIF) com a Base de Dados Kay Elemetrics.....	112
C 2. <i>Boxplots</i> para o Método da Similaridade (MSIM) com a Base de Dados Kay Elemetrics.....	117
C 3. <i>Boxplots</i> para o Método da Contagem de Caixas Ponderadas (MCCP) com a Base de Dados Kay Elemetrics .....	120
<b>D Boxplots para os Métodos empregados na classificação com os sinais da Base de Dados LIEV/UFPB .....</b>	<b>125</b>
D 1. <i>Boxplots</i> para o Método da Contagem de Caixas (MCC) e Método da Diferença (MDIF) com a Base de Dados LIEV/UFPB.....	126
D 2. <i>Boxplots</i> para o Método da Similaridade (MSIM) com a Base de Dados LIEV/UFPB .....	130
D 3. <i>Boxplots</i> para o Método da Contagem de Caixas Ponderadas (MCCP) com a Base de Dados LIEV/UFPB.....	133

## 1. INTRODUÇÃO

A voz é única para cada pessoa e é uma das principais formas de interação entre os indivíduos. Distúrbios na voz podem produzir um impacto na qualidade de vida de uma pessoa, limitando a comunicação tanto no trabalho como em outras atividades do cotidiano. Portanto, a manifestação de uma alteração vocal deve ser diagnosticada e tratada, pois um diagnóstico precoce pode favorecer um tratamento mais rápido e eficaz, evitando maiores complicações. Este tipo de diagnóstico é um processo extenso que requer a combinação de diversas técnicas de avaliação e análise, como a avaliação perceptivo-auditiva e a análise acústica, para contemplar a complexidade da dinâmica vocal (BEHLAU, 2008; DAJER, 2010).

Neste trabalho serão abordados métodos de extração de características da reconstrução do espaço de fase para caracterizar e classificar sinais de vozes saudáveis e sinais de vozes desviadas (caso 1); e sinais de vozes afetados por patologias de sinais de vozes saudáveis (caso 2).

### 1.1 Formulação do Problema

As alterações na laringe têm aumentado consideravelmente devido às práticas como o tabagismo, alcoolismo, abuso vocal, entre outras. Sendo assim, muito estudada no decorrer dos últimos anos. O diagnóstico precoce de patologias laríngeas e dos desvios vocais pode influenciar no tratamento e na cura da doença ou correção do desvio vocal (SPITZ, 2009; CIELO, *et al.*, 2010).

A falta de especialistas ou de equipamentos mais sofisticados em regiões menos desenvolvidas pode atrasar um diagnóstico de uma alteração vocal que poderia ser indício da presença de patologias na laringe. Os desvios vocais não tratados adequadamente podem prejudicar a comunicação entre os indivíduos, prejudicando a convivência social e até o desempenho profissional de pessoas que usam a voz como um dos principais instrumentos de trabalho a exemplo de cantores, professores, locutores de rádio, apresentadores de TV, jornalistas, operadores de telemarketing, entre outros.

Diversos métodos tem sido propostos, na literatura, para avaliar a presença e quantificar o grau de desvios vocais. No entanto, a definição do melhor método e das características ou parâmetros mais adequados para detectar a presença de desvios vocais, bem como o grau do desvio, ou ainda a presença de patologias laríngeas ainda é objeto de estudo por especialistas.

## 1.2. Justificativa

A avaliação da qualidade vocal pode ser realizada por meio da análise perceptivo-auditiva e da análise acústica, e tem por objetivo descrever o perfil vocal básico de um indivíduo e verificar a influência do comportamento vocal na origem de um desvio vocal. As duas técnicas podem ser combinadas para obter melhor desempenho na avaliação (BEHLAU, 2008).

Por meio da análise da qualidade vocal, pode-se conhecer ou inferir condições anátomo-fisiológicas das estruturas laríngeas. As alterações laríngeas das pregas vocais provocam alterações na estrutura da prega vocal que vão se manifestar na qualidade vocal com alterações que podem ser percebidas pelo ouvinte (ZWETSCH, 2006). A realização da triagem vocal é considerada a primeira etapa do tratamento, sendo essencial para a realização do pré-diagnóstico. Na triagem, é possível observar se o paciente possui algum distúrbio vocal para poder direcioná-lo ao tratamento adequado.

A avaliação perceptivo-auditiva faz parte da triagem vocal. Ela é realizada por meio da escuta da voz por um fonoaudiólogo. Apesar da sua subjetividade, o ouvido humano ainda é o principal instrumento de avaliação perceptiva da voz, pois possui uma sensibilidade única (GALDINO, 2012). O especialista realiza a comparação entre as vozes a serem analisadas com um sistema de referência. A confiabilidade das avaliações auditivas da qualidade vocal é questão central na pesquisa de voz, posto que a maioria dos estudos se baseiam nessa metodologia de análise. Seu caráter subjetivo, entretanto, pode levar a diferentes diagnósticos, dependendo da experiência do avaliador (BEHLAU, 2008).

A análise acústica possui caráter objetivo e se baseia na avaliação de características e parâmetros dos sinais de voz, utilizando técnicas de processamento digital de sinais. Este método permite observar desordens causadas nos sinais de voz, detectando a presença de desvios vocais e de patologias na laringe (COSTA, W. *et al.*, 2013).

Os parâmetros extraídos pela análise acústica são utilizados para caracterizar a voz do paciente, uma vez que cada indivíduo possui um sistema único de fonação obtendo, portanto, características individuais que podem ser comparadas com outras medidas. Esta análise tem por objetivo quantificar e caracterizar um sinal de voz, possibilitando a integração de dados fornecidos pela avaliação perceptivo-auditiva, permitindo que haja um detalhamento do processo de geração do sinal sonoro, fornecendo uma estimativa indireta dos padrões vibratórios das pregas vocais, bem como dos formatos do trato vocal e das modificações nestes formatos (BEHLAU, 2008).

As medidas obtidas na análise acústica correspondem a medidas físicas definidas. Os dados encontrados através da análise acústica são complementares à análise perceptivo-auditiva. Além da percepção do sinal sonoro, a análise acústica permite ao avaliador captar as alterações vocais precocemente, sendo também um ótimo recurso para promoção da saúde vocal (SANTOS, 2015).

A análise acústica possui diversas medidas que caracterizam o sinal de voz, entre elas estão as medidas baseadas no modelo linear de produção da voz como a frequência fundamental (frequência de vibração das pregas vocais), o *jitter* que representa variações na periodicidade da frequência fundamental, o *shimmer* que é uma medida de perturbação que reflete a variação nas amplitudes consecutivas de uma onda sonora em curto intervalo de tempo, entre outros (TEIXEIRA; FERREIRA; CARNEIRO, 2011). A maioria das medidas tradicionais dependem da frequência fundamental, sendo que em alguns casos, dependendo do grau da desordem provocada pela qualidade vocal alterada, ou pela presença de patologia, não são possíveis de se obter com exatidão. Dessa forma, medidas que independam da obtenção da frequência fundamental e que demonstrem o comportamento dos sinais de voz (já que eles são considerados sinais caóticos), como as medidas da dinâmica não-linear são propostas. Estudos mais recentes apontam que a análise da dinâmica não linear tem sido considerada por levar em conta aspectos da voz humana, não explorada na abordagem linear (DAJER, 2010; LEE *et al.*, 2010; COSTA, W. *et al.*, 2013; VIEIRA, 2014).

A dinâmica não linear é baseada em diversos fatores que indicam a presença de não linearidades no sistema de produção da voz, tais como: a variação temporal da forma do trato vocal, as ressonâncias associadas à sua fisiologia, as perdas devido ao atrito viscoso nas paredes internas do trato vocal, a radiação do som nos lábios, o acoplamento nasal e o comportamento dinâmico associado à vibração das pregas vocais. Os métodos de dinâmica não linear são capazes de analisar comportamentos irregulares e podem ser importantes em estudos de avaliação da efetividade do tratamento oferecido a pessoas com alteração vocal, na classificação das vozes em diferentes graus de alteração, na diferenciação entre laringes saudáveis e patológicas, entre outros estudos (KUMAR & MULLICK, 1996; LEE *et al.*, 2010; VIEIRA, 2014).

Um dos métodos da análise dinâmica não linear que vêm sendo muito estudado nos últimos anos é a reconstrução do espaço de fase. Através do espaço de fase é possível observar padrões visuais de dinâmica vocal, que representam consideravelmente componentes caóticos e determinísticos presentes na voz. Obtém-se, assim, uma ferramenta de informação

visual que pode ser usada para complementar os métodos utilizados na análise e diagnóstico de patologias e desvios presentes na voz (DAJER, 2010; GALDINO, 2012).

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Geral**

Obter medidas a partir do traçado da imagem dos espaços de fase reconstruídos dos sinais de voz para realizar a detecção de distúrbios vocais.

#### **1.3.2 Específicos**

- Estudar os aspectos teóricos referentes à reconstrução do espaço de fase de sinais de voz e suas medidas quantitativas;
- Implementar os algoritmos para a extração das medidas do traçado das imagens do espaço de fase reconstruído;
- Extrair medidas do espaço de fase reconstruído, através dos métodos propostos, dos sinais de voz com e sem distúrbios vocais, afetados ou não por patologias laríngeas para diferentes tamanhos de grade.
- Realizar a classificação dos sinais quanto à presença ou ausência do distúrbio vocal, utilizando as medidas extraídas a partir dos métodos propostos;
- Avaliar o desempenho do sistema de classificação implementado quanto aos métodos e as grades empregadas.

### **1.4 Organização do Trabalho**

Além deste capítulo introdutório, este trabalho está estruturado como descrito a seguir. No Capítulo 2 é apresentado o estado da arte com alguns trabalhos relevantes encontrados na literatura que contribuíram para o desenvolvimento desta pesquisa, em que são apresentados os principais resultados obtidos a partir da análise da dinâmica não linear no estudo de distúrbios vocais.

No Capítulo 3, é abordada a análise da dinâmica não-linear (técnica empregada neste trabalho para análise acústica dos sinais de vozes). São apresentados, brevemente, conceitos como sistemas dinâmicos e espaço de fase e quais os métodos de extração empregados. Em seguida, no Capítulo 4 é realizada a descrição da metodologia utilizada no trabalho, abordando as bases de dados utilizadas e a metodologia empregada na extração das características e como foi realizada a classificação. Nesta pesquisa, são realizados dois estudos de casos: 1) Análise acústica de sinais de vozes de laringes saudáveis e de laringes afetadas por patologias (paralisia e edemas); e 2) Análise da qualidade vocal em sinais de vozes saudáveis e desviados.

No Capítulo 5 são mostrados e analisados os melhores resultados obtidos no processo de classificação para os dois estudos de casos e no Capítulo 6 são apresentadas as considerações finais e sugestões para trabalhos futuros. No Apêndice A são expostos os resultados obtidos para cada método empregado com o primeiro estudo de caso e no Apêndice B são apresentados os resultados obtidos para cada método com o segundo estudo de caso. Nos Apêndices C e D são apresentados os *boxplots* obtidos com as características extraídas a partir dos métodos empregados para cada estudo de caso.

## 2. ESTADO DA ARTE

Diversas técnicas têm sido empregadas para quantificar e avaliar as desordens vocais provocadas por patologias laríngeas. Os processos periódicos, multi-periódicos ou quase-periódicos podem ser identificados a partir de métodos tradicionais de análise de sinais experimentais como a função de autocorrelação, o espectro de potência, a frequência fundamental e suas medidas de perturbação a exemplo do *jitter* e *shimmer*. No entanto, essas técnicas não permitem a análise de sinais que possuem dinâmica caótica (COSTA, S., 2008; COSTA, W., 2012; COSTA, W. *et al.*, 2012; GALDINO, 2012; VIEIRA, 2014). Pesquisas indicam que a análise não linear pode quantificar padrões que não foram bem avaliados com as medidas de perturbação, concluindo que este tipo de análise pode quantificar padrões aperiódicos apresentados em patologias severas (DAJER, 2010; LEE *et al.*, 2010).

Diversas medidas têm sido propostas para analisar um sinal caótico, baseadas na reconstrução do espaço de fase, combinado com métodos estatísticos, para determinar algumas medidas quantitativas que possam caracterizar o sinal, tais como dimensão de correlação, expoentes de *Lyapunov*, função de informação mútua e medidas de entropia, que investigam a estabilidade local de um sistema não linear (BEHROOZMAND *et al.*, 2006; BEHLAU, 2008; DAJER, 2010; VIEIRA, 2014).

Na Tese de Doutorado de Dajer (2010), foram avaliadas vozes saudáveis e com alterações patológicas através da análise de padrões visuais da dinâmica vocal juntamente com a análise perceptivo-auditiva e análise acústica. Foram extraídos valores da frequência fundamental, *jitter* e *shimmer* para a análise acústica. Para a análise perceptivo-auditiva foram avaliados os graus de rugosidade, sopro, tensão e instabilidade. E para descrever a dinâmica vocal dos sinais de voz foi aplicada a técnica de reconstrução do espaço de fase, analisando qualitativamente os parâmetros de loops, regularidade e convergência de traçados. Foram aplicados testes estatísticos paramétricos e não paramétricos. Os resultados mostraram que a análise da dinâmica vocal é essencial para descrever os componentes caóticos e determinísticos do problema, mas ela é uma técnica que deve ser agregada a outros parâmetros, como o *jitter*, o *shimmer* e a frequência fundamental para melhor caracterizar os sinais de voz.

Lee *et al.* (2010) investigaram as características acústicas em sinais de vozes saudáveis e vozes com patologias laríngeas. Foram extraídas medidas acústicas de perturbação como *jitter* e *shimmer*, SNR (Relação Sinal-Ruído) e dimensão de correlação dos sinais. Embora as distribuições das medidas de perturbação, como *jitter*, *shimmer* e SNR (relação sinal-ruído)

tenham obtido resultados significativos na diferenciação entre vozes patológicas e saudáveis, a confiabilidade dessas medidas foi insuficiente em quantificar o sinal de voz patológico. Observou-se, ainda, que o *jitter* não realizou discriminação entre vozes saudáveis e patológicas, mas obteve uma diferença significativa para *shimmer*, SNR, e dimensão de correlação. Os resultados sugerem que a dinâmica não linear tem valor potencial para a caracterização da voz de pacientes com patologias e a combinação das análises acústica tradicional e da dinâmica não linear pode fornecer mais dados que contribuam para o diagnóstico clínico de vozes alteradas.

Costa (2012), em sua Tese de Doutorado, empregou a análise de quantificação de recorrência em trechos considerados não estacionários de sinais de voz (400 *ms*) de pacientes com laringes saudáveis e pacientes com laringes patológicas (nódulos, edema e paralisia nas pregas vocais), e extraiu oito medidas de quantificação de recorrência. Com a taxa de recorrência fixada no patamar de 1%, as medidas foram utilizadas na classificação dos sinais de voz. Foram realizados testes estatísticos com os resultados obtidos. Estes resultados demonstraram taxas de confiabilidade que variaram entre 94% e 100% na classificação das patologias com as medidas utilizadas. Esta análise é relevante para determinar se a técnica empregada, quando se trata do uso em sinais de voz, é mais eficiente em séries longas ou em séries curtas e estacionárias.

No trabalho de Vieira (2013), foi empregada a análise de quantificação de recorrência para a avaliação de distúrbios vocais. Os sinais utilizados foram segmentados em intervalos de 32 *ms* e foram extraídas quinze características dos gráficos de recorrência desses sinais. As características extraídas foram inseridas em um classificador *Perceptron* Multicamadas (MLP), em que as patologias consideradas foram paralisia, edema e nódulo nas pregas vocais. A classificação foi realizada com cada medida de recorrência individualmente e de forma combinada. Foi obtida como resultado da classificação uma acurácia de 99,11% entre sinais de vozes saudáveis e sinais de vozes afetados por nódulos vocais.

Outras pesquisas utilizam a análise dinâmica não linear, voltadas para a análise de sinais biomédicos, a exemplo de ecocardiogramas, por serem sinais que apresentam um comportamento não linear, possuindo pequenos fenômenos de dessincronização, que é difícil de ser identificado por simples observações, sendo considerado um sinal caótico. Uma vez que um sinal caótico é representado por um sinal que com uma mínima alteração em suas condições iniciais pode provocar enormes mudanças nos resultados finais (ROOPAIEI *et al.*, 2010; COSTA W., 2012; KOULAOUZIDIS *et al.*, 2014).

No trabalho de Amann *et al.* (2007) foram obtidas imagens dos espaços de fase reconstruídos de sinais de eletrocardiograma saudáveis e de taquicardia ventricular e foi proposto um método que particiona o espaço de fase em pequenas caixas, classificando os sinais pela contagem do número de caixas visitadas para cada trajetória do sinal (AMANN *et al.*, 2007).

Roopaei *et al.* (2010) estenderam o trabalho de Amann (2007), propondo o uso de três novas medidas para avaliar a autossimilaridade de sinais de arritmias cardíacas, as quais basearam-se na diferença de duas imagens de espaços de fase reconstruídos de um mesmo sinal. Os resultados experimentais obtidos, utilizando uma grade de dimensão 40x40 *pixels*, foram considerados superiores, quando comparados às medidas dimensão de correlação, maior expoente de *Lyapunov* e entropia aproximada (ROOPAEI *et al.*, 2010).

Observa-se que a reconstrução do espaço de fase, baseada no método das coordenadas defasadas, tem provado ser uma poderosa ferramenta na análise de sinais biológicos, como os sinais de voz e sinais de eletrocardiogramas. Uma das suas principais características é a preservação dos invariantes geométricos do sistema, mostrando padrões visuais de dinâmica vocal que representam os componentes caóticos presentes na voz, que podem ser usados para complementar os métodos utilizados na análise e diagnóstico de patologias na voz (DAJER, 2010; GALDINO, 2012).

Pretende-se, nesta pesquisa, avaliar o potencial discriminativo dos métodos utilizados por Roopaei *et al.* (2007) e Amann *et al.* (2010) na classificação de sinais de vozes patológicas, comparados aos sinais saudáveis e na classificação de sinais de vozes com presença de desvio vocal comparados a sinais de vozes saudáveis. Estes métodos, até o presente momento, não foram aplicados a sinais de voz, sendo interessante observar o seu potencial discriminatório na classificação de sinais de voz.

### 3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1 Espaço de Fase

Os modelos não lineares estão ajudando a explicar o comportamento de alguns sistemas, que os modelos tradicionais lineares não explicam. Por isso, têm possibilitado melhor entendimento da natureza dos sistemas dinâmicos e complexos que ocorrem no corpo humano (GALDINO, 2012). Estudos de atividades caóticas em sistemas fisiológicos sugerem que mudanças nas medidas da dinâmica não linear podem indicar estados de disfunção fisiológica (LEE *et al.*, 2010; GALDINO, 2012).

O foco da dinâmica não linear são os sistemas dinâmicos, que podem ser definidos como modelos matemáticos caracterizados por estados ou grandezas que mudam com o tempo. A quantidade de variáveis de estado corresponde à dimensão do sistema, ou seja, ao número de graus de liberdade que o sistema possui. A partir destas variáveis, pode-se investigar o comportamento da dinâmica dos sistemas por meio do espaço de fase.

O espaço de fase é um espaço abstrato que representa a evolução do sistema dinâmico, cujas dimensões são as variáveis de estado. Cada estado do sistema representa um ponto nesse espaço, ou seja, é uma solução do modelo matemático. A sequência de estados constitui a trajetória do espaço de fase, que também pode ser chamada de atrator (MONTEIRO, 2006; SAVI, 2006; SOUZA, 2008; GALDINO, 2012; KOULAOUZIDIS *et al.*, 2014).

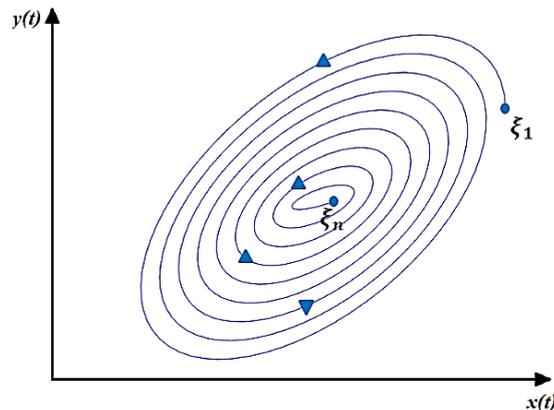
Para analisar as propriedades de um atrator associado a uma série temporal com comportamento caótico determinístico primeiramente é necessário reconstruir tal atrator em um espaço de fases de dimensão adequada (FIEDLER-FERRARA & PRADO, 1994). Este espaço reconstruído apresenta uma suave variação de coordenada em relação ao espaço original, preservando os invariantes geométricos do sistema (VIEIRA, 2014).

Entre os métodos sugeridos para a reconstrução do espaço de fase, o método das coordenadas defasadas (TAKENS, 1981) é o mais citado na literatura como o mais adequado (COSTA, W., 2012). A técnica da reconstrução do espaço de fase é baseada no Teorema da Imersão de Takens (TAKENS, 1981). Este teorema demonstra que utilizando o método das coordenadas defasadas é possível reconstruir certas propriedades do espaço de fase a partir de uma série temporal em que vetores  $m$ -dimensionais são reconstruídos (AMANN *et al.*, 2007; GALDINO, 2012):

$$\xi_i = \{x(t_i), x(t_i + \tau), \dots, x(t_i + (m - 1)\tau)\} \quad (1)$$

em que  $x(t)$  representa a série temporal,  $m$  representa a dimensão de imersão, o  $\tau$  representa o passo de reconstrução ótimo e  $i = 1, 2, \dots, n$ , representando a quantidade de estados do sistema. O comportamento do traçado obtido na reconstrução do espaço de fase, usando o tempo de atraso ótimo ( $\tau$  ótimo), representa a dinâmica vocal. Quanto mais regular o espaço de fase reconstruído, mais periodicidade o sinal possui (GALDINO, 2012). Na Figura 1 é apresentado um espaço de fase bidimensional de um sistema dinâmico arbitrário. Os estados  $n$  do sistema estão distribuídos ao longo da trajetória no espaço bidimensional, das grandezas  $y(t)$  e  $x(t)$ , em que  $t$  representa o tempo. A evolução temporal dessas grandezas é retratada, com estado inicial  $\xi_1$  e estado final  $\xi_n$ .

**Figura 1 - Trajetória no espaço de fase bidimensional de um sistema dinâmico arbitrário.**

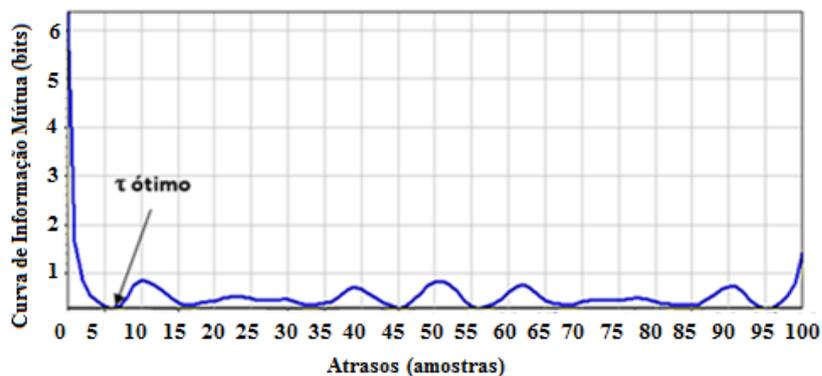


Fonte: MARWAN, 2013.

De acordo com a teoria a dimensão de imersão,  $m$ , deve respeitar a condição  $m \leq 2d + 1$  (onde  $d$  corresponde a dimensão do atrator (HAUSDORFF, 1919 Apud COSTA, W., 2012; SAUER & YORKE, 1994 apud VIEIRA, 2014). Mas nem sempre é possível encontrar a dimensão fractal do sistema, tornando difícil a aplicação da relação entre  $m$  e  $d$ , recorrendo, assim, a duas hipóteses. A primeira corresponde a investigação do comportamento do sistema com o aumento gradativo da dimensão de imersão. E a segunda hipótese é encontrar a dimensão  $m$  pelo método dos falsos vizinhos próximos (VIEIRA, 2014). Este método foi sugerido por Kennel *et al.* (1992), no qual é alterado gradativamente o valor de  $m$  e constatado quais os pontos que se distanciam, sendo que os vizinhos verdadeiros sempre permanecem vizinhos. Ou seja, a dimensão de imersão ideal é considerada como sendo o menor valor para o qual se tenha o menor percentual de falsa vizinhança (SOUZA, 2008 apud VIEIRA, 2014). Neste trabalho, é utilizado o método dos falsos vizinhos mais próximos, considerando  $m = 2$ .

O cálculo do passo de reconstrução ótimo ( $\tau$ ) é baseado na Teoria da Informação, onde utiliza o método da informação mútua média proposto por Fraser e Swinney (1986). Através de método realiza-se a estimação da informação mútua média do sinal (COVER & THOMAS, 2006; SAVI, 2006). Este passo de reconstrução é determinado pelo ponto em que ocorre o primeiro valor mínimo na curva de informação mútua (FMMI), que representa a autocorrelação da série, medindo a dependência do sinal consigo mesmo (FRASER & SWINNEY, 1986). Esta curva oferece a melhor estimativa do tempo de atraso ou passo de reconstrução ótimo para o sinal em análise. Este tempo realça a dinâmica aleatória e não determinística do sinal, representado por  $\tau$  ótimo. Na Figura 2, é apresentado um exemplo de uma curva de informação mútua utilizada para a extração do tempo de atraso ótimo para um sinal de voz classificado como saudável.

**Figura 2 - Curva de Informação Mútua para obtenção do  $\tau$  ótimo = 6 para um sinal de voz classificado como saudável.**



Fonte: Autoria própria.

Segundo esse método, pode-se garantir a reconstrução de vetores que sejam linearmente independentes, com o menor tempo de atraso mas, correlacionados entre si. A Teoria da Informação procura identificar o quanto de informação se pode ter de uma medida realizada em um determinado instante de tempo  $t$ , quando se observa outra medida, do mesmo sinal, em um tempo posterior  $t + \tau$  (VIEIRA, 2014). A informação mútua média  $I(\tau)$  entre o sinal  $x(t)$  e sua versão defasada  $x(t + \tau)$  é dada por (2):

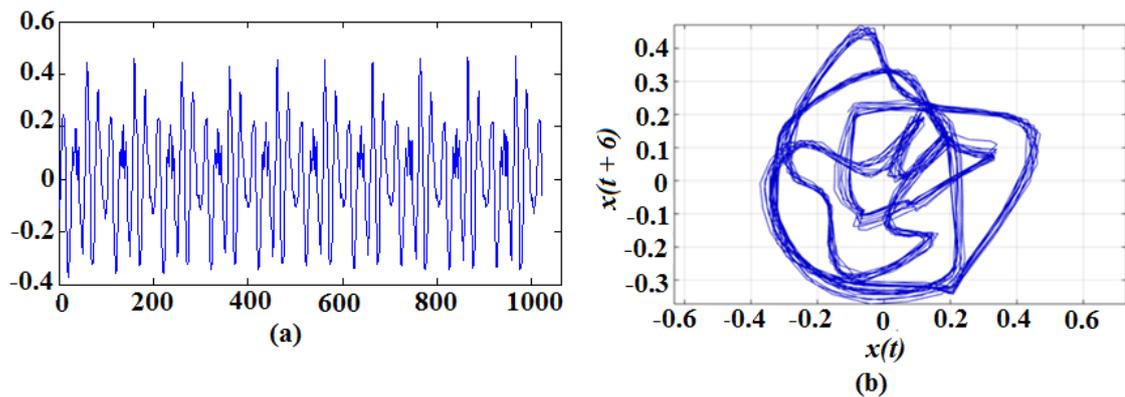
$$I(\tau) = \sum_{i=1}^b \sum_{j=1}^b P_{i,j}(x(t), x(t + \tau)) \log_2 \left[ \frac{P_{i,j}(x(t), x(t + \tau))}{P_i(x(t))P_j(x(t + \tau))} \right], \quad (2)$$

em que  $P_i(x(t))$  representa a probabilidade de que o sinal  $x(t)$  assumira um valor dentro do  $i$ -ésimo intervalo do histograma de  $b$  intervalos de classes (*bins*),  $P_j(x(t + \tau))$  representa a probabilidade de que  $x(t + \tau)$  esteja no  $j$ -ésimo intervalo e  $P_{i,j}(x(t), x(t + \tau))$  representa a

probabilidade de que, simultaneamente,  $x(t)$  esteja no  $i$ -ésimo intervalo e  $x(t + \tau)$  no  $j$ -ésimo intervalo (KANTZ & SCHREIBER, 2004).

A ideia básica da reconstrução do espaço de fase está fundamentada no fato de que a história temporal de um sinal contém informações sobre as variáveis de estado não observáveis que podem ser usadas para prever um estado presente. Toda a dinâmica do sistema está contida em uma série temporal associada a uma variável de estado (SAVI, 2006). Na Figura 3, é apresentado o espaço de fase reconstruído para um sinal de voz saudável, em que o  $\tau$  ótimo foi extraído da curva de informação mútua da Figura 2. Através do traçado do espaço de fase pode ser observado o comportamento aperiódico ou caótico do sinal (BEHROOZMAND *et al.*, 2006).

**Figura 3 – (a) Sinal de voz classificado como saudável (vogal sustentada /a/). (b) Espaço de fase reconstruído para o sinal de voz saudável da letra (a), com  $\tau$  ótimo = 6 e dimensão de imersão  $m = 2$ .**



Fonte: Autoria própria.

Neste trabalho, são empregadas medidas da imagem do espaço de fase reconstruído propostas por (AMANN *et al.*, 2007) e (ROOPAIEI *et al.*, 2010), com o intuito de discriminar entre sinais de voz saudáveis, sinais de voz afetados por patologias na laringe (edema de Reinke e paralisia nas pregas vocais) e sinais com desvio vocal (rugosidade, soprosidade e tensão). Diversos valores de atraso serão considerados para a reconstrução dos espaços de fase dos sinais de voz. Os métodos utilizados para extração de características são descritos a seguir.

## 3.2 Métodos de Extração de Características do Espaço de Fase

### 3.2.1 Método da Contagem de Caixas

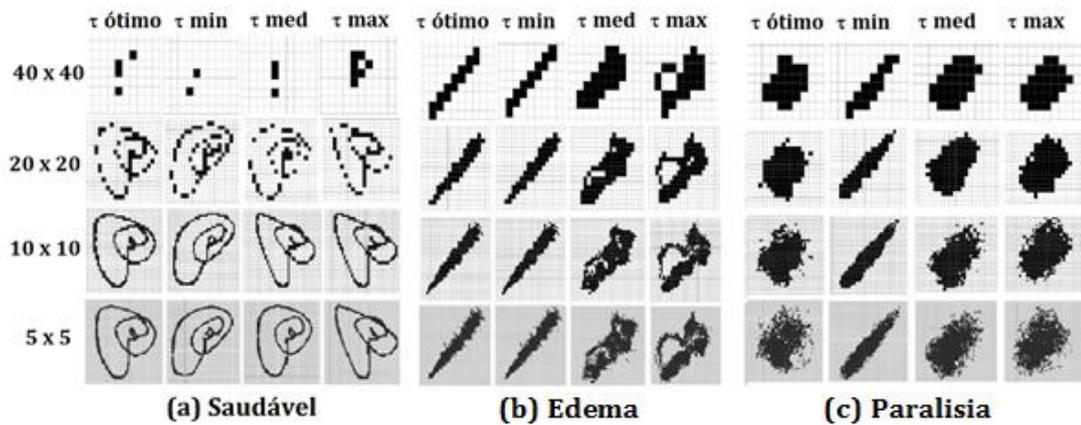
O Método da Contagem de Caixas (MCC) divide a imagem do espaço de fase em blocos, que correspondem a um grupo de *pixels*. Essa divisão é realizada utilizando grades de diversos tamanhos (40 x 40, 20 x 20, 10 x 10 e 5 x 5), com o intuito de observar o desempenho de cada grade na classificação (quanto maior a dimensão da grade menor o custo computacional). A grade é composta por diversas caixas com a dimensão desejada, sendo que serão utilizadas quatro grades, nomeadas da seguinte forma: grade 40 (contendo os blocos com dimensão 40 x 40), grade 20 (contendo os blocos com dimensão 20 x 20), grade 10 (contendo os blocos com dimensão 10 x 10) e grade 5 (contendo os blocos com dimensão 5 x 5).

O método empregado observa se parte da trajetória do espaço de fase está dentro ou não das caixas. Caso parte da trajetória do espaço de fase esteja contida na caixa, este é contabilizado como uma caixa ocupada, sendo que ao final do processo é contabilizada a quantidade de caixas visitadas, relacionada ao número total de caixas, de acordo com a Equação (3) (AMANN *et al.*, 2007; ROOPAEI *et al.*, 2010).

$$d(\tau) = \frac{n^{\circ} \text{ de caixas visitadas}}{n^{\circ} \text{ total de caixas}}, \quad (3)$$

em que  $d$  estima o grau de complexidade ou a dimensão caótica da trajetória do espaço de fase contido na imagem e  $\tau$  o atraso ótimo empregado para a reconstrução do espaço de fase. Espera-se que quanto mais caixas visitadas, mais desviado ou patológico será o sinal. Na Figura 4 estão ilustradas as imagens dos espaços de fase para sinais de voz saudável (a), afetado por edema (b) e afetado por paralisia nas pregas vocais (c), para as diversas grades empregadas.

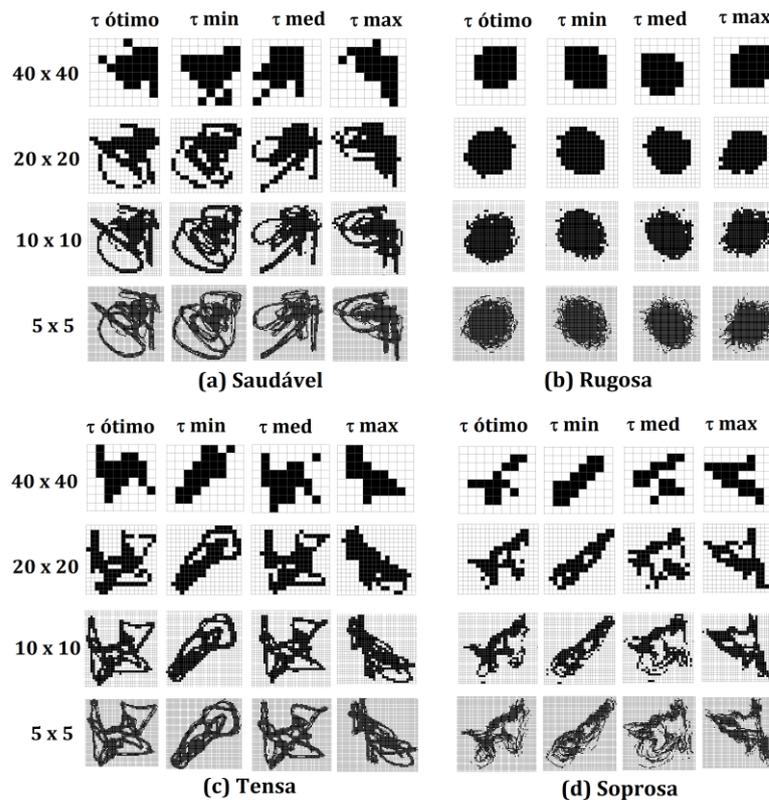
Figura 4 – Imagens obtidas apartir do MCC para os espaços de fases reconstruídos dos sinais de voz: (a) saudável; (b) edema (c) paralisia nas pregas vocais com as diversas grades.



Fonte: Autoria própria.

Na Figura 5 estão ilustradas as imagens dos espaços de fase para sinais de voz saudável (a), rugosa (b), tensa (c) e soprosa (d), para as diversas grades empregadas.

Figura 5 - Imagens obtidas apartir do MCC para os espaços de fases reconstruídos, com as diversas grades, dos sinais de voz: (a) saudável; (b) rugosa; (c) tensa e (d) soprosa.



Fonte: Autoria própria.

A partir do Método da Contagem Caixas podem ser estimadas quatro medidas através da Equação (3). Estas medidas são nomeadas da seguinte forma:  $d_{cc}(\tau \text{ ótimo})$  para o grau de complexidade ( $d$ ) estimado com  $\tau$  ótimo;  $d_{cc}(\tau_o \text{ min})$  para o grau de complexidade estimado com  $\tau_o \text{ min}$ ;  $d_{cc}(\tau_o \text{ med})$  para o grau de complexidade estimado com  $\tau_o \text{ med}$  e  $d_{cc}(\tau_o \text{ max})$  para o grau de complexidade estimado com  $\tau_o \text{ max}$ . Em que a sigla  $cc$  corresponde ao Método da Contagem de Caixas, para facilitar a nomenclatura.

Baseado no Método da Contagem Caixas foram criados três métodos por Roopaei *et al.* (2010) (Método da Diferença, Método da Similaridade e Método da Contagem de Caixas Ponderadas) que utilizam a Equação (3) para estimar o grau de complexidade do sistema. Estes métodos são descritos a seguir.

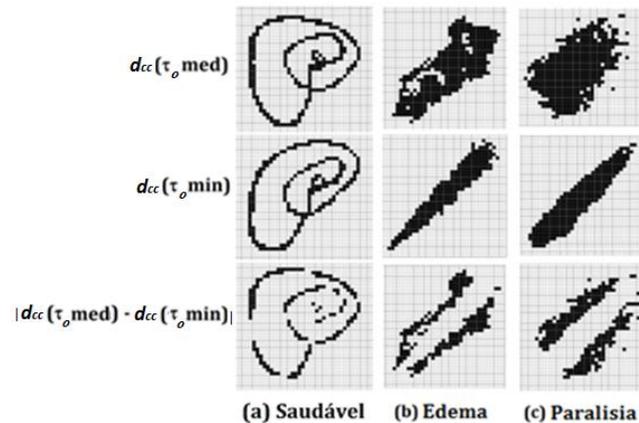
### 3.2.1.1 Método da Diferença

O método da diferença procura a autossimilaridade de um sinal utilizando duas imagens do espaço de fase reconstruído com valores de atraso diferentes. É calculada a diferença entre duas trajetórias do mesmo sinal, utilizando as imagens da reconstrução do espaço de fase em tempos diferentes. Quanto mais caótico for o sinal, maior será o valor de  $d$  e menor será sua autossimilaridade (ROOPAEI *et al.*, 2010).

A partir do valor da dimensão caótica da trajetória do espaço de fase estimado pelo método da contagem de caixas na Equação (3), é calculada a diferença absoluta entre os valores obtidos a partir das imagens dos espaços de fase, considerando os diferentes atrasos, no qual os valores dependem de cada classe. Através deste método podem ser estimadas mais três medidas que são nomeadas da seguinte forma:  $|d_{cc}(\tau_o \text{ med}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min})|$  para a diferença absoluta entre a contagem de caixas com  $\tau_o \text{ med}$  e  $\tau_o \text{ min}$ ;  $|d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ med})|$  para a diferença absoluta entre a contagem de caixas com  $\tau_o \text{ max}$  e  $\tau_o \text{ med}$  e  $|d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min})|$  para a diferença absoluta entre a contagem de caixas com  $\tau_o \text{ max}$  e  $\tau_o \text{ min}$ . Outra maneira de calcular o Método da Diferença é realizar a diferença entre as imagens e posteriormente a partir da Equação (3) estimar o grau de complexidade  $d$  da imagem encontrada, como pode ser observado nas Figuras 10 e 11.

Na Figura 6 encontra-se o método da diferença aplicado para a grade 10 em um sinal de voz (a) saudável, (b) afetado por edema e (c) afetado por paralisia nas pregas vocais, em que foram utilizados os espaços de fase reconstruídos com os valores de  $\tau_o \text{ min}$  e  $\tau_o \text{ med}$ .

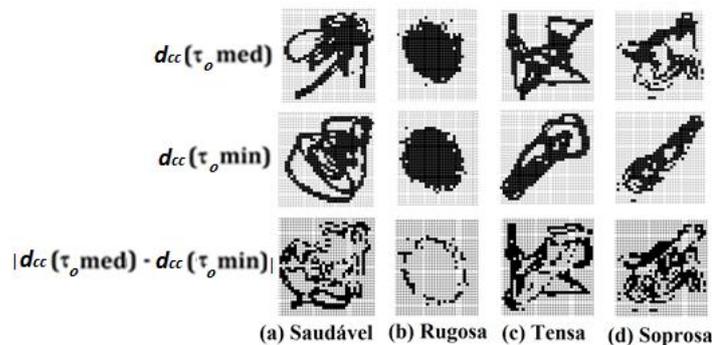
**Figura 6 - Imagens obtidas apartir do MDIF com a grade 10 aplicado em um sinal de voz (a) saudável; (b) afetado por edema; e (c) afetado por paralisia nas pregas vocais.**



Fonte: Autoria própria.

Na Figura 7 encontra-se o método da diferença aplicado para a grade 10 em um sinal de voz (a) saudável, (b) rugoso, (c) tenso e (d) soproso, em que foram utilizados os espaços de fase reconstruídos com os valores de  $\tau_o \text{ min}$  e  $\tau_o \text{ med}$ .

**Figura 7 - Imagens obtidas apartir do MDIF com a grade 10 aplicado em um sinal de voz (a) saudável; (b) rugosa; (c) tensa; e (d) soprosa.**



Fonte: Autoria própria.

### 3.2.1.2 Método da Similaridade

Este método procura estimar o valor da autossimilaridade das imagens dos espaços de fase, medindo o número de *pixels* visitados e medindo a similaridade do comportamento das trajetórias do espaço de fase reconstruído (ROOPAEI *et al.*, 2010).

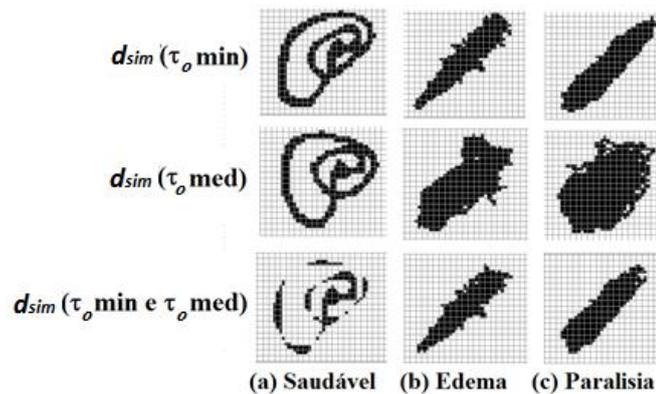
O método utiliza duas imagens do espaço de fase reconstruído com base em dois tempos de atrasos diferentes (por exemplo  $\tau_o \text{ min}$  e  $\tau_o \text{ med}$ ). Estas imagens são divididas por uma grade da dimensão desejada, no caso as dimensões utilizadas serão as mesmas que foram utilizadas para os métodos anteriores.

Os valores dos *pixels* são projetados em uma matriz  $[A_{ij}]$  com o mesmo tamanho da imagem, em que  $i$  se refere a linha e  $j$  se refere a coluna em que se encontram. Posteriormente,

são atribuídos valores para cada *pixel*, onde o *pixel* visitado pelo espaço de fase tem o valor de *um* e o *pixel* não visitado tem o valor de zero. Utilizando as duas matrizes encontradas, são multiplicados os *pixels* homólogos (mesma posição) dos espaços de fase reconstruídos das duas imagens criando, assim, uma nova matriz. A multiplicação desses *pixels* homólogos pode ser interpretada como a aplicação do operador lógico AND (ROOPAEI *et al.*, 2010). A partir da aplicação do operador lógico AND é criada uma nova imagem que representa a intercessão entre as imagens com os diferentes tempos de atraso utilizados. Posteriormente, é calculado o índice de similaridade ( $d_{sim}$ ) utilizando a Equação (3) para a nova imagem encontrada.

Através do Método da Similaridade podem ser estimadas três medidas que são nomeadas da seguinte forma:  $d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med})$  que estima o índice de complexidade da trajetória com  $\tau_o \text{ min}$  e  $\tau_o \text{ med}$ ;  $d_{sim}(\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ max})$  que estima o índice de complexidade da trajetória com  $\tau_o \text{ med}$  e  $\tau_o \text{ max}$  e  $d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ max})$  que estima o índice de complexidade da trajetória com  $\tau_o \text{ min}$  e  $\tau_o \text{ max}$ . Na Figura 8 encontra-se ilustrado o método da similaridade, aplicado para a grade 10 em um sinal de voz (a) saudável, (b) afetado por edema e (c) afetado por paralisia nas pregas vocais, em que utilizou os espaços de fase reconstruídos com os valores de  $\tau_o \text{ min}$  e  $\tau_o \text{ med}$ .

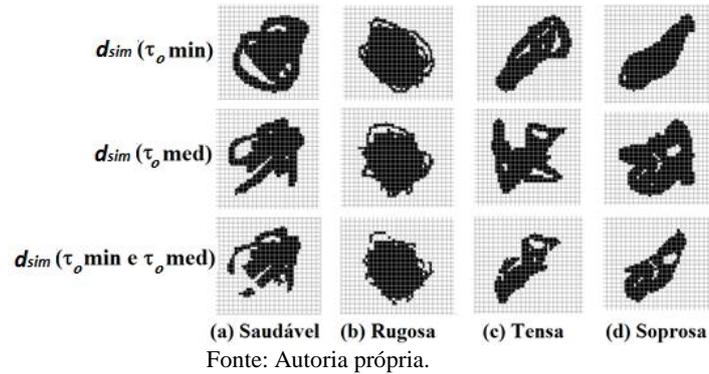
**Figura 8 - Imagens obtidas a partir do MSIM com a grade 10 aplicado em um sinal de voz (a) saudável; (b) afetado por edema; e (c) afetado por paralisia nas pregas vocais.**



Fonte: Autoria própria.

Na Figura 9 está ilustrado o método da similaridade aplicado para a grade 10 em um sinal de voz (a) saudável, (b) rugoso, (c) tenso e (d) soproso, em que utilizou os espaços de fase reconstruídos com os valores de  $\tau_o \text{ min}$  e  $\tau_o \text{ med}$ .

**Figura 9 - Imagens obtidas apartir do MSIM com a grade 10 aplicado em um sinal de voz (a) saudável; (b) rugosa; (c) tensa; e (d) soprosa.**



Quanto maior o valor da dimensão caótica da trajetória do espaço de fase ( $d_{sim}$ ) para o sinal, maior sua similaridade, ou seja, se as matrizes de dois espaços de fase reconstruídos com tempos de atraso diferentes forem bem semelhantes o valor do índice  $d_{sim}$  será muito próximo de um.

### 3.2.1.3 Método da Contagem de Caixas Ponderada

É um método semelhante ao de Amann *et al.* (2007), em que a diferença está na maneira como os pixels visitados são contados. No método, a imagem do espaço de fase é dividida em caixas, que correspondem a um grupo de *pixels*. Essa divisão é realizada utilizando grades de diversos tamanhos como no método da contagem de caixas.

Roopaei *et al.* (2010) observam se parte da trajetória do espaço de fase está dentro ou não das caixas. Se estiver dentro da caixa, atribui-se um peso para cada caixa visitada de acordo com a importância dada aos *pixels* contidos na caixa, como é observado no procedimento a seguir:

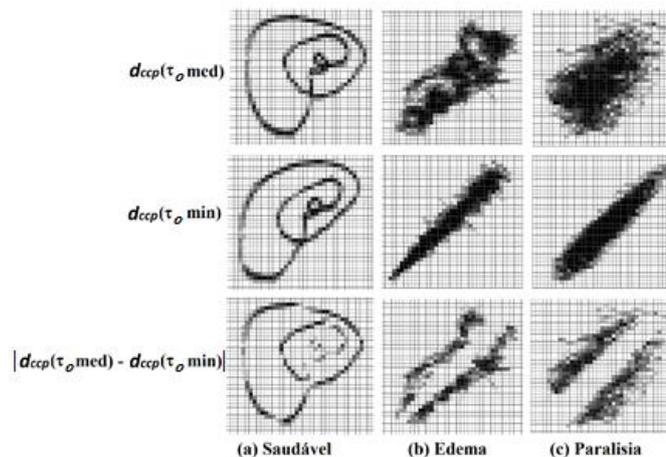
$$Peso\ do\ pixel\ visitado = \begin{cases} 2, & \text{Se o } pixel \text{ analisado é visitado e se possui pelo menos um } pixel \text{ vizinho visitado} \\ 1, & \text{Se o } pixel \text{ analisado é visitado} \\ 0, & \text{Se o } pixel \text{ analisado não é visitado} \end{cases} \quad (4)$$

M. Roopaei *et al.* (ROOPAEI *et al.*, 2010), afirmam que esse método amplia o valor dos *pixels* contados para um sinal caótico ou atenua o valor de *pixels* contados para um sinal rítmico de acordo com a Equação (4). Após a atribuição dos pesos da Equação (4) é realizado o cálculo do valor de  $d$  para cada imagem como na Equação (3). E é determinada a diferença absoluta como descrito anteriormente, utilizando os valores de  $d$  para tempos de atraso diferentes.

A partir do Método da Contagem Caixas Ponderadas podem ser estimadas sete medidas. Estas medidas são nomeadas da seguinte forma:  $d_{ccp}(\tau)$  em que  $\tau$  pode ser  $\tau$  ótimo,  $\tau_o$  min,  $\tau_o$  med ou  $\tau_o$  max, para os graus de complexidade estimados com estes valores de  $\tau$ , respectivamente;  $|d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min})|$  para a diferença absoluta entre a contagem de caixas ponderadas com  $\tau_o$  med e  $\tau_o$  min;  $|d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ med})|$  para a diferença absoluta entre a contagem de caixas ponderadas com  $\tau_o$  max e  $\tau_o$  med e  $|d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min})|$  para a diferença absoluta entre a contagem de caixas ponderadas com  $\tau_o$  max e  $\tau_o$  min. Onde a sigla *ccp* corresponde ao Método da Contagem de Caixas Ponderadas, para facilitar a nomenclatura.

Na Figura 10 pode ser observado o método da contagem de caixas ponderadas aplicado para a grade 10 em um sinal de voz (a) saudável, (b) afetado por edema e (c) afetado por paralisia nas pregas vocais, em que utilizou os espaços de fase reconstruídos com os valores de  $\tau_o$  min e  $\tau_o$  med para aplicação do método.

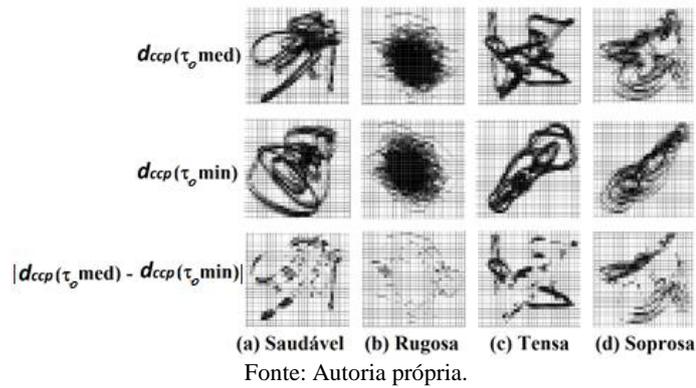
**Figura 10 - Imagens obtidas a partir do MCCP com a grade 10 aplicado em um sinal de voz (a) saudável; (b) afetado por edema; e (c) afetado por paralisia nas pregas vocais.**



Fonte: Autoria própria.

Na Figura 11 é representado o método da contagem de caixas ponderadas aplicado para a grade 10 em um sinal de voz (a) saudável, (b) rugosa, (c) tensa e (d) soprosa, em que utilizou os espaços de fase reconstruídos com os valores de  $\tau_o$  min e  $\tau_o$  med para aplicação do método.

**Figura 11 -** Imagens obtidas apartir do MCCP com a grade 10 aplicado em um sinal de voz (a) saudável; (b) rugosa; (c) tensa; e (d) soprosa.



Os métodos propostos por Amann *et al.* (2007) e Roopaei *et al.* (2010) foram aplicados a duas base de dados para realizar a classificação dos sinais quanto a presença ou ausência de patologias (Edema de Reinke e Paralisia nas pregas vocais) e a presença ou ausência de desvios vocais.

No capítulo a seguir é exposta a metodologia empregada enunciando as base de dados utilizada, e como foram extraídas as características, além do classificador utilizado na classificação dos sinais.

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta pesquisa são realizados dois estudos de caso, apresentando classificações distintas. O primeiro envolve a discriminação entre sinais de voz saudáveis e sinais afetados por patologias na laringe. O segundo estudo de caso trata da avaliação da qualidade vocal para a detecção de desvios vocais. As bases de dados e a extração de características dos sinais, bem como o método de classificação empregado estão descritos a seguir.

### 4.1 Descrição das Bases de Dados

Duas bases de dados são empregadas nesta pesquisa, em que a primeira (KAY ELEMETRICS, 1994) foi utilizada na classificação entre vozes afetadas por patologias na laringe e vozes saudáveis e a segunda na classificação de vozes com desvios vocais e vozes saudáveis (LOPES *et al.*, 2016), ambas descritas a seguir.

#### 4.1.1 Base de dados - *Kay Elemetrics*

A base de dados *Disordered Voice Database*, Modelo 4337, gravada pelo *Massachusetts Eye and Ear Infirmary* (MEEI) (KAY ELEMETRICS, 1994) contém pronúncias sustentadas da vogal /a/, sendo 53 arquivos de locutores com voz saudável e 657 com vozes patológicas (vozes afetadas por patologias laríngeas). Foram utilizados 149 sinais disponibilizados pela base de dados, dos quais 53 sinais são de vozes saudáveis e 96 sinais são de vozes patológicas, onde 44 sinais são de vozes afetadas por edema e 52 sinais são afetados por paralisia nas pregas vocais.

Os sinais foram amostrados na frequência de 25 kHz para sinais patológicos e 50 kHz para sinais saudáveis, em que os últimos foram sub-amostrados para 25 kHz com o intuito de preservar o tamanho do segmento em amostras para obtenção do espaço de fase. Os sinais utilizados possuem duração média de um segundo para os sinais de vozes patológicas e de três segundos para os sinais de vozes saudáveis. Estes sinais são previamente processados, não contendo intervalos de silêncio antes ou depois da locução.

#### 4.1.2 Base de dados – LIEV/UFPB

Esta base de dados foi desenvolvida pelo Laboratório Integrado de Estudos da Voz (LIEV) da Universidade Federal da Paraíba, Campus I, Paraíba. A base faz parte de um projeto intitulado "Integração das medidas acústicas, perceptivas, fisiológicas e de auto avaliação em pacientes com e sem alteração laríngea", avaliado e aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa do Centro de Ciências da Saúde/UFPB, com o parecer número 52492/12 (LOPES *et. al*, 2016). Foram incluídos no estudo, pacientes com idade entre 18 e 65 anos, que apresentassem queixa vocal e que já tivessem realizado avaliação laringológica, com laudo otorrinolaringológico por escrito. Foram excluídos indivíduos com alterações cognitivas ou neurológicas que impossibilitassem o preenchimento do questionário utilizado. Todos os participantes assinaram o termo de consentimento livre e esclarecido.

Participaram desta pesquisa 330 sujeitos, sendo 78 do sexo masculino e 252 do sexo feminino, com uma média de idade de 40,06 anos (desvio padrão de 13,98). Esta população foi atendida no setor de triagem do Laboratório de Voz da UFPB, no período de agosto de 2012 a fevereiro de 2014.

Foram extraídos dos pacientes sinais de voz para vogal sustentada /É/ (‘é’). A coleta dos dados foi realizada em um ambiente tratado acusticamente (cabine de gravação), com ruído ambiental inferior a 50 dB NPS (Nível de Pressão Sonora), aferido por meio de medidor de nível de pressão sonora digital. Foi utilizado um microfone cardioide unidirecional, da marca Senheiser, modelo E835, fixado em um pedestal e acoplado a um microcomputador da marca Dell, por meio de uma interface de áudio Behringer, modelo U-Phoria UMC 204, utilizando *software FonoView*, da CTS Informática. A taxa de amostragem foi de 44.100 Hz, preservando-se, assim, a maior parte das informações do sinal vocal. Para a gravação, o microfone situou-se a uma distância média de 10 cm da comissura labial. Posteriormente ao momento da coleta, as vozes foram editadas no *software SoundForge* versão 10.0, sendo eliminados os dois segundos iniciais e finais da emissão da vogal, devido a maior irregularidade nesses trechos, preservando-se o tempo mínimo de três segundos para cada emissão. A normalização foi realizada no controle “normalize” do *SoundForge*, no modo *peaklevel*, a fim de obter uma padronização na saída de áudio entre -6 e 6dB.

Esses sinais, inicialmente, foram classificados com análise perceptivo-auditiva com a Escala Analógico Visual (EAV). Esta escala é usada para mensurar a gravidade de uma doença ou alteração. Os graus são divididos em quatro níveis que são: grau normal (G1) que varia entre 0 e 35,5 mm; o grau leve a moderado (G2) que varia entre 35,6 a 50,5 mm; o grau

moderado (G3) que varia entre 50,6 e 90,5 *mm*; e o grau intenso (G4) que varia entre 90,5 e 100 *mm* (MARTINS, COUTO, GAMA, 2015).

De acordo com a escala EAV os sinais foram pré-classificados quanto ao grau geral de intensidade do desvio vocal (grau 1 para voz saudável, grau 2 para voz com desvio leve e grau 3 para voz com desvio moderado). Não há, nessa base de dados, casos disponíveis de sinais classificados como grau geral 4 (desvio intenso). Desta base de dados foram selecionados 120 sinais para realizar esta pesquisa, dos quais 30 sinais são de vozes saudáveis, e 90 sinais são de vozes desviadas, onde 30 sinais são de vozes rugosas, 30 sinais de vozes soprosas e 30 sinais de vozes tensas. A classificação dos sinais escolhidos de acordo com a escala EAV encontra-se na Tabela 1.

**Tabela 1 - Valores médios e desvio da avaliação perceptivo auditiva com a Escala Analógica Visual (EAV) para cada classe da Base de dados LIEV/UFPB.**

<b>Classes</b>	<b>Média e Desvio padrão – EAV</b>
<b>Saudável</b>	27,00 ± 5,96
<b>Rugosa</b>	56,43 ± 15,52
<b>Soprosa</b>	57,80 ± 14,54
<b>Tensa</b>	51,70 ± 12,18

Nas vozes rugosas há irregularidade na vibração das pregas vocais. Nas vozes soprosas ocorre o escape de ar audível na voz. E nas vozes tensas possuem a impressão de estado hiperfuncional apresentando frequência aguda e a instabilidade corresponde à flutuação na frequência fundamental e/ou na qualidade vocal (BEHLAU, 2008).

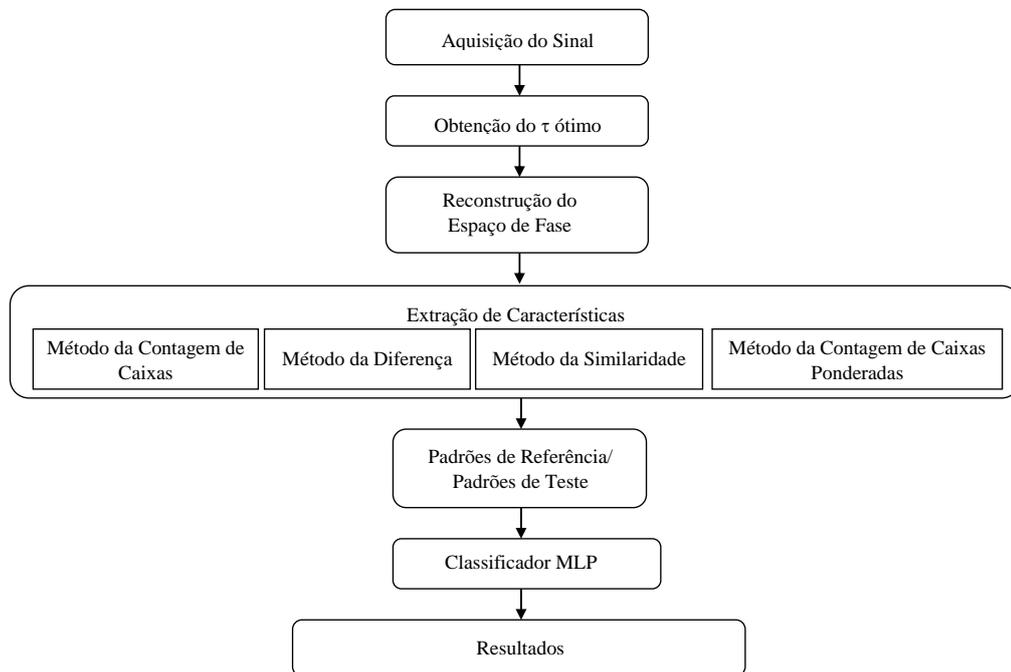
## 4.2 Metodologia

Na Figura 12 é apresentado o diagrama em blocos da metodologia utilizada neste trabalho. Inicialmente, é realizada a aquisição do sinal. Nesta pesquisa, os sinais foram selecionados diretamente das bases de dados descritas na Seção 5.1.

Posteriormente, é realizada a extração do tempo de atraso ótimo ( $\tau$  ótimo) para cada sinal de voz a partir da curva de informação mútua. O valor do  $\tau$  ótimo obtido será empregado para realizar a reconstrução do espaço de fase. Os espaços de fase reconstruídos são armazenados em imagens quadradas de 512 x 512 *pixels*. As características são extraídas através de quatro métodos expostos anteriormente que são: contagem de caixas (AMANN *et al.*, 2007), método da diferença (ROOPAIEI *et al.*, 2010), método da similaridade (ROOPAIEI *et al.*, 2010) e método da contagem de caixas ponderadas (ROOPAIEI *et al.*, 2010). Esses

valores são armazenados como padrões de referência e são utilizados pelo classificador MLP para realizar a classificação dos sinais em saudável ou patológico no caso da primeira base de dados, ou ainda, discriminando a patologia (edema ou paralisia nas pregas vocais). No caso da segunda base de dados, é realizada a classificação dos sinais em saudáveis e desviados, ou ainda a discriminação do desvio vocal (rugosidade, sopro e tensão).

**Figura 12 - Diagrama em blocos da metodologia empregada.**



Fonte: Autoria própria.

#### 4.2.1 Método para reconstrução do espaço de fase

Nesta seção é descrito o processo de reconstrução dos espaços de fase para as bases de dados utilizadas e a metodologia empregada para a extração das características dos sinais a partir dos espaços de fase reconstruídos.

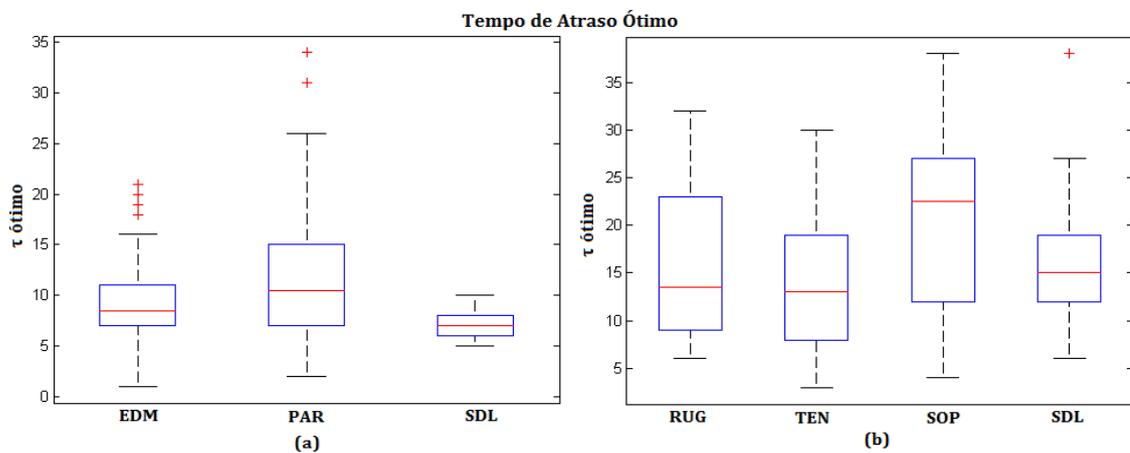
##### 4.2.1.1 Tempo de atraso ótimo ( $\tau$ ótimo)

O tempo de atraso para a reconstrução do espaço de fase, representando a dinâmica do sistema ( $\tau$  ótimo) foi encontrado através da curva de informação mútua (FRASER &

SWINNEY, 1986). A curva de informação mútua foi obtida a partir do programa *Visual Recurrence Analysis* (VRA).

Na Figura 13 encontra-se a comparação dos *boxplots* dos valores obtidos para o  $\tau$  ótimo para cada classe. Na Figura 13(a) encontram-se os *boxplots* com os valores do  $\tau$  ótimo para a primeira base de dados (edema, saudável e paralisia) e na Figura 13(b) encontram-se os *boxplots* com os valores do  $\tau$  ótimo para a segunda base de dados (vozes rugosas, soprosas, tensas e saudáveis).

**Figura 13 – Boxplots para os valores do  $\tau$  ótimo obtidos para sinais da base de dados *Kay Elemetrics* (a) e da base de dados LIEV/UFPB (b). 13 (a) Valores de  $\tau$  ótimo para as classes edema (EDM), paralisia (PAR) e saudável (SDL) e 13 (b) Valores de  $\tau$  ótimo para as classes de vozes rugosas (RUG), tensas (TEN), soprosas (SOP) e saudáveis (SDL).**



Observa-se na Figura 13(a) para a base *Kay Elemetrics* que os valores para o  $\tau$  ótimo da classe saudável estão na faixa de valores abaixo da mediana para edema e paralisia. Da mesma forma se comportam os valores para edema em relação aos de paralisia. Os valores obtidos para os sinais saudáveis estão mais concentrados em torno da mediana do que os sinais afetados por edema e por paralisia, sendo estes muitos os sinais de  $\tau$  ótimo com maior dispersão em torno da mediana. Isto pode ser explicado pelo fato de que os sinais afetados pelas patologias (edema ou paralisia) apresentam maior variabilidade (ampla faixa de desvio). Na primeira base de dados utilizada (KAY ELEMETRICS, 1994) há casos de sinais afetados por edema unilateral ou bilateral e, ainda, alguns casos de maior ou de menor gravidade, todos incluídos numa mesma classe. Também no caso dos sinais afetados por paralisia, a base tem sinais com paralisia da prega unilateral esquerda, direita ou ambas. Cada caso, em particular, afeta o sinal de voz de forma diversificada, o que pode dificultar uma classificação mais precisa dos sinais de uma mesma classe.

Na Figura 13(b) os valores para o  $\tau$  ótimo utilizando a base de dados LIEV/UFPB para a classe saudável estão na faixa de valores abaixo da mediana para vozes soprosas, mas estão dentro dos valores para as vozes rugosas e tensas. Para as classes rugosas, soprosas e tensas há uma maior dispersão de valores para o  $\tau$  ótimo se comparadas a classe de vozes saudáveis. A explicação para que esses valores para o  $\tau$  ótimo sejam semelhantes entre as vozes desviadas é que os sinais podem apresentar não apenas um único desvio, ou seja, uma voz rugosa pode apresentar rugosidade, tensão e sopro e da mesma forma pode acontecer para uma voz soprosa e uma voz tensa.

Como o valor do  $\tau$  ótimo varia para cada sinal analisado em ambas as bases de dados como observado na Figura 13, foram calculados os valores médio ( $\tau$  med), mínimo ( $\tau$  min) e máximo ( $\tau$  max) para cada classe (saudável, edema e paralisia no caso da primeira base e vozes rugosas, soprosas, tensas e saudáveis no caso da segunda base) observando os valores encontrados para o  $\tau$  ótimo de cada classe. Com estes tempos de atraso foram reconstruídos os espaços de fase para cada sinal. Os valores dos tempos de atraso ótimo obtidos para cada classe são apresentados na Tabela 2 para a base de dados *Kay Elemetrics* e na Tabela 3 para a base de dados LIEV/UFPB.

**Tabela 2 - Valores para o tempo de atraso (em amostras) para a base de dados *Kay Elemetrics*.**

Classe	$\tau$ ótimo	$\tau_o$ min	$\tau_o$ med	$\tau_o$ max
Saudável	5-10	5	7	10
Edema	1-20	1	9	20
Paralisia	2-34	2	12	34

**Tabela 3 - Valores para o tempo de atraso (em amostras) para a base de dados LIEV/UFPB.**

Classe	$\tau$ ótimo	$\tau_o$ min	$\tau_o$ med	$\tau_o$ max
Vozes Saudáveis	6-38	6	16	38
Vozes Rugosas	6-32	6	16	32
Vozes Soprosas	4-38	4	21	38
Vozes Tensas	3-30	3	14	30

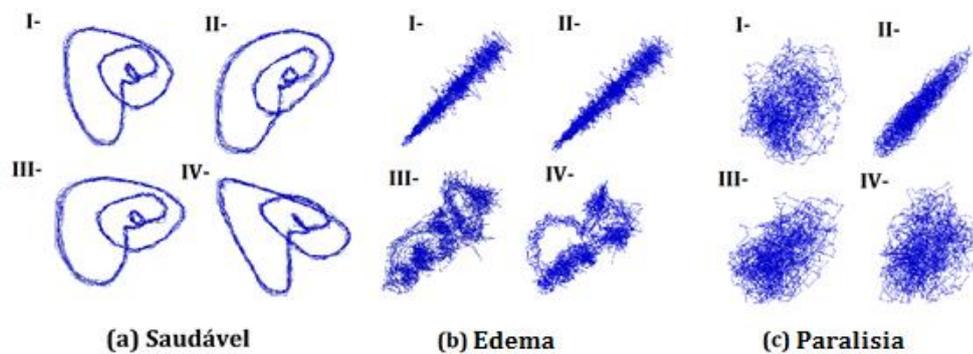
#### 4.2.1.2 Reconstrução do espaço de fase

A reconstrução do espaço de fase foi realizada para 10 ciclos do sinal, como proposto por Dajer (2010), em que cada ciclo corresponde a um período de *pitch* (é o período de abertura e fechamento das pregas vocais durante a elocução sonora (BEHLAU, 2008)). A reconstrução do espaço de fase foi realizada por meio da *toolbox* CRP (*Cross Recurrence Plots*) implementada em ambiente *MATLAB*® v.7.9. (MARWAN, 2013). Foram reconstruídos os espaços de fase utilizando os quatro valores obtidos para o tempo de atraso ( $\tau$  ótimo,  $\tau$  min,

$\tau$  med e  $\tau$  max), citados nas Tabelas 2 e 3 para as respectivas bases. Dessa forma, tem-se, para cada sinal, quatro espaços de fase, a partir dos quais serão obtidas as características pelos métodos empregados.

Na Figura 14 são apresentados diagramas de fase de sinais de voz saudáveis e de voz afetadas por edema e por paralisia nas pregas vocais da vogal /a/, considerando os quatro atrasos de tempo correspondentes.

**Figura 14 - Espaços de fase reconstruídos para um sinal de voz: (a) saudável; (b) edema; (c) paralisia nas pregas vocais (I -  $\tau$  ótimo; II -  $\tau_o$  min; III -  $\tau_o$  med e IV -  $\tau_o$  max).**

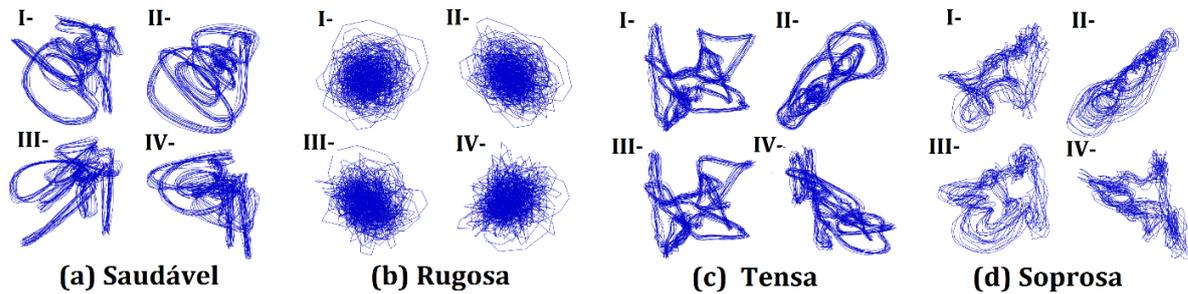


Fonte: Autoria própria.

Observa-se na Figura 14 alguns espaços de fase obtidos para os sinais de voz da base de dados *Kay Elemetrics* com a vogal sustentada /a/. Estes espaços de fase representam a evolução do sistema em diferentes tempos de atraso como pode ser visto. Observa-se também que são diferentes para cada sinal de voz e de acordo com a Figura 6, para sinais saudáveis, possui um comportamento mais regular do que para sinais afetados por Edema de Reinke ou por Paralisia nas pregas vocais.

Na Figura 15 são apresentados diagramas de fase de um sinal saudável, rugoso, tenso e soproso da vogal /ε/, da base de dados LIEV/UFPB, considerando os quatro atrasos de tempo correspondentes. Estes espaços de fase são diferentes para cada sinal, podendo ser influenciados pelo desvio vocal presente. Onde, o sinal que apresenta comportamento mais irregular é o sinal com presença de rugosidade (Figura 7(b)), onde os sinais mais “comportados” são os sinais de vozes saudável e tensa.

**Figura 15 - Espaços de fase reconstruídos para um sinal de voz: (a) saudável; (b) rugosa; (c) tensa; (d) soprosa (I -  $\tau$  ótimo; II -  $\tau_o$  min; III -  $\tau_o$  med e IV -  $\tau_o$  max).**



Fonte: Autoria própria.

Comparando as Figura 14 e 15 é possível perceber que os espaços de fase são diferentes para as vogais, já que cada vogal possui seu respectivo espaço de fase, como observado por Dajer (2010). Observa-se também que o comportamento do espaço de fase pode ser diferente para cada sinal de voz. Isso pode ocorrer por que cada indivíduo possui um sistema de produção vocal que apresenta características anatômicas distintas (DAJER, 2010; GALDINO, 2012).

#### 4.2.2 Extração de características do espaço de fase reconstruído

A extração das características do espaço de fase foi realizada utilizando os métodos propostos por Amann *et al.* (2007) e Roopaei *et al.* (2010). Foram criadas rotinas para os métodos empregados no *MATLAB*® R2015, versão 8.5. As características foram extraídas para diferentes tempos de atraso de acordo com cada classe das bases de dados e foram utilizados diferentes tamanhos de grades para extrair as características com o intuito de avaliar o desempenho das medidas na classificação dos sinais.

As características extraídas dos espaços de fase pelos métodos descritos são utilizadas como padrões de referência dos sinais analisados e empregadas num classificador que irá detectar as diferenças entre os padrões de treinamento e teste, classificando os sinais como desviados ou não, ou ainda, afetados ou não por patologias laríngeas. O classificador empregado é descrito a seguir

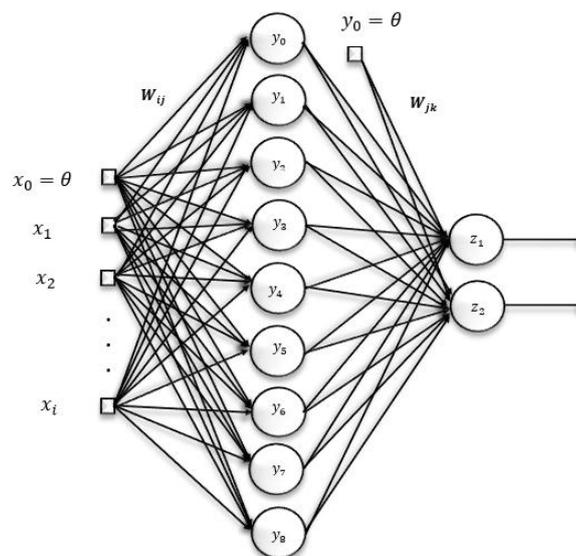
#### 4.2.3 Classificador *Multilayer Perceptron* (MLP)

Foi utilizado um classificador *Multilayer Perceptron* (MLP) com o algoritmo de aprendizado supervisionado do Gradiente Conjugado Escalonado (SCG) (SIMSEK *et al.*,

2016). Este algoritmo supervisionado é uma variação do algoritmo do Gradiente Conjugado, baseia-se no trabalho de Moller (MOLLER, 1993) e tem o objetivo de minimizar o tempo de convergência e otimização da rede MLP, através de informações da derivada de segunda ordem da função de erro (PINHATI, 2014). Trata-se de uma rede *feedforward*, que é formada por unidades de processamento interligadas conhecidas como neurônios (ou nós), e tem a tendência natural para armazenar conhecimento experimental e torná-lo disponível para uso. Cada camada de neurônios se conecta à próxima camada, porém não há caminho de volta (HAYKIN, 2001).

Na Figura 16 encontra-se a topologia da rede empregada nesta pesquisa, onde a quantidade de neurônios na camada de entrada depende da quantidade de características selecionadas. Na camada oculta são empregados 09 neurônios e na camada de saída 02 neurônios. Os pesos  $W_{ij}$  e  $W_{jk}$  são ajustados automaticamente pela rede.

**Figura 16 – Rede *feedforward* MLP utilizada.**



Fonte: Autoria própria.

Foram considerados dois casos de classificação, sendo que o primeiro caso utiliza as medidas obtidas para a base de dados *Kay Elemetrics* e o segundo caso utiliza as medidas obtidas para a base de dados LIEV/UFPB. No primeiro caso de classificação foram divididos em quatro casos que são: (i) Patologia Vs. Saudável, em que na classe Patologia estão incluídos os sinais afetados por edema e por paralisia nas pregas vocais; (ii) Edema Vs. Saudável; (iii) Paralisia Vs. Saudável; e (iv) Edema Vs. Paralisia. No segundo caso de classificação foram divididos em sete casos que são: (i) Vozes Desviadas Vs. Saudáveis, em que na classe Desviadas estão incluídos os sinais com rugosidade, soprosidade e tensão; (ii) Vozes Rugosas Vs. Saudáveis; (iii) Vozes Soprosas Vs. Saudáveis; (iv) Vozes Tensas Vs.

Saudáveis; (v) Vozes Rugosas Vs. Soprosas; (vi) Vozes Rugosas Vs. Tensas; e (vii) Vozes Tensas Vs. Soprosas.

Os sinais utilizados foram separados, aleatoriamente, em dois conjuntos distintos, dos quais 2/3 foram utilizados para treinamento e 1/3 para teste. Para maior confiabilidade, a rede neural foi executada 10 vezes, a fim de realizar a validação cruzada. Para os testes foram realizadas diversas combinações das características de entrada, a fim de encontrar a combinação que pudesse maximizar os resultados. Os padrões de referência/teste utilizados são as características extraídas a partir dos métodos empregados. Estas características são:

- Método da Contagem de Caixas (MCC):
  - (i)  $d_{cc}(\tau_o \text{ min})$ ,
  - (ii)  $d_{cc}(\tau_o \text{ med})$ ,
  - (iii)  $d_{cc}(\tau_o \text{ max})$  e
  - (iv)  $d_{cc}(\tau \text{ ótimo})$ .
  
- Método da Diferença (MDIF):
  - (i) Diferença absoluta entre  $\tau_o \text{ med}$  e  $\tau_o \text{ min}$   $|d_{cc}(\tau_o \text{ med}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min})|$ ,
  - (ii) Diferença absoluta entre  $\tau_o \text{ max}$  e  $\tau_o \text{ med}$   $|d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ med})|$  e
  - (iii) Diferença absoluta entre  $\tau_o \text{ max}$  e  $\tau_o \text{ min}$   $|d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min})|$ .
  
- Método da Similaridade (MSIM):
  - (i)  $d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med})$ ,
  - (ii)  $d_{sim}(\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ max})$  e
  - (iii)  $d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ max})$ .
  
- Método da Contagem de Caixas Ponderadas (MCCP):
  - (i)  $d_{ccp}(\tau_o \text{ min})$ ,
  - (ii)  $d_{ccp}(\tau_o \text{ med})$ ,
  - (iii)  $d_{ccp}(\tau_o \text{ max})$ ,
  - (iv)  $d_{ccp}(\tau \text{ ótimo})$ ,
  - (v) Diferença absoluta entre  $\tau_o \text{ med}$  e  $\tau_o \text{ min}$   $|d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min})|$ ,
  - (vi) Diferença absoluta entre  $\tau_o \text{ max}$  e  $\tau_o \text{ med}$   $|d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ med})|$  e
  - (vii) Diferença absoluta entre  $\tau_o \text{ max}$  e  $\tau_o \text{ min}$   $|d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min})|$

Em que no Método da Contagem de Caixas Ponderadas foram adicionadas quatro novas medidas ( $d_{ccp}(\tau_o \text{ min})$ ,  $d_{ccp}(\tau_o \text{ med})$ ,  $d_{ccp}(\tau_o \text{ max})$  e  $d_{ccp}(\tau \text{ ótimo})$ ) que não foram utilizadas no artigo original (ROOPAEI *et al.*, 2010).

Para avaliação de desempenho, foram observadas as medidas de acurácia, sensibilidade e especificidade. A acurácia mede a capacidade do classificador de identificar corretamente a presença ou a ausência do distúrbio vocal. A acurácia é dada pela Equação (4).

$$\text{Acurácia} = \frac{CA+CR}{N} \times 100 \quad (4)$$

em que  $CA$  representa a correta aceitação, ou seja, a presença do distúrbio é detectada quando ele está realmente presente e  $CR$  representa a correta rejeição, ou seja, é detectado corretamente a ausência do distúrbio e  $N$  corresponde a quantidade total de sinais utilizados na classificação.

A sensibilidade representa a proporção de pessoas com o distúrbio vocal de interesse que têm o resultado do teste positivo, indicando o quão bom é o teste para identificar os indivíduos com o distúrbio. A sensibilidade é dada pela Equação (5).

$$\text{Sensibilidade} = \frac{CA}{CA+FR} \times 100 \quad (5)$$

sendo que  $FR$  representa a falsa rejeição ou seja, a presença do distúrbio é rejeitada quando de fato está presente.

Especificidade representa a proporção de pessoas com a ausência do distúrbio vocal, cujo teste dá negativo, indicando o quão bom é o método empregado na identificação dos indivíduos com vozes saudáveis. Os resultados são descritos como os valores médios e seus respectivos desvios padrões. A especificidade é dada pela Equação (6).

$$\text{Especificidade} = \frac{CR}{CR+FA} \times 100 \quad (6)$$

sendo  $FA$  a falsa aceitação ou seja, quando é detectada a presença do distúrbio quando ele não está presente.

## 5. RESULTADOS

Neste capítulo, são apresentados os resultados referentes aos métodos da contagem de caixas, da diferença, da similaridade e da contagem de caixas ponderadas para as duas bases apresentando as medidas de acurácia (ACUR), sensibilidade (SEN) e especificidade (ESP) para os melhores resultados. Na Seção 5.1 estão apresentados os resultados utilizando a base de dados *Kay Elemetrics* (KAY ELEMETRICS, 1994) e na Seção 5.2 são apresentados os resultados utilizando a base LIEV/UFPB (LOPES *et. al*, 2016), citadas anteriormente. Na classificação dos sinais, foram consideradas grades com dimensões variadas.

### 5.1 Resultados para a Base *Kay Elemetrics*

Os resultados obtidos para a base de dados *Kay Elemetrics* (KAY ELEMETRICS, 1994) com os métodos da contagem de caixas (MCC), diferença (MDIF), similaridade (MSIM) e contagem de caixas ponderadas (MCCP) são apresentados nesta seção.

#### 5.1.1 Método da Contagem de Caixas

Na Tabela 4 estão apresentados os resultados com acurácia (ACUR), sensibilidade (SEN) e especificidade (ESP), relacionando a medida, de forma individual e as grades que proporcionaram o melhor desempenho com o Métodos da Contagem de Caixas (MCC) para a base *Kay Elemetrics*.

**Tabela 4 - Melhores resultados para a classificação com as características individuais – MCC.**

Classificação	ACUR (%)	SEN (%)	ESP (%)	Medida	Grade
<b>Patologia vs. Saudável</b>	78,46 ± 0,23	76,23 ± 3,84	79,69 ± 1,92	$d_{cc} (\tau_o \text{ min})$	20
<b>Edema vs. Saudável</b>	90,82 ± 0,28	93,21 ± 0,30	87,95 ± 0,48	$d_{cc} (\tau_o \text{ min})$	10
<b>Paralisia vs. Saudável</b>	74,81 ± 1,20	73,02 ± 2,96	75,58 ± 2,25	$d_{cc} (\tau_o \text{ min})$	20

ACUR: acurácia; SEN: sensibilidade; ESP: especificidade.

Obteve-se a melhor acurácia média na distinção entre vozes afetadas pela patologia edema e vozes saudáveis, utilizando o  $d_{cc} (\tau_o \text{ min})$  com a grade 10 atingindo acurácia de 90%, sensibilidade de 93% e especificidade de aproximadamente 88%. Entre as três classes, a classificação com menor destaque ocorreu na distinção entre vozes saudáveis e vozes afetadas

por paralisia nas pregas vocais, proporcionando uma acurácia média de 74% utilizando  $d_{cc}$  ( $\tau_o$  min) como medida com grade 20.

Na Tabela 5 é apresentado o melhor resultado com as características individuais na discriminação entre sinais de vozes afetados por edema e sinais afetados por paralisia. Dos 44 sinais dos pacientes com edema, cerca de 64,15% foram diagnosticados corretamente (28 sinais). Dos sinais afetados por paralisia, 38 dos 52 foram identificados corretamente, quando comparados com os sinais afetados por edema. Desta forma, a taxa de classificação correta, dada pela relação entre o número de sinais classificados corretamente e o número total de sinais foi de 73,81% com a medida  $d_{cc}$  ( $\tau_o$  max) com a grade 10.

**Tabela 5 - Matriz de confusão para o melhor caso de discriminação entre sinais afetados por paralisia e sinais afetados por edema – medidas individuais. – MCC.**

CLASSE	EDEMA	PARALISIA
EDEMA	28	16
PARALISIA	14	38

Na Tabela 6, é apresentada a classificação com as medidas combinadas. As taxas de acurácia média encontradas são superiores a 91%, com a taxa de especificidade superior a 89% e a sensibilidade até 94%. As características  $d_{cc}$  ( $\tau$  ótimo) e  $d_{cc}$  ( $\tau_o$  min) aparece em todas as combinações, associada a outras medidas para a discriminação entre Edema vs. Saudável, Paralisia vs. Saudável e Patologia vs. Saudável.

**Tabela 6 - Resultado para a classificação com as características combinadas – MCC.**

Classificação	ACUR (%)	SEN (%)	ESP (%)	Medida	Grade
<b>Patologia vs. Saudável</b>	93,15 ± 0,58	91,19 ± 1,42	94,23 ± 0,44	$d_{cc}$ ( $\tau$ ótimo), $d_{cc}$ ( $\tau_o$ min)	10
<b>Edema vs. Saudável</b>	95,88 ± 0,46	97,55 ± 0,40	93,86 ± 0,68	$d_{cc}$ ( $\tau$ ótimo), $d_{cc}$ ( $\tau_o$ min), $d_{cc}$ ( $\tau_o$ med)	10
<b>Paralisia vs. Saudável</b>	92,00 ± 3,78	89,25 ± 7,45	94,81 ± 0,50	$d_{cc}$ ( $\tau$ ótimo), $d_{cc}$ ( $\tau_o$ min)	5
	91,05 ± 1,71	92,45 ± 1,37	89,62 ± 2,13	$d_{cc}$ ( $\tau$ ótimo), $d_{cc}$ ( $\tau_o$ min)	10

ACUR: acurácia; SEN: sensibilidade; ESP: especificidade.

Na distinção entre patologias e vozes saudáveis observa-se, pela Tabela 5, que a melhor combinação utilizou três características para distinção entre vozes afetadas por edema e vozes saudáveis, com acurácia média de 95% e sensibilidade atingindo 97%. Sendo que, na maioria dos resultados, a melhor grade foi a 10. Apenas para discriminação entre vozes afetadas por paralisia e vozes saudáveis as melhores combinações foram utilizando as grades 5 e 10.

Com a combinação das medidas (Tabela 7), a taxa de classificação correta aumentou para cerca de 79%, o que demonstra o aumento do potencial discriminativo das medidas de

forma combinada, na discriminação entre patologias ( $d_{cc}(\tau \text{ ótimo})$ ,  $d_{cc}(\tau_o \text{ min})$ ,  $d_{cc}(\tau_o \text{ med})$ ,  $d_{cc}(\tau_o \text{ max})$ ) com a grade 10).

**Tabela 7 - Matriz de confusão para a discriminação entre sinais afetados por paralisia e sinais afetados por edema – medidas combinadas – MCC.**

CLASSE	EDEMA	PARALISIA
EDEMA	36	8
PARALISIA	14	38

Após a combinação das medidas, obteve-se uma taxa de classificação correta de aproximadamente 81% para a patologia Edema e de 72,5% para Paralisia.

### 5.1.2 Método da Diferença

Na Tabela 8 estão apresentados os resultados com acurácia (ACUR), sensibilidade (SEN) e especificidade (ESP), relacionando a medida, de forma individual, e as grades que proporcionaram o melhor desempenho com Método da Diferença (MDIF) para a base *Kay Elemetrics*.

**Tabela 8 - Melhores resultados para a classificação com as características individuais – MDIF.**

Classificação	ACUR (%)	SEN (%)	ESP (%)	Medida	Grade
<b>Patologia vs. Saudável</b>	88,39 ± 0,89	90,38 ± 1,27	87,29 ± 1,72	$ d_{cc}(\tau_o \text{ méd}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) $	10
<b>Edema vs. Saudável</b>	90,72 ± 1,64	94,91 ± 0,84	85,68 ± 4,13	$ d_{cc}(\tau_o \text{ med}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) $	10
<b>Paralisia vs. Saudável</b>	86,48 ± 0,39	90,38 ± 1,17	82,50 ± 0,44	$ d_{cc}(\tau_o \text{ méd}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) $	5
	86,10 ± 0,80	88,87 ± 1,93	83,27 ± 0,70	$ d_{cc}(\tau_o \text{ méd}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) $	10

ACUR: acurácia; SEN: sensibilidade; ESP: especificidade.

Obteve-se a melhor acurácia média na distinção entre vozes afetadas pela patologia edema e vozes saudáveis, utilizando o  $|d_{cc}(\tau_o \text{ med}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min})|$  com a grade 10. A classificação entre vozes patológicas e saudáveis e entre vozes afetadas por paralisia nas pregas vocais e vozes saudáveis, as taxas de acurácia foram superiores a 86%. A medida  $|d_{cc}(\tau_o \text{ med}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min})|$  apareceu em todos os casos de classificação e a grade 10 também.

Na Tabela 9 é apresentado o melhor resultado com as características individuais na discriminação entre sinais de vozes afetados por edema e sinais afetados por paralisia. Dos 44 sinais dos pacientes com edema, cerca de 62,45% foram diagnosticados corretamente (27 sinais). Dos sinais afetados por paralisia, 36 dos 52 foram identificados corretamente, quando comparados com os sinais afetados por edema. Desta forma, a taxa de classificação correta,

dada pela relação entre o número de sinais classificados corretamente e o número total de sinais foi de 65,9% com a medida  $|d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min})|$  com a grade 20.

**Tabela 9 - Matriz de confusão para o melhor caso de discriminação entre sinais afetados por paralisia e sinais afetados por edema – medidas individuais. – MDIF.**

CLASSE	EDEMA	PARALISIA
EDEMA	27	17
PARALISIA	16	36

Na Tabela 10, é apresentada a classificação com as medidas combinadas. As taxas de acurácia média encontradas são superiores a 90%, com a taxa de especificidade superior a 92% e sensibilidade de até 94%. As características  $|d_{cc}(\tau_o \text{ med}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min})|$  e  $|d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ med})|$ , estão presentes em todas as combinações, associada a outras medidas para a discriminação entre Edema vs. Saudável, Paralisia vs. Saudável e Patologia vs. Saudável.

**Tabela 10 - Resultado para a classificação com as características combinadas – MDIF.**

Classificação	ACUR (%)	SEN (%)	ESP (%)	Medida	Grade
<b>Patologia vs. Saudável</b>	90,00 ± 0,33	92,08 ± 0,54	88,85 ± 0,34	$ d_{cc}(\tau_o \text{ med}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) ,  d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ med}) $	10
<b>Edema vs. Saudável</b>	95,88 ± 0,34	96,98 ± 0,57	94,55 ± 0,50	$ d_{cc}(\tau_o \text{ med}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) ,  d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ med}) ,  d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) $	10
<b>Paralisia vs. Saudável</b>	89,14 ± 0,49	92,64 ± 0,59	89,58 ± 0,65	$ d_{cc}(\tau_o \text{ med}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) ,  d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ med}) ,  d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) $	5

ACUR: acurácia; SEN: sensibilidade; ESP: especificidade.

Na distinção entre patologias e vozes saudáveis observa-se, pela Tabela 10, que as melhores combinações utilizaram três características para distinção entre vozes afetadas por edema e vozes saudáveis, com acurácias média de 95% e sensibilidade próximas a 97%. Sendo que, na maioria dos resultados, a melhor grade foi a 10. Apenas para discriminação entre vozes afetadas por paralisia e vozes saudáveis a melhor combinação foi utilizando a grade 5. Na discriminação entre as patologias, obteve-se acurácia de 90%, com destaque para a grade 10.

Com a combinação das medidas (Tabela 11), a taxa de classificação correta aumentou para aproximadamente 77%, o que mostra o aumento do potencial discriminativo das medidas de forma combinada, na discriminação entre patologias ( $|d_{cc}(\tau_o \text{ med}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min})|, |d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ med})|$  com a grade 10). Após a combinação das medidas, obteve-se uma taxa de classificação correta de aproximadamente 70% para a patologia Edema e de 86,5% para Paralisia.

**Tabela 11 - Matriz de confusão para a discriminação entre sinais afetados por paralisia e sinais afetados por edema – medidas combinadas – MDIF.**

CLASSE	EDEMA	PARALISIA
EDEMA	31	13
PARALISIA	7	45

### 5.1.3 Método da Similaridade

Na Tabela 12 são apresentados os resultados com acurácia (ACUR), sensibilidade (SEN) e especificidade (ESP), relacionando a medida, de forma individual, e a grade que proporcionaram o melhor desempenho com o Método da Similaridade (MSIM) para a base *Kay Elemetrics*.

**Tabela 12 - Melhores resultados para a classificação com as características individuais – MSIM.**

Classificação	ACUR (%)	SEN (%)	ESP (%)	Medida	Grade
<b>Patologia vs. Saudável</b>	93,29 ± 0,15	95,74 ± 0,46	88.99 ± 0.70	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med})$	40
<b>Edema vs. Saudável</b>	96,91 ± 4,81	100,0 ± 5,26	94.64 ± 0.54	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med})$	40
<b>Paralisia vs. Saudável</b>	92,27 ± 0,44	96,22 ± 1,27	89.66 ± 0.14	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ max})$	40

ACUR: acurácia; SEN: sensibilidade; ESP: especificidade.

Na Tabela 12 observa-se que as classificações obtidas para as três classes foram boas, onde a melhor acurácia média (aproximadamente 97%) encontrada foi para a distinção entre vozes afetadas por edema nas pregas vocais e vozes saudáveis, utilizando o  $d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med})$  com a grade 40. Para a classificação das três classes, a grade que obteve melhor desempenho com as medidas individuais foi a grade 40.

Na Tabela 13 é apresentado o melhor resultado com o método da similaridade (MSIM) referente à discriminação entre sinais de vozes afetados por edema e sinais afetados por paralisia. Dos 44 sinais dos pacientes com edema, aproximadamente 84,09% foram diagnosticados corretamente (37 sinais). Dos sinais afetados por paralisia, 39 dos 52 foram identificados corretamente, quando comparados com os sinais afetados por edema. Desta forma, a taxa de classificação correta, dada pela relação entre o número de sinais classificados corretamente e o número total de sinais foi de 79,17% com a medida  $d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med})$  com a grade 5.

**Tabela 13 - Matriz de confusão para o melhor resultado na discriminação entre sinais afetados por paralisia e sinais afetados por edema – medidas individuais - MSIM.**

CLASSE	EDEMA	PARALISIA
EDEMA	37	7
PARALISIA	13	39

Na Tabela 14, é apresentada a classificação com as medidas combinadas. As taxas de acurácia média encontradas são aproximadamente 100%, com a taxa de especificidade superior a 98% e a sensibilidade de 100%. As características  $d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med})$  e  $d_{sim}(\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ max})$  aparecem em todas as combinações, associadas a outras medidas para a discriminação entre Edema vs. Saudável, Paralisia vs. Saudável e Patologia vs. Saudável.

**Tabela 14 - Melhores resultados para a classificação com as características combinadas - MSIM.**

Classificação	ACUR (%)	SEN (%)	ESP (%)	Medida	Grade
<b>Patologia vs. Saudável</b>	99,33 ± 0,22	98,15 ± 0,46	99,48 ± 0,26	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med})$ , $d_{sim}(\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ max})$ , $d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ max})$	20
<b>Edema vs. Saudável</b>	99,48 ± 0,22	100,0 ± 0,33	100,0 ± 0,38	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med})$ , $d_{sim}(\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ max})$	20
<b>Paralisia vs. Saudável</b>	99,05 ± 0,19	98,15 ± 0,32	100,0 ± 0,39	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med})$ , $d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ max})$ , $d_{sim}(\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ max})$	20

ACUR: acurácia; SEN: sensibilidade; ESP: especificidade.

Ambas as classificações foram eficientes obtendo taxas de acurácia, sensibilidade e especificidade de aproximadamente 100% nas classificações, sendo que a melhor grade para as três classificações foi a grade 20. Na distinção entre patologias e vozes saudáveis foram utilizadas três características. Na distinção entre sinais afetados por edema e sinais saudáveis, foram utilizadas duas características e na distinção entre sinais afetados por paralisia e saudáveis foram utilizadas três características.

Com a combinação das medidas para a discriminação entre vozes afetados por edema e afetadas por paralisia (Tabela 15), a taxa de classificação correta aumentou para cerca de 85%, o que demonstra o aumento do potencial discriminativo das medidas de forma combinada, na discriminação entre patologias. As medidas que melhor classificaram de maneira combinada foram  $d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med})$ ,  $d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ max})$  e  $d_{sim}(\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ max})$  com a grade 20. Após a combinação das medidas, obteve-se uma taxa de classificação correta de aproximadamente 86% para a patologia Edema e de 82,69% para Paralisia.

**Tabela 15 - Matriz de confusão para a discriminação entre sinais afetados por paralisia e sinais afetados por edema – medidas combinadas - MSIM.**

CLASSE	EDEMA	PARALISIA
<b>EDEMA</b>	38	6
<b>PARALISIA</b>	9	43

### 5.1.4 Método da Contagem de Caixas Ponderadas

Na Tabela 16 são apresentados os resultados com acurácia (ACUR), sensibilidade (SEN) e especificidade (ESP), relacionando a medida, de forma individual, e a grade que proporcionaram o melhor desempenho para o Método da Contagem de Caixas Ponderadas (MCCP) com a base *Kay Elemetrics*.

**Tabela 16 - Melhores resultados para a classificação com as características individuais – MCCP.**

Classificação	ACUR (%)	SEN (%)	ESP (%)	Medida	Grade
<b>Patologia vs. Saudável</b>	91,28 ± 0,14	96,63 ± 0,31	83,33 ± 0,07	$ d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) $	40
<b>Edema vs. Saudável</b>	97,94 ± 0,52	95,65 ± 0,05	100,0 ± 0,94	$ d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) $	10
	97,94 ± 2,36	95,65 ± 0,43	100,0 ± 3,18	$ d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) $	5
<b>Paralisia vs. Saudável</b>	86,67 ± 1,15	95,12 ± 2,15	80,95 ± 0,59	$ d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) $	40

ACUR: acurácia; SEN: sensibilidade; ESP: especificidade.

Na Tabela 16 observa-se que a classificação obtida para a distinção entre sinais de vozes afetados por edema e sinais saudáveis apresentou a melhor acurácia média (aproximadamente 98%), sensibilidade (95,65%) e especificidade de 100% entre as três classificações, obtendo este mesmo desempenho para duas grades (grades 5 e 10). A classificação que obteve menor desempenho foi a distinção entre vozes afetadas por paralisia e vozes saudáveis, com a grade 40, apresentando acurácia de aproximadamente 87%. Na distinção entre vozes patológicas e saudáveis a classificação obteve acurácia média superior a 90% com a grade 40. Nas três classificações a característica que melhor classificou individualmente foi  $|d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min})|$ .

Na Tabela 17 estão apresentados os resultados referentes à discriminação entre sinais de vozes afetados por edema e sinais afetados por paralisia. Dos 44 sinais dos pacientes com edema, cerca de 84,02% foram diagnosticados corretamente (37 sinais). Dos sinais afetados por paralisia, 42 dos 52 foram identificados corretamente, quando comparados com os sinais afetados por edema (80,76%). Desta forma, a acurácia média encontrada na classificação foi de 81,77% com a medida  $d_{ccp}(\tau_o \text{ min})$  com a grade 40.

**Tabela 17 - Matriz de confusão para o melhor resultado na discriminação entre sinais afetados por paralisia e sinais afetados por edema – medidas individuais – MCCP.**

CLASSE	EDEMA	PARALISIA
<b>EDEMA</b>	37	7
<b>PARALISIA</b>	10	42

Na Tabela 18, é apresentada a classificação com as medidas combinadas para o Método da Contagem de Caixas Ponderadas.

**Tabela 18 -Melhores resultados para a classificação com as características combinadas - MCCP.**

Classificação	ACUR (%)	SEN (%)	ESP (%)	Medida	Grade
<b>Patologia vs. Saudável</b>	95,97 ± 0,26	97,91 ± 0,34	93,40 ± 0,66	$d_{ccp}(\tau \text{ ótimo}), d_{ccp}(\tau_o \text{ min}), d_{ccp}(\tau_o \text{ med})$	40
<b>Edema vs. Saudável</b>	98,97 ± 0,34	97,78 ± 0,34	100,0 ± 0,49	$d_{ccp}(\tau \text{ ótimo}), d_{ccp}(\tau_o \text{ min}), d_{ccp}(\tau_o \text{ med}),  d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) ,  d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) $	40
<b>Paralisia vs. Saudável</b>	97,62 ± 0,24	96,33 ± 0,40	100,0 ± 0,31	$d_{ccp}(\tau \text{ ótimo}), d_{ccp}(\tau_o \text{ min}),  d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) $	40

ACUR: acurácia; SEN: sensibilidade; ESP: especificidade.

As taxas de acurácia média encontradas são superiores a 95%, com a taxa de especificidade superior a 93% e a sensibilidade acima de 97%. As características  $d_{ccp}(\tau \text{ ótimo}), d_{ccp}(\tau_o \text{ min})$  estiveram presentes em todas as combinações, associadas a outras medidas para a discriminação entre Edema vs. Saudável, Paralisia vs. Saudável e Patologia vs. Saudável. Ambas as classificações foram eficientes, obtendo taxas de acurácia, sensibilidade e especificidade superiores a 95%, sendo que a melhor grade para as três classificações foi a grade 40. Na distinção entre patologias e vozes saudáveis e na distinção entre sinais de vozes afetados por paralisia nas pregas vocais e sinais saudáveis foram utilizadas três características.

Na Tabela 19 pode ser observado que com a combinação das medidas para a discriminação entre vozes afetados por edema e afetadas por paralisia, a acurácia aumentou para cerca de 85% comparada com a classificação com as medidas individuais, mostrando assim que a combinação de medidas possui maior potencial discriminativo. Após a combinação das medidas, obteve-se uma taxa de classificação correta de aproximadamente 84,02% para a patologia Edema e de 86,53% para Paralisia. As medidas que melhor classificaram de maneira combinada foram  $d_{ccp}(\tau_o \text{ min}), d_{ccp}(\tau_o \text{ med})$  e  $|d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min})|$  com a grade 20.

**Tabela 19 -Matriz de confusão para o melhor caso de discriminação entre sinais afetados por paralisia e sinais afetados por edema – medidas combinadas - MCCP.**

CLASSE	EDEMA	PARALISIA
EDEMA	37	7
PARALISIA	7	45

### 5.1.5 Discussão dos resultados para a base de dados *Kay Elemetrics*

No Apêndice A estão apresentados os resultados obtidos na classificação entre vozes saudáveis e patológicas para todos os métodos, empregando as características de forma individual e combinada. Na Tabela 20 é apresentado um resumo com os resultados a partir

das classificações com acurácia (ACUR), sensibilidade (SEN) e especificidade (ESP), relacionando a medida, de forma individual, a grade e os métodos: Contagem de Caixas (MCC), Diferença (MDIF), Similaridade (MSIM) e Contagem de Caixas Ponderadas (MCCP) que proporcionaram o melhor desempenho para a base *Kay Elemetrics*. Para determinar quais as melhores classificações foram observadas as taxas de acurácia, sensibilidade e especificidade que fossem superiores a 80%, de acordo com a classificação de Hosmer & Lemeshow (2000), onde são considerados resultados aceitáveis as classificações que obtiveram taxas superiores a 70% (HOSMER & LEMESHOW, 2000).

**Tabela 20 - Resultado geral para a classificação com os métodos empregados - características individuais.**

CLASSE	ACUR (%)	SEN (%)	ESP (%)	MÉTODO	MEDIDA / GRADE	
<b>Patologia Vs. Saudável</b>	91,28 ± 0,14	96,63 ± 0,31	83,33 ± 0,07	MCCP	$ d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) $	40
	93,29 ± 0,15	95,74 ± 0,46	88,99 ± 0,70	MSIM	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med})$	40
<b>Edema Vs. Saudável</b>	88,39 ± 0,89	90,38 ± 1,27	87,29 ± 1,72	MDIF	$ d_{cc}(\tau_o \text{ med}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) $	10
	97,94 ± 0,52	95,65 ± 0,05	100,0 ± 0,94	MCCP	$ d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) $	10
	97,94 ± 2,36	95,65 ± 0,43	100,0 ± 3,18	MCCP	$ d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) $	5
	96,91 ± 4,81	100,0 ± 5,26	94,64 ± 0,54	MSIM	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med})$	40
<b>Paralisia Vs. Saudável</b>	90,82 ± 0,28	93,21 ± 0,30	87,95 ± 0,48	MCC	$d_{cc}(\tau_o \text{ min})$	10
	90,72 ± 1,64	94,91 ± 0,84	85,68 ± 4,13	MDIF	$ d_{cc}(\tau_o \text{ med}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) $	10
<b>Patologia Vs. Saudável</b>	86,67 ± 1,15	95,12 ± 2,15	80,95 ± 0,59	MCCP	$ d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) $	40
	92,27 ± 0,44	96,22 ± 1,27	89,66 ± 0,14	MSIM	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ max})$	40
	86,48 ± 0,39	90,38 ± 1,17	82,50 ± 0,44	MDIF	$ d_{cc}(\tau_o \text{ med}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) $	5
	86,10 ± 0,80	88,87 ± 1,93	83,27 ± 0,70	MDIF	$ d_{cc}(\tau_o \text{ med}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) $	10

ACUR: acurácia; SEN: sensibilidade; ESP: especificidade.

Observa-se, pela Tabela 20, que os métodos que demonstraram maior eficiência na classificação dos sinais foram o método da contagem de caixas ponderadas, o da similaridade e o da diferença, tendo maior destaque o método da contagem de caixas ponderadas na distinção entre sinais afetados por edema e sinais saudáveis com taxas superiores a 95% utilizando as grades 10 e 5. E, na distinção entre sinais afetados por paralisia e sinais saudáveis e entre sinais patológicos e saudáveis, o método da similaridade obteve maior destaque com taxas superiores a 93%, apresentando melhor desempenho a grade 40. A maioria das medidas na classificação utilizaram o  $\tau_o$  min e o  $\tau_o$  med e houve destaque para as grades 40 e 10, sendo que vale ressaltar, que o custo computacional com a grade 40 é menos elevado que para as demais grades.

Na Tabela 21 estão apresentados os resultados com as medidas individuais referentes à discriminação entre sinais de vozes afetados por edema e sinais afetados por paralisia para os melhores métodos. Os métodos que obtiveram maior destaque na classificação entre

patologias foram os métodos da contagem de caixas ponderadas com a grade 40 e da similaridade com a grade 5 apresentando taxas superiores a 79%. Sendo que o método da contagem de caixas possui maior destaque, por utilizar uma grade de tamanho 40, que possui custo computacional menos elevado que a grade 5.

**Tabela 21 - Resultado geral para a classificação entre sinais afetados por edema e por paralisia com os métodos empregados - características individuais.**

CLASSE	ACUR (%)	MÉTODO	MEDIDA / GRADE	
<b>Edema Vs. Paralisia</b>	81,77 ± 0,610	MCCP	$d_{ccp}(\tau_o \text{ min})$	40
	79,17 ± 0,394	MSIM	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med})$	5

ACUR: acurácia; SEN: sensibilidade; ESP: especificidade.

Na Tabela 22 são apresentados os resultados relacionando as medidas, de forma combinada, a grade e os métodos: Contagem de Caixas (MCC), Diferença (MDIF), Similaridade (MSIM) e Contagem de Caixas Ponderadas (MCCP) que proporcionaram o melhor desempenho para a base *Kay Elemetrics*.

**Tabela 22 - Resultado geral para a classificação com os métodos empregados - características combinadas.**

CLASSE	ACUR (%)	SEN (%)	ESP (%)	MÉTODO	MEDIDA/ GRADE	
<b>Patologia Vs. Saudável</b>	95,97 ± 0,26	97,91 ± 0,34	93,40 ± 0,66	MCCP	$d_{ccp}(\tau \text{ ótimo}), d_{ccp}(\tau_o \text{ min}), d_{ccp}(\tau_o \text{ med})$	40
	99,33 ± 0,22	98,15 ± 0,46	99,48 ± 0,26	MSIM	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med}), d_{sim}(\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ max}), d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ max})$	20
	93,15 ± 0,58	91,19 ± 1,42	94,23 ± 0,44	MCC	$d_{cc}(\tau \text{ ótimo}), d_{cc}(\tau_o \text{ min})$	10
	90,00 ± 0,33	92,08 ± 0,54	88,85 ± 0,34	MDIF	$ d_{cc}(\tau_o \text{ med}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) ,  d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ med}) $	10
<b>Edema Vs. Saudável</b>	98,97 ± 0,34	97,78 ± 0,34	100,0 ± 0,49	MCCP	$d_{ccp}(\tau \text{ ótimo}), d_{ccp}(\tau_o \text{ min}), d_{ccp}(\tau_o \text{ med}),  d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) ,  d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) $	40
	99,48 ± 0,22	100,0 ± 0,38	100,0 ± 0,33	MSIM	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med}), d_{sim}(\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ max})$	20
	95,88 ± 0,46	97,55 ± 0,40	93,86 ± 0,68	MCC	$d_{cc}(\tau \text{ ótimo}), d_{cc}(\tau_o \text{ min}), d_{cc}(\tau_o \text{ med})$	10
	95,88 ± 0,34	96,98 ± 0,57	94,55 ± 0,50	MDIF	$ d_{cc}(\tau_o \text{ med}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) ,  d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ med}) ,  d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) $	10
<b>Paralisia Vs. Saudável</b>	97,62 ± 0,24	96,33 ± 0,40	100,0 ± 0,31	MCCP	$d_{ccp}(\tau_o \text{ ótimo}), d_{ccp}(\tau_o \text{ min}),  d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) $	40
	99,05 ± 0,19	98,15 ± 0,32	100,0 ± 0,39	MSIM	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med}), d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ max}), d_{sim}(\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ max})$	20
	92,00 ± 3,78	89,25 ± 7,45	94,81 ± 0,50	MCC	$d_{cc}(\tau \text{ ótimo}), d_{cc}(\tau_o \text{ min})$	5
	91,05 ± 1,71	92,45 ± 1,37	89,62 ± 2,13	MCC	$d_{cc}(\tau \text{ ótimo}), d_{cc}(\tau_o \text{ min})$	10

ACUR: acurácia; SEN: sensibilidade; ESP: especificidade.

Para determinar quais as melhores classificações foram observadas as taxas de acurácia, sensibilidade e especificidade que fossem superiores a 90%. Observa-se pela Tabela 22 que todos os métodos foram eficientes na classificação das patologias quando combinadas as características, possuindo acurácias superiores a 90%. O método com maior destaque é o da similaridade (MSIM) pois nas classificações entre sinais afetados por edema e sinais saudáveis, entre sinais afetados por paralisia e sinais saudáveis e entre sinais patológicos e saudáveis atingiu acurácia de 99% com taxas de especificidade e sensibilidade 100% com a combinação de diversas medidas e grade 20.

Na Tabela 23 estão apresentados os resultados com as medidas combinadas referentes à discriminação entre sinais de vozes afetados por edema e sinais afetados por paralisia para os melhores métodos.

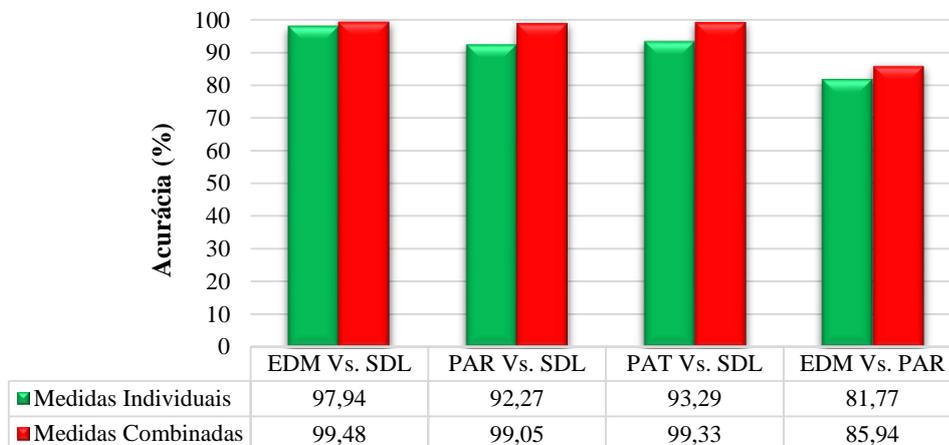
**Tabela 23 - Resultado geral para os melhores casos na classificação entre sinais afetados por edema e por paralisia com os métodos empregados - características combinadas.**

CLASSE	ACUR (%)	MÉTODO	MEDIDA	GRADE
Edema Vs. Paralisia	85,42 ± 0,84	MCCP	$d_{ccp}(\tau_o \text{ min}), d_{ccp}(\tau_o \text{ med}),  d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) $	20
	85,94 ± 1,03	MSIM	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med}), d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ max}), d_{sim}(\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ max})$	20

ACUR: acurácia; SEN: sensibilidade; ESP: especificidade.

Na Figura 17 pode ser observado um gráfico de barras com um comparativo dos melhores resultados, obtidos de maneira individual e combinada para a base de dados *Kay Elemetrics*.

**Figura 17 - Gráfico em barras apresentando o comparativo do desempenho da classificação obtida com as medidas individuais e combinadas para a classificação dos sinais da base de dados *Kay Elemetrics*.**



Observa-se, pela Figura 17, que os resultados obtidos com as medidas combinadas obtiveram maior desempenho que os resultados obtidos com as medidas individuais. O

método que obteve maior destaque na classificação entre patologias foram os métodos da contagem de caixas ponderadas e da similaridade, ambas com a grade 20, apresentando taxas superiores a 85%.

## 5.2 Resultados para a Base LIEV/UFPB

Os resultados obtidos para a base de dados LIEV/UFPB (LOPES *et. al*, 2016) com os métodos da Contagem de Caixas (MCC), Diferença (MDIF), Similaridade (MSIM) e Contagem de Caixas Ponderadas (MCCP) são apresentados nesta seção.

### 5.2.1 Método da Contagem de Caixas

Na Tabela 24 estão apresentados os resultados com acurácia (ACUR), sensibilidade (SEN) e especificidade (ESP), relacionando a medida, de forma individual, e a grade que proporcionaram o melhor desempenho com o Método da Contagem de Caixas (MCC) para a base LIEV/UFPB.

**Tabela 24 - Melhores resultados para a classificação com as características individuais – MCC.**

Classificação	ACUR (%)	SEN (%)	ESP (%)	Medida	Grade
<b>Desviadas vs. Saudável</b>	78,36 ± 1,16	79,14 ± 0,28	79,32 ± 0,38	$d_{cc} (\tau_o \text{ max})$	10
<b>Rugosa vs. Saudável</b>	69,33 ± 2,43	68,81 ± 3,22	67,28 ± 2,35	$d_{cc} (\tau_o \text{ min})$	20
<b>Soprosa vs. Saudável</b>	69,45 ± 1,58	70,24 ± 2,51	68,64 ± 2,60	$d_{cc} (\tau_o \text{ med})$	10
<b>Tensa vs. Saudável</b>	71,50 ± 3,54	69,15 ± 3,33	72,80 ± 4,43	$d_{cc} (\tau_o \text{ min})$	20

ACUR: acurácia; SEN: sensibilidade; ESP: especificidade.

Observa-se pela Tabela 24 que a classificação para a distinção entre vozes desviadas e vozes saudáveis foi a melhor entre as classes, atingindo acurácia de 78%, com sensibilidade e especificidade superiores a 79% utilizando como medida  $d_{cc} (\tau_o \text{ max})$  com a grade 10. Na classificação entre vozes tensas e saudáveis foi observado que a característica que melhor classificou foi  $d_{cc} (\tau_o \text{ min})$  com a grade 20 apresentando acurácias superiores a 70%. As classificações entre vozes rugosas e saudáveis e entre vozes soprosas e saudáveis não apresentaram resultados tão bons, com acurácias inferiores a 70%, onde a classificação entre

vozes rugosas e saudáveis utilizou como medida  $d_{cc}$  ( $\tau_o$  min) e grade 20 e a classificação entre vozes soprosas e saudáveis utilizou como medidas  $d_{cc}$  ( $\tau_o$  med) com grade 10.

Na Tabela 25 observa-se a matriz de confusão para o melhor resultado na classificação entre vozes Rugosa vs. Soprosa, apresentando uma acurácia de 68,41% utilizando como medida o  $d_{cc}$  ( $\tau_o$  med) e grade 20. Dos 30 sinais rugosos 66% (20 sinais) foram classificados como rugosos e dos 30 sinais soprosos 71,6% (21 sinais) caracterizados como soprosos.

**Tabela 25 - Matriz de confusão para a discriminação entre sinais de voz rugosos e sinais de voz soprosos – medidas individuais – MCC.**

CLASSE	RUGOSA	SOPROSA
RUGOSA	20	10
SOPROSA	9	21

Na Tabela 26 observa-se a matriz de confusão para a classificação Rugosa vs. Tensa, apresentando uma acurácia de 70,55% utilizando o  $d_{cc}$  ( $\tau_o$  min) como medida e grade 20. Dos 30 sinais rugosos 73,3% (22 sinais) foram classificados como rugosos e dos 30 sinais tensos 71,6% (21sinais) caracterizados como soprosos.

**Tabela 26 - Matriz de confusão para a discriminação entre sinais de voz rugosos e sinais de voz tensos – medidas individuais – MCC.**

CLASSE	RUGOSA	TENSA
RUGOSA	22	8
TENSA	9	21

Na Tabela 27 observa-se a matriz de confusão para a classificação Tensa vs. Soprosa, apresentando uma acurácia de 72,59% utilizando o  $d_{cc}$  ( $\tau_o$  max) como medida, com a grade 40. Dos 30 sinais tensos, 71,6% (21 sinais) foram classificados como tensos e dos 30 sinais soprosos 73,3% (22 sinais) caracterizados como soprosos.

**Tabela 27 - Matriz de confusão para a discriminação entre sinais de voz tensos e sinais de voz soprosos – medidas individuais – MCC.**

CLASSE	TENSA	SOPROSA
TENSA	21	9
SOPROSA	8	22

Nas classificações realizadas entre os desvios vocais observou-se que as melhores medidas individuais foram  $d_{cc}$  ( $\tau_o$  min) e  $d_{cc}$  ( $\tau_o$  max) realizando a classificação entre sinais rugosos e tensos e a classificação entre os sinais tensos e soprosos com a grade 20 e com a grade 40 respectivamente com acurácias superiores a 70%. E, na distinção entre vozes rugosas e soprosas a característica foi  $d_{cc}$  ( $\tau_o$  med) com a grade 20, sendo que a taxa de acurácia não

foi tão satisfatória sendo inferior a 70%. A melhor classificação com as medidas individuais entre os desvios vocais deu-se para a distinção entre sinais tensos e soprosos.

Na Tabela 28, é apresentada a classificação com as medidas combinadas para o Método da Contagem de Caixas (MCC).

**Tabela 28 -Melhores resultados para a classificação com as características combinadas – MCC.**

Classificação	ACUR (%)	SEN (%)	ESP (%)	Medida	Grade
<b>Desviadas vs. Saudável</b>	82,36 ± 0,36	79,36 ± 0,14	80,91 ± 0,54	$d_{cc}(\tau \text{ otimo}), d_{cc}(\tau_o \text{ min}), d_{cc}(\tau_o \text{ max})$	5
<b>Rugosa vs. Saudável</b>	73,29 ± 3,04	74,80 ± 6,64	74,32 ± 3,08	$d_{cc}(\tau \text{ otimo}), d_{cc}(\tau_o \text{ min}), d_{cc}(\tau_o \text{ max})$	10
<b>Soprosa vs. Saudável</b>	85,73 ± 1,55	85,16 ± 2,05	84,31 ± 1,29	$d_{cc}(\tau_o \text{ min}), d_{cc}(\tau_o \text{ med})$	5
<b>Tensa vs. Saudável</b>	75,69 ± 2,92	79,47 ± 5,36	73,37 ± 2,58	$d_{cc}(\tau_o \text{ min}), d_{cc}(\tau_o \text{ med})$	10

ACUR: acurácia; SEN: sensibilidade; ESP: especificidade.

A classificação para as quatro classes melhorou quando combinadas as características, mostrando o potencial discriminatório da combinação de medidas. As taxas de acurácia média, sensibilidade e especificidade encontradas são superiores a 70%. As características  $d_{cc}(\tau \text{ otimo})$  e  $d_{cc}(\tau_o \text{ min})$  aparecem em todas as combinações, associadas a outras medidas para a discriminação entre vozes Desviadas vs. Saudável, Rugosa vs. Saudável, Soprosa vs. Saudável e Tensa vs. Saudável. As melhores grades utilizadas nas classificações foram as grades 5 e 10. Na classificação com as medidas combinadas a melhor classificação deu-se para a distinção entre vozes soprosas e saudáveis com taxa de acurácia de 85%, sensibilidade de 85% e especificidade próxima a 84% utilizando 2 medidas.

Na Tabela 29 observa-se a matriz de confusão para a classificação Rugosa vs. Soprosa, apresentando uma acurácia de 74,19% utilizando como medida  $d_{cc}(\tau \text{ otimo}), d_{cc}(\tau_o \text{ min}), d_{cc}(\tau_o \text{ med}), d_{cc}(\tau_o \text{ max})$  e grade 10. Dos 30 sinais rugosos 76% (24 sinais) foram classificados como rugosos e dos 30 sinais soprosos 76% (24 sinais) caracterizados como soprosos.

**Tabela 29 - Matriz de confusão para o melhor caso na discriminação entre sinais de voz rugosos e sinais de voz soprosos – medidas combinadas – MCC.**

CLASSE	RUGOSA	SOPROSA
<b>RUGOSA</b>	24	6
<b>SOPROSA</b>	6	24

Na Tabela 30 observa-se a matriz de confusão para a classificação Rugosa vs. Tensa, apresentando uma acurácia de 70,36% utilizando o  $d_{cc}(\tau_o \text{ min})$  e  $d_{cc}(\tau_o \text{ med})$  como medidas e

grade 10. Dos 30 sinais rugosos 71,6% (21 sinais) foram classificados como rugosos e dos 30 sinais tensos 71,6% (21 sinais) caracterizados como tensos.

**Tabela 30 - Matriz de confusão para o melhor caso na discriminação entre sinais de voz rugosos e sinais de voz tensos – medidas individuais – MCC.**

CLASSE	RUGOSA	TENSA
RUGOSA	21	9
TENSA	9	21

Na Tabela 31 observa-se a matriz de confusão para a classificação Tensa vs. Soprosa, apresentando uma acurácia de 72,37% utilizando o  $d_{cc}$  ( $\tau$  ótimo),  $d_{cc}$  ( $\tau_o$  med),  $d_{cc}$  ( $\tau_o$  max) como medidas com grade 20. Dos 30 sinais tensos 74,6% (23 sinais) foram classificados como tensos e dos 30 sinais soprosos 71,6% (21 sinais) caracterizados como soprosos.

**Tabela 31 - Matriz de confusão para o melhor caso na discriminação entre sinais de voz tensos e sinais de voz soprosos – medidas individuais – MCC.**

CLASSE	TENSA	SOPROSA
TENSA	23	8
SOPROSA	9	21

Nas classificações realizadas entre os desvios vocais observou-se que houve um ganho pequeno na classificação para a distinção entre vozes rugosas e soprosas com a grade 10. Quanto às outras classificações, não houve ganho significativo quando as medidas foram combinadas. Na classificação entre vozes rugosas e tensas o melhor resultado também foi obtido com a grade 10. Apenas a classificação entre vozes tensas e soprosas obteve resultado próximo a 70% com a grade 20.

### 5.2.2 Método da Diferença

Na Tabela 32 estão apresentados os resultados com acurácia (ACUR), sensibilidade (SEN) e especificidade (ESP), relacionando a medida, de forma individual, e a grade que proporcionaram o melhor desempenho com o da Diferença (MDIF) para a base LIEV/UFPB.

**Tabela 32 - Melhores resultados para a classificação com as características individuais – MDIF.**

Classificação	ACUR (%)	SEN (%)	ESP (%)	Medida	Grade
Desviadas vs. Saudável	78,83 ± 0,29	78,63 ± 0,12	76,63 ± 0,62	$ d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) $	10
Rugosa vs. Saudável	68,33 ± 3,17	67,61 ± 3,96	68,35 ± 3,49	$ d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) $	10
Soprosa vs. Saudável	72,67 ± 0,46	76,46 ± 1,52	73,13 ± 1,11	$ d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ med}) $	5
Tensa vs. Saudável	69,33 ± 2,29	73,00 ± 2,51	67,71 ± 1,90	$ d_{cc}(\tau_o \text{ med}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) $	20

ACUR: acurácia; SEN: sensibilidade; ESP: especificidade.

Observa-se pela Tabela 32 que a classificação para a distinção entre vozes desviadas e vozes saudáveis foi a melhor entre as classes, atingindo acurácia de 78%, com sensibilidade e especificidade superiores a 76% utilizando como medida  $|d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min})|$  com a grade 10. Na classificação entre vozes soprosas e saudáveis foi observado que a característica que melhor classificou foi  $|d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ med})|$  com a grade 5 apresentando acurácia superior a 70%. As classificações entre vozes rugosas e saudáveis e entre vozes tensas e saudáveis apresentaram acurácias inferiores a 70%, onde a classificação entre vozes rugosas e saudáveis utilizou como medida  $|d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min})|$  e grade 10 e a classificação entre vozes tensas e saudáveis utilizou como medidas  $|d_{cc}(\tau_o \text{ med}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min})|$  e grade 20.

Na Tabela 33 observa-se a matriz de confusão para o melhor resultado na classificação entre vozes Rugosa vs. Soprosa, apresentando uma acurácia de 75,33% utilizando como medida o  $|d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ med})|$  e grade 5. Dos 30 sinais rugosos 74,6% (23 sinais) foram classificados como rugosos e dos 30 sinais soprosos 73,3% (22 sinais) caracterizados como soprosos.

**Tabela 33 - Matriz de confusão para a discriminação entre sinais de voz rugosos e sinais de voz soprosos – medidas individuais – MDIF.**

CLASSE	RUGOSA	SOPROSA
RUGOSA	23	7
SOPROSA	8	22

Na Tabela 34 observa-se a matriz de confusão para a classificação Rugosa vs. Tensa, apresentando uma acurácia de 72,83% utilizando o  $|d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ med})|$  como medida e grade 5. Dos 30 sinais rugosos 71,6% (21 sinais) foram classificados como rugosos e dos 30 sinais tensos 71,6% (21 sinais) caracterizados como soprosos.

**Tabela 34 - Matriz de confusão para a discriminação entre sinais de voz rugosos e sinais de voz tensos – medidas individuais – MDIF.**

CLASSE	RUGOSA	TENSA
RUGOSA	21	9
TENSA	9	21

Na Tabela 35 observa-se a matriz de confusão para a classificação Tensa vs. Soprosa, apresentando uma acurácia de 69,67% utilizando o  $|d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min})|$  como medida, com a grade 40. Dos 30 sinais tensos, 73,3% (22 sinais) foram classificados como tensos e dos 30 sinais soprosos 63,6% (19 sinais) caracterizados como soprosos.

**Tabela 35 - Matriz de confusão para a discriminação entre sinais de voz tensos e sinais de voz soprosos – medidas individuais – MDIF.**

CLASSE	TENSA	SOPROSA
TENSA	22	8
SOPROSA	11	19

Nas classificações realizadas entre os desvios vocais observou-se que a melhor medida individual foi o  $|d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ med})|$  realizando a classificação entre sinais rugosos e soprosos e a classificação entre sinais rugosos e tensos, ambos com a grade 5. E, na distinção entre vozes tensas e soprosas a característica que melhor classificou foi  $|d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min})|$  com a grade 40, sendo que a taxa de acurácia não foi tão satisfatória sendo inferior a 70%. A melhor classificação com as medidas individuais entre os desvios vocais deu-se para a distinção entre sinais rugosos e soprosos.

Na Tabela 36, é apresentada a classificação com as medidas combinadas para o Método da Diferença (MDIF).

**Tabela 36 -Melhores resultados para a classificação com as características combinadas – MDIF.**

Classificação	ACUR (%)	SEN (%)	ESP (%)	Medida	Grade
<b>Desviadas vs. Saudável</b>	79,27 ± 0,84	80,47 ± 0,41	76,67 ± 9,48	$ d_{cc}(\tau_o \text{ med}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) ,  d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) $	5
<b>Rugosa vs. Saudável</b>	69,29 ± 2,01	68,07 ± 2,79	68,17 ± 6,29	$ d_{cc}(\tau_o \text{ med}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) ,  d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) $	10
<b>Soprosa vs. Saudável</b>	78,36 ± 2,84	78,67 ± 2,77	77,04 ± 3,17	$ d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ med}) ,  d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) $	5
<b>Tensa vs. Saudável</b>	78,59 ± 2,34	79,47 ± 3,25	79,16 ± 1,99	$ d_{cc}(\tau_o \text{ med}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) ,  d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ med}) $	10

ACUR: acurácia; SEN: sensibilidade; ESP: especificidade.

A classificação para a classificação entre vozes soprosas e saudáveis e entre vozes tensas e saudáveis melhorou quando combinadas as características, mostrando o potencial discriminatório da combinação das medidas. As taxas de acurácia média, sensibilidade e especificidade encontradas são superiores a 70% em três casos de classificação (Desviadas Vs. Saudáveis, Soprosas Vs. Saudáveis e Tensas Vs. Saudáveis). Na classificação entre vozes rugosas e saudáveis a combinação das características na melhorou a classificação apresentando taxa semelhante a obtida com as características individuais, além de serem inferiores a 70%. As melhores grades utilizadas nas classificações foram a grade 5 e 10. Na classificação com as medidas combinadas a melhor classificação deu-se para a distinção entre vozes soprosas e saudáveis e entre vozes tensas e saudáveis com taxa de acurácia de 78%, sensibilidade de 78% e especificidade superior a 77% utilizando duas medidas.

Na Tabela 37 observa-se a matriz de confusão para a classificação Rugosa vs. Soprosa, apresentando uma acurácia de 68,56% utilizando como medida  $|d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ med})|$ ,  $|d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min})|$  e grade 5. Dos 30 sinais rugosos 71,6% (21 sinais) foram classificados como rugosos e dos 30 sinais soprosos 67% (20 sinais) caracterizados como soprosos.

**Tabela 37 - Matriz de confusão para o melhor caso na discriminação entre sinais de voz rugosos e sinais de voz soprosos – medidas combinadas – MDIF.**

CLASSE	RUGOSA	SOPROSA
RUGOSA	21	9
SOPROSA	10	20

Na Tabela 38 observa-se a matriz de confusão para a classificação Rugosa vs. Tensa, apresentando uma acurácia de 69,18% utilizando o  $|d_{cc}(\tau_o \text{ med}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min})|$ ,  $|d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ med})|$ ,  $|d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min})|$  como medidas e grade 5. Dos 30 sinais rugosos 71,6% (21 sinais) foram classificados como rugosos e dos 30 sinais tensos 67% (20 sinais) caracterizados como tensos.

**Tabela 38 - Matriz de confusão para o melhor caso na discriminação entre sinais de voz rugosos e sinais de voz tensos – medidas individuais – MDIF.**

CLASSE	RUGOSA	TENSA
RUGOSA	21	9
TENSA	10	20

Na Tabela 39 observa-se a matriz de confusão para a classificação Tensa vs. Soprosa, apresentando uma acurácia de 69,96% utilizando o  $|d_{cc}(\tau_o \text{ med}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min})|$ ,  $|d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ med})|$ ,  $|d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min})|$  como medidas com grade 10. Dos 30 sinais tensos 73,3% (22 sinais) foram classificados como tensos e dos 30 sinais soprosos 63,6% (19 sinais) caracterizados como soprosos.

**Tabela 39 - Matriz de confusão para o melhor caso na discriminação entre sinais de voz tensos e sinais de voz soprosos – medidas individuais – MDIF.**

CLASSE	TENSA	SOPROSA
TENSA	22	8
SOPROSA	11	19

Nas classificações realizadas entre os desvios vocais observou-se que não houve ganho na classificação, pelo contrário, houve redução nas taxas de classificação para as três classes. Isto demonstra que a combinação das características extraídas para método da diferença não são eficientes na classificação entre os desvios quando combinadas. Acredita-se que este método não foi tão bom na classificação entre os desvios por que houve muita

variação nos valores obtidos para o  $\tau$  ótimo para cada classe da base de dados, dificultando uma estimativa de qual seria o melhor  $\tau_o$  min,  $\tau_o$  max e  $\tau_o$  med para aplicação deste método.

### 5.2.3 Método da Similaridade

Na Tabela 40 estão apresentados os melhores resultados com acurácia (ACUR), sensibilidade (SEN) e especificidade (ESP), relacionando a medida, de forma individual, e as grades que proporcionaram o melhor desempenho com o Método da Similaridade (MSIM) para a base LIEV/UFPB.

**Tabela 40 - Melhores resultados para a classificação com as características individuais - MSIM.**

Classificação	ACUR (%)	SEN (%)	ESP (%)	Medida	Grade
<b>Desviadas vs. Saudável</b>	75,83 ± 0,30	75,83 ± 8,22	76,10 ± 0,54	$d_{sim} (\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med})$	20
<b>Rugosa vs. Saudável</b>	73,33 ± 2,01	80,38 ± 1,75	69,50 ± 2,60	$d_{sim} (\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ max})$	20
	75,00 ± 1,96	80,38 ± 2,15	72,48 ± 2,51	$d_{sim} (\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ max})$	10
<b>Soprosa vs. Saudável</b>	66,67 ± 1,47	65,71 ± 3,80	67,80 ± 1,87	$d_{sim} (\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ max})$	10
<b>Tensa vs. Saudável</b>	65,00 ± 1,97	67,20 ± 2,90	64,65 ± 2,54	$d_{sim} (\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ max})$	20

ACUR: acurácia; SEN: sensibilidade; ESP: especificidade.

Na Tabela 40 as classificações para a distinção entre vozes desviadas e vozes saudáveis e a distinção entre vozes rugosas e saudáveis foram apresentaram as maiores taxas de acurácia, atingindo 75% na classificação, utilizando como medida  $d_{sim} (\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med})$  com grade 20 para a primeira classificação e  $d_{sim} (\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ max})$  com grade 10 para a segunda classificação. Na classificação entre vozes soprosas e saudáveis e vozes tensas e saudáveis a classificação não foi tão efetiva, já que as taxas de acurácia, sensibilidade e especificidade foram inferiores a 70% utilizando as medidas de forma individual.

Na Tabela 41 observa-se a matriz de confusão para a classificação Rugosa vs. Soprosa, apresentando uma acurácia de 71,67% utilizando como medida o  $d_{sim} (\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med})$  e grade 20. Dos 30 sinais rugosos 73,3% (22 sinais) foram classificados como rugosos e dos 30 sinais soprosos 67% (20 sinais) caracterizados como soprosos.

**Tabela 41 - Matriz de confusão para o melhor caso na discriminação entre sinais de voz rugosos e sinais de voz soprosos – medidas individuais - MSIM.**

CLASSE	RUGOSA	SOPROSA
<b>RUGOSA</b>	22	8
<b>SOPROSA</b>	10	20

Na Tabela 42 observam-se as matrizes de confusão para a classificação Rugosa vs. Tensa, apresentando uma acurácia de 70,83% utilizando o  $d_{sim}$  ( $\tau_o$  min e  $\tau_o$  med) como medida e grade 5. Dos 30 sinais rugosos 74,6% (23 sinais) foram classificados como rugosos e dos 30 sinais tensos 67% (20 sinais) caracterizados como tensos.

**Tabela 42 - Matriz de confusão para o melhor caso na discriminação entre sinais rugosos e sinais de tensos – medidas individuais - MSIM.**

CLASSE	RUGOSA	TENSA
RUGOSA	23	7
TENSA	10	20

Na Tabela 43 observa-se a matriz de confusão para a classificação Tensa vs. Soprosa, apresentando uma acurácia de 68,33% utilizando o  $d_{sim}$  ( $\tau_o$  med e  $\tau_o$  max) como medida com grade 40. Dos 30 sinais tensos 73,3% (22 sinais) foram classificados como tensos e dos 30 sinais soprosos 67% (20 sinais) caracterizados como soprosos.

**Tabela 43 - Matriz de confusão para o melhor caso na discriminação entre sinais de voz tensos e sinais de voz soprosos – medidas individuais - MSIM.**

CLASSE	TENSA	SOPROSA
TENSA	22	8
SOPROSA	10	20

Nas classificações realizadas entre os desvios vocais observou-se que a melhor medida individual foi o  $d_{sim}$  ( $\tau_o$  min e  $\tau_o$  med) e  $d_{sim}$  ( $\tau_o$  med e  $\tau_o$  max), com maior destaque para a primeira medida para a classificação entre vozes rugosas e soprosas e vozes rugosas e tensas respectivamente. Estas classificações obtiveram acurácias superiores a 70%, mas a classificação entre vozes tensas e soprosas obteve acurácia inferior a 70%. Pelo critério empregado por Hosmer e Lemeshow (2000), a discriminação entre os desvios podem ser considerados aceitáveis, por estar entre 70 e 80% de acurácia.

Na Tabela 44, é apresentado um resumo da classificação, com os melhores resultados, utilizando as medidas combinadas para o Método da Similaridade (MSIM).

**Tabela 44 - Melhores resultados para a classificação com as características combinadas - MSIM.**

Classificação	ACUR (%)	SEN (%)	ESP (%)	Medida	Grade
<b>Desviadas vs. Saudável</b>	82,50 ± 1,23	72,90 ± 3,40	84,40 ± 1,44	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med}), d_{sim}(\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ max}), d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ max})$	20
<b>Rugosa vs. Saudável</b>	81,58 ± 1,94	83,33 ± 1,60	82,85 ± 3,34	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med}), d_{sim}(\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ max}), d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ max})$	5
<b>Soprosa vs. Saudável</b>	87,33 ± 1,04	92,60 ± 2,40	84,03 ± 1,57	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med}), d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ max}), d_{sim}(\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ max})$	40
<b>Tensa vs. Saudável</b>	73,56 ± 2,12	71,83 ± 1,69	80,15 ± 2,83	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med}), d_{sim}(\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ max})$	20

ACUR: acurácia; SEN: sensibilidade; ESP: especificidade.

A classificação para as quatro classes melhorou quando combinadas as características, mostrando o potencial discriminatório da combinação de medidas. As taxas de acurácia média, sensibilidade e especificidade encontradas são superiores a 73%. A característica  $d(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med})$  está presente em todas as combinações, associadas a outras medidas para a discriminação para todos os casos de classificação. A grade que mais se destacou foi a grade 20. Na classificação com as medidas combinadas a melhor classificação deu-se para a distinção entre vozes soprosas e saudáveis com taxa de acurácia superior a 87%, sensibilidade de 92% e especificidade de 84% utilizando 3 medidas.

Na Tabela 45 observa-se a matriz de confusão para o melhor caso na classificação Rugosa vs. Soprosa com as medidas combinadas, apresentando uma acurácia de 80,00% utilizando como medidas  $d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med}), d_{sim}(\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ max}), d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ max})$  e grade 10. Dos 30 sinais rugosos 83% (25 sinais) foram classificados corretamente como rugosos e dos 30 sinais soprosos 83% (25 sinais) caracterizados corretamente como soprosos.

**Tabela 45 - Matriz de confusão para a discriminação entre sinais de voz rugosos e sinais de voz soprosos – medidas combinadas - MSIM.**

CLASSE	RUGOSA	SOPROSA
<b>RUGOSA</b>	25	5
<b>SOPROSA</b>	5	25

Na Tabela 46 observa-se a matriz de confusão para a classificação Rugosa vs. Tensa, apresentando uma acurácia de 75,23% utilizando o  $d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med}), d_{sim}(\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ max}), d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ max})$  como medidas e grade 40. Dos 30 sinais rugosos 76% (24 sinais) foram classificados corretamente como rugosos e dos 30 sinais tensos 73,3% (22 sinais) caracterizados corretamente como tensos.

**Tabela 46 - Matriz de confusão para o melhor caso na discriminação entre sinais de voz rugosos e sinais de voz tensos – medidas combinadas - MSIM.**

CLASSE	RUGOSA	TENSA
RUGOSA	24	6
TENSA	8	22

Na Tabela 47 observa-se a matriz de confusão para a classificação Tensa vs. Soprosa, apresentando uma acurácia de 78% utilizando  $d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ max})$ ,  $d_{sim}(\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ max})$  como medidas com grade 40. Dos 30 sinais tensos 74,6% (23 sinais) foram classificados corretamente como tensos e dos 30 sinais soprosos 76% (24 sinais) caracterizados corretamente como soprosos.

**Tabela 47 - Matriz de confusão para a discriminação entre sinais de voz tensos e sinais de voz soprosos – medidas combinadas - MSIM.**

CLASSE	TENSA	SOPROSA
TENSA	23	7
SOPROSA	5	24

Nas classificações realizadas entre os desvios vocais observou-se que houve um ganho substancial na classificação entre vozes rugosas e soprosas e principalmente entre vozes tensas e soprosas, sendo que no segundo caso o ganho foi superior a 10% na correta classificação dos sinais, comparando-se o uso das características individuais com a combinação das medidas. Estes ganhos mostram que o potencial discriminatório pode ser superior quando combinadas as características. A melhor classificação utilizando as características combinadas ocorreu para a distinção entre vozes rugosas e soprosas atingindo acurácia média de 80%.

#### **5.2.4 Método da Contagem de Caixas Ponderadas**

Na Tabela 48 estão apresentados os resultados com acurácia (ACUR), sensibilidade (SEN) e especificidade (ESP), relacionando a medida, de forma individual, e a grade que proporcionaram o melhor desempenho com o Método da Contagem de Caixas Ponderadas (MCCP) para a base LIEV/UFPB.

**Tabela 48 - Melhores resultados para a classificação com as características individuais - MCCP.**

Classificação	ACUR (%)	SEN (%)	ESP (%)	Medida	Grade
<b>Desviadas vs. Saudável</b>	75,83 ± 2,33	76,11 ± 0,66	74,57 ± 0,87	$ d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) $	20
<b>Rugosa vs. Saudável</b>	61,67 ± 1,49	68,83 ± 4,06	58,54 ± 1,28	$d_{ccp}(\tau_o \text{ max})$	10
<b>Soprosa vs. Saudável</b>	75,00 ± 1,19	72,73 ± 1,38	76,82 ± 2,14	$ d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) $	10
<b>Tensa vs. Saudável</b>	64,17 ± 2,51	66,73 ± 2,83	63,94 ± 3,50	$d_{ccp}(\tau_o \text{ max})$	20

ACUR: acurácia; SEN: sensibilidade; ESP: especificidade.

Na Tabela 48 as classificações para a distinção entre vozes desviadas e vozes saudáveis e a distinção entre vozes soprosas e saudáveis foram as mais apresentaram as melhores acurácias na discriminação entre as classes, atingindo acurácia de 75%, utilizando como medida  $|d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ med})|$  com grade 20 para a primeira classificação e  $|d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min})|$  com grade 10 para a segunda classificação. Na classificação entre vozes rugosas e saudáveis e entre vozes tensas e saudáveis a classificação não foi tão efetiva, já que as taxas de acurácia, sensibilidade e especificidade foram inferiores a 65% utilizando as medidas de forma individual.

Na Tabela 49 observa-se a matriz de confusão para o melhor caso na classificação Rugosa vs. Soprosa, pelo método da Contagem de Caixas Ponderadas (MCCP) apresentando uma acurácia de 77,50% utilizando como medida o  $|d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min})|$  e grade 20. Dos 30 sinais rugosos 83,3% (25 sinais) foram classificados corretamente como rugosos e dos 30 sinais soprosos 73,3% (22 sinais) caracterizados corretamente como soprosos.

**Tabela 49 - Matriz de confusão para a discriminação entre sinais de voz rugosos e sinais de voz soprosos – medidas individuais - MCCP.**

CLASSE	RUGOSA	SOPROSA
<b>RUGOSA</b>	25	5
<b>SOPROSA</b>	8	22

Na Tabela 50 observa-se a matriz de confusão para para o melhor caso na classificação Rugosa vs. Tensa, apresentando uma acurácia de 63,33% utilizando o  $|d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min})|$  como medida e grade 40. Dos 30 sinais rugosos 63,6% (19 sinais) foram classificados corretamente como rugosos e dos 30 sinais tensos 60% (18 sinais) caracterizados corretamente como tensos.

**Tabela 50 - Matriz de confusão para a discriminação entre sinais de voz rugosos e sinais de voz tensos – medidas individuais - MCCP.**

CLASSE	RUGOSA	TENSA
RUGOSA	19	11
TENSA	12	18

Na Tabela 51 observa-se a matriz de confusão para o melhor caso na classificação Tensa vs. Soprosa, apresentando uma acurácia de 65% utilizando o  $d_{ccp}$  ( $\tau$ ótimo) como medida com grade 40. Dos 30 sinais tensos 67% (20 sinais) foram classificados corretamente como tensos e dos 30 sinais soprosos 60% (18 sinais) caracterizados corretamente como soprosos.

**Tabela 51 - Matriz de confusão para a discriminação entre sinais de voz tensos e sinais de voz soprosos – medidas individuais - MCCP.**

CLASSE	TENSA	SOPROSA
TENSA	20	10
SOPROSA	12	18

Nas classificações realizadas entre os desvios vocais, aplicando o método da Contagem de Caixas Ponderadas (MCCP), observou-se que a melhor classificação foi obtida para a distinção entre vozes rugosas e soprosas com  $|d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min})|$  como medida, utilizando a grade 20. Na classificação entre vozes rugosas e tensas e vozes tensas e soprosas a classificação apresentou taxas de acurácia inferiores a 70%, sendo consideradas abaixo do limiar para discriminação aceitável (Hosmer-Lemeshow; 2000).

Na Tabela 52, é apresentada a classificação com as medidas combinadas para o Método da Contagem de Caixas Ponderadas (MCCP).

**Tabela 52 - Melhores resultados para a classificação com as características combinadas -MCCP.**

Classificação	ACUR (%)	SEN (%)	ESP (%)	Medida	Grade
<b>Desviadas vs. Saudável</b>	$76,25 \pm 0,79$	$75,32 \pm 0,75$	$77,83 \pm 0,77$	$d_{ccp}(\tau_o \text{ min}), d_{ccp}(\tau_o \text{ max}),  d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) $	10
<b>Rugosa vs. Saudável</b>	$74,17 \pm 3,10$	$74,05 \pm 3,34$	$72,38 \pm 3,00$	$d_{ccp}(\tau_o \text{ min}), d_{ccp}(\tau_o \text{ med}), d_{ccp}(\tau_o \text{ max}),  d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) $	40
	$75,83 \pm 3,98$	$72,47 \pm 3,88$	$75,00 \pm 4,29$	$d_{ccp}(\tau_o \text{ min}), d_{ccp}(\tau_o \text{ med}), d_{ccp}(\tau_o \text{ max}),  d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) $	10
<b>Soprosa vs. Saudável</b>	$85,00 \pm 1,08$	$84,38 \pm 1,15$	$86,44 \pm 1,88$	$d_{ccp}(\tau_o \text{ min}), d_{ccp}(\tau_o \text{ med}),  d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) ,  d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) $	40
<b>Tensa vs. Saudável</b>	$72,50 \pm 2,71$	$70,08 \pm 3,15$	$74,60 \pm 3,44$	$d_{ccp}(\tau \text{ otimo}), d_{ccp}(\tau_o \text{ max}),  d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) ,  d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) $	40

ACUR: acurácia; SEN: sensibilidade; ESP: especificidade.

A classificação para as quatro classes melhorou quando combinadas as características, principalmente na distinção entre vozes rugosas Vs. saudáveis e tensas Vs. saudáveis mostrando o potencial discriminatório da combinação de medidas. As taxas de acurácia média, sensibilidade e especificidade encontradas são superiores a 70% em todos os casos. As características  $d_{ccp}(\tau_o \text{ min})$  e  $|d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min})|$  estão presentes em todas as combinações, associadas a outras medidas para todos os casos de classificação. A grade que mais se destacou foi a grade 40. Na classificação com as medidas combinadas a melhor classificação deu-se para a distinção entre vozes soprosas e saudáveis com taxa de acurácia de 85%, sensibilidade de 84% e especificidade de 86% utilizando 4 medidas, taxas consideradas excelentes, segundo o critério empregado por Hosmer- Lemeshow (2000).

Na Tabela 53 observa-se a matriz de confusão para a classificação Rugosa vs. Soprosa com as medidas combinadas, para o método das caixas ponderadas (MCCP), apresentando uma excelente acurácia de 85%, utilizando como medidas  $d_{ccp}(\tau \text{ otimo})$ ,  $d_{ccp}(\tau_o \text{ min})$ ,  $d_{ccp}(\tau_o \text{ med})$ ,  $|d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min})|$  e grade 5. Dos 30 sinais rugosos 90% (27 sinais) foram classificados corretamente como rugosos e dos 30 sinais soprosos 83,3% (25 sinais) caracterizados corretamente como soprosos.

**Tabela 53 - Matriz de confusão para a discriminação entre sinais de voz rugosos e sinais de voz soprosos – medidas combinadas - MCCP.**

CLASSE	RUGOSA	SOPROSA
RUGOSA	27	3
SOPROSA	5	25

Na Tabela 54 observa-se a matriz de confusão para a classificação Rugosa vs. Tensa, apresentando uma acurácia de 71,67% utilizando o  $d_{ccp}(\tau_o \text{ min})$ ,  $d_{ccp}(\tau_o \text{ med})$ ,  $d_{ccp}(\tau_o \text{ max})$ ,  $|d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min})|$ ,  $|d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min})|$ ,  $|d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ med})|$  como medidas e grade 40. Dos 30 sinais rugosos 73,3% (22 sinais) foram classificados corretamente como rugosos e dos 30 sinais tensos 67% (20 sinais) caracterizados corretamente como tensos.

**Tabela 54 - Matriz de confusão para a discriminação entre sinais de voz rugosos e sinais de voz tensos – medidas combinadas - MCCP.**

CLASSE	RUGOSA	TENSA
RUGOSA	22	8
TENSA	10	20

Na Tabela 55 observam-se as matrizes de confusão para a classificação Tensa vs. Soprosa, apresentando uma acurácia de 70% utilizando  $d_{ccp}(\tau \text{ otimo})$ ,  $d_{ccp}(\tau_o \text{ min})$ ,  $d_{ccp}(\tau_o \text{ med})$ ,  $d_{ccp}(\tau_o \text{ max})$ ,  $|d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min})|$ ,  $|d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min})|$  como medidas

com grade 40. Dos 30 sinais tensos 71,6% (21 sinais) foram classificados corretamente como tensos e dos 30 sinais soprosos 73,3% (22 sinais) caracterizados corretamente como soprosos.

**Tabela 55 - Matriz de confusão para a discriminação entre sinais de voz tensos e sinais de voz soprosos – medidas combinadas - MCCP.**

CLASSE	TENSA	SOPROSA
TENSA	21	9
SOPROSA	8	22

Nas classificações realizadas entre os desvios vocais houve um ganho na classificação relativo ao uso das medidas de forma individual para os três casos de classificação sendo que a classificação que obteve destaque foi entre vozes rugosas e soprosas atingindo uma acurácia de 85%, considerada excelente, utilizando 4 medidas e a grade 5. As outras classificações obtiveram destaque coma grade 40. E as medidas  $d_{ccp}(\tau_o \text{ min})$ ,  $d_{ccp}(\tau_o \text{ med})$  e  $|d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min})|$  apareceram em todas as classificações combinadas com outras características.

Observando o método da contagem de caixas ponderadas, é possível dizer que as medidas utilizadas de maneira individual não proporcionaram uma boa classificação, o que foi observado através da discriminação realizada pelo classificador, obtendo taxas de acurácia inferiores 80% na distinção entre os desvios vocais e os sinais saudáveis e taxas de acurácia inferiores a 70% na discriminação entre os desvios (RUG vs. SOP e TEN vs. SOP). Quando combinadas as características o desempenho da classificação aumentou significativamente.

### 5.2.5 Discussão dos resultados para a base de dados LIEV/UFPB

Na Tabela 56 é apresentada um resumo dos resultados, obtidos na classificação dos sinais desviados e saudáveis (Apêndice B). São apresentadas a acurácia (ACUR), a sensibilidade (SEN) e a especificidade (ESP), relacionando a medida, de forma individual, a grade e os métodos: Contagem de Caixas (MCC), Diferença (MDIF), Similaridade (MSIM) e Contagem de Caixas Ponderadas (MCCP) que proporcionaram o melhor desempenho para a base LIEV/UFPB.

Para determinar quais as melhores classificações foram observadas as taxas de acurácia, sensibilidade e especificidade que fossem superiores a 64%. Foi utilizada como base a classificação Hosmer & Lemeshow (2000) nesta base de dados. No entanto, para algumas classificações os melhores resultados obtiveram taxas de acurácia inferior a 70%, sendo aqui demonstrados para realizar uma comparação entre os métodos empregados a esta pesquisa.

**Tabela 56 - Resultado geral para a classificação com os métodos empregados - características individuais.**

CLASSE	ACUR (%)	SEN (%)	ESP (%)	MÉTODO	MEDIDA / GRADE	
<b>DES Vs. SDL</b>	78,36 ± 1,16	79,14 ± 0,28	79,32 ± 0,38	MCC	$d_{cc}(\tau_o \text{ max})$	10
	78,83 ± 0,29	78,63 ± 0,12	76,63 ± 0,62	MDIF	$ d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) $	10
	75,83 ± 2,33	76,11 ± 0,66	74,57 ± 0,87	MCCP	$ d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) $	20
	75,83 ± 0,30	75,83 ± 8,22	76,10 ± 0,54	MSIM	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med})$	20
<b>RUG Vs. SDL</b>	69,33 ± 2,43	68,81 ± 3,22	67,28 ± 2,35	MCC	$d_{cc}(\tau_o \text{ min})$	20
	68,33 ± 3,17	67,61 ± 3,96	68,35 ± 3,49	MDIF	$ d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) $	10
	73,33 ± 2,01	80,38 ± 1,75	69,50 ± 2,60	MSIM	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ max})$	20
	75,00 ± 1,96	80,38 ± 2,15	72,48 ± 2,51	MSIM	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ max})$	10
<b>TEN Vs. SDL</b>	71,50 ± 3,54	69,15 ± 3,33	72,80 ± 4,43	MCC	$d_{cc}(\tau_o \text{ min})$	20
	69,33 ± 2,29	73,00 ± 2,51	67,71 ± 1,90	MDIF	$ d_{cc}(\tau_o \text{ med}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) $	20
	65,00 ± 1,97	67,20 ± 2,90	64,65 ± 2,54	MSIM	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ max})$	20
	64,17 ± 2,51	66,73 ± 2,83	63,94 ± 3,50	MCCP	$d_{ccp}(\tau_o \text{ max})$	20
<b>SOP Vs. SDL</b>	72,67 ± 0,46	76,46 ± 1,52	73,13 ± 1,11	MDIF	$ d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ med}) $	5
	75,00 ± 1,19	72,73 ± 1,38	76,82 ± 2,14	MCCP	$ d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) $	10
	69,45 ± 1,58	70,24 ± 2,51	68,64 ± 2,60	MCC	$d_{cc}(\tau_o \text{ med})$	10
	66,67 ± 1,47	65,71 ± 3,80	67,80 ± 1,87	MSIM	$d_{sim}(\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ max})$	10

ACUR: acurácia; SEN: sensibilidade; ESP: especificidade.

Observa-se, pela Tabela 56, que os métodos não foram tão eficientes na discriminação dos desvios, sendo que os métodos que demonstraram melhores resultados (superiores a 70%), considerados aceitáveis (Hosmer-Lemeshow; 2000), foram o método da similaridade para a distinção entre vozes rugosas e saudáveis utilizando a grade 10, o método da contagem de caixas para a distinção entre vozes tensas e saudáveis com grade 20 e o método da contagem de caixas ponderadas para a distinção entre vozes soprosas e saudáveis com a grade 10.

Na distinção entre vozes desviadas e saudáveis os métodos que obtiveram taxas de acurácia, sensibilidade e especificidade mais elevados (em torno de 78%), foram os métodos da contagem de caixas e da diferença ambos com a grade 10. De maneira geral a grade 10 possuiu maior destaque na classificação com todos os métodos.

Na Tabela 57 estão apresentados os resultados com as medidas individuais referentes à discriminação entre sinais de vozes rugosas e soprosas, rugosas e tensas e tensas e soprosas para os melhores métodos.

**Tabela 57 - Resultado geral para a classificação entre sinais afetados por edema e por paralisia com os métodos empregados - características individuais.**

CLASSE	ACUR (%)	MÉTODO	MEDIDA	GRADE
RUG Vs. TEN	70,55 ± 2,75	MCC	$d_{cc} (\tau_o \text{ min})$	20
	72,83 ± 4,29	MDIF	$ d_{cc} (\tau_o \text{ max}) - d_{cc} (\tau_o \text{ med}) $	5
	70,83 ± 4,77	MSIM	$d_{sim} (\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med})$	5
RUG Vs. SOP	68,41 ± 2,77	MCC	$d_{cc} (\tau_o \text{ med})$	20
	75,33 ± 2,23	MDIF	$ d_{cc} (\tau_o \text{ max}) - d_{cc} (\tau_o \text{ med}) $	5
	77,50 ± 0,82	MCCP	$ d_{ccp} (\tau_o \text{ min}) - d_{ccp} (\tau_o \text{ med}) $	20
	71,67 ± 2,82	MSIM	$d_{sim} (\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med})$	20
TEN Vs. SOP	72,59 ± 3,27	MCC	$d_{cc} (\tau_o \text{ max})$	40
	68,33 ± 1,00	MSIM	$d_{sim} (\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ max})$	40
	69,67 ± 2,53	MDIF	$ d_{cc} (\tau_o \text{ max}) - d_{cc} (\tau_o \text{ min}) $	40
	65,00 ± 3,17	MCCP	$d_{ccp} (\tau \text{ ótimo})$	40

ACUR: acurácia; SEN: sensibilidade; ESP: especificidade.

Os métodos que obtiveram maior destaque na classificação entre os desvios, mesmo que apresentando acurácias inferiores a 80%, foram os métodos da contagem de caixas ponderadas com a grade 20 e 40, da contagem de caixas com a grade 20 e 40, da diferença com grades 5 e 40 e o método da similaridade com grades 20 e 40. Sendo que a melhor classificação foi dada para a discriminação entre vozes rugosas e soprosas com acurácia média de aproximadamente 77%, com o método da similaridade e grade 20.

Na Tabela 58 são apresentados os resultados com acurácia (ACUR), sensibilidade (SEN) e especificidade (ESP), relacionando a medida, de forma combinada, a grade e os métodos: Contagem de Caixas (MCC), Diferença (MDIF), Similaridade (MSIM) e Contagem de Caixas Ponderadas (MCCP) que proporcionaram o melhor desempenho para a base LIEV/UFPB. Para determinar quais as melhores classificações foram observadas as taxas de acurácia, sensibilidade e especificidade que fossem superiores a 70%.

A classificação que obtive maior destaque (Tabela 58) entre os desvios foi entre vozes soprosas e saudáveis quando combinadas as características atingindo acurácia de 87%, sensibilidade de 86% com especificidade de 89% na classificação, onde todos os métodos se comportaram de maneira eficiente. Taxas de classificação entre 80 e 90% foram obtidas em todos os casos de classificação, quando considerados os desvios padrão. Todas as grades mostraram bom desempenho, em que algumas grades são melhores para um método e para os outros não.

Tabela 58 - Resultado geral para a classificação com os métodos empregados - características combinadas.

CLASSE	ACUR (%)	SEN (%)	ESP (%)	MÉTODO	MEDIDA / GRADE	
<b>DES Vs. SDL</b>	82,50 ± 1,23	72,90 ± 3,40	84,40 ± 1,44	MSIM	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med}), d_{sim}(\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ max}), d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ max})$	20
	82,36 ± 0,36	79,36 ± 0,14	80,91 ± 0,54	MCC	$d_{cc}(\tau \text{ otimo}), d_{cc}(\tau_o \text{ min}), d_{cc}(\tau_o \text{ max})$	5
	79,27 ± 0,84	80,47 ± 0,41	76,67 ± 9,48	MDIF	$ d_{cc}(\tau_o \text{ med}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) ,  d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) $	5
	76,25 ± 0,79	75,32 ± 0,75	77,83 ± 0,77	MCCP	$d_{ccp}(\tau_o \text{ min}), d_{ccp}(\tau_o \text{ max}),  d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) $	10
<b>RUG Vs. SDL</b>	81,58 ± 1,94	83,33 ± 1,60	82,85 ± 3,34	MSIM	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med}), d_{sim}(\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ max}), d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ max})$	5
	75,83 ± 3,98	72,47 ± 3,88	75,00 ± 4,29	MCCP	$d_{ccp}(\tau_o \text{ min}), d_{ccp}(\tau_o \text{ med}), d_{ccp}(\tau_o \text{ max}),  d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) $	10
	74,17 ± 3,10	74,05 ± 3,34	72,38 ± 3,00	MCCP	$d_{ccp}(\tau_o \text{ min}), d_{ccp}(\tau_o \text{ med}), d_{ccp}(\tau_o \text{ max}),  d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) $	40
	73,29 ± 3,04	74,80 ± 6,64	74,32 ± 3,08	MCC	$d_{cc}(\tau \text{ otimo}), d_{cc}(\tau_o \text{ min}), d_{cc}(\tau_o \text{ max})$	10
<b>TEN Vs. SDL</b>	78,59 ± 2,34	79,47 ± 3,25	79,16 ± 1,99	MDIF	$ d_{cc}(\tau_o \text{ med}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) ,  d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ med}) $	10
	75,69 ± 2,92	79,47 ± 5,36	73,37 ± 2,58	MCC	$d_{cc}(\tau_o \text{ min}), d_{cc}(\tau_o \text{ med})$	10
	73,56 ± 2,12	71,83 ± 1,69	80,15 ± 2,83	MSIM	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med}), d_{sim}(\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ max})$	20
	72,50 ± 2,71	70,08 ± 3,15	74,60 ± 3,44	MCCP	$d_{ccp}(\tau \text{ otimo}), d_{ccp}(\tau_o \text{ max}),  d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) ,  d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) $	40
<b>SOP Vs. SDL</b>	87,33 ± 1,04	92,60 ± 2,40	84,03 ± 1,57	MSIM	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med}), d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ max}), d_{sim}(\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ max})$	40
	85,00 ± 1,08	84,38 ± 1,15	86,44 ± 1,88	MCCP	$d_{ccp}(\tau_o \text{ min}), d_{ccp}(\tau_o \text{ med}),  d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) ,  d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) $	40
	85,73 ± 1,55	85,16 ± 2,05	84,31 ± 1,29	MCC	$d_{cc}(\tau_o \text{ min}), d_{cc}(\tau_o \text{ med})$	5
	78,36 ± 2,84	78,67 ± 2,77	77,04 ± 3,17	MDIF	$ d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ med}) ,  d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) $	5

ACUR: acurácia; SEN: sensibilidade; ESP: especificidade.

Na Tabela 59 estão apresentados os resultados com as medidas individuais referentes à discriminação entre sinais de vozes rugosas e soprosas, rugosas e tensas e tensas e soprosas para os melhores métodos.

**Tabela 59 - Resultado geral para a classificação entre sinais afetados por edema e por paralisia com os métodos empregados - características combinadas.**

CLASSE	ACUR (%)	MÉTODO	MEDIDA /	GRADE
	75,23 ± 2,82	MSIM	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med}), d_{sim}(\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ max}), d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ max}),$	40
RUG Vs. TEN	71,67 ± 0,75	MCCP	$d_{ccp}(\tau_o \text{ min}), d_{ccp}(\tau_o \text{ med}), d_{ccp}(\tau_o \text{ max}),  d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) ,$	40
	70,36 ± 3,61	MCC	$ d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) ,  d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) $ $d_{cc}(\tau_o \text{ min}) \text{ e } d_{cc}(\tau_o \text{ med})$	10
	80,00 ± 1,93	MSIM	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med}), d_{sim}(\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ max}), d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ max})$	10
RUG Vs. SOP	85,00 ± 0,56	MCCP	$d_{ccp}(\tau \text{ otimo}), d_{ccp}(\tau_o \text{ min}), d_{ccp}(\tau_o \text{ med}),  d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) $	5
	74,19 ± 3,91	MCC	$d_{cc}(\tau \text{ otimo}), d_{cc}(\tau_o \text{ min}), d_{cc}(\tau_o \text{ med}), d_{cc}(\tau_o \text{ max})$	10
	78,00 ± 3,28	MSIM	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ max}), d_{sim}(\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ max})$	40
TEN Vs. SOP	72,37 ± 3,11	MCC	$d_{cc}(\tau \text{ otimo}), d_{cc}(\tau_o \text{ med}), d_{cc}(\tau_o \text{ max})$	20
	70,00 ± 3,87	MCCP	$d_{ccp}(\tau \text{ otimo}), d_{ccp}(\tau_o \text{ min}), d_{ccp}(\tau_o \text{ med}), d_{ccp}(\tau_o \text{ max}),  d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) ,$ $ d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) $	40

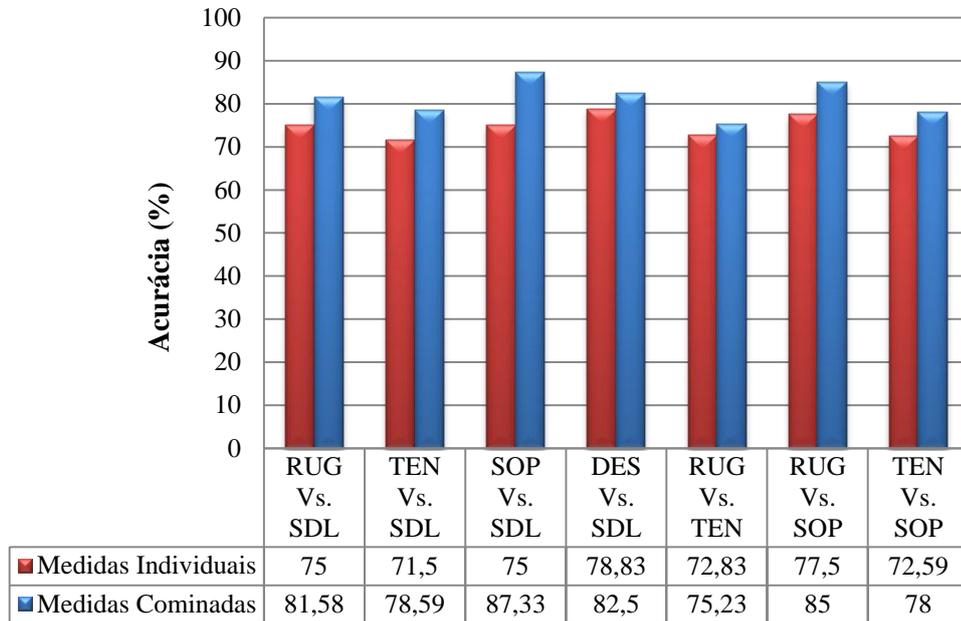
ACUR: acurácia; SEN: sensibilidade; ESP: especificidade.

Apenas os métodos da contagem de caixas, contagem de caixas ponderadas e da similaridade obtiveram destaque na classificação entre os desvios apresentando acurácias superiores a 70%. A grade que mais apareceu foi a grade 40, mas houve boa classificação também com as demais grades. A melhor classificação foi dada para a discriminação entre vozes rugosas e soprosas com acurácia média de 85%, com o método da contagem de caixas ponderadas e grade 5, apresentando ganho superior a 10%, mostrando que a combinação das medidas pode melhorar na classificação.

Na Figura 18 é apresentado um gráfico em barras com a comparação dos melhores resultados, obtidos com as características de maneira individual e combinada, para a base de dados LIEV/UFPB.

Observa-se pela Figura 18 que, quando combinada as características, houve um ganho na classificação atingindo taxas de acurácia de 87%. Não é possível destacar um método, pois os resultados foram semelhantes entre si, onde cada classe possuiu um destaque de classificação com diferentes métodos.

**Figura 18 - Gráfico em barras apresentando o comparativo do desempenho da classificação obtida com as medidas individuais e combinadas para a classificação dos sinais da base de dados LIEV/UFPB.**



Os resultados obtidos para a classificação dos desvios vocais pode não ter sido tão eficientes comparados aos resultados obtidos para a classificação das vozes patológicas por que os sinais utilizados podem apresentar mais que um tipo de desvio e em diferentes graus. Além disso, sinais desviados nem sempre são de locutores com laringe patológica.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa investiga a aplicabilidade das medidas extraídas a partir de imagens do espaço de fase reconstruído na análise acústica de distúrbios da voz. Foram empregados quatro métodos com o objetivo de identificar os desvios vocais utilizando a análise da dinâmica não linear. Cada método empregado extraiu uma quantidade de medidas a partir das imagens do espaço de fase reconstruído, utilizando quatro grades de tamanhos diferentes para avaliar quais dos métodos e grades possuíam maior potencial discriminatório.

Dois estudos de caso foram considerados para avaliar o uso das medidas extraídas a partir da imagem do espaço de fase reconstruído como método de análise acústica de distúrbios da voz. Os aspectos conclusivos, relacionados a cada um dos estudos de caso considerados nesta pesquisa, são apresentados a seguir. Há diferentes particularidades envolvidas em cada estudo de caso, sendo que, no primeiro caso, a voz é analisada levando em conta a condição da laringe (saudável ou patológica) e, no segundo caso, são avaliados os aspectos relacionados à qualidade vocal (rugosidade, sopro e tensão).

### 6.1 Aspectos Relacionados ao Estudo de Caso 1

Este estudo de caso diz respeito à investigação do potencial das medidas extraídas a partir de imagens do espaço de fase reconstruído em discriminar sinais de vozes patológicas (edema e paralisia nas pregas vocais) e sinais de vozes saudáveis. Os métodos empregados foram eficientes na discriminação entre sinais patológicos e saudáveis, bem como entre as patologias. Houve maior destaque quando as medidas foram combinadas, pois a classificação atingiu acurácia de 99% na classificação entre: sinais afetados por edema e sinais saudáveis; sinais afetados por paralisia e sinais saudáveis; e entre sinais patológicos e sinais saudáveis. Na classificação entre as patologias (edema e paralisia) o poder discriminativo não foi tão eficiente (85% de acurácia), se comparado com a distinção entre sinais patológicos e saudáveis. Os resultados da discriminação entre sinais saudáveis e patológicos foram comparáveis aos de Costa (2012), que obteve 95 - 100% de acurácia na classificação entre vozes patológicas e saudáveis utilizando quantificação de recorrência aliada a medidas não lineares. Os métodos empregados nesta pesquisa comparados aos métodos utilizados por Costa (2012) utilizam menos medidas para a classificação dos sinais (apenas uma medida para distinção entre sinais afetados por Edema e saudáveis com acurácia de 97%), possuindo assim menos custo computacional que as medidas propostas por Costa (2012).

Os métodos que obtiveram maior destaque foi o método da similaridade e da contagem de caixas ponderadas, sendo que, de maneira individual, o maior destaque foi dado para o método da contagem de caixas ponderadas. Esperava-se que as medidas extraídas com o  $\tau$  ótimo obtivessem maior êxito na classificação, pois esta seria a característica que melhor demonstraria a dinâmica do sistema, o que não ocorreu, pelo menos de maneira individual. As características de maneira individual que melhor classificaram os sinais patológicos e saudáveis e entre as patologias foram as medidas que utilizaram  $\tau_o$  min e  $\tau_o$  med. Entretanto, na classificação com as medidas combinadas, as características extraídas a partir de imagens do espaço de fase reconstruído, com o  $\tau$  ótimo, estão presentes nos melhores resultados de classificação.

Há variação nos resultados, de acordo com a grade empregada. Entre as quatro grades, de maneira geral, as grades 10 e 40 obtiveram maior frequência nos resultados com as características individuais, sendo possível escolher uma dessas grades para aplicar os métodos. Em alguns casos, a classificação com as características individuais foram bem semelhantes à classificação com as características combinadas, como no caso da discriminação entre sinais de voz afetados por edema e vozes saudáveis (acurácia com medida individual 97% e acurácia com medida combinada 99%). No caso da discriminação entre vozes saudáveis e patológicas, os resultados apontam maior eficiência para o método da similaridade, com a grade 20 (ver Tabela 22).

De uma maneira geral, ao analisar este estudo de caso, foi observado que as medidas extraídas a partir de imagens do espaço de fase reconstruído apresentam potencial discriminativo excelente (Hosmer-Lemeshow; 2000), para identificar características inerentes de cada classe e, assim, discriminar as classes, estudadas nesta pesquisa, com precisão.

## **6.2 Aspectos Relacionados ao Estudo de Caso 2**

Este estudo de caso diz respeito à investigação do potencial das medidas extraídas a partir de imagens do espaço de fase reconstruído em quantificar os desvios vocais (rugosidade, sopro e tensão). A maior motivação para realizar esta investigação foi que, na literatura, não foram encontradas pesquisas que utilizem os métodos empregados nesta pesquisa para a classificação de desvios da qualidade vocal identificados por meio da avaliação perceptivo-auditiva. Além disso, a busca por características com bom potencial discriminatório e métodos simples e de baixo custo é objeto de interesse por pesquisadores na área de análise acústica para avaliação de desordens vocais.

Os resultados da classificação, realizada com os desvios vocais, utilizando os métodos empregados, foram semelhantes entre si, não podendo ser destacado nenhum método, particularmente, utilizando as características de maneira individual. Quando combinadas as características, houve um ganho na classificação, sendo que na discriminação entre vozes rugosas e saudáveis e desviadas e saudáveis, o método que obteve maior destaque foi o da similaridade. Para a classificação entre vozes soprosas e saudáveis os métodos que obtiveram destaque foram o da similaridade e o método da contagem de caixas. Na classificação entre vozes tensas e saudáveis o método da diferença obteve maior destaque.

Os métodos não foram tão eficientes na discriminação dos desvios, quanto na detecção da presença do desvio, possuindo taxas de acurácia inferiores a 80% (considerados aceitáveis, segundo Hosmer-Lemeshow (2000)), na classificação com as medidas individuais e inferiores a 90% quando combinadas as medidas. Os resultados são semelhantes a alguns trabalhos encontrados na literatura que utilizam quantificação de recorrência, como o trabalho de Vieira (2014) e Costa (2012). E, quando combinadas as medidas, a discriminação entre os desvios a classificação não foi tão efetiva, podendo ser destacada a classificação entre vozes rugosas e soprosas atingindo excelente acurácia de 85%.

Acredita-se que isso deve ocorrer por que alguns sinais desviados podem apresentar mais do que um tipo de desvio (rugosidade, soprosidade e tensão) ao mesmo tempo, ou então por que há variação quanto ao grau do desvio, dificultando assim seu diagnóstico, o que não acontece para o banco de dados de vozes patológicas. O valor do tempo de atraso ótimo ( $\tau$  ótimo) dos sinais podem também influenciar os resultados, visto que houve uma grande variação nos valores do  $\tau$  ótimo entre as classes e dentro das classes como foi observada a Tabela 3. Mesmo apresentando taxas inferiores a 90%, observa-se que as medidas de maneira individual que melhor classificaram os desvios utilizaram as imagens do espaço de fase reconstruído com  $\tau_o$  min,  $\tau_o$  med e  $\tau_o$  max, não tendo ocorrência com o  $\tau$  ótimo. No entanto, quando combinadas as características, as medidas extraídas com imagens do espaço de fase reconstruído com o  $\tau$  ótimo estão presentes, aumentando a eficiência no processo de classificação. Na classificação dos desvios a maior ocorrência se deu para as grades 20 e 10, diferentemente do resultado obtido para o primeiro estudo de caso.

Quando comparados os resultados obtidos para a classificação dos desvios vocais com os resultados obtidos para a classificação dos sinais patológicos observa-se que não foram tão satisfatórios. Esse fato pode ter ocorrido por diversas causas como: a vogal utilizada (para o primeiro caso foi a vogal /a/ e para o segundo caso foi a vogal /e/), a frequência de amostragem para os desvios vocais era superior a utilizada para as patologias (44 KHz),

apenas alguns sinais desviados possuíam a laringe patológica, a quantidade de ciclos utilizados, entre outros fatores.

No caso dos desvios vocais é necessário realizar uma investigação quanto à presença de mais de um tipo de desvio nos sinais analisados, como também ao grau dos desvios, já que são fatores que podem influenciar na classificação dos sinais, sendo que esta investigação deve ser realizada considerando a influência dos parâmetros isolados.

### **6.3 Contribuições da Pesquisa**

As contribuições desta pesquisa de dissertação são as seguintes:

1. Aplicação de métodos que utilizam características das imagens do espaço de fase reconstruído em sinais de voz, utilizando o processamento de voz e imagem;
2. Aplicação das medidas extraídas das imagens do espaço de fase reconstruído na discriminação entre vozes saudáveis e vozes afetadas por patologias laríngeas;
3. Aplicação das medidas extraídas das imagens do espaço de fase reconstruído na análise de distúrbios vocais;
4. Utilização de diversas grades para a extração de características, observando a influência do tamanho das grades na classificação;
5. Investigação do uso de redes neurais MLP com as medidas das imagens do espaço de fase reconstruído na classificação das alterações vocais.

### **6.4 Sugestão para Trabalhos Futuros**

As sugestões para trabalhos futuros estão elencadas a seguir.

1. Investigação da combinação dos métodos empregados, com suas melhores características, a fim de aumentar o desempenho na classificação dos sinais;
2. Utilização das medidas extraídas a partir das imagens do espaço de fase reconstruído aliadas a outras medidas da dinâmica não linear ou da análise linear para classificar os sinais de voz patológicos ou desviados;
3. Utilização das medidas extraídas para quantificar o grau dos desvios vocais;
4. Investigação de fatores que podem influenciar na classificação dos sinais como: frequência de amostragem do sinal, vogal utilizada, etc.

5. Investigação do uso de outros classificadores nos casos tratados nesta pesquisa tais como máquinas de vetor de suporte e outras redes neurais além das redes MLP, bem como a investigação do potencial das medidas extraídas da imagem do espaço de fase reconstruído com a combinação desses classificadores;
6. Aplicação das medidas extraídas da imagem do espaço de fase reconstruído em outras bases de dados, bem como a análise distinta de acordo com fatores como grau de severidade da patologia entre outros;
7. Implementação das medidas extraídas da imagem do espaço de fase reconstruído para o desenvolvimento de uma ferramenta direcionada ao diagnóstico de distúrbios da voz.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMANN, A.; TRATNIG, R.; UNTERKOFER, K. Detecting Ventricular Fibrillation by Time-Delay Methods. In: **IEEE Transactions on Biomedical Engineering**, vol. 54, pp. 174-177, Jan. 2007. [Online]. Disponível em: 10.1109/TBME.2006.880909.
- BEHROOZMAND, R.; ALMASGANJ, F.; MORADI, M. H. Pathological Assesment of Vocal Fold Nodules and Polyp Using Accoustic Perturbation and Phase Space Features. In: **IEEE International Conference on Acoustics Speech and Signal Processing Proceedings**, vol.2, Mai. 2006. [Online]. Disponível em: 10.1109/ICASSP.2006.1660528.
- BEHLAU, M. **Voz, o Livro do Especialista**. Vol. 1, Ed. Revinter, Rio Janeiro-RJ, 2008.
- CIELO, C. A.; FINGER, L. S.; ROMAN-NIEHUES, G.; DEUSCHLE, V. P.; SIQUEIRA, M. A. Hábitos de Tabagismo e Etilismo em Disfonais. In: **Revista de Ciências Médicas e Biológicas**, 2010; vol. 9, nº 02, p. 119-125.
- COSTA, S. L. do N. C. **Análise Acústica, Baseada no Modelo Linear de Produção da Voz, para Discriminação de Vozes Patológicas**. (2008). p.161. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Campina Grande, PB, 2008. Disponível em: [http://www.difusaocientifica.com.br/dt/Tese\\_Silvana\\_Cunha.pdf](http://www.difusaocientifica.com.br/dt/Tese_Silvana_Cunha.pdf).
- COSTA, W. C. de A. **Análise Dinâmica Não Linear de Sinais de Voz para Detecção de Patologias Laríngeas**. (2012). Tese de Doutorado, Universidade Federal de Campina Grande, PB, p.176, 2012.
- COSTA, W. C. de A.; ASSIS, F. M.; NETO, B. G. A.; COSTA, S. C.; VIEIRA, V. J. D. Pathological Voice Classification Based on Recurrence Quantification Measures. In: **XXX Simpósio Brasileiro de Telecomunicações- SBrT 12**. Set. 2012. [Online]. Disponível em: [http://sbtr.org.br/sbtr2012/publicacoes/98742\\_1.pdf](http://sbtr.org.br/sbtr2012/publicacoes/98742_1.pdf).
- COSTA, W. C. de A.; COSTA, S. C.; ASSIS, F. M. de; NETO, B. G. A. Classificação de Sinais de Vozes Saudáveis e Patológicas por meio da Combinação entre Medidas da Análise Dinâmica Não Linear e codificação preditiva linear. **Revista Brasileira de Engenharia Biomédica**, vol. 29, nº 1, pp. 3-14, Mar, 2013 [Online]. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4322/rbeb.2013.010>.

COVER, T. M.; THOMAS, J. A. **Elements of Information Theory. (Wiley Series in Telecommunications and Signal Processing)**, 2ª Edição, Hardcover, 23 Sep 2007.

DAJER, M. E. **Análise de Sinais de Voz com Padrões Visuais de Dinâmica Vocal.** (2010). Tese de doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, SP, 2010. [Online]. Disponível em: [www.teses.usp.br/teses/disponiveis/82/82131/tde-16052006-095323/pt-br.php](http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/82/82131/tde-16052006-095323/pt-br.php).

FRASER, A. M.; SWINNEY, H. L. Independent Coordinates for Strange Attractors from Mutual Information. **Physical Review A**, vol. 33, no. 2, p. 1134, 1986.

FIEDLER-FERRARA, N.; PRADO, C. P. C. **Caos - Uma Introdução.** Editora Edgard Blücher, 1994.

GALDINO, D. G. **Análise Acústica não Linear dos Padrões Visuais de Dinâmica Vocal (PVDV) de Homens Adultos.** (2012). Dissertação de mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, Instituto de Química de São Carlos da Universidade de São Paulo, SP, 2012. Disponível em: [http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/82/82131/tde-29112013-095147/publico/TDE\\_DeboraGodoyGaldino.pdf](http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/82/82131/tde-29112013-095147/publico/TDE_DeboraGodoyGaldino.pdf). Acessado em 05/11/15.

HAYKIN, S. **Redes Neurais, Princípios e Práticas.** Porto Alegre, RS. BOOKMAN, 2001.

HOSMER, D. W. JR.; LEMESHOW, S. **Applied logistic regression.** 2º ed. New York: John Wiley & Sons; 2000.

KANTZ, H.; SCHREIBER, T. **Nonlinear Time Series Analysis.** Cambridge Univ Pr, 2004, vol. 7.

KAY ELEMETRICS. **Disordered Voice Database.** Model 4337. 3th ed. United States, 1994.

KENNEL, M.; BROWN, R.; ABARBANEL, H. **Determining embedding dimension for phasespace reconstruction using a geometrical construction.** *Physical review A*, vol. 45, no. 6, p. 3403, 1992.

KOULAOUZIDIS, G.; DAS, S.; CAPIELLO, G.; MAZOMENOS, E. B.; MAHARATNA, K.; MORGAN, J. A novel Approach for the Diagnosis of Ventricular Tachycardia based on Phase Space Reconstruction of ECG. **International Journal of Cardiology**, vol. 172, nº 1, pp. 31-33, Mar. 2014. [Online]. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijcard.2013.12.088>.

KUMAR, A.; MULLICK, S. K. Nonlinear Dynamical Analysis of Speech. **The Journal of the Acoustical Society of America**, vol. 100, p. 615, 1996.

LEE, J. Y.; CHOI, S. H.; JIANG, J. J.; HAHN, M. S.; CHOI, H-S. Perturbation and Nonlinear Dynamic Analysis of Sustained Vowels in Saudavel and Pathological Voices. **Journal of the Korean Society of Speech Science**, vol.2, nº 1, pp. 113-120, Fev. 2010.

LOPES, L. W.; SILVA, J. D. da; SIMÕES, L. B.; EVANGELISTA, D. da S.; SILVA, P. O. C.; ALMEIDA, A. A.; LIMA-SILVA, M. F. B. de. Relationship Between Acoustic Measurements and Self-evaluation in Patients With Voice Disorders. **Journal of Voice**, Articles in Press, 2016. [Online]. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jvoice.2016.02.021>.

MARTINS, P. C.; COUTO, T. E.; GAMA, A. C. C. Avaliação Perceptivo-Auditiva do Grau de Desvio Vocal: Correlação entre Escala Visual Analógica e Escala Numérica. **CoDAS**, vol. 27 nº. 3, pp.279-84, 2015. Disponível em: [http://www.scielo.br/pdf/codas/v27n3/pt\\_2317-1782-codas-27-03-00279.pdf](http://www.scielo.br/pdf/codas/v27n3/pt_2317-1782-codas-27-03-00279.pdf).

MARWAN, N. **Cross Recurrence Plot Toolbox for Matlab, Version 5.17 (r28.16)**, 2013. Disponível em <http://tocsy.pik-potsdam.de/CRPtoolbox/index.html>. Acesso em fevereiro de 2013.

MOLLER, M. F. A Scaled Conjugate Gradient Algorithm for Fast Supervised Learning. **Neural Networks**, vol. 6, nº 4, p. 525–533, 1993.

MONTEIRO, L. H. A. **Sistemas Dinâmicos**. Editora Livraria da Física, 2006.

PINHATI, F.; Ferlin, C. Musik: um Ambiente Inteligente de Auxílio à Composição. **Revista Faeterj – Rio**. Mai, 2014. [Online]. Disponível em: [http://www.faeterj-rio.edu.br/layout/downloads/artigos/art\\_musik\\_rev.pdf](http://www.faeterj-rio.edu.br/layout/downloads/artigos/art_musik_rev.pdf).

ROOPAELI, M.; BOOSTANI, R.; SARVESTANI, R. R.; TAGHAVI, M. A.; AZIMIFAR, Z. Chaotic based Reconstructed Phase Space Features for Detecting Ventricular Fibrillation. In: **Biomedical Signal Processing and Control**, vol. 5, pp. 318-327, Out. 2010. [Online]. Disponível em: doi:10.1016/j.bspc.2010.05.003.

SAMPAT, M. P.; WANG, Z.; GUPTA, S.; BOVIK, A. C.; MARKEY, M. K., Complex Wavelet Structural Similarity: A New Image Similarity Index, **IEEE Transactions on Image Processing**, vol. 18, no. 11, pp. 2385-2401, Nov. 2009.

SANTOS, M. O. **Análise Acústica de Desvios Vocais Infantis utilizando a Transformada Wavelet**. (2015). Dissertação de Mestrado, Instituto Federal da Paraíba, João Pessoa, PB, 2015. Disponível em [http://www.ifpb.edu.br/campi/joao-pessoa/cursos/pos-graduacao-stricto-sensu/mestrado-em-engenharia-eletrica/arquivos/Analise\\_Acustica\\_de\\_Desvios\\_Vocais\\_Infantis\\_utilizando\\_a\\_Transformada\\_Wavelet.pdf](http://www.ifpb.edu.br/campi/joao-pessoa/cursos/pos-graduacao-stricto-sensu/mestrado-em-engenharia-eletrica/arquivos/Analise_Acustica_de_Desvios_Vocais_Infantis_utilizando_a_Transformada_Wavelet.pdf). Acessado em 15/11/15.

SAVI, M. A. **Dinâmica Não Linear e Caos**. Editora E-papers, 2006.

SIMSEK, B.; TANSEL, Y.; HÜSEYİN, E. Hybridizing a Fuzzy Multi-response Taguchi Optimization Algorithm with Artificial Neural Networks to solve Standard Ready-Mixed Concrete Optimization Problems. In: **International Journal of Computational Intelligence Systems**, Vol. 9, No. 3; pp.525-543, 2016.

SOUZA, E. G. **Caracterização de Sistemas Dinâmicos Através de Gráficos de Recorrência**. (2008). Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná, PR, p.158, 2008.

SPITZ, C. Para Não Calar a Voz dos Nossos Professores: **Um Estudo das Desordens Vocais Apresentadas pelos Professores da Rede Pública Municipal do Rio de Janeiro**. (2009). Dissertação de mestrado, Escola Nacional de Saúde Pública Sérgio Arouca (ENSP), RJ, p.221, 2009. Disponível em: [http://bvssp.icict.fiocruz.br/pdf/25676\\_spitzcm.pdf](http://bvssp.icict.fiocruz.br/pdf/25676_spitzcm.pdf).

TAKENS, F. Detecting Strange Attractores in Turbulence. **Dynamical Systems and Turbulence**, Warwick 1980. pp. 366-381, 1981.

TEIXEIRA, J. P.; FERREIRA, D. B.; CARNEIRO, S. M. **Análise Acústica Vocal – Determinação do Jitter e do Shimmer para Diagnóstico de Patologias da Voz** (2011). Escola Superior de Tecnologia e Gestão Instituto Politécnico de Bragança - Bragança, POR. Disponível em [https://bibliotecadigital.ipb.pt/bitstream/10198/7282/1/artigo\\_publicado.pdf](https://bibliotecadigital.ipb.pt/bitstream/10198/7282/1/artigo_publicado.pdf). Acessado em 05/11/15.

VIEIRA, V. J. D. **Avaliação de Distúrbios da Voz por meio de Análise de Quantificação de Recorrência**. (2014). Dissertação de mestrado, Instituto Federal da Paraíba, PB, p.218,

2014. Disponível em: <http://www.ifpb.edu.br/campi/joao-pessoa/cursos/pos-graduacao-stricto-sensu/mestrado-em-engenharia-eletrica/imagem/Avaliacao%20de%20Disturbios%20da%20Voz%20por%20meio%20de%20Analise%20de%20Quantificacao%20de%20Reocorrencia%20-%20Dissertacao%20de%20Vinicius.pdf>.

VIEIRA, V. J. D.; COSTA, S. C.; COSTA, W. C. de A.; CORREIA, S. E. N.; ASSIS, F. M. de. Discriminação de Sinais de Voz com Análise de Quantificação de Recorrência e Redes Neurais MLP. In: **XXXI Simpósio Brasileiro de Telecomunicações – SBrT**, Set. 2013.

WANG, Z.; BOVIK, A. C.; SHEIKH, H. R.; SIMONCELLI, E. P. Image Quality Assessment: From Error Visibility to Structural Similarity, **IEEE Transactions on Image Processing**, vol. 13, no. 4, pp. 600-612, Apr. 2004.

ZWETSCH, I. C. **Processamento do Sinal de Voz para o Diagnóstico Diferencial de Alterações Laríngeas**. (2006). Dissertação de mestrado, Faculdade de Engenharia, Pontifícia Universidade Católica de Porto Alegre, RS, 2006. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10923/3192>.

## APÊNDICES

### A Tabelas de classificação com características individuais e combinadas com cada método para a Base de Dados *Kay Elemetrics*

#### A 1. Tabelas de classificação para o Método da Contagem de Caixas (MCC) para cada grade empregada.

Tabela A 1 - Patológico Vs. Saudável (melhores resultados individuais).

Grade	ACUR (%)	SEN (%)	ESP (%)	Característica
5	63,09 ± 0,96	12,83 ± 5,40	90,83 ± 3,82	$d_{cc}$ ( $\tau$ ótimo)
10	72,17 ± 0,70	70,57 ± 3,56	74,27 ± 1,02	$d_{cc}$ ( $\tau_0$ min)
20	78,46 ± 0,23	76,23 ± 3,84	79,69 ± 1,92	$d_{cc}$ ( $\tau_0$ min)
40	68,46 ± 1,46	36,79 ± 1,76	85,94 ± 2,90	$d_{cc}$ ( $\tau_0$ min)

Tabela A 2 - Edema Vs. Saudável (melhores resultados individuais).

Grade	ACUR (%)	SEN (%)	ESP (%)	Característica
5	56,29 ± 2,41	54,91 ± 5,62	57,95 ± 3,21	$d_{cc}$ ( $\tau$ ótimo)
10	90,82 ± 0,28	93,21 ± 0,30	87,95 ± 0,48	$d_{cc}$ ( $\tau_0$ min)
20	80,00 ± 0,86	85,75 ± 0,86	84,09 ± 0,94	$d_{cc}$ ( $\tau_0$ min)
40	67,11 ± 1,74	61,89 ± 4,83	73,41 ± 8,49	$d_{cc}$ ( $\tau_0$ min)

Tabela A 3 - Classificação Paralisia Vs. Saudável (melhores resultados individuais).

Grade	ACUR (%)	SEN (%)	ESP (%)	Característica
5	64,67 ± 0,64	64,34 ± 3,06	65,00 ± 2,32	$d_{cc}$ ( $\tau_0$ max)
10	69,05 ± 1,71	76,23 ± 5,24	61,73 ± 4,34	$d_{cc}$ ( $\tau_0$ min)
20	74,81 ± 1,20	73,02 ± 2,96	75,58 ± 2,25	$d_{cc}$ ( $\tau_0$ min)
40	64,38 ± 0,66	62,83 ± 4,29	65,96 ± 4,82	$d_{cc}$ ( $\tau_0$ max)

Tabela A 4 - Classificação Edema Vs. Paralisia (melhores resultados individuais).

Grade	ACUR (%)	Característica
5	64,19 ± 0,71	$d_{cc}$ ( $\tau_0$ max)
10	73,81 ± 1,22	$d_{cc}$ ( $\tau_0$ max)
20	63,24 ± 0,65	$d_{cc}$ ( $\tau_0$ max)
40	61,33 ± 0,72	$d_{cc}$ ( $\tau_0$ max)

Tabela A 5 - Classificação Patológico Vs. Saudável (melhores resultados combinados).

Grade	ACUR (%)	SEN (%)	ESP (%)	Características
5	84,83 ± 1,08	76,60 ± 1,47	89,38 ± 1,71	$d_{cc}$ ( $\tau$ ótimo), $d_{cc}$ ( $\tau_0$ min), $d_{cc}$ ( $\tau_0$ med)
10	93,15 ± 0,58	91,19 ± 1,42	94,23 ± 0,44	$d_{cc}$ ( $\tau$ ótimo), $d_{cc}$ ( $\tau_0$ min)
20	88,27 ± 0,46	86,60 ± 1,87	90,29 ± 0,60	$d_{cc}$ ( $\tau$ ótimo), $d_{cc}$ ( $\tau_0$ min)
40	72,55 ± 0,93	45,47 ± 1,97	87,50 ± 1,44	$d_{cc}$ ( $\tau_0$ min), $d_{cc}$ ( $\tau_0$ max)

Tabela A 6 - Classificação Edema Vs. Saudável (melhores resultados combinados).

Grade	ACUR (%)	SEN (%)	ESP (%)	Características
5	70,31 ± 2,29	81,32 ± 3,57	57,05 ± 2,88	$d_{cc}(\tau \text{ ótimo}), d_{cc}(\tau_0 \text{ min}), d_{cc}(\tau_0 \text{ med})$
10	95,88 ± 0,46	97,55 ± 0,40	93,86 ± 0,68	$d_{cc}(\tau \text{ ótimo}), d_{cc}(\tau_0 \text{ min}), d_{cc}(\tau_0 \text{ med})$
20	90,19 ± 0,55	92,55 ± 0,74	89,55 ± 0,50	$d_{cc}(\tau \text{ ótimo}), d_{cc}(\tau_0 \text{ min}), d_{cc}(\tau_0 \text{ med}), d_{cc}(\tau_0 \text{ max})$
40	70,72 ± 1,18	71,32 ± 2,38	70,00 ± 3,08	$d_{cc}(\tau \text{ ótimo}), d_{cc}(\tau_0 \text{ min})$

Tabela A 7 - Classificação Paralisia Vs. Saudável (melhores resultados combinados).

Grade	ACUR (%)	SEN (%)	ESP (%)	Características
5	92,00 ± 3,78	89,25 ± 7,45	94,81 ± 0,50	$d_{cc}(\tau \text{ ótimo}), d_{cc}(\tau_0 \text{ min})$
10	91,05 ± 1,71	92,45 ± 1,37	89,62 ± 2,13	$d_{cc}(\tau \text{ ótimo}), d_{cc}(\tau_0 \text{ min})$
20	85,71 ± 0,58	87,32 ± 0,94	88,08 ± 1,61	$d_{cc}(\tau \text{ ótimo}), d_{cc}(\tau_0 \text{ min}), d_{cc}(\tau_0 \text{ max})$
40	74,38 ± 2,42	83,40 ± 2,41	65,19 ± 3,62	$d_{cc}(\tau \text{ ótimo}), d_{cc}(\tau_0 \text{ min}), d_{cc}(\tau_0 \text{ med})$

Tabela A 8 - Classificação Edema Vs. Paralisia (melhores resultados combinados).

Grade	ACUR (%)	Características
5	75,05 ± 1,16	$d_{cc}(\tau_0 \text{ min}), d_{cc}(\tau_0 \text{ med}), d_{cc}(\tau_0 \text{ max})$
10	79,57 ± 1,62	$d_{cc}(\tau \text{ ótimo}), d_{cc}(\tau_0 \text{ min}), d_{cc}(\tau_0 \text{ med}), d_{cc}(\tau_0 \text{ max})$
20	74,10 ± 0,74	$d_{cc}(\tau \text{ ótimo}), d_{cc}(\tau_0 \text{ min})$
40	73,90 ± 2,47	$d_{cc}(\tau \text{ ótimo}), d_{cc}(\tau_0 \text{ min}), d_{cc}(\tau_0 \text{ med}), d_{cc}(\tau_0 \text{ max})$

## A 2. Tabelas de classificação para o Método da Diferença (MDIF) para cada grade empregada.

Tabela A 9 - Patológico Vs. Saudável (melhores resultados individuais).

Grade	ACUR (%)	SEN (%)	ESP (%)	Característica
5	65,64 ± 0,27	54,91 ± 9,76	71,56 ± 5,05	$ d_{cc}(\tau_0 \text{ méd}) - d_{cc}(\tau_0 \text{ min}) $
10	88,39 ± 0,89	90,38 ± 1,27	87,29 ± 1,72	$ d_{cc}(\tau_0 \text{ méd}) - d_{cc}(\tau_0 \text{ min}) $
20	79,60 ± 0,17	76,04 ± 2,04	81,56 ± 1,15	$ d_{cc}(\tau_0 \text{ méd}) - d_{cc}(\tau_0 \text{ min}) $
40	67,38 ± 0,20	39,25 ± 3,49	82,92 ± 1,75	$ d_{cc}(\tau_0 \text{ max}) - d_{cc}(\tau_0 \text{ min}) $

Tabela A 10 - Edema Vs. Saudável (melhores resultados individuais).

Grade	ACUR (%)	SEN (%)	ESP (%)	Característica
5	51,03 ± 0,60	64,91 ± 6,75	54,32 ± 7,02	$ d_{cc}(\tau_0 \text{ med}) - d_{cc}(\tau_0 \text{ min}) $
10	90,72 ± 1,64	94,91 ± 0,84	85,68 ± 4,13	$ d_{cc}(\tau_0 \text{ med}) - d_{cc}(\tau_0 \text{ min}) $
20	85,56 ± 0,86	90,21 ± 2,01	80,95 ± 1,83	$ d_{cc}(\tau_0 \text{ med}) - d_{cc}(\tau_0 \text{ min}) $
40	62,99 ± 0,88	75,66 ± 3,73	47,73 ± 2,85	$ d_{cc}(\tau_0 \text{ med}) - d_{cc}(\tau_0 \text{ min}) $

Tabela A 11 - Classificação Paralisia Vs. Saudável (melhores resultados individuais).

Grade	ACUR (%)	SEN (%)	ESP (%)	Característica
5	86,48 ± 0,39	90,38 ± 1,17	82,50 ± 0,44	$ d_{cc}(\tau_0 \text{ méd}) - d_{cc}(\tau_0 \text{ min}) $
10	86,10 ± 0,80	88,87 ± 1,93	83,27 ± 0,70	$ d_{cc}(\tau_0 \text{ méd}) - d_{cc}(\tau_0 \text{ min}) $
20	76,57 ± 0,83	85,47 ± 3,08	67,50 ± 2,13	$ d_{cc}(\tau_0 \text{ méd}) - d_{cc}(\tau_0 \text{ min}) $
40	64,10 ± 0,953	80,94 ± 4,40	46,92 ± 2,855	$ d_{cc}(\tau_0 \text{ méd}) - d_{cc}(\tau_0 \text{ min}) $

**Tabela A 12 - Classificação Edema Vs. Paralisia (melhores resultados individuais).**

Grade	ACUR (%)	Característica
5	61,48 ± 0,89	$ d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) $
10	62,38 ± 2,21	$ d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) $
20	68,6 ± 0,42	$ d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) $
40	62,71 ± 0,96	$ d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) $
	60,24 ± 0,96	$ d_{cc}(\tau_o \text{ med}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) $

**Tabela A 13 - Classificação Patológico Vs. Saudável (melhores resultados combinados).**

Grade	ACUR (%)	SEN (%)	ESP (%)	Características
5	65,03 ± 0.30	60,57 ± 6.04	78,54 ± 3.25	$ d_{cc}(\tau_o \text{ med}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) ,  d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ med}) ,  d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) $
10	90,00 ± 0.33	92,08 ± 0.54	88,85 ± 0.34	$ d_{cc}(\tau_o \text{ med}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) ,  d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ med}) $
20	86,58 ± 0.37	87,62 ± 0.70	85,46 ± 0.41	$ d_{cc}(\tau_o \text{ med}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) ,  d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ med}) ,  d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) $
40	65,03 ± 0.86	35,47 ± 5.58	81,35 ± 2.48	$ d_{cc}(\tau_o \text{ med}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) ,  d_{cc}(\tau_o \text{ med}) - d_{cc}(\tau_o \text{ max}) ,  d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) $

**Tabela A 14 - Classificação Edema Vs. Saudável (melhores resultados combinados).**

Grade	ACUR (%)	SEN (%)	ESP (%)	Características
5	52,27 ± 0.53	58,68 ± 4.57	44,55 ± 5.19	$ d_{cc}(\tau_o \text{ med}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) ,  d_{cc}(\tau_o \text{ med}) - d_{cc}(\tau_o \text{ max}) $
10	95,88 ± 0.34	96,98 ± 0.57	94,55 ± 0.50	$ d_{cc}(\tau_o \text{ med}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) ,  d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ med}) ,  d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) $
20	90,16 ± 0.85	92,53 ± 1.81	88,32 ± 0.59	$ d_{cc}(\tau_o \text{ med}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) ,  d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ med}) $
40	62,06 ± 1.44	80,75 ± 3.39	39,55 ± 5.56	$ d_{cc}(\tau_o \text{ med}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) ,  d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) $

**Tabela A 15 - Classificação Paralisia Vs. Saudável (melhores resultados combinados).**

Grade	ACUR (%)	SEN (%)	ESP (%)	Características
5	89,14 ± 0,49	92,64 ± 0,59	89,58 ± 0,65	$ d_{cc}(\tau_o \text{ med}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) ,  d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ med}) ,  d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) $
10	83,95 ± 0,34	89,58 ± 0,75	80,19 ± 0,81	$ d_{cc}(\tau_o \text{ med}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) ,  d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ med}) ,  d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) $
20	82,48 ± 0,65	86,04 ± 2,32	78,85 ± 1,72	$ d_{cc}(\tau_o \text{ med}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) ,  d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ med}) ,  d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) $
40	65,24 ± 1,84	73,40 ± 7,43	56,92 ± 5,47	$ d_{cc}(\tau_o \text{ med}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) ,  d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ med}) ,  d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) $

**Tabela A 16 - Classificação Edema Vs. Paralisia (melhores resultados combinados).**

Grade	ACUR (%)	Características
5	65,62 ± 2,21	$ d_{cc}(\tau_o \text{ med}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) ,  d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ med}) ,  d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) $
10	77,00 ± 1,11	$ d_{cc}(\tau_o \text{ med}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) ,  d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ med}) $
20	66,38 ± 1,16	$ d_{cc}(\tau_o \text{ med}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) ,  d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ med}) ,  d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) $
40	64,29 ± 2,06	$ d_{cc}(\tau_o \text{ med}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) ,  d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ med}) ,  d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) $

**A 3. Tabelas de classificação para o Método da Similaridade (MSIM) para cada grade empregada.**

**Tabela A 17 - Patológico Vs. Saudável (melhores resultados individuais),**

Grade	ACUR (%)	SEN (%)	ESP (%)	Característica
5	73,15 ± 1,29	66,26 ± 3,56	75,23 ± 1,13	$d_{sim}(\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ max})$
10	72,48 ± 0,98	60,00 ± 1,91	81,13 ± 2,09	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med})$
	72,48 ± 1,31	65,38 ± 2,58	74,25 ± 0,96	$d_{sim}(\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ max})$
20	85,23 ± 1,19	75,38 ± 0,87	95,24 ± 2,31	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med})$
40	93,29 ± 0,15	95,74 ± 0,46	88,99 ± 0,70	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med})$

**Tabela A 18 - Edema Vs. Saudável (melhores resultados individuais),**

Grade	ACUR (%)	SEN (%)	ESP (%)	Característica
5	84,02 ± 1,35	82,76 ± 1,85	87,18 ± 1,77	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med})$
10	90,72 ± 0,53	87,93 ± 0,88	94,87 ± 0,54	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med})$
20	91,81 ± 0,27	91,23 ± 0,21	92,50 ± 0,79	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med})$
40	96,91 ± 4,81	100,0 ± 5,26	94,64 ± 0,54	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med})$

**Tabela A 19 - Classificação Paralisia Vs. Saudável (melhores resultados individuais),**

Grade	ACUR (%)	SEN (%)	ESP (%)	Característica
5	72,38 ± 0,33	73,27 ± 1,02	70,75 ± 0,54	$d_{sim}(\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ max})$
10	71,43 ± 0,95	71,43 ± 0,75	70,66 ± 1,49	$d_{sim}(\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ max})$
20	83,81 ± 0,71	79,03 ± 0,50	89,50 ± 1,76	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med})$
40	92,27 ± 0,44	96,22 ± 1,27	89,66 ± 0,14	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ max})$

**Tabela A 20 - Classificação Edema Vs. Paralisia (melhores resultados individuais),**

Grade	ACUR (%)	Característica
5	79,17 ± 0,39	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med})$
10	75,08 ± 0,51	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med})$
20	74,04 ± 2,11	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med})$
	74,04 ± 1,63	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ max})$
40	73,08 ± 3,28	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ max})$

**Tabela A 21 - Classificação Patológico Vs. Saudável (melhores resultados combinados),**

Grade	ACUR (%)	SEN (%)	ESP (%)	Características
5	93,35 ± 1,07	95,45 ± 0,94	95,54 ± 0,98	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med}), d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ max}), d_{sim}(\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ max})$
10	92,59 ± 0,37	93,15 ± 0,70	95,6 ± 0,21	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med}), d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ max}), d_{sim}(\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ max})$
20	99,33 ± 0,22	98,15 ± 0,46	99,48 ± 0,26	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med}), d_{sim}(\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ max}), d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ max})$
40	92,33 ± 0,15	94,15 ± 0,42	95,00 ± 0,03	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med}), d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ max})$

**Tabela A 22 - Classificação Edema Vs. Saudável (melhores resultados combinados),**

Grade	ACUR (%)	SEN (%)	ESP (%)	Características
5	96,07 ± 0,37	97,0 ± 0,30	95,89 ± 0,37	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med}), d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ max}), d_{sim}(\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ max})$
10	95,25 ± 0,68	94,45 ± 0,05	95,65 ± 0,63	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med}), d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ max}), d_{sim}(\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ max})$
20	99,48 ± 0,22	100,0 ± 0,33	100,0 ± 0,38	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med}), d_{sim}(\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ max})$
40	96,35 ± 1,07	97,45 ± 0,94	96,54 ± 0,98	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med}), d_{sim}(\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ max})$

Tabela A 23 - Classificação Paralisia Vs. Saudável (melhores resultados combinados),

Grade	ACUR (%)	SEN (%)	ESP (%)	Características
5	94,05 ± 0,19	94,15 ± 0,28	93,00 ± 0,19	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med}), d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ max}), d_{sim}(\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ max})$
10	93,05 ± 1,07	93,45 ± 0,94	94,54 ± 0,98	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med}), d_{sim}(\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ max})$
20	99,05 ± 0,19	98,15 ± 0,32	100,0 ± 0,39	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med}), d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ max}), d_{sim}(\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ max})$
40	94,35 ± 1,22	92,45 ± 0,94	93,54 ± 0,98	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med}), d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ max})$

Tabela A 24 - Classificação Edema Vs. Paralisia (melhores resultados combinados),

Grade	ACUR (%)	Características
5	82,38 ± 1,63	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med}), d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ max}), d_{sim}(\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ max})$
10	81,77 ± 0,99	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med}), d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ max}), d_{sim}(\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ max})$
20	85,00 ± 2,79	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med}), d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ max}) \text{ e } d_{sim}(\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ max})$
40	82,76 ± 1,03	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med}), d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ max}), d_{sim}(\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ max})$

#### A 4. Tabelas de classificação para o Método da Contagem de Caixas Ponderadas (MCCP) para cada grade empregada.

Tabela A 25 - Patológico Vs. Saudável (melhores resultados individuais),

Grade	ACUR (%)	SEN (%)	ESP (%)	Característica
5	87,28 ± 0,26	83,33 ± 0,60	85,63 ± 0,18	$ d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) $
10	84,60 ± 0,13	81,05 ± 0,15	82,56 ± 0,29	$ d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) $
20	85,28 ± 0,31	79,33 ± 0,19	86,63 ± 0,52	$ d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) $
40	91,28 ± 0,14	96,63 ± 0,31	83,33 ± 0,07	$ d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) $

Tabela A 26 - Edema Vs. Saudável (melhores resultados individuais),

Grade	ACUR (%)	SEN (%)	ESP (%)	Característica
5	97,94 ± 2,36	95,65 ± 0,43	100,0 ± 3,18	$ d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) $
10	97,94 ± 0,52	95,65 ± 0,05	100,0 ± 0,94	$ d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) $
20	92,91 ± 0,39	93,11 ± 0,70	92,55 ± 0,03	$ d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) $
40	91,91 ± 0,37	91,08 ± 0,68	92,56 ± 0,03	$ d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) $

Tabela A 27 - Classificação Paralisia Vs. Saudável (melhores resultados individuais),

Grade	ACUR (%)	SEN (%)	ESP (%)	Característica
5	81,67 ± 0,67	79,05 ± 0,69	80,30 ± 1,74	$ d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) $
10	79,67 ± 0,51	80,11 ± 0,56	77,26 ± 1,65	$ d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) $
20	80,67 ± 0,63	78,05 ± 0,54	79,16 ± 1,68	$ d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) $
40	86,67 ± 1,15	95,12 ± 2,15	80,95 ± 0,59	$ d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) $

Tabela A 28 - Classificação Edema Vs. Paralisia (melhores resultados individuais),

Grade	ACUR (%)	Característica
5	76,73 ± 2,25	$d_{ccp}(\tau_o \text{ min})$
10	75,25 ± 0,31	$d_{ccp}(\tau_o \text{ min})$
20	77,25 ± 0,26	$d_{ccp}(\tau_o \text{ min})$
40	81,77 ± 0,61	$d_{ccp}(\tau_o \text{ min})$

**Tabela A 29 - Classificação Patológico Vs. Saudável (melhores resultados combinados),**

Grade	ACUR (%)	SEN (%)	ESP (%)	Características
5	87,64 ± 0,24	90,44 ± 0,61	89,89 ± 0,15	$d_{ccp}(\tau \text{ ótimo}), d_{ccp}(\tau_o \text{ min}), d_{ccp}(\tau_o \text{ med})$
10	88,97 ± 0,33	89,29 ± 0,91	88,91 ± 0,28	$d_{ccp}(\tau \text{ ótimo}), d_{ccp}(\tau_o \text{ min}), d_{ccp}(\tau_o \text{ med}),  d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) ,  d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) $
20	89,09 ± 0,39	91,53 ± 0,76	90,86 ± 0,24	$d_{ccp}(\tau \text{ ótimo}), d_{ccp}(\tau_o \text{ min})$
40	95,97 ± 0,26	97,91 ± 0,34	93,40 ± 0,66	$d_{ccp}(\tau \text{ ótimo}), d_{ccp}(\tau_o \text{ min}), d_{ccp}(\tau_o \text{ med})$

**Tabela A 30 - Classificação Edema Vs. Saudável (melhores resultados combinados),**

Grade	ACUR (%)	SEN (%)	ESP (%)	Características
5	92,97 ± 0,21	94,07 ± 0,40	91,0 ± 0,36	$d_{ccp}(\tau \text{ ótimo}), d_{ccp}(\tau_o \text{ min}), d_{ccp}(\tau_o \text{ med}),  d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) $
10	93,64 ± 0,31	93,55 ± 0,49	92,78 ± 0,22	$d_{ccp}(\tau \text{ ótimo}), d_{ccp}(\tau_o \text{ max}),  d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) ,  d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) ,  d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) $
20	93,63 ± 0,35	91,07 ± 0,57	94,89 ± 0,37	$d_{ccp}(\tau \text{ ótimo}), d_{ccp}(\tau_o \text{ min}),  d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) ,  d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) $
40	98,97 ± 0,34	97,78 ± 0,34	100,0 ± 0,49	$d_{ccp}(\tau \text{ ótimo}), d_{ccp}(\tau_o \text{ min}), d_{ccp}(\tau_o \text{ med}),  d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) ,  d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) $

**Tabela A 31 - Classificação Paralisia Vs. Saudável (melhores resultados combinados),**

Grade	ACUR (%)	SEN (%)	ESP (%)	Características
5	95,10 ± 0,44	94,11 ± 0,47	94,08 ± 0,74	$d_{ccp}(\tau \text{ ótimo}), d_{ccp}(\tau_o \text{ min}),  d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) $
10	93,14 ± 0,37	92,17 ± 0,56	93,02 ± 0,49	$d_{ccp}(\tau \text{ ótimo}), d_{ccp}(\tau_o \text{ min}),  d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) $
20	90,62 ± 0,33	91,20 ± 0,46	92,08 ± 0,38	$d_{ccp}(\tau \text{ ótimo}), d_{ccp}(\tau_o \text{ min}),  d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) $
40	97,62 ± 0,24	96,33 ± 0,40	100,0 ± 0,31	$d_{ccp}(\tau \text{ ótimo}), d_{ccp}(\tau_o \text{ min}),  d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) $

**Tabela A 32 - Classificação Edema Vs. Paralisia (melhores resultados combinados),**

Grade	ACUR (%)	Características
5	78,90 ± 0,98	$d_{ccp}(\tau_o \text{ min}), d_{ccp}(\tau_o \text{ med}), d_{ccp}(\tau_o \text{ max}),  d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) $
10	79,90 ± 0,61	$d_{ccp}(\tau_o \text{ min}), d_{ccp}(\tau_o \text{ med}),  d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) $
20	85,42 ± 0,84	$d_{ccp}(\tau_o \text{ min}), d_{ccp}(\tau_o \text{ med})$ e $ d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) $
40	80,33 ± 0,78	$d_{ccp}(\tau \text{ ótimo}), d_{ccp}(\tau_o \text{ min}), d_{ccp}(\tau_o \text{ med}), d_{ccp}(\tau_o \text{ max}),  d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) ,  d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) $

**B Tabelas de classificação com características individuais e combinadas com cada método para a Base de Dados LIEV/UFPB**

**B 1. Tabelas de classificação para o Método da Contagem (MCC) para cada grade empregada.**

**Tabela B 1 - Desviada Vs. Saudável (melhores resultados individuais),**

Grade	ACUR (%)	SEN (%)	ESP (%)	Característica
5	71,52 ± 0,33	72,50 ± 1,34	73,10 ± 0,11	$d_{cc}(\tau_{o\text{ ótimo}})$ ,
10	78,36 ± 1,16	79,14 ± 0,28	79,32 ± 0,38	$d_{cc}(\tau_{o\text{ max}})$
20	72,32 ± 1,82	73,00 ± 0,14	71,22 ± 0,25	$d_{cc}(\tau_{o\text{ max}})$
	72,08 ± 4,89	71,62 ± 3,47	71,32 ± 2,47	$d_{cc}(\tau_{o\text{ ótimo}})$
40	70,00 ± 0,44	71,23 ± 1,11	70,10 ± 0,18	$d_{cc}(\tau_{o\text{ ótimo}})$ ,

**Tabela B 2 - Rugosa Vs. Saudável (melhores resultados individuais),**

Grade	ACUR (%)	SEN (%)	ESP (%)	Característica
5	59,17 ± 2,19	65,30 ± 4,75	58,06 ± 1,76	$d_{cc}(\tau_{o\text{ min}})$
	58,33 ± 1,24	61,08 ± 1,39	57,13 ± 1,31	$d_{cc}(\tau_{o\text{ ótimo}})$
10	60,71 ± 2,16	61,34 ± 2,32	58,85 ± 2,16	$d_{cc}(\tau_{o\text{ min}})$
20	69,33 ± 2,43	68,81 ± 3,22	67,28 ± 2,35	$d_{cc}(\tau_{o\text{ min}})$
40	60,71 ± 1,53	62,02 ± 1,94	57,60 ± 2,18	$d_{cc}(\tau_{o\text{ min}})$

**Tabela B 3 - Tensa Vs. Saudável (melhores resultados individuais),**

Grade	ACUR (%)	SEN (%)	ESP (%)	Característica
5	62,75 ± 1,80	65,76 ± 1,01	69,21 ± 2,91	$d_{cc}(\tau_{o\text{ max}})$
10	62,75 ± 2,36	60,77 ± 2,88	65,33 ± 2,58	$d_{cc}(\tau_{o\text{ max}})$
20	71,50 ± 3,54	69,15 ± 3,33	72,80 ± 4,43	$d_{cc}(\tau_{o\text{ min}})$
40	59,80 ± 2,24	60,43 ± 2,55	61,61 ± 4,41	$d_{cc}(\tau_{o\text{ ótimo}})$

**Tabela B 4 - Classificação Soprosa Vs. Saudável (melhores resultados individuais),**

Grade	ACUR (%)	SEN (%)	ESP (%)	Característica
5	60,00 ± 3,02	62,14 ± 2,56	63,72 ± 5,41	$d_{cc}(\tau_{o\text{ max}})$
10	69,45 ± 1,58	70,24 ± 2,51	68,64 ± 2,60	$d_{cc}(\tau_{o\text{ med}})$
20	63,33 ± 2,43	64,29 ± 3,38	62,65 ± 3,51	$d_{cc}(\tau_{o\text{ med}})$
40	61,82 ± 1,71	61,55 ± 1,49	60,77 ± 4,67	$d_{cc}(\tau_{o\text{ med}})$

**Tabela B 5 - Classificação Rugosa Vs. Tensa (melhores resultados individuais),**

Grade	ACUR (%)	Característica
5	60,91 ± 1,63	$d_{cc}(\tau_{o\text{ med}})$
10	60,00 ± 2,27	$d_{cc}(\tau_{o\text{ min}})$
20	70,55 ± 2,75	$d_{cc}(\tau_{o\text{ min}})$
40	60,00 ± 1,73	$d_{cc}(\tau_{o\text{ med}})$
	60,83 ± 2,35	$d_{cc}(\tau_{o\text{ min}})$

**Tabela B 6 - Classificação Rugosa Vs. Soprosa (melhores resultados individuais),**

Grade	ACUR (%)	Característica
5	64,41 ± 1,04	$d_{cc}(\tau_{o\text{ med}})$
10	61,86 ± 2,40	$d_{cc}(\tau_{o\text{ max}})$
20	68,41 ± 2,77	$d_{cc}(\tau_{o\text{ med}})$
40	65,83 ± 3,41	$d_{cc}(\tau_{o\text{ med}})$

Tabela B 7 - Classificação Rugosa Vs. Soprosa (melhores resultados individuais),

Grade	ACUR (%)	Característica
5	61,00 ± 2,64	$d_{cc} (\tau_o \text{ min})$
10	62,50 ± 2,53	$d_{cc} (\tau_o \text{ min})$
20	62,50 ± 2,78	$d_{cc} (\tau \text{ otimo})$
	62,50 ± 1,55	$d_{cc} (\tau_o \text{ max})$
40	72,59 ± 3,27	$d_{cc} (\tau_o \text{ max})$

Tabela B 8 - Classificação Desviada Vs. Saudável (melhores resultados combinados),

Grade	ACUR (%)	SEN (%)	ESP (%)	Características
5	82,36 ± 0,36	79,36 ± 0,14	80,91 ± 0,54	$d_{cc} (\tau \text{ otimo}), d_{cc} (\tau_o \text{ min}), d_{cc} (\tau_o \text{ max})$
10	76,36 ± 0,52	76,36 ± 0,41	76,36 ± 0,41	$d_{cc} (\tau \text{ otimo}), d_{cc} (\tau_o \text{ min}), d_{cc} (\tau_o \text{ med})$
20	76,36 ± 0,23	78,22 ± 0,67	76,39 ± 0,25	$d_{cc} (\tau_o \text{ min}), d_{cc} (\tau_o \text{ med})$
40	76,36 ± 0,18	77,25 ± 0,36	78,75 ± 0,66	$d_{cc} (\tau_o \text{ min}), d_{cc} (\tau_o \text{ max})$

Tabela B 9 - Classificação Rugosa Vs. Saudável (melhores resultados combinados),

Grade	ACUR (%)	SEN (%)	ESP (%)	Características
5	66,96 ± 2,45	68,30 ± 2,38	64,04 ± 2,27	$d_{cc} (\tau_o \text{ min}), d_{cc} (\tau_o \text{ med}), d_{cc} (\tau_o \text{ max})$
10	73,29 ± 3,04	74,80 ± 6,64	74,32 ± 3,08	$d_{cc} (\tau \text{ otimo}), d_{cc} (\tau_o \text{ min}), d_{cc} (\tau_o \text{ max})$
20	61,61 ± 2,76	66,19 ± 2,77	59,94 ± 4,19	$d_{cc} (\tau_o \text{ min}), d_{cc} (\tau_o \text{ med})$
40	59,82 ± 2,10	60,68 ± 1,66	56,92 ± 3,90	$d_{cc} (\tau \text{ otimo}), d_{cc} (\tau_o \text{ min}), d_{cc} (\tau_o \text{ max})$

Tabela B 10 - Classificação Tensa Vs. Saudável (melhores resultados combinados),

Grade	ACUR (%)	SEN (%)	ESP (%)	Características
5	67,65 ± 3,01	67,47 ± 4,52	67,16 ± 2,49	$d_{cc} (\tau \text{ ótimo}), d_{cc} (\tau_o \text{ med})$
10	75,69 ± 2,92	79,47 ± 5,36	73,37 ± 2,58	$d_{cc} (\tau_o \text{ min}), d_{cc} (\tau_o \text{ med})$
20	64,71 ± 2,97	63,15 ± 4,28	65,87 ± 1,85	$d_{cc} (\tau_o \text{ min}), d_{cc} (\tau_o \text{ med}), d_{cc} (\tau_o \text{ max})$
40	61,76 ± 2,31	62,61 ± 2,89	60,88 ± 3,61	$d_{cc} (\tau_o \text{ min}), d_{cc} (\tau_o \text{ med})$

Tabela B 11 - Classificação Soprosa Vs. Saudável (melhores resultados combinados),

Grade	ACUR (%)	SEN (%)	ESP (%)	Características
5	85,73 ± 1,552	85,16 ± 2,056	84,31 ± 1,298	$d_{cc} (\tau \text{ min}), d_{cc} (\tau \text{ med})$
10	79,09 ± 4,485	78,88 ± 3,723	75,43 ± 4,767	$d_{cc} (\tau \text{ otimo}), d_{cc} (\tau \text{ min}), d_{cc} (\tau \text{ med})$
20	76,36 ± 3,379	73,99 ± 3,378	79,58 ± 4,116	$d_{cc} (\tau \text{ otimo}), d_{cc} (\tau \text{ min}), d_{cc} (\tau \text{ med})$
40	62,73 ± 2,104	65,12 ± 2,435	61,61 ± 2,523	$d_{cc} (\tau \text{ otimo}), d_{cc} (\tau \text{ min}), d_{cc} (\tau \text{ med})$

Tabela B 12 - Classificação Rugosa Vs. Tensa (melhores resultados combinados),

Grade	ACUR (%)	Características
5	61,82 ± 2,68	$d_{cc} (\tau_o \text{ min}), d_{cc} (\tau_o \text{ med}), d_{cc} (\tau_o \text{ max})$
10	70,36 ± 3,61	$d_{cc} (\tau_o \text{ min}), d_{cc} (\tau_o \text{ med})$
20	62,73 ± 2,76	$d_{cc} (\tau \text{ otimo}), d_{cc} (\tau_o \text{ min}), d_{cc} (\tau_o \text{ med}), d_{cc} (\tau_o \text{ max})$
40	65,36 ± 1,03	$d_{cc} (\tau_o \text{ min}), d_{cc} (\tau_o \text{ med}), d_{cc} (\tau_o \text{ max})$

Tabela B 13 - Classificação Rugosa Vs. Soprosa (melhores resultados combinados),

Grade	ACUR (%)	Características
5	69,49 ± 3,33	$d_{cc}(\tau \text{ ótimo}), d_{cc}(\tau_o \text{ med}), d_{cc}(\tau_o \text{ max})$
10	74,19 ± 3,91	$d_{cc}(\tau \text{ ótimo}), d_{cc}(\tau_o \text{ min}), d_{cc}(\tau_o \text{ med}), d_{cc}(\tau_o \text{ max})$
20	68,64 ± 2,87	$d_{cc}(\tau \text{ ótimo}), d_{cc}(\tau_o \text{ max})$
40	65,25 ± 3,04	$d_{cc}(\tau \text{ ótimo}), d_{cc}(\tau_o \text{ min}), d_{cc}(\tau_o \text{ med})$

Tabela B 14 - Classificação Tensa Vs. Soprosa (melhores resultados combinados),

Grade	ACUR (%)	Características
5	67,59 ± 2,62	$d_{cc}(\tau \text{ ótimo}), d_{cc}(\tau_o \text{ min}), d_{cc}(\tau_o \text{ med}), d_{cc}(\tau_o \text{ max})$
10	64,81 ± 2,56	$d_{cc}(\tau \text{ ótimo}), d_{cc}(\tau_o \text{ med}), d_{cc}(\tau_o \text{ max})$
20	72,37 ± 3,11	$d_{cc}(\tau \text{ ótimo}), d_{cc}(\tau_o \text{ med}), d_{cc}(\tau_o \text{ max})$
40	62,04 ± 1,79	$d_{cc}(\tau \text{ ótimo}), d_{cc}(\tau_o \text{ med})$

## B 2. Tabelas de classificação para o Método da Diferença (MDIF) para cada grade empregada.

Tabela B 15 - Desviada Vs. Saudável (melhores resultados individuais),

Grade	ACUR (%)	SEN (%)	ESP (%)	Característica
5	72,00 ± 0,12	73,50 ± 1,34	72,00 ± 0,14	$ d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ med}) $
	71,00 ± 3,56	71,51 ± 1,30	72,81 ± 0,30	$ d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) $
10	78,83 ± 0,29	78,63 ± 0,12	76,63 ± 0,62	$ d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) $
20	71,65 ± 0,27	72,00 ± 1,14	70,00 ± 0,14	$ d_{cc}(\tau_o \text{ med}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) $
40	71,00 ± 0,66	70,43 ± 1,12	71,22 ± 0,10	$ d_{cc}(\tau_o \text{ med}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) $

Tabela B 16 - Rugosa Vs. Saudável (melhores resultados individuais),

Grade	ACUR (%)	SEN (%)	ESP (%)	Característica
5	59,17 ± 1,38	62,96 ± 2,26	58,34 ± 1,53	$ d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) $
	58,33 ± 2,13	58,00 ± 1,82	57,88 ± 1,23	$ d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ med}) $
10	68,33 ± 3,17	67,61 ± 3,96	68,35 ± 3,49	$ d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) $
20	62,50 ± 2,49	65,00 ± 2,82	61,97 ± 3,38	$ d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ med}) $
40	63,33 ± 1,76	62,50 ± 2,11	65,00 ± 1,45	$ d_{cc}(\tau_o \text{ med}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) $

Tabela B 17 - Tensa Vs. Saudável (melhores resultados individuais),

Grade	ACUR (%)	SEN (%)	ESP (%)	Característica
5	65,00 ± 1,31	64,08 ± 1,23	70,59 ± 1,99	$ d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ med}) $
10	64,17 ± 1,57	65,43 ± 1,23	66,67 ± 3,71	$ d_{cc}(\tau_o \text{ med}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) $
20	69,33 ± 2,29	73,00 ± 2,51	67,71 ± 1,90	$ d_{cc}(\tau_o \text{ med}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) $
40	62,50 ± 1,44	59,52 ± 1,32	67,33 ± 2,02	$ d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ med}) $

Tabela B 18 - Classificação Soprosa Vs. Saudável (melhores resultados individuais),

Grade	ACUR (%)	SEN (%)	ESP (%)	Característica
5	72,67 ± 0,46	76,46 ± 1,52	73,13 ± 1,11	$ d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ med}) $
10	70,00 ± 1,93	71,48 ± 3,28	65,36 ± 3,59	$ d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ med}) $
	67,17 ± 2,32	66,32 ± 6,66	68,20 ± 2,73	$ d_{cc}(\tau_o \text{ med}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) $
20	61,67 ± 0,50	73,33 ± 5,29	56,87 ± 0,28	$ d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) $
40	60,00 ± 1,63	59,55 ± 1,73	62,50 ± 3,31	$ d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ med}) $

Tabela B 19 - Classificação Rugosa Vs. Tensa (melhores resultados individuais),

Grade	ACUR (%)	Característica
5	72,83 ± 4,29	$ d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ med}) $
10	67,33 ± 2,71	$ d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ med}) $
20	66,50 ± 2,12	$ d_{cc}(\tau_o \text{ med}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) $
	66,50 ± 4,27	$ d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ med}) $
40	60,00 ± 1,77	$ d_{cc}(\tau_o \text{ med}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) $

Tabela B 20 - Classificação Rugosa Vs. Soprosa (melhores resultados individuais),

Grade	ACUR (%)	Característica
5	75,33 ± 2,23	$ d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ med}) $
10	71,76 ± 2,05	$ d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ med}) $
20	71,50 ± 2,23	$ d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ med}) $
40	55,08 ± 1,40	$ d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ med}) $

Tabela B 21 - Classificação Tensa Vs. Soprosa (melhores resultados individuais),

Grade	ACUR (%)	Característica
5	62,67 ± 2,31	$ d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) $
10	60,19 ± 2,03	$ d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) $
20	61,11 ± 2,57	$ d_{cc}(\tau_o \text{ med}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) $
40	69,67 ± 2,53	$ d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) $

Tabela B 22 - Classificação Desviada Vs. Saudável (melhores resultados combinados),

Grade	ACUR (%)	SEN (%)	ESP (%)	Características
5	79,27 ± 0,84	80,47 ± 0,41	76,67 ± 9,48	$ d_{cc}(\tau_o \text{ med}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) ,  d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) $
10	74,36 ± 0,82	75,65 ± 1,04	75,64 ± 0,35	$ d_{cc}(\tau_o \text{ med}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) ,  d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ med}) ,  d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) $
20	73,91 ± 0,75	71,36 ± 0,33	74,76 ± 0,43	$ d_{cc}(\tau_o \text{ med}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) ,  d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ med}) ,  d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) $
40	72,36 ± 0,83	71,36 ± 0,32	73,54 ± 0,47	$ d_{cc}(\tau_o \text{ med}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) ,  d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ med}) ,  d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) $

Tabela B 23 - Classificação Rugosa Vs. Saudável (melhores resultados combinados),

Grade	ACUR (%)	SEN (%)	ESP (%)	Características
5	58,93 ± 2,13	62,28 ± 1,76	55,36 ± 2,73	$ d_{cc}(\tau_o \text{ med}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) ,  d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ med}) ,  d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) $
10	69,29 ± 2,01	68,07 ± 2,79	68,17 ± 6,29	$ d_{cc}(\tau_o \text{ med}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) ,  d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) $
20	59,82 ± 1,79	64,32 ± 1,68	58,56 ± 2,78	$ d_{cc}(\tau_o \text{ med}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) ,  d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) $
40	59,82 ± 2,42	61,48 ± 2,00	60,42 ± 3,34	$ d_{cc}(\tau_o \text{ med}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) ,  d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ med}) ,  d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) $

Tabela B 24 - Classificação Tensa Vs. Saudável (melhores resultados combinados),

Grade	ACUR (%)	SEN (%)	ESP (%)	Características
5	70,59 ± 2,61	74,05 ± 3,59	67,75 ± 2,31	$ d_{cc}(\tau_o \text{ med}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) ,  d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ med}) ,  d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) $
10	78,59 ± 2,34	79,47 ± 3,25	79,16 ± 1,99	$ d_{cc}(\tau_o \text{ med}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) ,  d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ med}) $
20	70,59 ± 3,10	71,15 ± 3,54	70,56 ± 3,29	$ d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ med}) ,  d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) $
40	70,59 ± 2,04	74,04 ± 3,40	69,46 ± 1,71	$ d_{cc}(\tau_o \text{ med}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) ,  d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ med}) ,  d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) $

**Tabela B 25 - Classificação Soprosa Vs. Saudável (melhores resultados combinados),**

Grade	ACUR (%)	SEN (%)	ESP (%)	Características
5	78,36 ± 2,84	78,67 ± 2,77	77,04 ± 3,17	$ d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ med}) ,  d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) $
10	72,73 ± 2,50	73,43 ± 2,66	71,43 ± 2,05	$ d_{cc}(\tau_o \text{ med}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) ,  d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ med}) ,  d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) $
20	65,45 ± 2,74	63,54 ± 1,04	64,51 ± 4,50	$ d_{cc}(\tau_o \text{ med}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) ,  d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ med}) ,  d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) $
40	60,91 ± 1,22	62,28 ± 2,39	58,06 ± 0,99	$ d_{cc}(\tau_o \text{ med}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) ,  d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ med}) $

**Tabela B 26 - Classificação Rugosa Vs. Tensa (melhores resultados combinados),**

Grade	ACUR (%)	Características
5	69,18 ± 2,54	$ d_{cc}(\tau_o \text{ med}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) ,  d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ med}) ,  d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) $
10	64,55 ± 2,34	$ d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ med}) ,  d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) $
20	60,00 ± 1,67	$ d_{cc}(\tau_o \text{ med}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) ,  d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ med}) ,  d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) $
40	65,27 ± 1,50	$ d_{cc}(\tau_o \text{ med}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) ,  d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) $

**Tabela B 27 - Classificação Rugosa Vs. Soprosa (melhores resultados combinados),**

Grade	ACUR (%)	Características
5	68,56 ± 1,95	$ d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ med}) ,  d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) $
10	62,71 ± 2,11	$ d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ med}) ,  d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) $
20	54,24 ± 1,40	$ d_{cc}(\tau_o \text{ med}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) ,  d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) $
40	54,24 ± 2,29	$ d_{cc}(\tau_o \text{ med}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) ,  d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ med}) ,  d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) $

**Tabela B 28 - Classificação Tensa Vs. Soprosa (melhores resultados combinados),**

Grade	ACUR (%)	Características
5	62,96 ± 1,35	$ d_{cc}(\tau_o \text{ med}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) ,  d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) $
10	69,96 ± 1,87	$ d_{cc}(\tau_o \text{ med}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) ,  d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ med}) ,  d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) $
20	61,11 ± 2,19	$ d_{cc}(\tau_o \text{ med}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) ,  d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ med}) ,  d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) $
40	62,04 ± 3,17	$ d_{cc}(\tau_o \text{ med}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) ,  d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min}) $

### B 3. Tabelas de classificação para o Método da Similaridade (MSIM) para cada grade empregada.

**Tabela B 29 - Desviada Vs. Saudável (melhores resultados individuais),**

Grade	ACUR (%)	SEN (%)	ESP (%)	Característica
5	72,50 ± 0,55	71,99 ± 0,66	61,54 ± 8,69	$d_{sim}(\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ max})$
10	71,67 ± 0,46	69,68 ± 0,40	62,50 ± 4,27	$d_{sim}(\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ max})$
20	75,83 ± 0,30	75,83 ± 8,22	76,10 ± 0,54	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med})$
40	70,83 ± 0,30	69,10 ± 0,54	55,83 ± 8,22	$d_{sim}(\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ max})$

Tabela B 30 - Rugosa Vs. Saudável (melhores resultados individuais),

Grade	ACUR (%)	SEN (%)	ESP (%)	Característica
5	70,00 ± 1,54	68,67 ± 1,99	75,50 ± 1,69	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ max})$
10	75,00 ± 1,96	80,38 ± 2,15	72,48 ± 2,51	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ max})$
20	73,33 ± 2,01	80,38 ± 1,75	69,50 ± 2,60	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ max})$
40	66,67 ± 2,63	63,52 ± 4,61	71,71 ± 3,07	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ max})$

Tabela B 31 - Tensa Vs. Saudável (melhores resultados individuais),

Grade	ACUR (%)	SEN (%)	ESP (%)	Característica
5	59,67 ± 2,06	61,13 ± 2,93	59,43 ± 2,03	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med})$
10	56,67 ± 2,20	56,20 ± 2,26	58,85 ± 3,25	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ max})$
	56,67 ± 1,56	55,01 ± 2,02	59,55 ± 1,31	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ max})$
20	65,00 ± 1,97	67,20 ± 2,90	64,65 ± 2,54	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ max})$
40	60,33 ± 1,85	62,26 ± 2,29	60,03 ± 2,79	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med})$

Tabela B 32 - Classificação Soprosa Vs. Saudável (melhores resultados individuais),

Grade	ACUR (%)	SEN (%)	ESP (%)	Característica
5	60,33 ± 1,16	59,09 ± 0,97	58,28 ± 2,42	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ max})$
10	66,67 ± 1,47	65,71 ± 3,80	67,80 ± 1,87	$d_{sim}(\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ max})$
20	60,00 ± 3,11	58,19 ± 6,22	61,23 ± 2,34	$d_{sim}(\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ max})$
40	61,67 ± 2,76	61,38 ± 3,38	59,77 ± 3,28	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med})$

Tabela B 33 - Classificação Rugosa Vs. Tensa (melhores resultados individuais),

Grade	ACUR (%)	Característica
5	70,83 ± 4,77	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med})$
10	65,83 ± 2,13	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ max})$
	65,00 ± 2,22	$d_{sim}(\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ max})$
20	68,33 ± 1,64	$d_{sim}(\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ max})$
	68,33 ± 2,00	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med})$
40	68,33 ± 3,54	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med})$

Tabela B 34 - Classificação Rugosa Vs. Soprosa (melhores resultados individuais),

Grade	ACUR (%)	Característica
5	67,67 ± 0,44	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med})$
	65,67 ± 2,59	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ max})$
10	68,67 ± 1,53	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med})$
	67,67 ± 0,99	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ max})$
20	71,67 ± 2,82	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med})$
40	69,67 ± 2,32	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med})$

Tabela B 35 - Classificação Tensa Vs. Soprosa (melhores resultados individuais),

Grade	ACUR (%)	Característica
5	64,17 ± 2,37	$d_{sim}(\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ max})$
10	65,00 ± 1,91	$d_{sim}(\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ max})$
20	60,83 ± 2,20	$d_{sim}(\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ max})$
40	68,33 ± 1,00	$d_{sim}(\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ max})$

**Tabela B 36 - Classificação Desviada Vs. Saudável (melhores resultados combinados),**

Grade	ACUR (%)	SEN (%)	ESP (%)	Características
5	76,58 ± 0,81	75,10 ± 1,13	62,96 ± 2,22	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med}), d_{sim}(\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ max})$
10	78,67 ± 0,88	77,34 ± 0,43	74,38 ± 3,78	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med}), d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ max}), d_{sim}(\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ max})$
20	82,50 ± 1,23	72,90 ± 3,40	84,40 ± 1,44	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med}), d_{sim}(\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ max}), d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ max})$
40	79,08 ± 1,22	78,93 ± 1,23	75,71 ± 4,01	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med}), d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ max})$

**Tabela B 37 - Classificação Rugosa Vs. Saudável (melhores resultados combinados),**

Grade	ACUR (%)	SEN (%)	ESP (%)	Características
5	81,58 ± 1,94	83,33 ± 1,60	82,85 ± 3,34	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med}), d_{sim}(\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ max}), d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ max})$
10	77,17 ± 3,27	76,82 ± 3,14	78,38 ± 3,26	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ max}), d_{sim}(\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ max})$
20	76,33 ± 3,23	77,60 ± 3,23	75,68 ± 3,15	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med}), d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ max}), d_{sim}(\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ max})$
40	72,50 ± 1,69	70,00 ± 1,90	75,50 ± 2,00	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ max}), d_{sim}(\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ max})$

**Tabela B 38 - Classificação Tensa Vs. Saudável (melhores resultados combinados),**

Grade	ACUR (%)	SEN (%)	ESP (%)	Características
5	68,50 ± 2,94	65,85 ± 3,34	70,33 ± 1,60	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med}), d_{sim}(\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ max})$
10	69,17 ± 2,96	72,67 ± 3,31	66,19 ± 3,06	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med}), d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ max}), d_{sim}(\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ max})$
20	73,56 ± 2,12	71,83 ± 1,69	80,15 ± 2,83	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med}), d_{sim}(\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ max})$
40	69,67 ± 1,87	67,14 ± 2,78	68,32 ± 1,52	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med}), d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ max})$

**Tabela B 39 - Classificação Soprosa Vs. Saudável (melhores resultados combinados),**

Grade	ACUR (%)	SEN (%)	ESP (%)	Características
5	81,83 ± 1,36	81,85 ± 1,06	82,21 ± 1,96	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med}), d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ max}), d_{sim}(\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ max})$
10	80,30 ± 0,60	81,28 ± 1,16	79,60 ± 1,77	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med}), d_{sim}(\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ max})$
20	82,67 ± 0,93	81,08 ± 1,66	80,76 ± 1,51	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med}), d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ max}), d_{sim}(\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ max})$
40	87,33 ± 1,04	92,60 ± 2,40	84,03 ± 1,57	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med}), d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ max}), d_{sim}(\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ max})$

**Tabela B 40 - Classificação Rugosa Vs. Tensa (melhores resultados combinados),**

Grade	ACUR (%)	Características
5	71,67 ± 2,80	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med}), d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ max})$
10	70,17 ± 2,37	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med}), d_{sim}(\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ max})$
20	70,83 ± 2,44	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ max}), d_{sim}(\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ max})$
40	75,23 ± 2,82	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med}), d_{sim}(\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ max}), d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ max})$

Tabela B 41 - Classificação Rugosa Vs. Soprosa (melhores resultados combinados),

Grade	ACUR (%)	Características
5	75,33 ± 0,93	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med}), d_{sim}(\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ max})$
10	80,00 ± 1,93	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med}), d_{sim}(\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ max}), d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ max})$
20	74,33 ± 1,11	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ max}), d_{sim}(\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ max})$
40	72,33 ± 1,35	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med}), d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ max}), d_{sim}(\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ max})$

Tabela B 42 - Classificação Tensa Vs. Soprosa (melhores resultados combinados),

Grade	ACUR (%)	Características
5	71,17 ± 1,47	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ max}), d_{sim}(\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ max})$
10	74,83 ± 2,27	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med}), d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ max}), d_{sim}(\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ max})$
20	73,50 ± 3,11	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med}), d_{sim}(\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ max})$
40	78,00 ± 3,28	$d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ max}), d_{sim}(\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ max})$

#### B 4. Tabelas de classificação para o Método da Contagem de Caixas Ponderadas (MCCP) para cada grade empregada.

Tabela B 43 - Desviada Vs. Saudável (melhores resultados individuais),

Grade	ACUR (%)	SEN (%)	ESP (%)	Característica
5	70,83 ± 0,27	70,86 ± 0,17	69,33 ± 0,51	$ d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) $
10	71,00 ± 0,35	70,00 ± 0,05	71,11 ± 0,57	$ d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) $
20	75,83 ± 2,33	76,11 ± 0,66	74,57 ± 0,87	$ d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) $
40	72,42 ± 1,91	69,07 ± 0,46	70,41 ± 0,82	$ d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) $

Tabela B 44 - Rugosa Vs. Saudável (melhores resultados individuais),

Grade	ACUR (%)	SEN (%)	ESP (%)	Característica
5	58,50 ± 1,70	57,00 ± 1,27	60,00 ± 3,24	$d_{ccp}(\tau_o \text{ max})$
10	61,67 ± 1,49	58,54 ± 1,28	68,83 ± 4,06	$d_{ccp}(\tau_o \text{ max})$
	56,00 ± 0,96	57,36 ± 1,08	59,24 ± 1,43	$d_{ccp}(\tau_o \text{ med})$
20	55,00 ± 1,75	58,75 ± 1,57	57,98 ± 3,09	$d_{ccp}(\tau_o \text{ max})$
	56,00 ± 1,58	56,36 ± 1,78	58,69 ± 1,80	$d_{ccp}(\tau \text{ ótimo})$
40	58,17 ± 1,60	59,69 ± 2,23	60,36 ± 1,74	$d_{ccp}(\tau_o \text{ max})$

Tabela B 45 - Tensa Vs. Saudável (melhores resultados individuais),

Grade	ACUR (%)	SEN (%)	ESP (%)	Característica
5	59,33 ± 3,15	60,83 ± 4,38	58,89 ± 4,73	$ d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) $
10	61,17 ± 2,39	58,95 ± 2,45	59,43 ± 2,30	$ d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) $
20	64,17 ± 2,51	66,73 ± 2,83	63,94 ± 3,50	$d_{ccp}(\tau_o \text{ max})$
40	60,83 ± 2,44	60,13 ± 3,23	58,75 ± 2,33	$d_{ccp}(\tau \text{ ótimo})$

Tabela B 46 - Classificação Soprosa Vs. Saudável (melhores resultados individuais),

Grade	ACUR (%)	SEN (%)	ESP (%)	Característica
5	70,67 ± 2,39	71,76 ± 3,60	69,27 ± 2,84	$ d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) $
10	75,00 ± 1,19	72,73 ± 1,38	76,82 ± 2,14	$ d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) $
20	68,33 ± 0,91	71,00 ± 0,45	70,96 ± 1,61	$ d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) $
40	70,00 ± 1,77	73,33 ± 2,19	71,67 ± 1,85	$ d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) $

Tabela B 47 - Classificação Rugosa Vs. Tensa (melhores resultados individuais),

Grade	ACUR (%)	Característica
5	60,33 ± 1,69	$ d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) $
10	58,83 ± 2,20	$ d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) $
20	59,83 ± 1,91	$d_{ccp}(\tau_o \text{ max})$
	59,83 ± 2,20	$ d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) $
40	63,33 ± 0,69	$ d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) $

Tabela B 48 - Classificação Rugosa Vs. Soproza (melhores resultados individuais),

Grade	ACUR (%)	Característica
5	71,00 ± 0,71	$ d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) $
10	72,00 ± 1,92	$ d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) $
20	77,50 ± 0,82	$ d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) $
40	73,67 ± 2,74	$ d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) $

Tabela B 49 - Classificação Tensa Vs. Soproza (melhores resultados individuais),

Grade	ACUR (%)	Característica
5	61,67 ± 1,50	$d_{ccp}(\tau_o \text{ max})$
10	59,17 ± 2,88	$d_{ccp}(\tau_o \text{ max})$
20	60,83 ± 1,57	$d_{ccp}(\tau_o \text{ max})$
40	65,00 ± 3,17	$d_{ccp}(\tau \text{ ótimo})$

Tabela B 50 - Classificação Desviada Vs. Saudável (melhores resultados combinados),

Grade	ACUR (%)	SEN (%)	ESP (%)	Características
5	71,25 ± 0,85	71,38 ± 0,83	72,88 ± 0,28	$d_{ccp}(\tau_o \text{ min}), d_{ccp}(\tau_o \text{ med}), d_{ccp}(\tau_o \text{ max}),  d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) ,  d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) $
10	76,25 ± 0,79	75,32 ± 0,75	77,83 ± 0,77	$d_{ccp}(\tau_o \text{ min}), d_{ccp}(\tau_o \text{ max}),  d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) $
20	72,83 ± 1,03	73,39 ± 1,10	70,35 ± 1,21	$d_{ccp}(\tau \text{ ótimo}), d_{ccp}(\tau_o \text{ med}), d_{ccp}(\tau_o \text{ max}),  d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) ,  d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) $
40	71,00 ± 1,04	71,11 ± 1,23	72,93 ± 1,11	$d_{ccp}(\tau_o \text{ min}), d_{ccp}(\tau_o \text{ med}), d_{ccp}(\tau_o \text{ max}),  d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) ,  d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) $

Tabela B 51 - Classificação Rugosa Vs. Saudável (melhores resultados combinados),

Grade	ACUR (%)	SEN (%)	ESP (%)	Características
5	71,50 ± 2,36	71,32 ± 2,31	72,44 ± 3,02	$d_{ccp}(\tau \text{ ótimo}), d_{ccp}(\tau_o \text{ med}), d_{ccp}(\tau_o \text{ max}),  d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) ,  d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) $
10	75,83 ± 3,98	75,00 ± 4,29	72,47 ± 3,88	$d_{ccp}(\tau_o \text{ min}), d_{ccp}(\tau_o \text{ med}), d_{ccp}(\tau_o \text{ max}),  d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) $
20	71,67 ± 3,50	70,23 ± 4,02	72,00 ± 3,99	$d_{ccp}(\tau \text{ ótimo}), d_{ccp}(\tau_o \text{ min}), d_{ccp}(\tau_o \text{ max}), d_{ccp}(\tau_o \text{ med}), d_{ccp}(\tau_o \text{ max}),  d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) $
40	74,17 ± 3,10	74,05 ± 3,34	72,38 ± 3,00	$d_{ccp}(\tau_o \text{ min}), d_{ccp}(\tau_o \text{ med}), d_{ccp}(\tau_o \text{ max}),  d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) $

**Tabela B 52 - Classificação Tensa Vs. Saudável (melhores resultados combinados),**

Grade	ACUR (%)	SEN (%)	ESP (%)	Características
5	69,00 ± 1,95	70,09 ± 2,63	67,61 ± 1,69	$d_{ccp}(\tau_o \text{ min}), d_{ccp}(\tau_o \text{ med}), d_{ccp}(\tau_o \text{ max}),  d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) ,  d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) ,  d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) $
10	69,17 ± 2,33	68,21 ± 2,11	67,07 ± 2,22	$d_{ccp}(\tau \text{ otimo}), d_{ccp}(\tau_o \text{ med}), d_{ccp}(\tau_o \text{ max}),  d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) $
20	68,33 ± 0,91	73,86 ± 1,65	64,31 ± 1,31	$d_{ccp}(\tau \text{ otimo}), d_{ccp}(\tau_o \text{ min}), d_{ccp}(\tau_o \text{ max}),  d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) $
40	72,50 ± 2,71	70,08 ± 3,15	74,60 ± 3,44	$d_{ccp}(\tau \text{ otimo}), d_{ccp}(\tau_o \text{ max}),  d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) ,  d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) $

**Tabela B 53 - Classificação Soprosa Vs. Saudável (melhores resultados combinados),**

Grade	ACUR (%)	SEN (%)	ESP (%)	Características
5	81,00 ± 1,13	81,44 ± 1,84	80,87 ± 1,18	$d_{ccp}(\tau_o \text{ min}), d_{ccp}(\tau_o \text{ max}),  d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) $
10	82,33 ± 1,06	83,46 ± 1,13	80,33 ± 1,23	$d_{ccp}(\tau \text{ otimo}), d_{ccp}(\tau_o \text{ med}), d_{ccp}(\tau_o \text{ max}),  d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) ,  d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) $
20	81,00 ± 0,89	82,90 ± 1,35	81,11 ± 1,18	$d_{ccp}(\tau \text{ otimo}), d_{ccp}(\tau_o \text{ min}), d_{ccp}(\tau_o \text{ med}), d_{ccp}(\tau_o \text{ max}),  d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) ,  d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) $
40	85,00 ± 1,08	84,38 ± 1,15	86,44 ± 1,88	$d_{ccp}(\tau_o \text{ min}), d_{ccp}(\tau_o \text{ med}),  d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) ,  d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) $

**Tabela B 54 - Classificação Rugosa Vs. Tensa (melhores resultados combinados),**

Grade	ACUR (%)	Características
5	68,67 ± 1,37	$d_{ccp}(\tau \text{ otimo}), d_{ccp}(\tau_o \text{ min}), d_{ccp}(\tau_o \text{ med}),  d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) ,  d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) ,  d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) $
10	68,67 ± 0,89	$d_{ccp}(\tau_o \text{ min}),  d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) ,  d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) $
20	69,67 ± 0,89	$d_{ccp}(\tau_o \text{ min}),  d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) ,  d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) $
40	71,67 ± 0,75	$d_{ccp}(\tau_o \text{ min}), d_{ccp}(\tau_o \text{ med}), d_{ccp}(\tau_o \text{ max}),  d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) ,  d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) ,  d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) $

**Tabela B 55 - Classificação Rugosa Vs. Soprosa (melhores resultados combinados),**

Grade	ACUR (%)	Características
5	85,00 ± 0,56	$d_{ccp}(\tau \text{ otimo}), d_{ccp}(\tau_o \text{ min}), d_{ccp}(\tau_o \text{ med}),  d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) $
10	80,33 ± 0,66	$d_{ccp}(\tau_o \text{ med}), d_{ccp}(\tau_o \text{ max}),  d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) $
20	79,17 ± 1,52	$d_{ccp}(\tau \text{ otimo}), d_{ccp}(\tau_o \text{ med}),  d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) ,  d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) ,  d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) $
40	78,33 ± 1,46	$d_{ccp}(\tau \text{ otimo}), d_{ccp}(\tau_o \text{ med}), d_{ccp}(\tau_o \text{ max}),  d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) ,  d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) ,  d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) $

**Tabela B 56 - Classificação Tensa Vs. Soprosa (melhores resultados combinados),**

<b>Grade</b>	<b>ACUR (%)</b>	<b>Características</b>
<b>5</b>	65,83 ± 2,33	$d_{ccp}(\tau \text{ ótimo}), d_{ccp}(\tau_o \text{ min}),  d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) ,  d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) ,  d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) $
<b>10</b>	65,83 ± 0,86	$d_{ccp}(\tau \text{ ótimo}), d_{ccp}(\tau_o \text{ min}),  d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) $
<b>20</b>	67,83 ± 1,87	$d_{ccp}(\tau \text{ ótimo}), d_{ccp}(\tau_o \text{ min}), d_{ccp}(\tau_o \text{ med}),  d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) ,  d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) $
<b>40</b>	70,00 ± 3,87	$d_{ccp}(\tau \text{ ótimo}), d_{ccp}(\tau_o \text{ min}), d_{ccp}(\tau_o \text{ med}), d_{ccp}(\tau_o \text{ max}),  d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) ,  d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min}) $

### **C Boxplots para os Métodos empregados na classificação com os sinais da Base de Dados Kay Elemetrics**

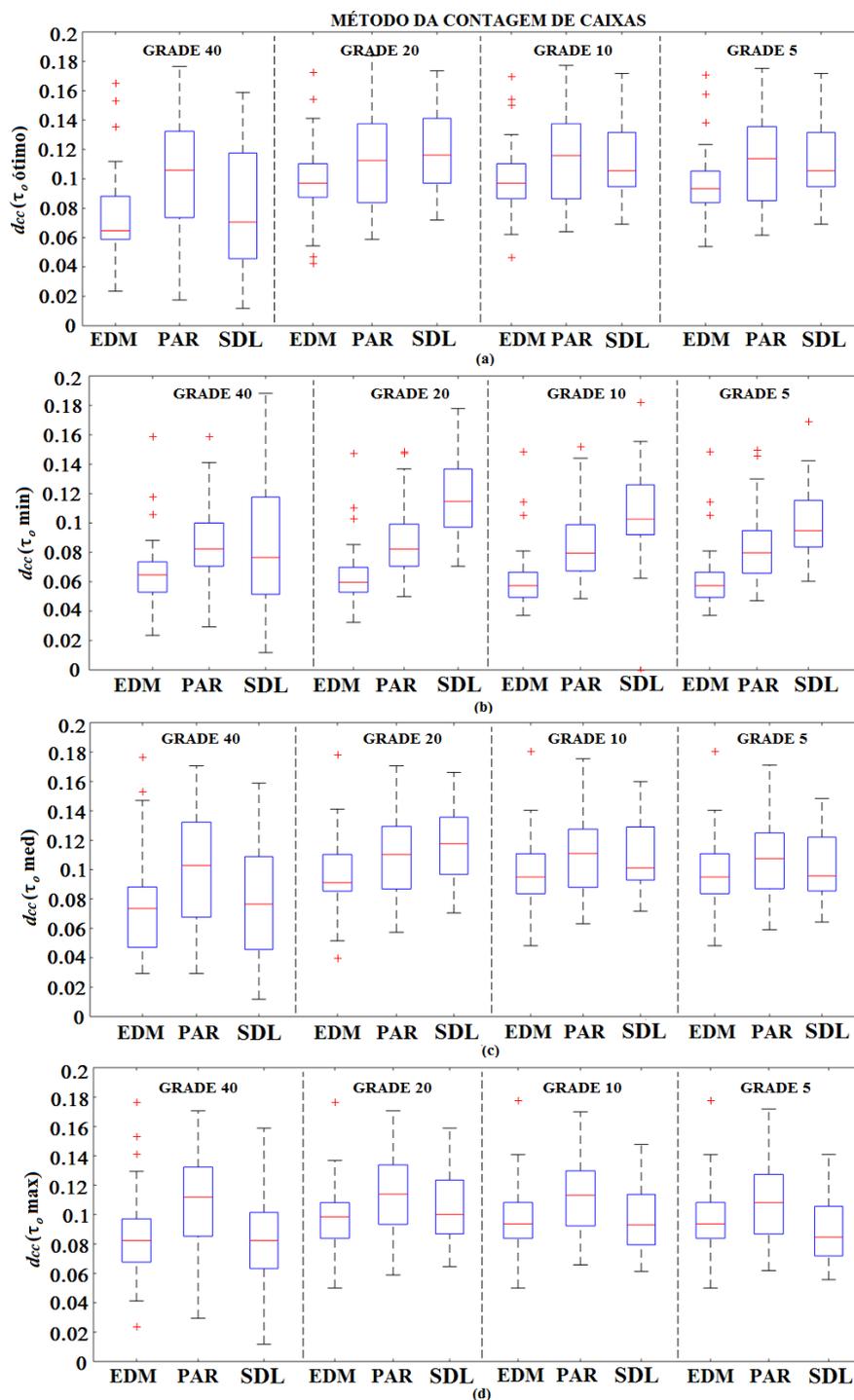
Nesta seção são apresentados os *boxplots* com as medidas para o Método da Contagem de Caixas, Método da Diferença, Método da Similaridade e Método da Contagem de Caixas ponderadas com a base de dados *Kay Elemetrics*.

#### **C 1. Boxplots para o Método da Contagem de Caixas (MCC) e Método da Diferença (MDIF) com a Base de Dados Kay Elemetrics**

Na Figura C 1 estão ilustrados os *boxplots* com as medidas para o método da contagem de caixas utilizando as quatro grades, ilustrando os valores da média e do desvio encontrado para cada classe: edema (EDM), saudável (SDL) e paralisia (PRL).

Analisando os *boxplots* da Figura C 1, observa-se que as medianas, para o  $d_{cc}(\tau_o \text{ max})$  e  $d_{cc}(\tau \text{ ótimo})$  diferenciam todas as grades, com maior ênfase na grade 40. Mas, a dispersão apresentada para as medidas é considerável. Para a grade 10, por exemplo, os valores para os sinais afetados por edema e sinais saudáveis encontram-se dentro dos valores para sinais com paralisia nas pregas vocais, dificultando a classificação dos sinais entre edema, saudável e paralisia. Por sua vez, a melhor classificação é dada pelo  $d_{cc}(\tau_o \text{ min})$ , em que observando a mediana vê-se uma clara separação e menor dispersão, sendo que a grade 10 demonstrou o melhor resultado e, como esperado, foi a medida que apresentou o melhor resultado no processo de classificação.

Figura C 1 - *Boxplots* para o método da contagem de caixas para sinais afetados por Edema (EDM), afetados por Paralisia (PAR) e sinais Saudáveis (SDL). (a)  $d_{cc}(\tau_o \text{ ótimo})$ , (b)  $d_{cc}(\tau_o \text{ min})$ , (c)  $d_{cc}(\tau_o \text{ med})$  e (d)  $d_{cc}(\tau_o \text{ max})$ .

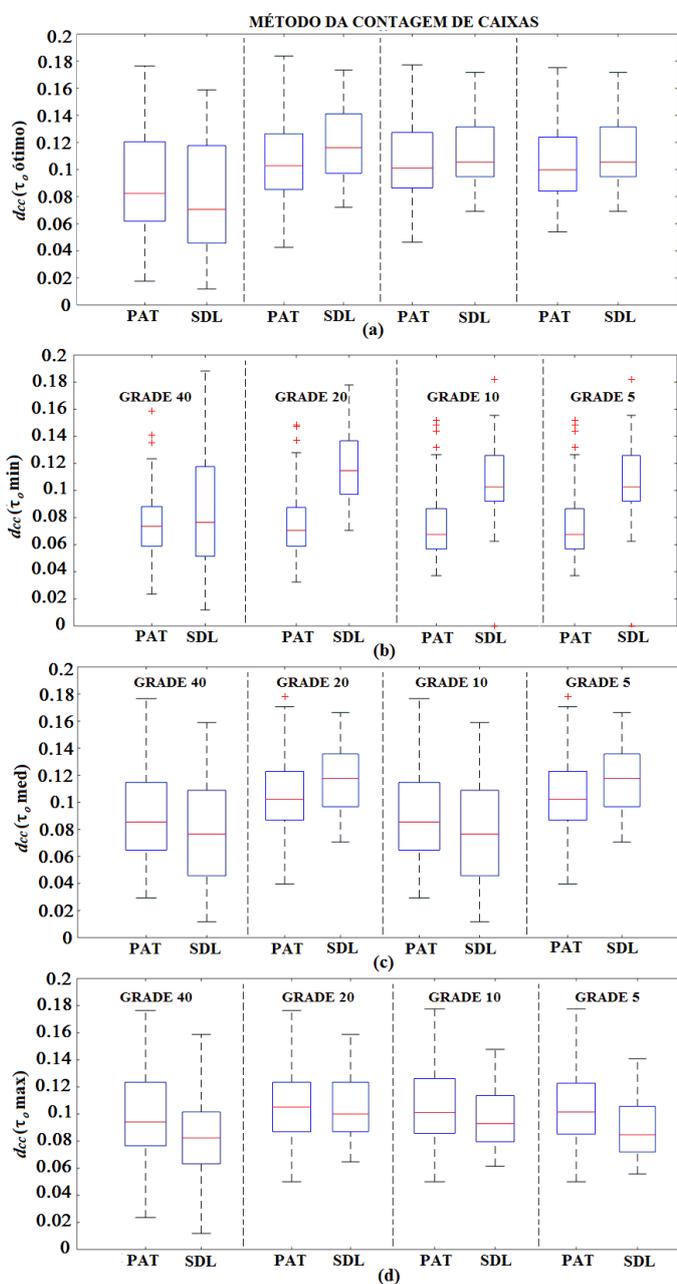


Na Figura C 2 estão ilustrados os *boxplots* com as medidas para o método da contagem de caixas utilizando as quatro grades, ilustrando os valores da média e do desvio padrão encontrados para as classes saudável (SDL) e patológico (PAT).

Observa-se pelos *boxplots* da Figura C 2, que o método de contagem de caixas não obteve um bom resultado na distinção das classes, pois os valores das medianas foram bem

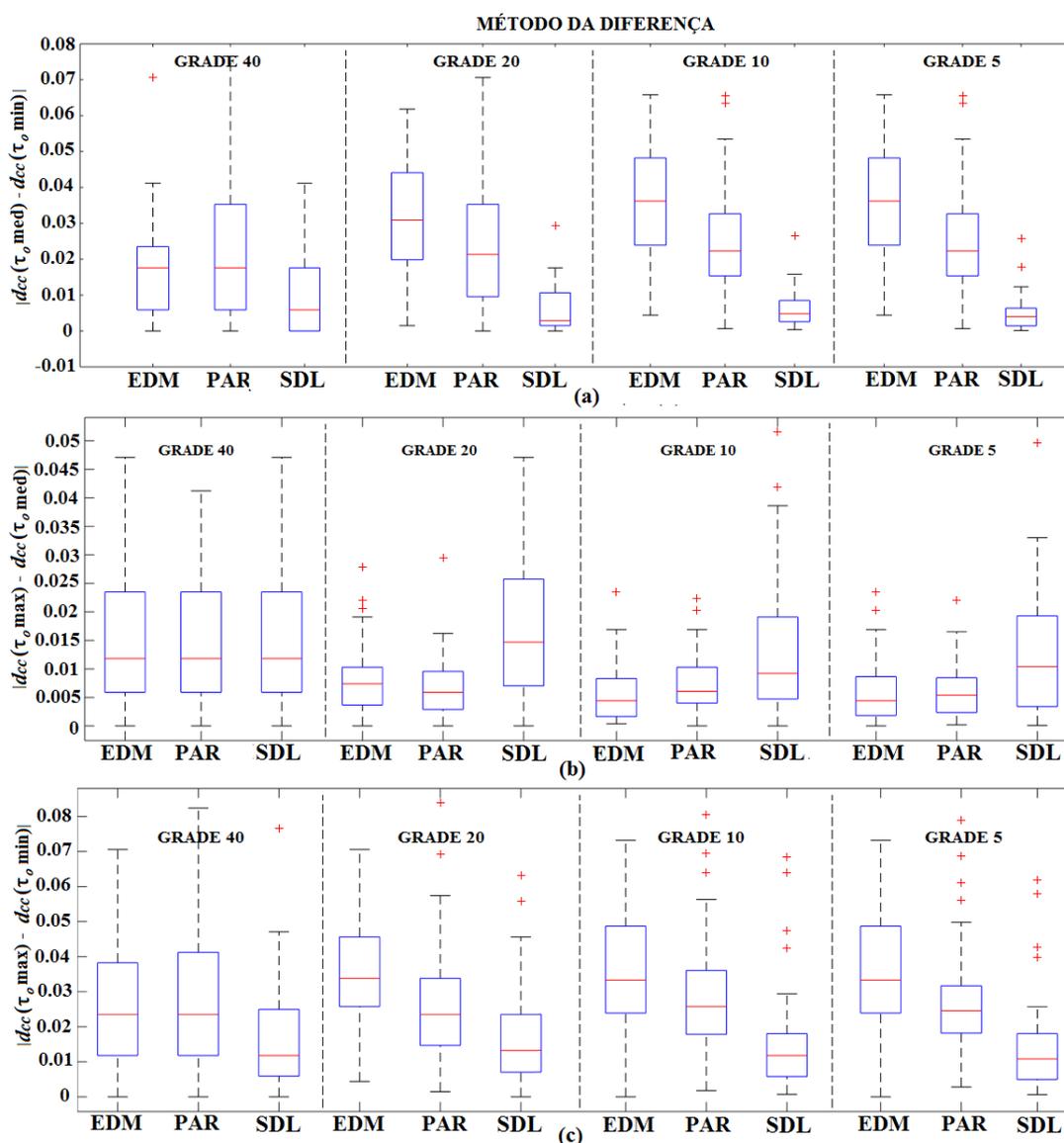
próximos, exceto para o  $d_{cc}(\tau_o \text{ min})$ . Além disso, verifica-se que há uma grande dispersão nos valores das medidas. Esta variabilidade nos valores das medidas obtidos pelo método da contagem de caixas, para os sinais patológicos pode ser decorrente da variação da contagem de caixas encontrada entre os sinais analisados. Como os espaços de fase demonstram a dinâmica do sistema, e cada indivíduo tem características únicas, embora similares, há variabilidade entre classes, como também intraclasses. Estas últimas proporcionadas pelos diferentes graus de severidade das patologias (paralisia unilateral ou bilateral, prega vocal direita ou esquerda, edema bilateral ou unilateral, graus leve, moderado e intenso ou severo).

**Figura C 2 - Boxplots para o método da contagem de caixas para sinais Patológicos (PAT) e sinais Saudáveis (SDL). (a)  $d_{cc}(\tau_o \text{ ótimo})$ , (b)  $d_{cc}(\tau_o \text{ min})$ , (c)  $d_{cc}(\tau_o \text{ med})$  e (d)  $d_{cc}(\tau_o \text{ max})$ .**



Na Figura C 3 estão ilustrados os *boxplots* com as medidas para o método da diferença utilizando as quatro grades, ilustrando os valores da média e do desvio encontrado para cada classe (edema, saudável e paralisia).

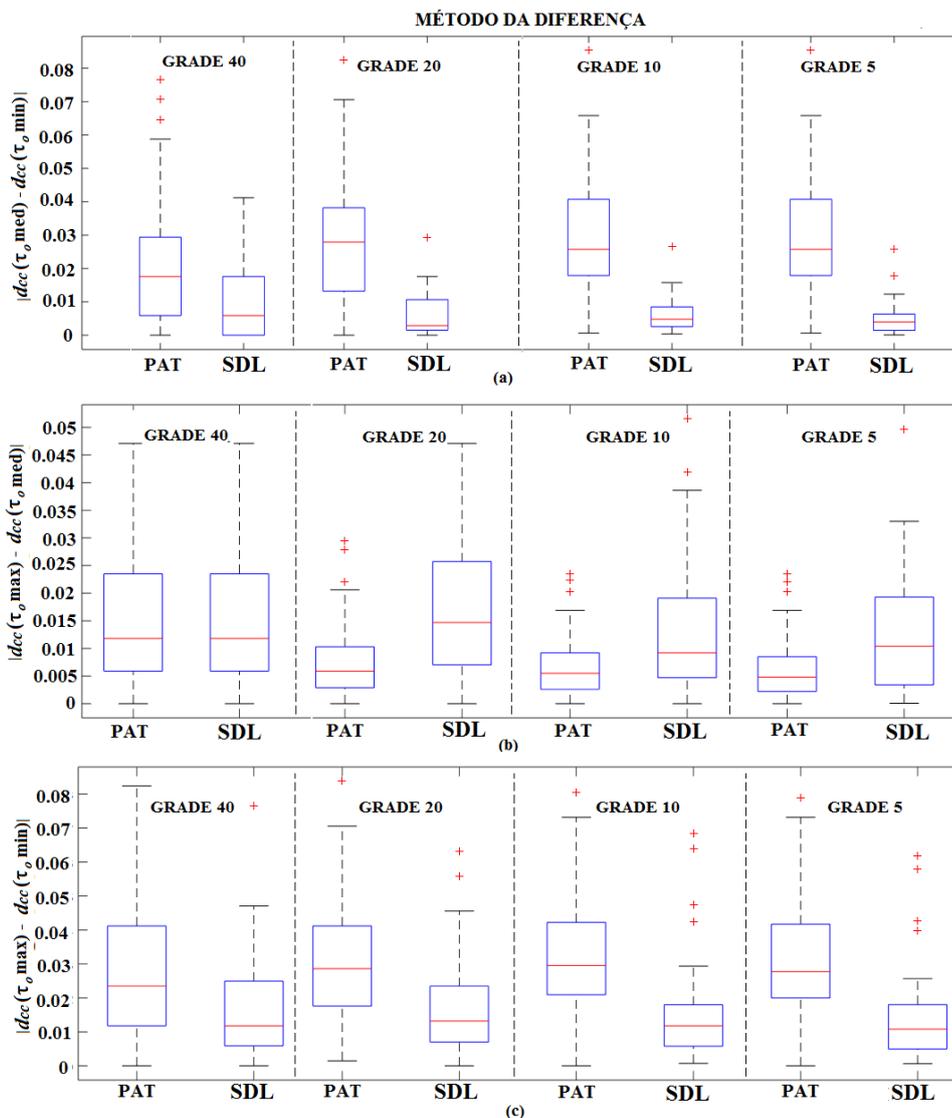
Figura C 3 - *Boxplots* para o método da diferença para sinais afetados por Edema (EDM), afetados por Paralisia (PAR) e sinais Saudáveis (SDL). (a)  $|d_{cc}(\tau_o \text{ med}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min})|$ , (b)  $|d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ med})|$ , (c)  $|d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min})|$ .



Na Figura C 3 os *boxplots* mostram que o método da diferença utilizando o  $d_{cc}(\tau_o \text{ min})$  e o  $d(\tau_o \text{ med})$  é o melhor para todas as grades, tendo dificuldade apenas para diferenciar edema de paralisia, sendo que as grades que demonstram melhores resultados são as grades 20, 10 e 5.

Na Figura C 4 estão ilustrados os *boxplots* com as medidas para o método da diferença utilizando as quatro grades, ilustrando os valores da média e do desvio encontrado para a classe de sinais de vozes saudáveis e a classe de sinais de vozes patológicas.

**Figura C 4 - *Boxplots* para o método da diferença para sinais Patológicos (PAT) e sinais Saudáveis (SDL).** (a)  $|d_{cc}(\tau_o \text{ med}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min})|$ , (b)  $|d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ med})|$ , (c)  $|d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min})|$ .



Pelos *boxplots* da Figura C 4 observa-se que o método da diferença é mais eficiente para diferenciar sinais patológicos de sinais saudáveis, onde a melhor medida é a diferença entre  $d_{cc}(\tau_o \text{ min})$  e o  $d_{cc}(\tau_o \text{ med})$  utilizando a grade 10. Os *boxplots* demonstraram o esperado, já que o classificador conseguiu medidas semelhantes às demonstradas. Entre todas as medidas individuais as melhores foram o  $d_{cc}(\tau_o \text{ min})$  e a diferença entre o  $d_{cc}(\tau_o \text{ min})$  e o  $d_{cc}(\tau_o \text{ med})$ .

Inicialmente, pensava-se que o melhor resultado seria obtido utilizando o  $d_{cc}$  ( $\tau$  ótimo), já que o  $\tau$  ótimo demonstra a dinâmica do sistema. Observa-se, no entanto, que o  $d_{cc}$  ( $\tau_o$  min) apresentou-se como a melhor característica utilizada no método da contagem de caixas.

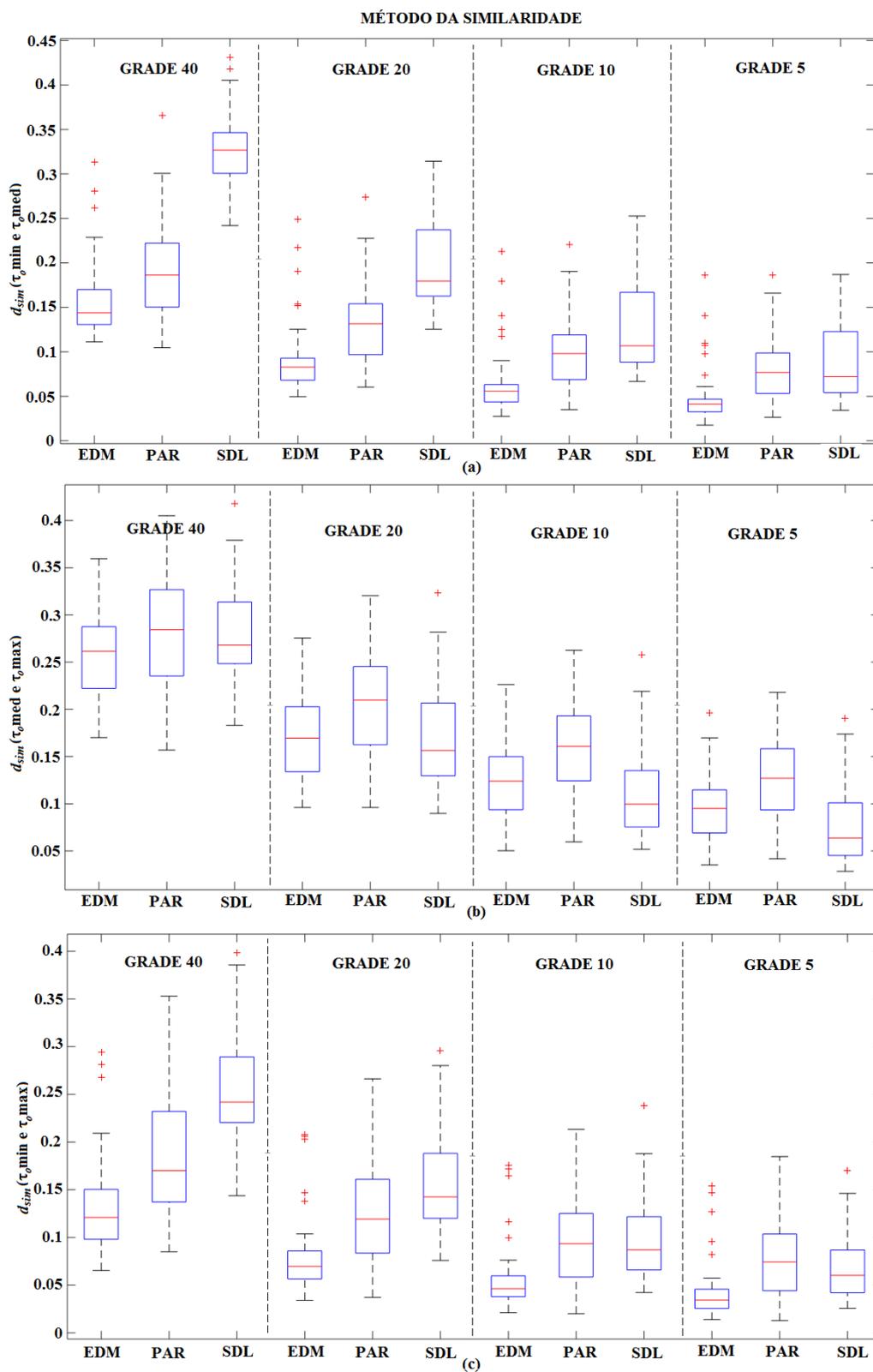
Quanto às grades utilizadas, o melhor desempenho foi obtido pela grade 10, pois através dela é possível observar mais detalhes sobre os espaços de fase reconstruídos do que utilizando as grades 20 e 40. Acredita-se que com as grades 20 e 40 podem ser observados detalhes de alta frequência. A grade 5 não obteve um resultado satisfatório, pois através dela não é possível observar as variações do traçado dos espaços de fase. Os valores encontrados tanto para contagem de caixas como para o método da diferença, utilizando a grade 5, são muito semelhantes para as três classes dificultando a classificação realizada pelo classificador e a separação da mediana observada nos *boxplots*.

## **C 2. *Boxplots* para o Método da Similaridade (MSIM) com a Base de Dados *Kay Elemetrics***

Na Figura C 5 estão ilustrados os *boxplots* com as medidas para o método da similaridade com as medidas  $d_{sim}$  ( $\tau_o$  med e  $\tau_o$  min),  $d_{sim}$  ( $\tau_o$  med e  $\tau_o$  max) e  $d_{sim}$  ( $\tau_o$  min e  $\tau_o$  max), utilizando as quatro grades, ilustrando os valores da média e do desvio encontrado para cada classe: edema (EDM), saudável (SDL) e paralisia (PAR).

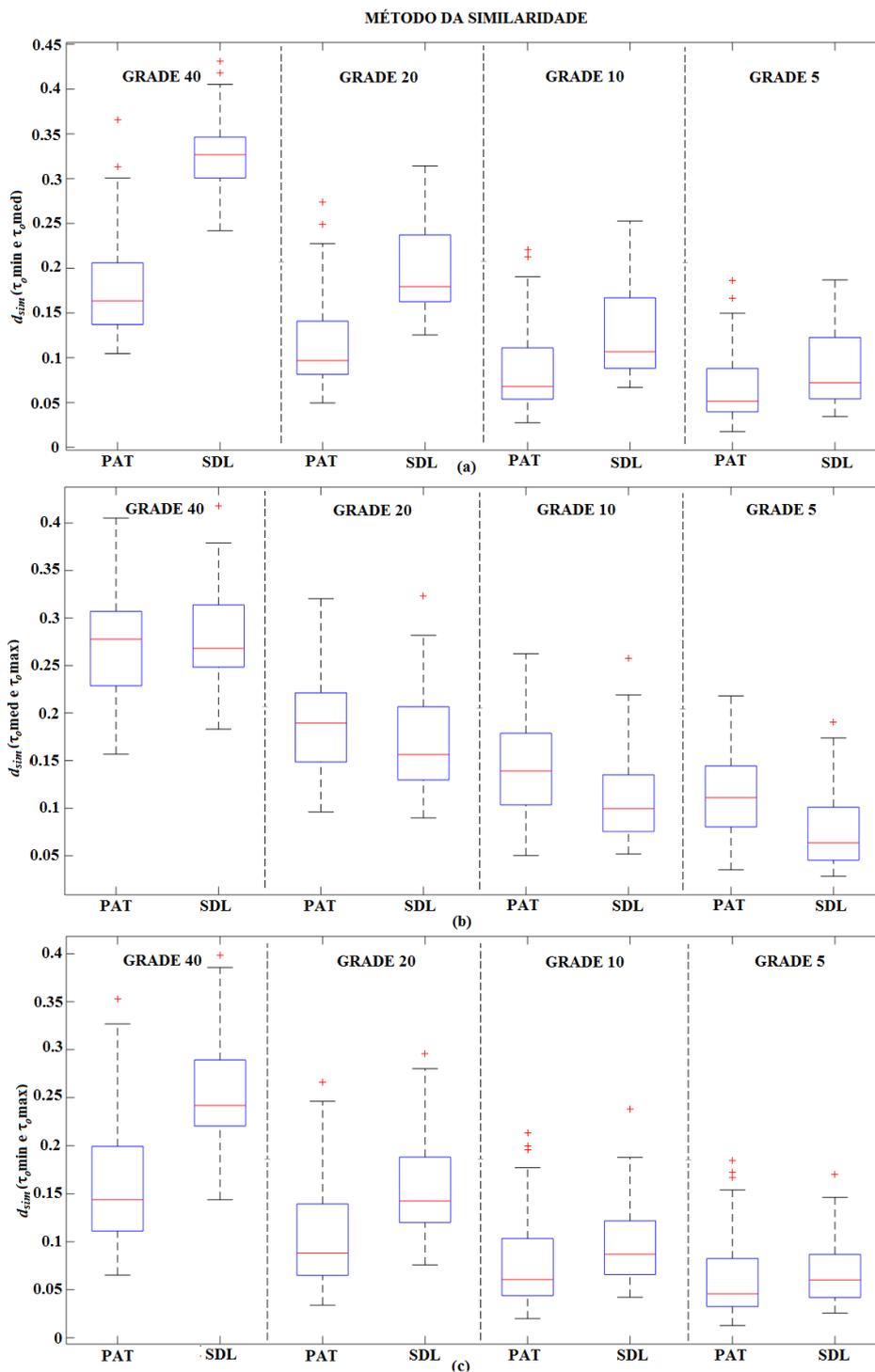
Analisando os *boxplots* da Figura C 5, observa-se que as medianas, para o  $d_{sim}$  ( $\tau_o$  min e  $\tau_o$  med),  $d_{sim}$  ( $\tau_o$  med e  $\tau_o$  max) e  $d_{sim}$  ( $\tau_o$  min e  $\tau_o$  max) obtidas com o método da similaridade diferenciam todas as grades, com maior ênfase para a medida  $d_{sim}$  ( $\tau_o$  min e  $\tau_o$  med), onde há diversos *outliers*. A dispersão apresentada para a medida  $d_{sim}$  ( $\tau_o$  med e  $\tau_o$  max) é considerável em todas as grades. Para a grade 40, por exemplo, os valores para os sinais afetados por edema e sinais saudáveis encontram-se dentro dos valores para sinais com paralisia nas pregas vocais, dificultando a classificação dos sinais entre edema, saudável e paralisia utilizando esta grade e esta medida. Por sua vez, a melhor classificação é dada pelo  $d_{sim}$  ( $\tau_o$  min e  $\tau_o$  med), em que observando a mediana vê-se uma clara separação, sendo que todas as grades (com ênfase a grade 40) demonstraram bons resultados e, como esperado, foi à medida que apresentou o melhor resultado no processo de classificação.

Figura C 5 - *Boxplots* para o método da similaridade para sinais afetados por Edema (EDM), afetados por Paralisia (PAR) e sinais Saudáveis (SDL). (a)  $d_{sim}(\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ min})$ , (b)  $d_{sim}(\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ max})$ , (c)  $d_{sim}(\tau_o \text{ max e } \tau_o \text{ min})$ .



Na Figura C 6 estão ilustrados os *boxplots* com as medidas para o método da similaridade ( $d_{sim}(\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ min})$ ,  $d_{sim}(\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ max})$  e  $d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ max})$ ) utilizando as quatro grades, ilustrando os valores da média e do desvio encontrado para as classes saudável (SDL) e patológico (PAT).

**Figura C 6 - *Boxplots* para o método da similaridade para sinais Patológicos (PAT) e sinais Saudáveis (SDL). (a)  $d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med})$ , (b)  $d_{sim}(\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ max})$ , (c)  $d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ max})$ .**



Na Figura C 6 os *boxplots* mostram que o método da similaridade utilizando o  $d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med})$  é a melhor medida, sendo que os melhores resultados são encontrados com a grade 40, na distinção entre sinais afetados por patologias e vozes saudáveis.

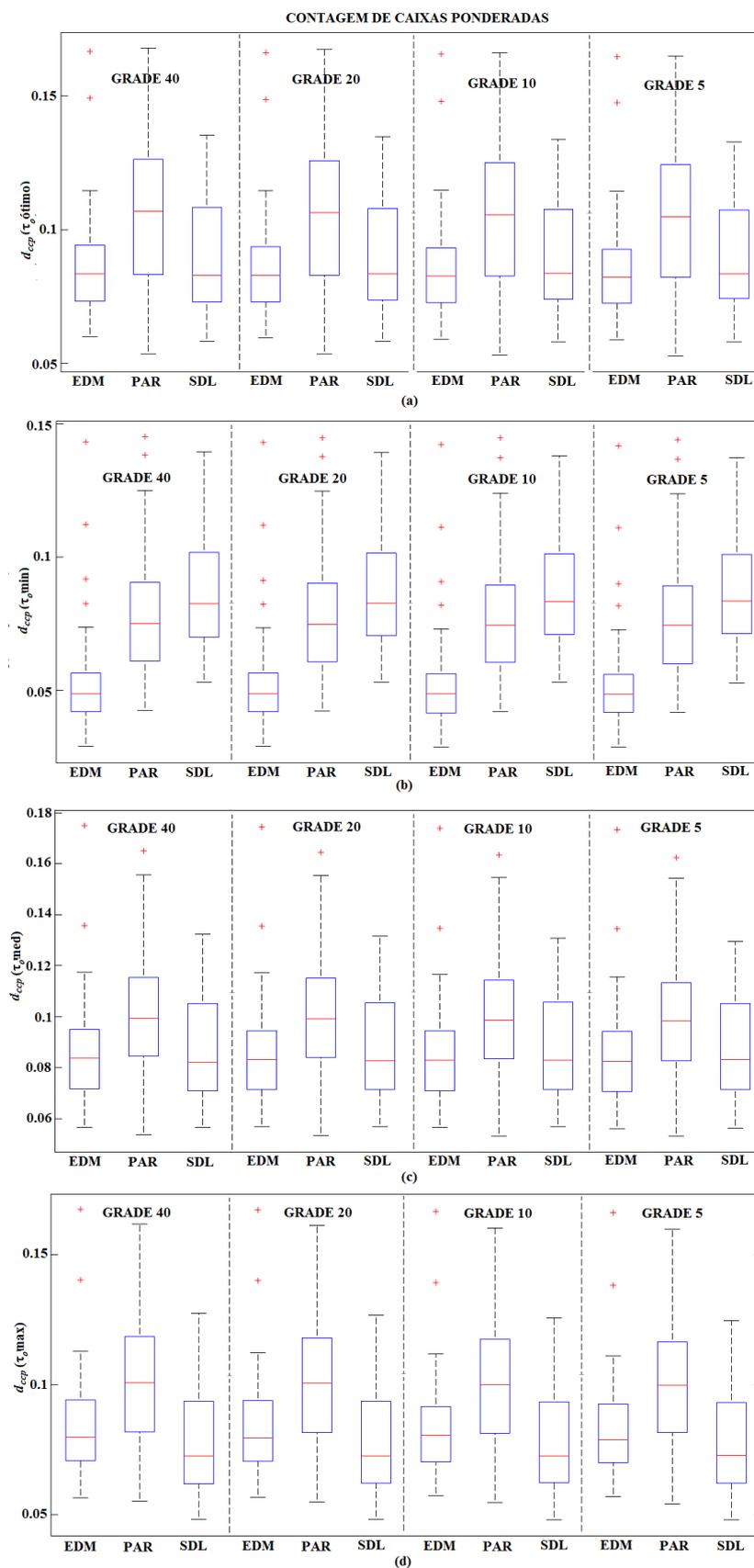
Os *boxplots* demonstraram o esperado, já que o classificador conseguiu medidas semelhantes às demonstradas para a classificação dos sinais com o método da similaridade. Entre todas as medidas individuais a melhor foi o  $d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med})$  com o método da similaridade. Neste método observa-se que a grade que obteve maior destaque foi a grade 40, apresentando custo computacional baixo, já que quanto maior a grade menor será o custo do processamento.

### **C 3. *Boxplots* para o Método da Contagem de Caixas Ponderadas (MCCP) com a Base de Dados *Kay Elemetrics***

Na Figura C 7 estão ilustrados os *boxplots* para o método da contagem de caixas ponderadas com as medidas  $d_{ccp}(\tau \text{ ótimo})$ ,  $d_{ccp}(\tau_o \text{ min})$ ,  $d_{ccp}(\tau_o \text{ med})$  e  $d_{ccp}(\tau_o \text{ max})$  utilizando as quatro grades, ilustrando os valores da média e do desvio padrão encontrado para cada classe: edema (EDM), saudável (SDL) e paralisia (PAR).

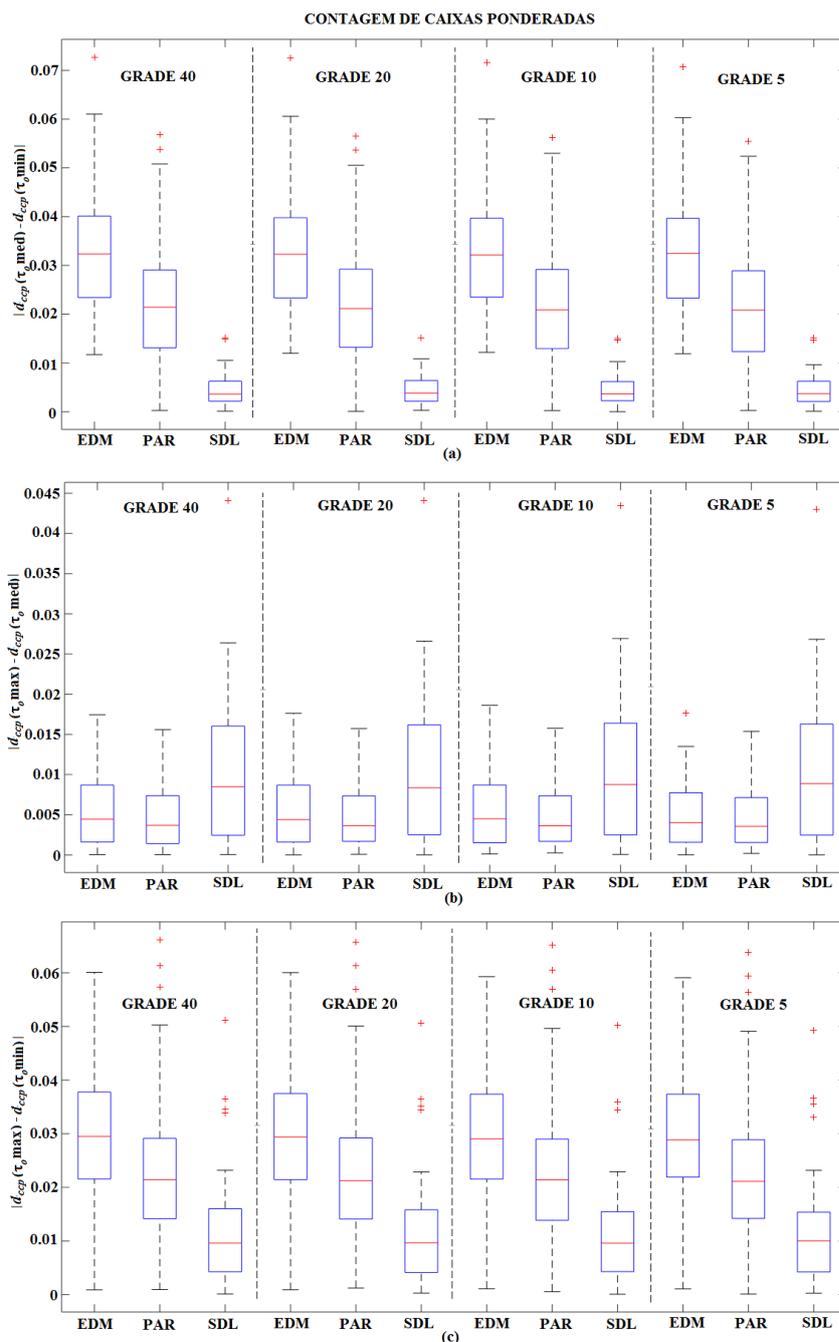
Analisando os *boxplots* da Figura C 7, observa-se que a dispersão para o  $d_{ccp}(\tau \text{ ótimo})$ ,  $d_{ccp}(\tau_o \text{ med})$  e  $d_{ccp}(\tau_o \text{ max})$  obtidas com o método da contagem de caixas ponderadas são consideráveis para as três classes em todas as grades, observando que na maioria dos casos os valores para edema estão dentro da classe dos sinais saudáveis e os valores para paralisia possuem dispersão elevada. A medida que se destaca na classificação com este método é o  $d_{ccp}(\tau_o \text{ min})$ , como pode ser observado na Figura C 7, seu valores são bem distintos entre as classes de sinais afetados por edema e sinais saudáveis e entre as classes de sinais afetados por edema e sinais afetados por paralisia. Os *boxplots* com  $d_{ccp}(\tau_o \text{ min})$ , foram os que apresentaram maior número de *outliers* comparado com as outras medidas.

Figura C 7 - *Boxplots* para o método da contagem de caixas ponderadas para sinais afetados por Edema (EDM), afetados por Paralisia (PAR) e sinais Saudáveis (SDL). (a)  $d_{exp}$  ( $\tau$  ótimo), (b)  $d_{exp}$  ( $\tau_o$  min), (c)  $d_{exp}$  ( $\tau_o$  med) e (d)  $d_{exp}$  ( $\tau_o$  max).



Na Figura C 8 estão ilustrados os *boxplots* para o método da contagem de caixas ponderadas com as medidas  $|d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min})|$ ,  $|d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ med})|$  e  $|d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min})|$  utilizando as quatro grades, ilustrando os valores da média e do desvio encontrado para cada classe: edema (EDM), saudável (SDL) e paralisia (PAR).

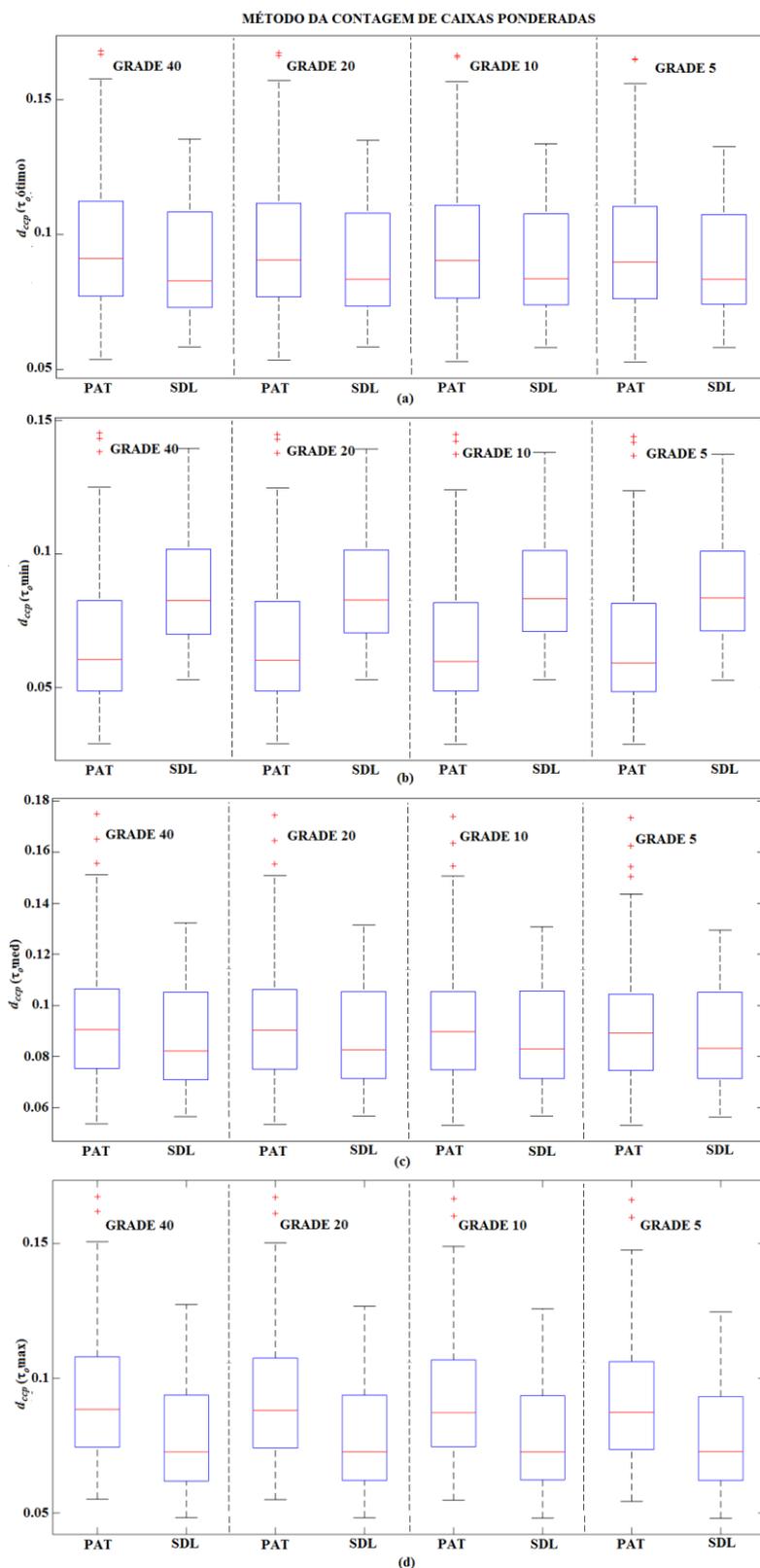
**Figura C 8 - *Boxplots* para o método da contagem de caixas ponderadas para sinais afetados por Edema (EDM), afetados por Paralisia (PAR) e sinais Saudáveis (SDL). (a)  $|d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min})|$ , (b)  $|d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ med})|$ , (c)  $|d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min})|$ .**



Na Figura C 9 estão ilustrados os *boxplots* para o método da contagem de caixas ponderadas com as medidas  $d_{ccp}(\tau \text{ ótimo})$ ,  $d_{ccp}(\tau_o \text{ min})$ ,  $d_{ccp}(\tau_o \text{ med})$  e  $d_{ccp}(\tau_o \text{ max})$  utilizando

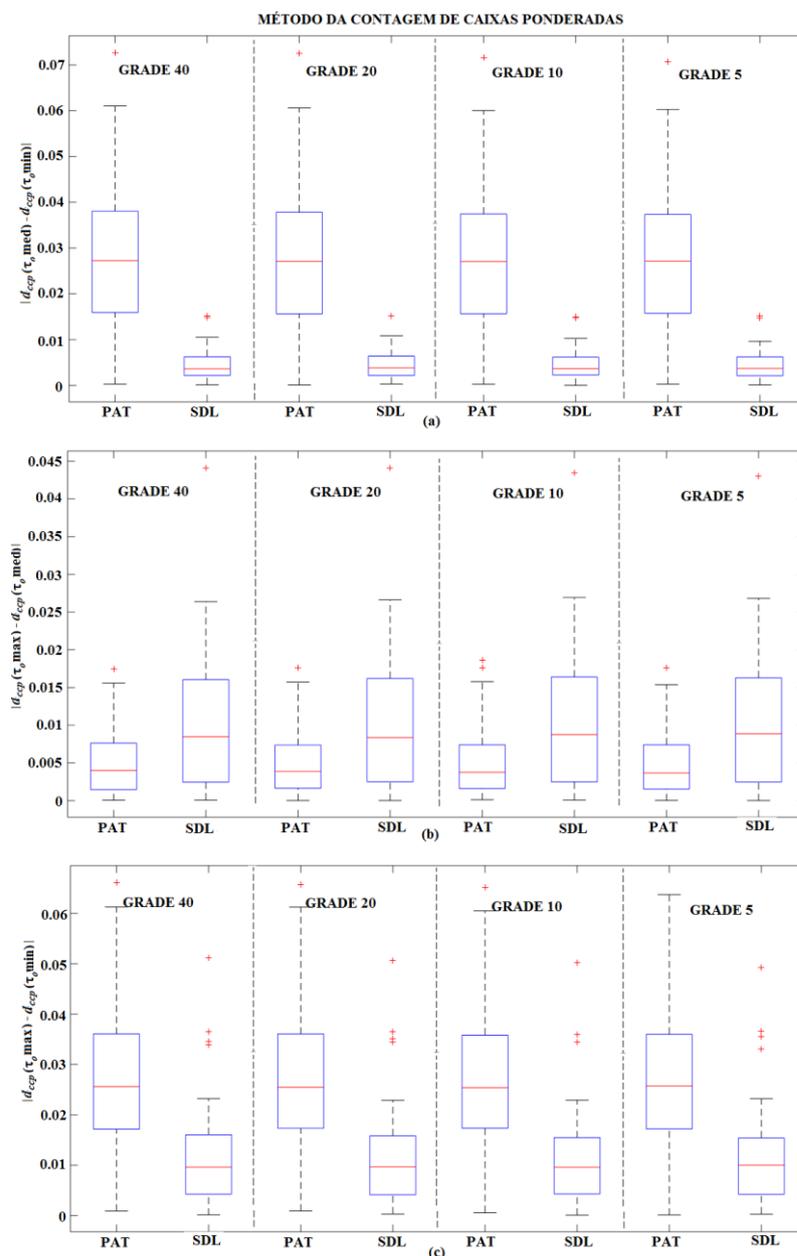
as quatro grades, ilustrando os valores da média e do desvio encontrado para as classes saudável (SDL) e patológico (PAT).

**Figura C 9 - Boxplots para o método da contagem de caixas ponderadas para sinais Patológicos (PAT) e sinais Saudáveis (SDL). (a)  $d_{cep}(\tau_o \text{ ótimo})$ , (b)  $d_{cep}(\tau_o \text{ min})$ , (c)  $d_{cep}(\tau_o \text{ med})$  e (d)  $d_{cep}(\tau_o \text{ max})$ .**



Na Figura C 10 estão ilustrados os *boxplots* para o método da similaridade com as medidas  $|d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min})|$ ,  $|d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ med})|$  e  $|d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min})|$  utilizando as quatro grades, ilustrando os valores da média e do desvio encontrado para as classes saudável (SDL) e patológico (PAT).

**Figura C 10 - *Boxplots* para o método da contagem de caixas para sinais Patológicos (PAT) e sinais Saudáveis (SDL). (a)  $|d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min})|$ , (b)  $|d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ med})|$ , (c)  $|d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min})|$ .**



Observa-se pelos *boxplots* da Figura C 8, que o método da contagem de caixas ponderadas utilizando as medidas  $|d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min})|$  e  $|d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min})|$  obteve um bom resultado na distinção das classes principalmente para  $|d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min})|$ , onde os valores para as vozes saudáveis estão totalmente fora da dispersão para os

sinais afetados por edema. Já os sinais afetados por paralisia apresentam dispersão maior que os demais sinais. Para  $|d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ med})|$  os valores para sinais afetados por edema e os sinais afetados por paralisia estão dentro dos valores para a classe saudáveis em todas as grades, dificultando a distinção.

Na Figura C 9 os *boxplots* mostram que o método da contagem de caixas ponderadas utilizando  $d_{ccp}(\tau \text{ ótimo})$ ,  $d_{ccp}(\tau_o \text{ min})$ ,  $d_{ccp}(\tau_o \text{ med})$  e  $d_{ccp}(\tau_o \text{ max})$  não foi tão eficiente na distinção entre sinais patológicos e sinais saudáveis, pois as dispersões entre as classes são parecidas principalmente para o  $d_{ccp}(\tau \text{ ótimo})$ ,  $d_{ccp}(\tau_o \text{ med})$  demonstrando que o  $\tau \text{ ótimo}$  não é eficiente na discriminação entre os sinais como observado no resultado obtido pelo classificador.

Pelos *boxplots* da Figura C 10 observa-se que o método da contagem de caixas ponderadas utilizando as medidas  $|d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ med})|$  e  $|d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min})|$  não são eficientes para distinguir sinais patológicos de sinais saudáveis, pois os valores de  $|d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ med})|$  para os sinais patológicos estão dentro dos valores para os sinais saudáveis e no caso da medida  $|d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min})|$  os valores para sinais saudáveis estão dentro dos valores para sinais patológicos que possuem uma dispersão elevada. Quanto a medida  $|d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min})|$  a dispersão para patologias é maior, enquanto que para sinais saudáveis quase não há dispersão e é possível distinguir com facilidade a mediana de cada classe. Observa-se também que nos primeiros *boxplots* ( $|d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min})|$ ), para as vozes saudáveis a dispersão é bem menor em torno da mediana do que para os sinais patológicos. O que não ocorre com  $|d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ med})|$ , acredita-se que este fato ocorre por que os valores para  $d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ med})|$  são variam bastante a ponto de apresentarem uma dispersão maior que as outras classes.

Os *boxplots* demonstraram o que o classificador conseguiu observar, que apenas  $|d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min})|$  e  $d_{ccp}(\tau_o \text{ min})$  foram as medidas que melhor caracterizaram e classificaram os sinais. Quanto às grades, observa-se que para as melhores medidas a grade 40 apresenta classificação satisfatória, pois apresentou taxas de classificação superiores a 80% e possui menor custo computacional se comparada com as demais grades.

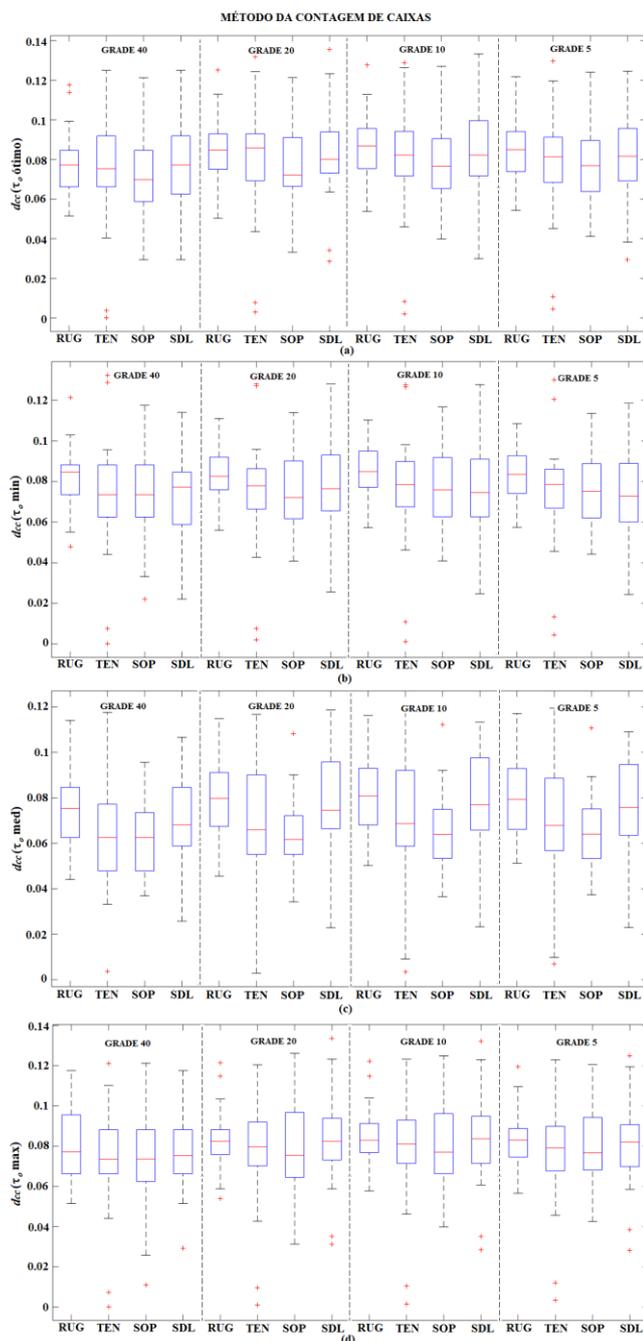
#### **D *Boxplots* para os Métodos empregados na classificação com os sinais da Base de Dados LIEV/UFPB**

Nesta seção são apresentados os *boxplots* com as medidas para o Método da Contagem de Caixas (MCC), Método da Diferença (MDIF), Método da Similaridade (MSIM) e Método da Contagem de Caixas Ponderadas (MCCP) com a base de dados LIEV/UFPB.

### D 1. *Boxplots* para o Método da Contagem de Caixas (MCC) e Método da Diferença (MDIF) com a Base de Dados LIEV/UFPB

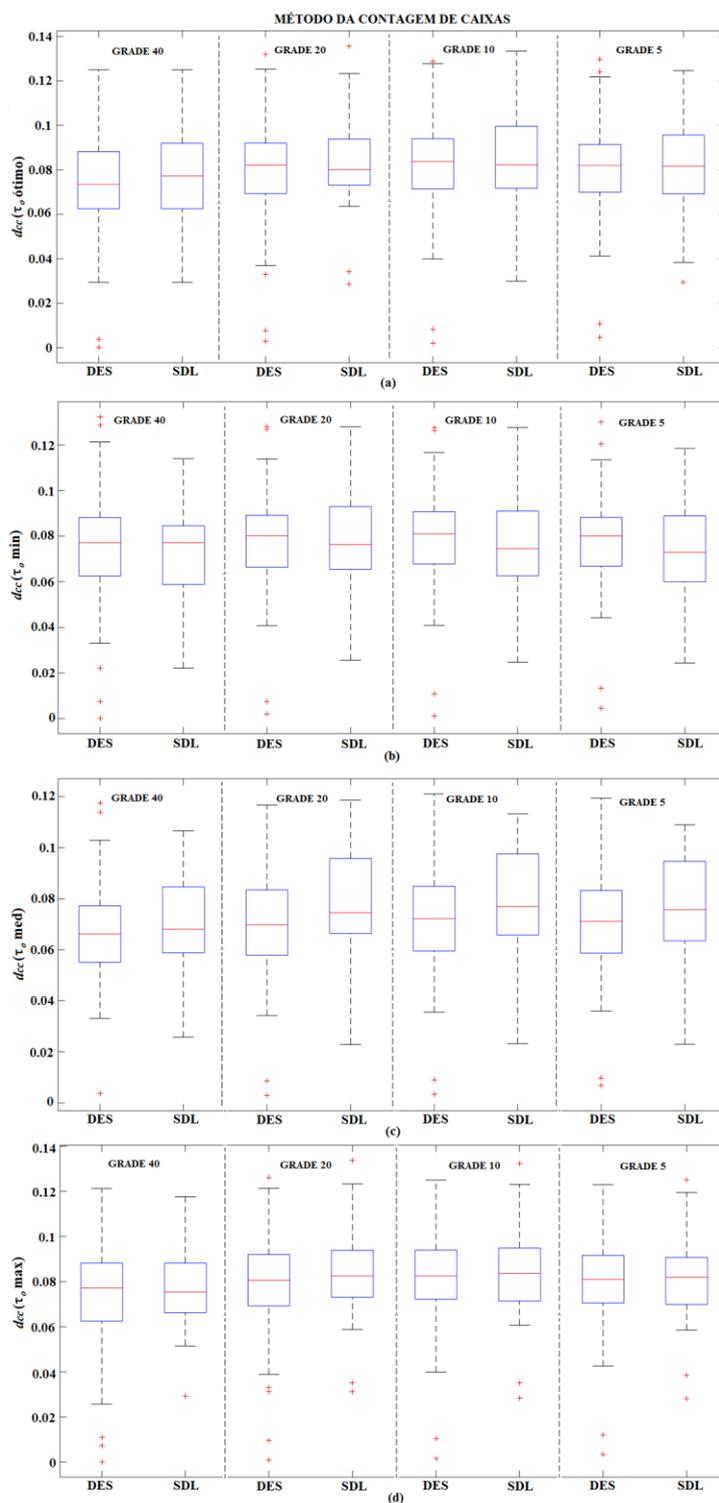
Na Figura D 1 estão ilustrados os *boxplots* para o método da contagem de caixas com as medidas  $d_{cc}(\tau \text{ ótimo})$ ,  $d_{cc}(\tau_o \text{ min})$ ,  $d_{cc}(\tau_o \text{ med})$  e  $d_{cc}(\tau_o \text{ max})$  utilizando as quatro grades, ilustrando os valores da média e do desvio padrão encontrado para cada classe: vozes rugosas (RUG), vozes tensas (TEN), vozes soprosas (SOP) e saudáveis (SDL).

Figura D 1 - *Boxplots* para o método da contagem de caixas para sinais de vozes rugosas (RUG), vozes tensas (TEN), vozes soprosas (SOP) e saudáveis (SDL). (a)  $d_{cc}(\tau \text{ ótimo})$ , (b)  $d_{cc}(\tau_o \text{ min})$ , (c)  $d_{cc}(\tau_o \text{ med})$  e (d)  $d_{cc}(\tau_o \text{ max})$ .



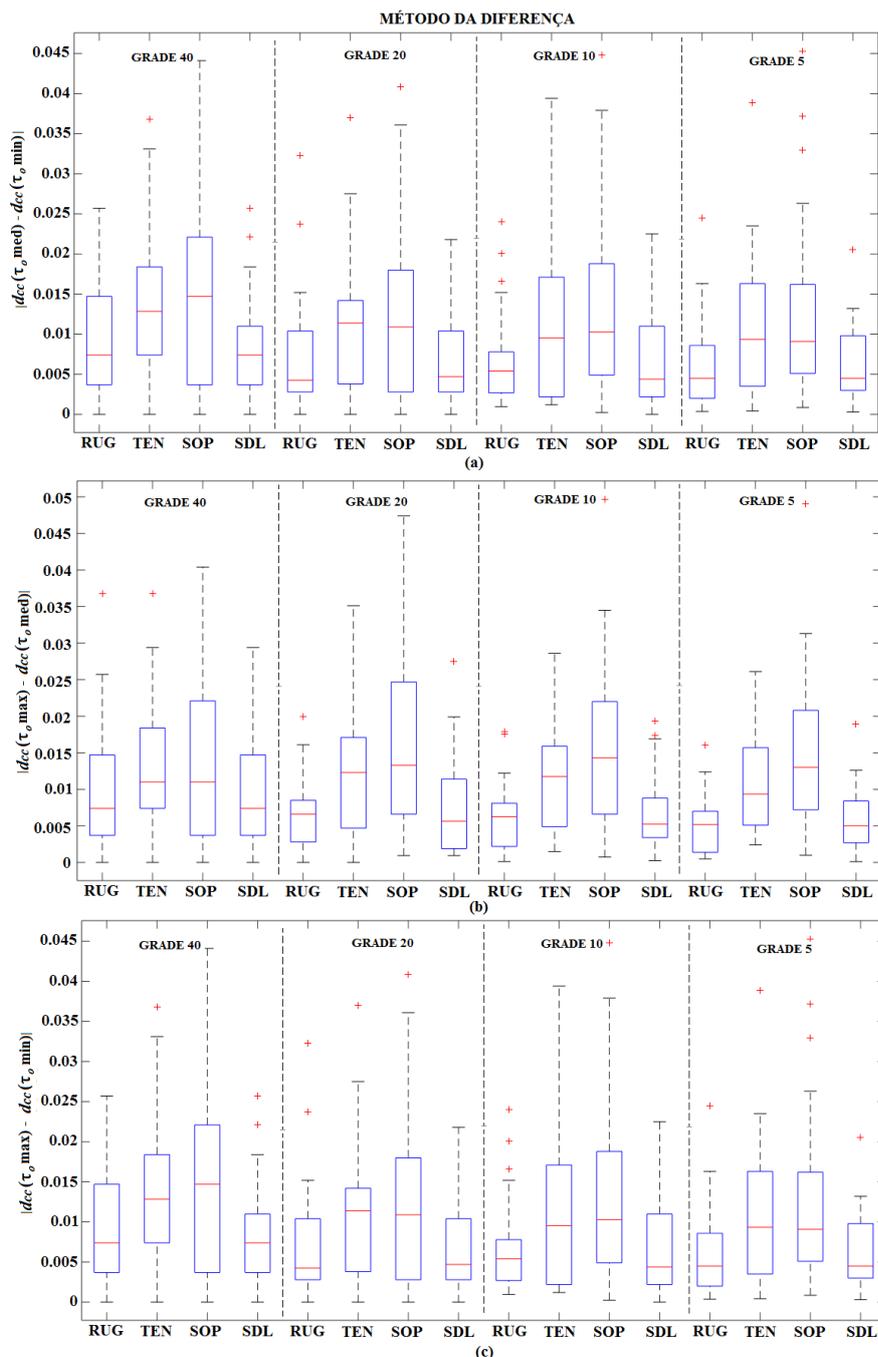
Na Figura D 2 estão ilustrados os *boxplots* para o método da contagem de caixas com as medidas  $d_{cc}$  ( $\tau$  ótimo),  $d_{cc}$  ( $\tau_o$  min),  $d_{cc}$  ( $\tau_o$  med) e  $d_{cc}$  ( $\tau_o$  max) utilizando as quatro grades, ilustrando os valores da média e do desvio encontrado para as classes de vozes desviadas (DES) e saudáveis (SDL).

**Figura D 2 - *Boxplots* para o método da contagem de caixas para sinais de vozes desviadas (DES) e saudáveis (SDL). (a)  $d_{cc}$  ( $\tau$  ótimo), (b)  $d_{cc}$  ( $\tau_o$  min), (c)  $d_{cc}$  ( $\tau_o$  med) e (d)  $d_{cc}$  ( $\tau_o$  max).**



Na Figura D 3 estão ilustrados os *boxplots* para o método da diferença com as medidas  $|d_{cc}(\tau_o \text{ med}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min})|$ ,  $|d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ med})|$  e  $|d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min})|$  utilizando as quatro grades, ilustrando os valores da média e do desvio encontrado para cada classe: vozes rugosas (RUG), vozes tensas (TEN), vozes soprosas (SOP) e saudáveis (SDL).

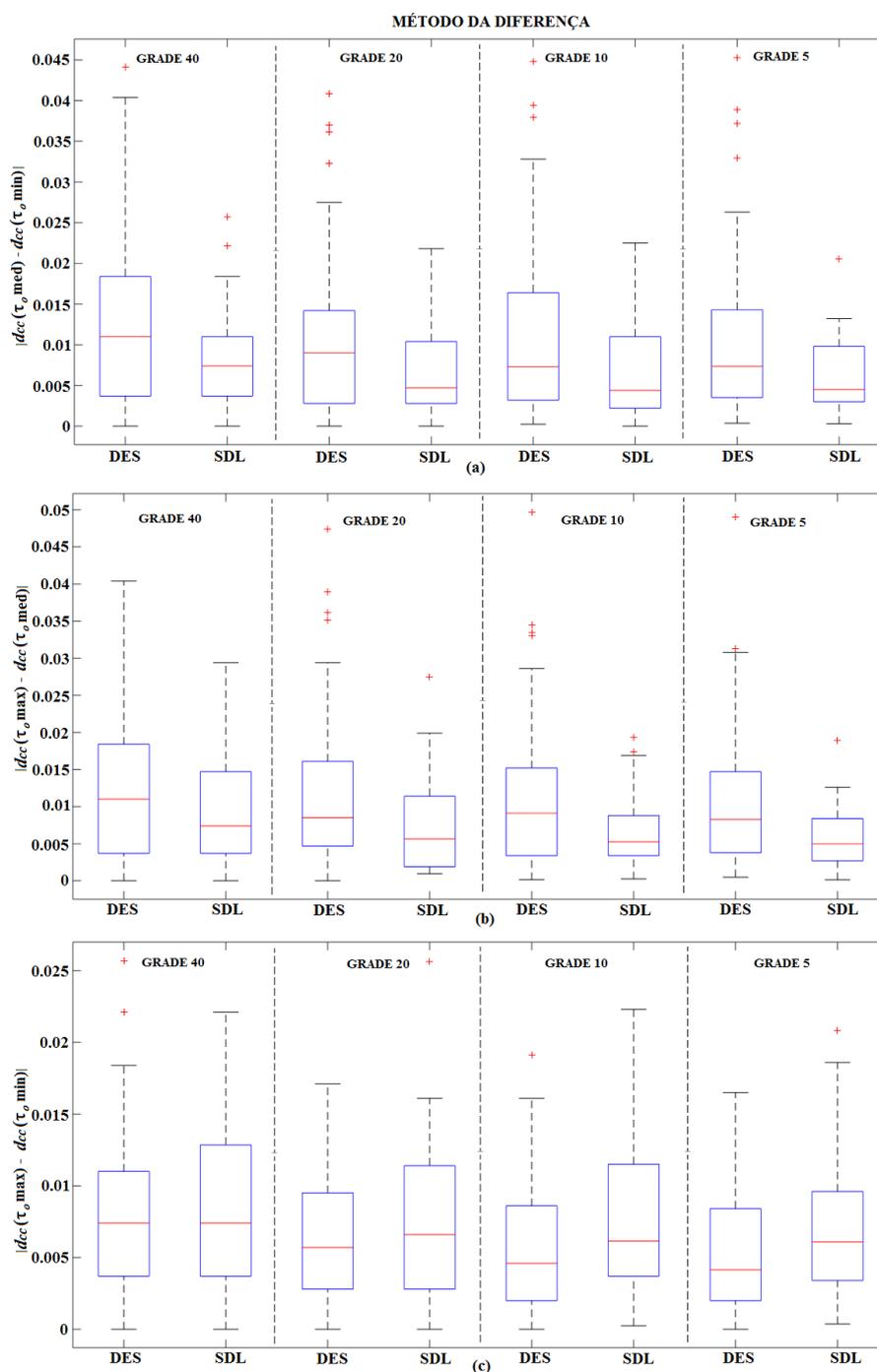
**Figura D 3 - *Boxplots* para o método da diferença para sinais de vozes rugosas (RUG), vozes tensas (TEN), vozes soprosas (SOP) e saudáveis (SDL). (a)  $|d_{cc}(\tau_o \text{ med}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min})|$ , (b)  $|d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ med})|$  e (c)  $|d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min})|$ .**



Na Figura D 4 estão ilustrados os *boxplots* para o método da diferença com as medidas  $|d_{cc}(\tau_o \text{ med}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min})|$ ,  $|d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ med})|$  e  $|d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min})|$  utilizando

as quatro grades, ilustrando os valores da média e do desvio padrão encontrado para as classes de vozes desviadas (DES) e saudáveis (SDL).

**Figura D 4 - Boxplots para o método da diferença para sinais de vozes desviadas (DES) e saudáveis (SDL). (a)  $|d_{cc}(\tau_o \text{ med}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min})|$ , (b)  $|d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ med})|$  e (c)  $|d_{cc}(\tau_o \text{ max}) - d_{cc}(\tau_o \text{ min})|$ .**



Analisando os *boxplots* da Figura D 1, observa-se que a dispersão para o  $d_{cc}(\tau \text{ ótimo})$ ,  $d_{cc}(\tau_o \text{ min})$ ,  $d_{cc}(\tau_o \text{ med})$  e  $d_{cc}(\tau_o \text{ max})$  obtidas com o método da contagem de caixas para as vozes rugosas, soprosas, tensas e saudáveis são grandes para as quatro classes em todas as grades, observando que na maioria dos casos os valores para as vozes rugosas, soprosas e

tensas estão dentro da classe dos sinais saudáveis e apresentam medianas semelhantes, afetando assim o desempenho do classificador.

Observa-se pelos *boxplots* da Figura D 2, que o método da contagem de caixas para a classificação entre vozes desviadas e saudáveis não foi bem sucedido, pois as medidas obtidas para os desvios (vozes rugosas, tensas e soprosas) foram bem semelhantes as medidas obtidas para as vozes saudáveis, apresentando medianas e dispersões semelhantes em todas as grades.

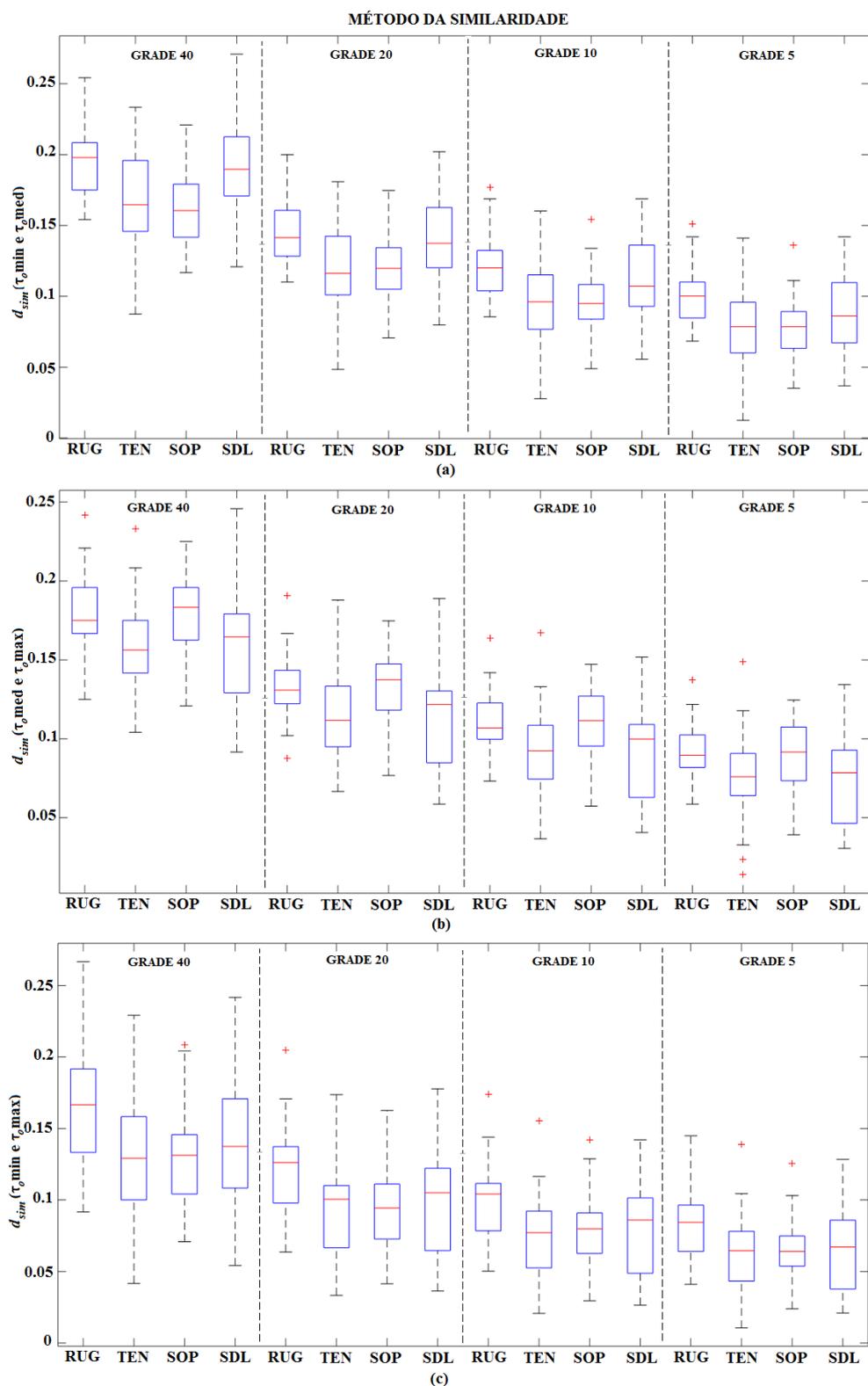
Na Figura D 3 os *boxplots* mostram que, no método da diferença, as classes que apresentam menor dispersão nas medidas são as vozes rugosas e saudáveis e a classe que possui maior dispersão são as vozes soprosas. Esta variação ocorre em todas as medidas com a maioria das grades. Não foi possível observar a diferença entre as classes, pois as dispersões são parecidas dificultando na classificação como visto no classificador.

É possível observar através da Figura D 4 que o método da diferença para a discriminação entre os desvios vocais e os sinais saudáveis não foi tão eficiente (taxas de acurácia inferiores a 70%) quando observada as características de maneira individual, onde as medidas com os desvios apresentaram grande dispersão quando comparados com as medidas obtidas para os sinais saudáveis, além de apresentarem medianas semelhantes principalmente para as grades 40 e 20, mas quando combinadas a classificação melhorou, atingindo acurácias superiores a 80%. Observa-se pelos *boxplots* obtidos a partir das medidas adquiridas com os métodos da contagem de caixas e da diferença que estes métodos não são eficientes na caracterização e classificação dos desvios, como observado pelo classificador. Como os métodos não classificaram bem os desvios vocais, então não foi possível indicar uma grade que influencie na classificação.

## **D 2. *Boxplots* para o Método da Similaridade (MSIM) com a Base de Dados LIEV/UFPB**

Na Figura D 5 estão ilustrados os *boxplots* para o método da similaridade com as medidas  $d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med})$ ,  $d_{sim}(\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ max})$  e  $d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ max})$  utilizando as quatro grades, ilustrando os valores da média e do desvio encontrado para cada classe: vozes rugosas (RUG), vozes tensas (TEN), vozes soprosas (SOP) e saudáveis (SDL).

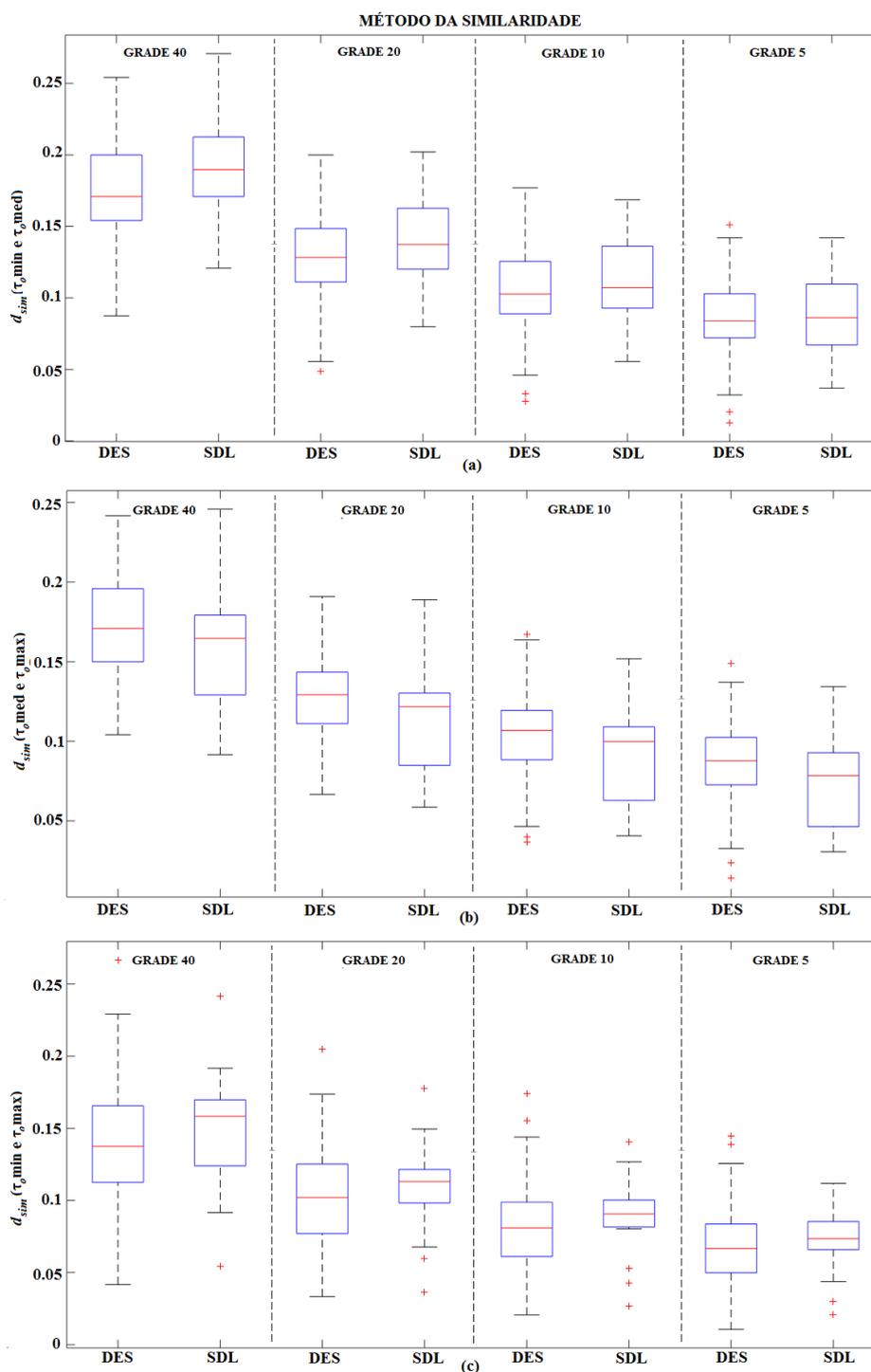
**Figura D 5 - Boxplots para o método da similaridade para sinais de vozes rugosas (RUG), vozes tensas (TEN), vozes soprosas (SOP) e saudáveis (SDL).** (a)  $d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med})$ , (b)  $d_{sim}(\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ max})$  e (c)  $d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ max})$ .



Na Figura D 6 estão ilustrados os *boxplots* para o método da similaridade com as medidas  $d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med})$ ,  $d_{sim}(\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ max})$  e  $d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ max})$  utilizando as

quatro grades, ilustrando os valores da média e do desvio encontrado para as classes desviadas (DES) e saudáveis (SDL).

**Figura D 6 - Boxplots para o método da similaridade para sinais de vozes desviadas (DES) e saudáveis (SDL). (a)  $d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med})$ , (b)  $d_{sim}(\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ max})$  e (c)  $d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ max})$ .**



Nos *boxplots* da Figura D 5 observa-se que através das características  $d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med})$  e  $d_{sim}(\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ max})$  com as grades 40 e 20 é possível diferenciar as medianas de cada classe, principalmente para  $d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med})$ , sendo uma das melhores medidas

obtidas para a discriminação dos desvios como observado nos resultados obtidos pelo classificador, principalmente no caso de vozes rugosas e saudáveis, sendo uma das classificações que obtiveram maior acurácia na discriminação.

Na Figura D 6 os *boxplots* mostram que no método da similaridade utilizando a medida  $d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med})$  com a grade 40 consegue discriminar sinais de vozes desviadas e saudáveis por que as classes possuem medianas distintas, mas a classificação não é tão efetiva por que a dispersão das classes são semelhantes. Quando observada as demais medidas ( $d_{sim}(\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ max})$  e  $d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ max})$ ) verifica-se que as dispersões e as medianas das classes são bem semelhantes o que dificulta a utilização das medidas pelo classificador para realizar a classificação.

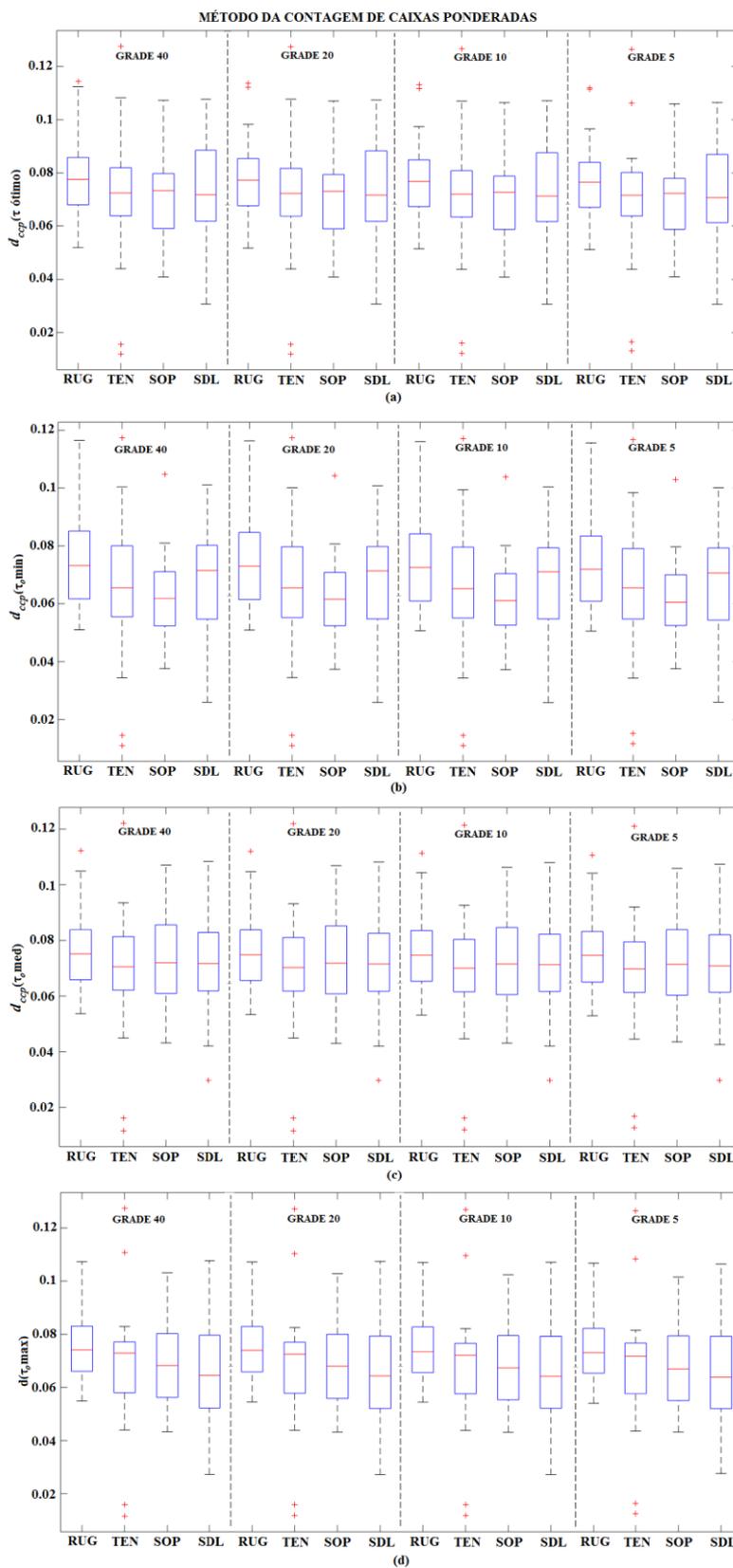
No método da similaridade é possível observar que as característica que desempenha melhor papel no caso da classificação com medidas individuais são  $d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ med})$  e  $d_{sim}(\tau_o \text{ med e } \tau_o \text{ max})$ , sendo que,  $d_{sim}(\tau_o \text{ min e } \tau_o \text{ max})$ , apenas aparece na classificação quando as medidas são combinadas. A grade que possui maior destaque no método da similaridade para discriminar os desvios vocais é a grade 20.

### **D 3. *Boxplots* para o Método da Contagem de Caixas Ponderadas (MCCP) com a Base de Dados LIEV/UFPB**

Na Figura D 7 estão ilustrados os *boxplots* para o método da contagem de caixas ponderadas com as medidas  $d_{ccp}(\tau \text{ ótimo})$ ,  $d_{ccp}(\tau_o \text{ min})$ ,  $d_{ccp}(\tau_o \text{ med})$  e  $d_{ccp}(\tau_o \text{ max})$  utilizando as quatro grades, ilustrando os valores da média e do desvio encontrado para cada classe: vozes rugosas (RUG), vozes tensas (TEN), vozes soprosas (SOP) e saudáveis (SDL).

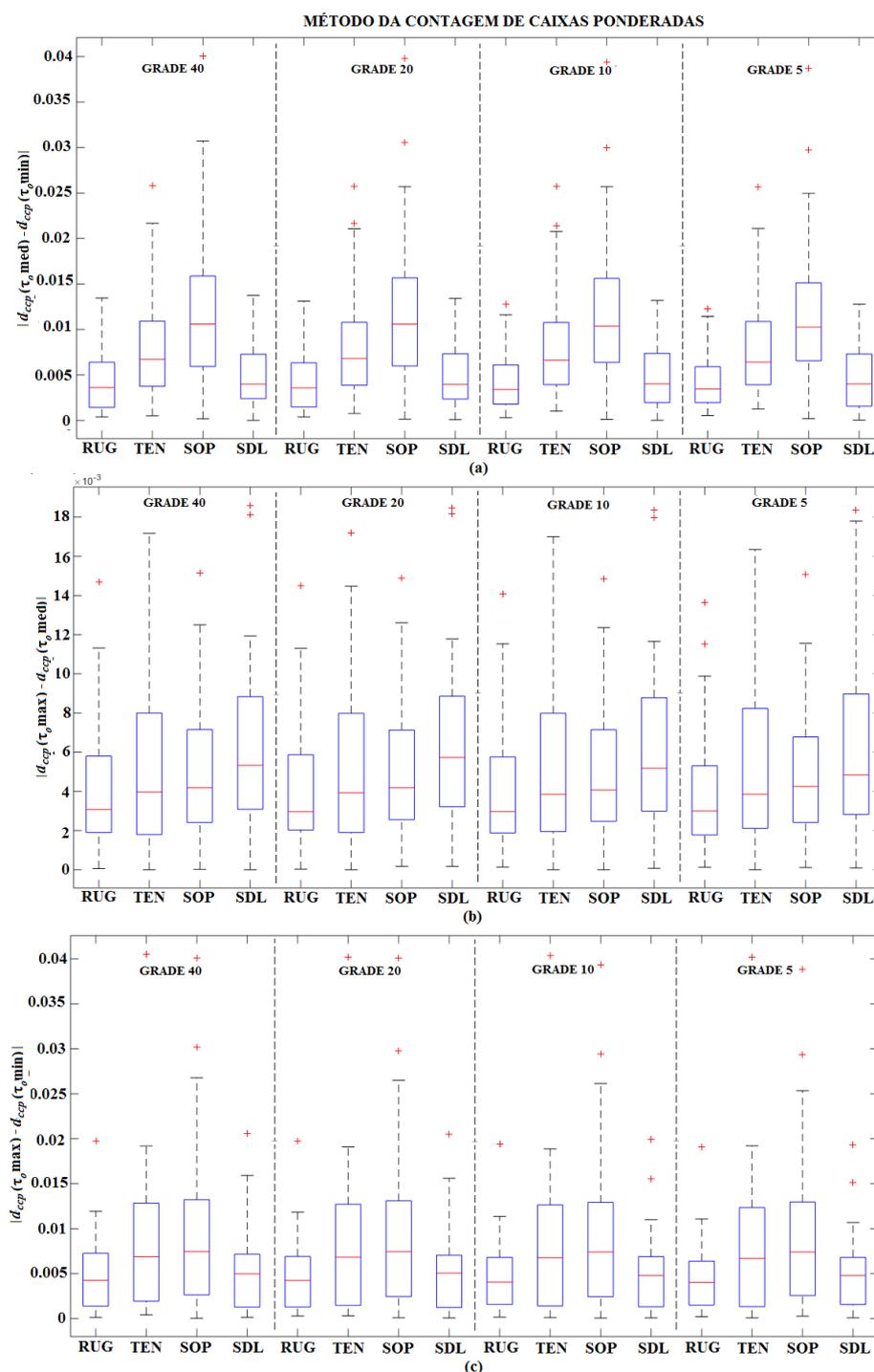
Não é possível observar discriminação entre sinais e vozes rugosas, soprosas, tensas e saudáveis com as medidas  $d_{ccp}(\tau \text{ ótimo})$ ,  $d_{ccp}(\tau_o \text{ med})$  e  $d_{ccp}(\tau_o \text{ max})$  observando a Figura D 7, pois as dispersões são semelhantes e não é possível diferença entre as medianas. O  $d_{ccp}(\tau_o \text{ min})$  é a única medida, entre as citadas anteriormente, em que é possível observar a diferença entre as medianas, principalmente para as vozes soprosas vs. saudáveis e rugosas vs. saudáveis.

Figura D 7 - *Boxplots* para o método da contagem de caixas ponderadas para sinais de vozes rugosas (RUG), vozes tensas (TEN), vozes soprosas (SOP) e saudáveis (SDL). (a)  $d_{cep}(\tau \text{ ótimo})$  (b)  $d_{cep}(\tau_o \text{ min})$ , (c)  $d_{cep}(\tau_o \text{ med})$  e (d)  $d_{cep}(\tau_o \text{ max})$ .



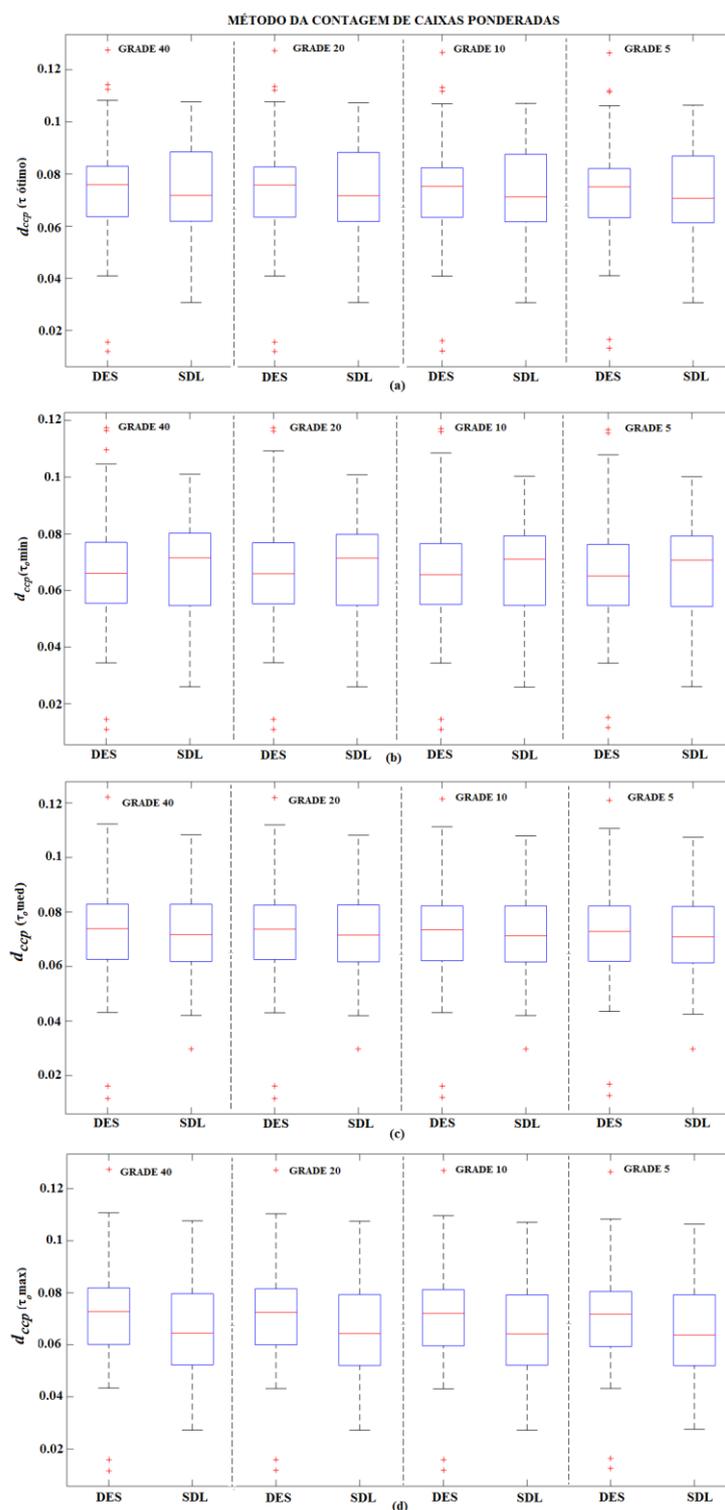
Na Figura D 8 estão ilustrados os *boxplots* para o método da contagem de caixas ponderadas com as medidas  $|d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min})|$ ,  $|d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ med})|$  e  $|d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min})|$  utilizando as quatro grades, ilustrando os valores da média e do desvio encontrado para cada classe: vozes rugosas (RUG), vozes tensas (TEN), vozes soprosas (SOP) e saudáveis (SDL).

**Figura D 8 - *Boxplots* para o método da contagem de caixas ponderadas para sinais de vozes rugosas (RUG), vozes tensas (TEN), vozes soprosas (SOP) e saudáveis (SDL). (a)  $|d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min})|$ , (b)  $|d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ med})|$  e (c)  $|d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min})|$ .**



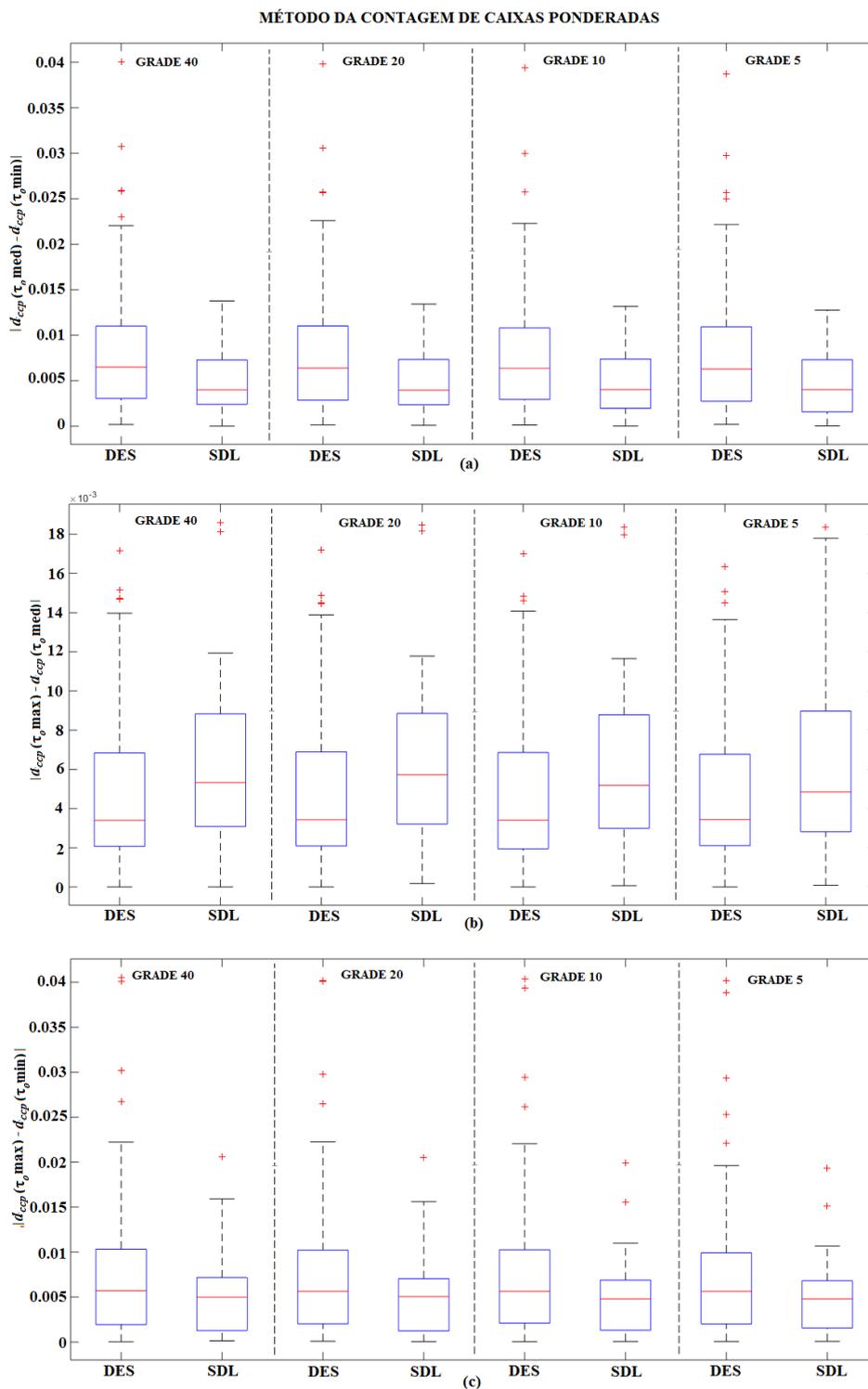
Na Figura D 9 estão ilustrados os *boxplots* para o método da contagem de caixas ponderadas com as medidas  $d_{ccp}$  ( $\tau$  ótimo),  $d_{ccp}$  ( $\tau_o$  min),  $d_{ccp}$  ( $\tau_o$  med) e  $d_{ccp}$  ( $\tau_o$  max) utilizando as quatro grades, ilustrando os valores da média e do desvio encontrado para as classes desviadas (DES) e saudáveis (SDL).

**Figura D 9 - *Boxplots* para o método da contagem de caixas ponderadas para sinais de vozes desviadas (DES) e saudáveis (SDL). (a)  $d_{ccp}$  ( $\tau$  ótimo) (b)  $d_{ccp}$  ( $\tau_o$  min), (c)  $d_{ccp}$  ( $\tau_o$  med) e (d)  $d_{ccp}$  ( $\tau_o$  max).**



Na Figura D 10 estão ilustrados os *boxplots* para o método da contagem de caixas ponderadas com as medidas  $|d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min})|$ ,  $|d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ med})|$  e  $|d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min})|$  utilizando as quatro grades, ilustrando os valores da média e do desvio encontrado para as classes desviadas (DES) e saudáveis (SDL).

**Figura D 10 - *Boxplots* para o método da contagem de caixas ponderadas para sinais de vozes desviadas (DES) e saudáveis (SDL). (a)  $|d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min})|$ , (b)  $|d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ med})|$  e (c)  $|d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min})|$ .**



Os *boxplots* da Figura D 8 apresentam as medidas  $|d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min})|$ ,  $|d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ med})|$  e  $|d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min})|$  para o método da contagem de caixas ponderadas, onde é possível observar que entre estas três medidas  $|d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min})|$  e  $|d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ med})|$  conseguem distinguir os sinais. A classe de sinais soprosos apresentam maior dispersão para medida  $|d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min})|$  em todas as grades se comparado com os demais sinais.

Na Figura D 9 possui os *boxplots* para o método da contagem de caixas ponderadas utilizando as medidas  $d_{ccp}(\tau \text{ ótimo})$ ,  $d_{ccp}(\tau_o \text{ min})$ ,  $d_{ccp}(\tau_o \text{ med})$  e  $d_{ccp}(\tau_o \text{ max})$  para as classes de vozes desviadas e saudáveis. Não é possível observar a discriminação entre os sinais, sendo que nas medidas  $d_{ccp}(\tau \text{ ótimo})$ ,  $d_{ccp}(\tau_o \text{ min})$  e  $d_{ccp}(\tau_o \text{ max})$  os valores obtidos para vozes desviadas estão dentro dos valores para vozes saudáveis. No caso de  $d_{ccp}(\tau_o \text{ med})$  as classes apresentam dispersão e medianas semelhantes para as quatro grades, apresentando alguns *outliers* nas duas classes. Na Figura D 10 o método da contagem de caixas ponderadas é apresentado através dos *boxplots* obtidos para as medidas  $|d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min})|$ ,  $|d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ med})|$  e  $|d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min})|$ . Na avaliação dos desvios vocais comparados aos sinais saudáveis observa-se que  $|d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min})|$  possui medianas semelhantes entre as classes e os valores obtidos para as vozes saudáveis estão dentro dos valores para vozes desviadas. As medidas  $|d_{ccp}(\tau_o \text{ med}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ min})|$  e  $|d_{ccp}(\tau_o \text{ max}) - d_{ccp}(\tau_o \text{ med})|$  apresentam medianas que se diferenciam mas na maioria dos casos os valores obtidos para vozes desviadas estão dentro dos valores obtidos para vozes saudáveis.