

4

Testes e Resultados

Este capítulo analisa cada método proposto e suas combinações em grupos para diagnosticar os NPS. Primeiro, serão detalhados todos os procedimentos iniciais básicos para aquisição e segmentação dos nódulos, e serão descritos os *software* e *hardware* utilizados no desenvolvimento deste trabalho. Além disso, serão feitas análises de todos os métodos propostos e, como consequência, serão determinados quais os métodos que melhor discriminam os nódulos malignos dos benignos.

4.1

Metodologia

Esta seção descreve os procedimentos utilizados durante os testes dos métodos propostos. Serão descritos o protocolo de aquisição dos nódulos, as características da amostra estudada, os *software* e *hardware* utilizados durante a aquisição das medidas e na classificação, e os parâmetros para a utilização dos métodos.

4.1.1

Protocolo de Aquisição dos NPS

Os pacientes foram examinados pela equipe do Dr. Rodolfo Acatauassú Nunes, no setor de Cirurgia Torácica da Faculdade de Ciências Médicas da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Depois que os procedimentos médicos foram realizados, os pacientes foram encaminhados para fazer o exame no Instituto Fernandes Figueira - Fundação Oswaldo Cruz (FIOCRUZ), aos cuidados da Dra. Márcia Boechat. Todos os pacientes deram autorização para que seus exames fizessem parte da pesquisa.

As imagens foram adquiridas em uma TC Helicoidal GE pro Speed, sob as seguintes condições: voltagem do tubo de 120 kVp, corrente do tubo de 100 mA, tamanho da imagem de 512×512 *pixels*, e *voxel* com

tamanho de $0.67 \times 0.67 \times 1.0$ mm. As imagens foram quantizadas em 12 bits e armazenadas no padrão DICOM.

4.1.2

Amostra dos NPS

Os testes descritos neste trabalho foram efetuados em uma amostra com 36 NPS, sendo 29 benignos e 7 malignos. É importante salientar que todos os NPS foram diagnosticados por médicos especialistas. Os procedimentos adotados por eles para a confirmação do diagnóstico foram:

- Através da imagem. Alguns NPS examinados puderam ser diagnosticados através da imagem, pois suas características eram visíveis e bem descritas na literatura médica.
- Através da intervenção cirúrgica e exame patológico. Alguns NPS também tinham características visíveis na imagem, mas o possível diagnóstico sugeria malignidade. Portanto, foi realizada a extração cirúrgica e posteriormente o exame patológico para a confirmação do diagnóstico.
- Através da evolução. Nessa amostra existem alguns NPS nos quais não foi possível identificar malignidade ou benignidade através dos exames iniciais. O procedimento adotado foi observar seu comportamento (evolução) num período mínimo de 2 anos. Desta forma, os NPS que não aumentaram (ou até reduziram de tamanho) foram considerados como benignos. Os NPS para os quais mesmo depois deste período de observação não houve confirmação do diagnóstico não fazem parte da amostra.

Em resumo, a amostra possui NPS com diagnósticos confirmados utilizando os três procedimentos citados.

O pequeno tamanho da amostra e a sua desproporção (mais nódulos benignos do que malignos) podem ser explicados, respectivamente, pelo tempo de espera da evolução do nódulo e pelo fato de que no Brasil existem mais pessoas portadoras de nódulo benignos, principalmente tuberculoma, do que malignos.

Não houve nenhum critério específico para a escolha dos nódulos da amostra. A amostra tem NPS com tamanhos e formas variadas, com características homogênea e heterogênea, e em estágio inicial e avançado. Todos os exames foram de pacientes diferentes.

4.1.3 Segmentação do NPS

Na maioria dos casos, o nódulo pulmonar é de fácil detecção visual pelos médicos, já que possui forma e localização que se destacam das outras estruturas pulmonares. Entretanto, a densidade do *voxel* se assemelha à de outras estruturas, como vasos sanguíneos, o que dificulta uma detecção automática através do computador. Isto ocorre principalmente quando o nódulo está situado adjacente à pleura. Por estas razões, é utilizado o algoritmo de região de crescimento 3D por agregação de *voxel* [86], que permite que os médicos tenham maior interatividade e controle sobre a segmentação e determinação dos parâmetros (limiares inicial e final, fatia e semente) necessários.

Dois outros recursos auxiliares possibilitam um maior controle sobre a segmentação são a barreira e a borracha. A barreira é um cilindro colocado em volta do nódulo pelo médico, que tem por objetivo limitar a região de interesse e impedir que a segmentação por agregação de *voxel* invada outras estruturas do pulmão. A Figura A.5 exemplifica o recurso da barreira. A borracha, por sua vez, é um recurso que possibilita ao médico apagar estruturas indesejadas antes ou depois da segmentação, visando evitar e corrigir erros durante a segmentação [93].

4.1.4 Software e Hardware Utilizados

Para que os médicos tivessem condições de analisar, visualizar em 2D e 3D, segmentar e filtrar os NPS, foi desenvolvido um *software* denominado “Sistema de Análise de Nódulo Pulmonar – SANP” [93]. O SANP foi implementado em C++, utilizando as bibliotecas IUP [100] para interface, IM [101] para manipulação de imagens em 2D, e CD [102] para desenho, desenvolvidas pelo Laboratório Tecgraf/PUC-Rio, e compilado com o Visual C++ da Microsoft. Maiores detalhes sobre os recursos disponíveis no SANP podem ser encontrados no Apêndice A.

O *freeware* eFilm [103] foi utilizado para obter as imagens da estação da TC para o computador de trabalho. O *freeware* GSLIB [25] foi utilizado para calcular as funções geoestatísticas. O *software* comercial estatístico SPSS (*Statistical Package for the Social Sciences*) [104] foi utilizado para selecionar as medidas, determinar a ALDF e classificar os NPS. O *software* comercial NeuralPower [105] foi utilizado para determinar e treinar a Rede Neural MLP e classificar os NPS. O *freeware* ROCKIT [106] foi utilizado

para calcular e comparar as áreas das curvas ROC. O computador utilizado para os testes foi um Pentium 800 MHz, com 128 Mb de RAM e HD com 20 Gb.

4.1.5

Parâmetros dos Métodos Estudados para os Testes

Nesta seção serão definidos os parâmetros e as especificações necessários para realizar os testes dos métodos estudados.

Análise do Nódulo Pulmonar Baseada em Textura (Métodos Clássicos) – Grupo I

Um grande problema com os métodos SGLDM, GLDM e GLRLM é que a escolha da direção e distância dos vizinhos do *voxel*, bem como do nível de quantização, é arbitrária [58]. Neste trabalho, para os métodos SGLDM e GLDM, foram adotados os 26 vizinhos do *voxel*, a uma distância de 1, 2 e 3 *voxels*. Para o método GLRLM foram utilizados os oito vizinhos (0°, 45°, 90°, 135° e simétricos) do *voxel*, a uma distância de 1 *voxel*. Os três métodos usaram uma quantização de 8, 16, 32, 64 e 256 níveis de cinza. Desta forma, para o método SGLDM foram analisadas 6 medidas \times 3 distâncias \times 5 níveis de cinza, totalizando 90 medidas. O mesmo número de medidas foi analisada para o método GLDM. Para o método GLRLM foram analisadas 5 medidas \times 1 distância \times 5 níveis de cinza, totalizando 25 medidas. Em resumo, para o Grupo I foram analisadas 215 medidas no total, incluindo as 10 do histograma.

A identificação das medidas para o Grupo I, exceto as do histograma, tem o seguinte significado: 1) os três primeiros caracteres significam a sigla da medida; 2) o caractere seguinte significa o método utilizado, sendo *g* para SGLDM e *d* para GLDM (o método GLRLM não possui esse caractere); 3) os três próximos dígitos significam o nível de quantização; e 4) o último dígito significa a distância (o método GLRLM não possui esse dígito). Para exemplificar essa notação, os dígitos da medida **CORg0163** significam: **COR** = correlograma, **g** = SGLDM, **016** = 16 níveis de cinza, e **3** = distância entre os *voxels*.

Análise do Nódulo Pulmonar Baseada em Textura (Funções Geoestatísticas) – Grupo II

No teste com as funções geoestatísticas, o modelo analítico [7] não foi necessário, pois foram utilizados somente os valores experimentais. As medidas extraídas, consideradas como as assinaturas de texturas, foram obtidas computando as funções de semivariograma, semimadograma, covariograma e correlograma com os seguintes parâmetros: *dip* (Z): $0^\circ, -45^\circ$ e -90° , e para cada *dip* os azimutes (X e Y) considerados foram $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$ e 135° . A distância de separação entre os *lags*, a tolerância angular (azimute e *dip*) e a tolerância do *lag* foram 1 mm, $\pm 22.5^\circ$ e ± 0.5 mm, respectivamente. O número máximo de *lags* depende da dimensão de cada volume (nódulo).

Foram selecionados apenas os três primeiros e o último valor de $\gamma(h)$, $m(h)$, $C(h)$ e $\rho(h)$ em uma direção específica para cada função. Estes valores foram selecionados porque existe um grande interesse em verificar pequenas variações do tecido do nódulo em pequenas distâncias, mas sem rejeitar as informações de distâncias maiores. Desta forma, foram extraídas 48 medidas ($3 \text{ dips} \times 4 \text{ azimutes} \times 4 \text{ valores para cada função estudada } (\gamma(h), m(h), C(h) \text{ e } \rho(h)))$), totalizando 192 medidas.

A identificação das medidas para o Grupo II tem o seguinte significado: 1) a letra inicial corresponde à função geoestatística ($v =$ semivariograma, $m =$ semimadograma, $r =$ correlograma, $c =$ covariograma); 2) os três dígitos seguintes significam o azimute; 3) os dois próximos significam o *dip*; e 4) os dois últimos significam os quatro valores de $\gamma(h)$, $m(h)$, $C(h)$ ou $\rho(h)$. Para exemplificar essa notação, os dígitos da medida **v0450003** significam: **v** = variograma, **045** = 45° de azimute, **00** = 0° de *dip*, e **03** = valor de $\gamma(h)$.

Análise do Nódulo Pulmonar Baseada na Geometria – Grupo III

Foram analisadas um total 16 medidas para o Grupo III.

Análise do Nódulo Pulmonar Baseada em Textura e na Geometria – Grupo IV

Coefficiente de Gini

Como citado anteriormente, o coeficiente de Gini é calculado para apenas seis regiões do nódulo, sendo duas mais externas, duas mais centrais e duas mais internas. Desta forma, foram calculados seis coeficientes de Gini (medidas) para cada nódulo. As medidas são denominadas por GINI_1 e GINI_2 para as regiões mais externas, GINI_3 e GINI_4 para as regiões

mais centrais, e GINI.5 e GINI.6 para as regiões mais internas do nódulo.

Medidas do Esqueleto

Duas medidas extraídas do esqueleto, coeficiente de variação e momentos do histograma, dependem do nódulo que têm o esqueleto com o menor número de segmentos na amostra estudada. Na amostra estudada o menor esqueleto tem dois segmentos. Desta forma, foram extraídas duas medidas para o coeficiente de variação e seis ($2 \text{ segmentos} \times 3 \text{ medidas}$) para os momentos do histograma. Assim, o total de medidas extraídas foi de 14.

A denominação para as medidas do coeficiente de variação são CV1 e CV2, para o primeiro maior segmento do nódulo e para o segundo maior segmento do nódulo, respectivamente. As medidas para os momentos do histograma denominam-se MOM21, MOM31 e MOM41 para o três momentos do primeiro maior segmento do nódulo, e MOM22, MOM32 e MOM42 para os três momentos do segundo maior segmento do nódulo.

Em resumo, para o Grupo IV foram analisadas 20 medidas (6 do coeficiente Gini e 14 do esqueleto).

4.2

Exemplo da Aplicação dos Métodos Estudados

Esta seção exemplifica as aplicações dos métodos propostos com objetivo de diagnosticar os NPS, para que se possa observar o potencial de cada método na discriminação dos nódulos entre benignos e malignos.

As Figuras 4.1 e 4.2 servirão de base para exemplificar didaticamente a aplicação dos métodos baseados em textura e geometria, respectivamente.

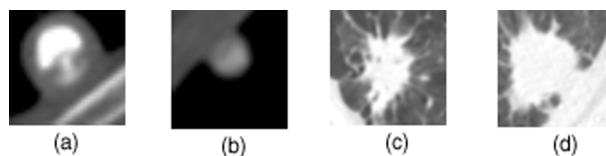


Figura 4.1: Exemplos de NPS benignos ((a) e (b)) e malignos ((c) e (d)).

4.2.1

Análise do Nódulo Pulmonar Baseada em Textura (Métodos Clássicos) – Grupo I

As Figuras 4.3(a), (b), (c) e (d) exemplificam a aplicação do histograma nos nódulos das Figuras 4.1(a), (b), (c) e (d), respectivamente.

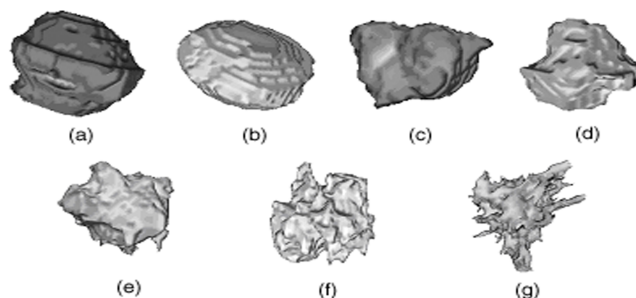


Figura 4.2: Exemplos de NPS benignos ((a), (b), (c) e (d)) e malignos ((e), (f), (g)).

Como se pode observar, o histograma da Figura 4.3(a), que corresponde ao nódulo benigno com grande área calcificada, possui densidades acima de 200 UH (característica de benignidade). O histograma da Figura 4.3(b) também é de um nódulo benigno, mas com menor área calcificada, possuindo algumas densidades acima de 0 UH. Porém, os dois histogramas das Figuras 4.3(c) e (d), que correspondem aos nódulos malignos, só possuem densidades negativas. Isto ocorre pelo fato de que os nódulos malignos geralmente não são calcificados. Os histogramas dos nódulos benignos possuem uma variação de ocorrências relativamente alta em relação aos histogramas dos nódulos malignos. Nestes, existe um grande número de *voxels* com densidades altas, enquanto nos demais *voxels* as densidades estão distribuídas mais uniformemente.

Para exemplificar os métodos SGLDM, GLDM e GLRLM, os nódulos foram quantizados em 64 níveis de cinza, e as matrizes e o histograma foram gerados a uma distância igual a 1. Estes parâmetros foram escolhidos pelo fato de que, em todos os métodos, pelo menos uma variável selecionada (Seção 4.3.1) possui essas características.

As Figuras 4.4(a), (b), (c) e (d) correspondem às matrizes de SGLDM aplicadas aos nódulos das Figuras 4.1(a), (b), (c) e (d), respectivamente. Analisando os gráficos das matrizes, observa-se que nos nódulos malignos as ocorrências das transições entre as densidades estão mais concentradas próximas à origem, enquanto que nos nódulos benignos há mais ocorrências que se afastam da origem. Isto reforça a conclusão dos histogramas da Figura 4.3 de que a variação de densidades nos nódulos benignos é maior do que nos nódulos malignos, ou seja, estes possuem uma menor variação das densidades, uma vez que nas matrizes dos nódulos benignos os valores estão mais espalhados, enquanto nas matrizes dos nódulos malignos estão mais próximos.

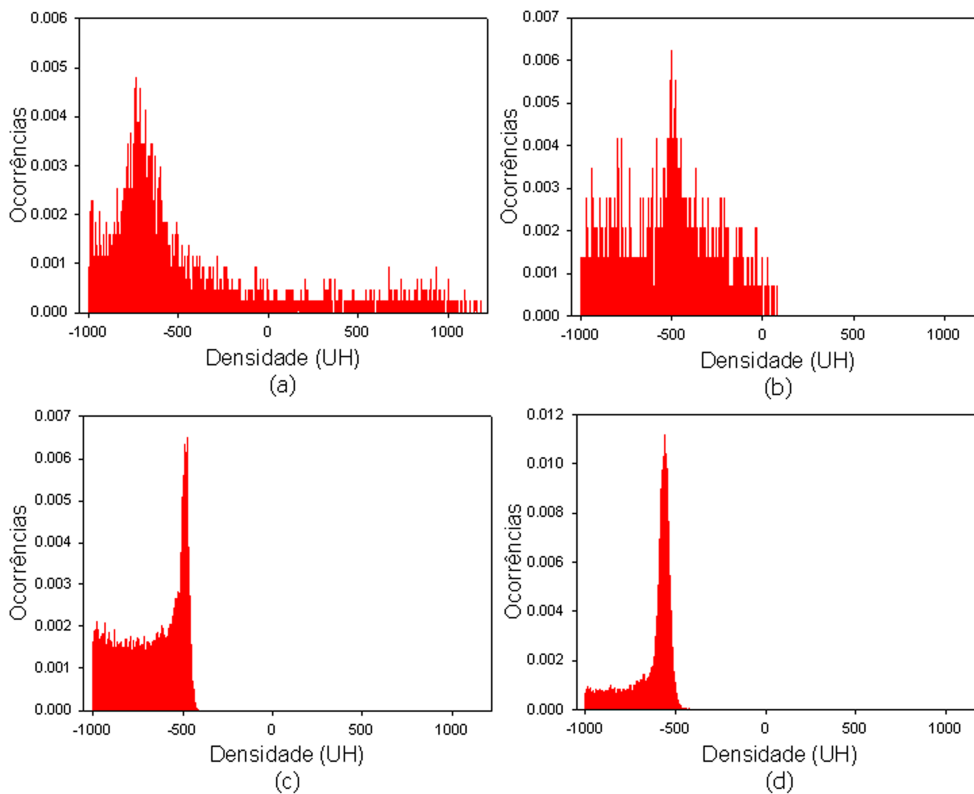


Figura 4.3: Histograma aplicado no exemplo da Figura 4.1.

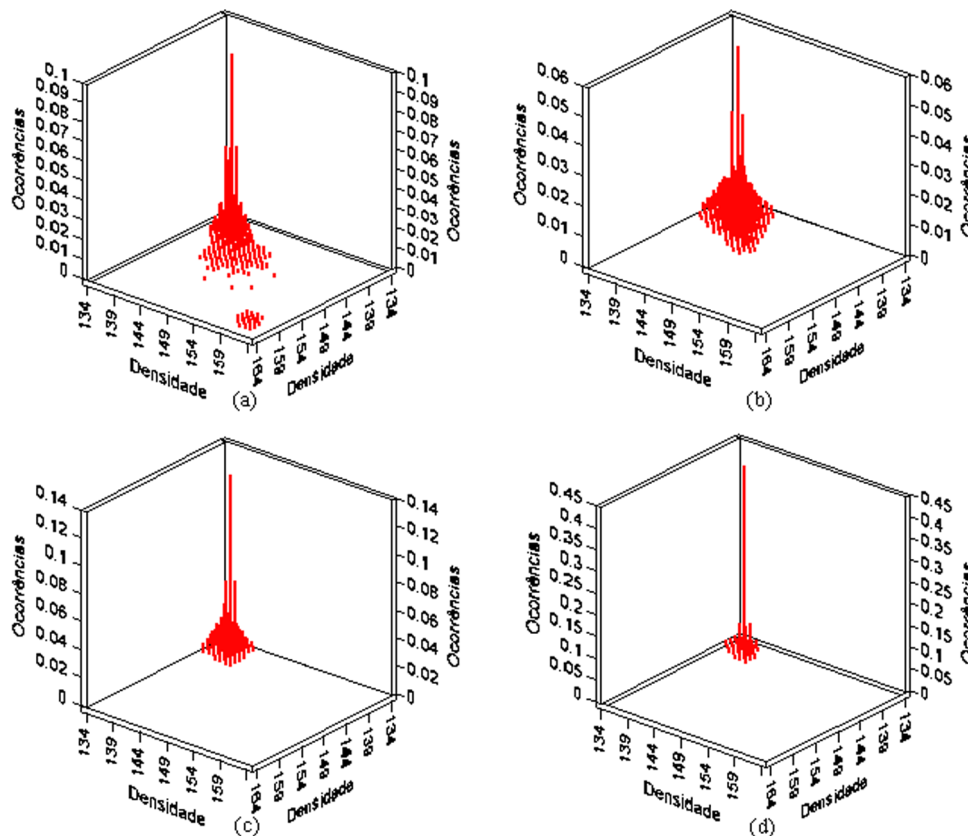


Figura 4.4: SGLDM aplicado no exemplo da Figura 4.1.

As Figuras 4.5(a), (b), (c) e (d) correspondem aos histogramas de GLDM aplicados aos nódulos das Figuras 4.1(a), (b), (c) e (d), respectivamente. Analisando os gráficos dos histogramas, também é possível observar que existe menor variação das densidades nos nódulos malignos do que nos nódulos benignos. É possível verificar essa característica nos histogramas, analisando como as diferenças entre os pares de *voxels* estão distribuídas. Nesse exemplo, nos histogramas dos nódulos benignos, ocorrem variações acima do valor 5, enquanto nos histogramas dos nódulos malignos todas as variações ocorrem praticamente entre 0 e 5.

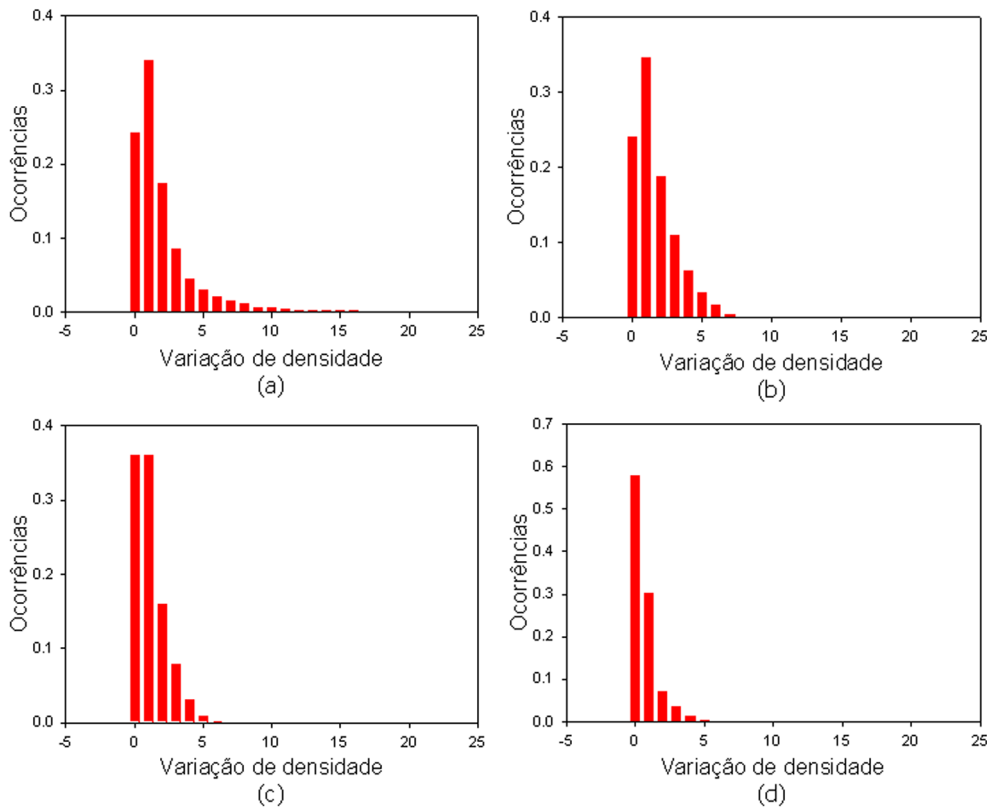


Figura 4.5: GLDM aplicado no exemplo da Figura 4.1.

As Figuras 4.6(a), (b), (c) e (d) correspondem às matrizes de GLRLM aplicadas aos nódulos das Figuras 4.1(a), (b), (c) e (d), respectivamente. Analisando os gráficos das matrizes, observa-se que nos nódulos benignos há mais blocos de *voxels* com determinada primitiva, concentrando uma determinada densidade, enquanto nos nódulos malignos há uma menor quantidade de primitivas. Isto reforça a idéia de que existe menor variação das densidades nos nódulos malignos que nos nódulos benignos.

Maiores detalhes sobre o potencial para diagnosticar os NPS de cada um desses métodos individualmente podem ser encontrados em [98].

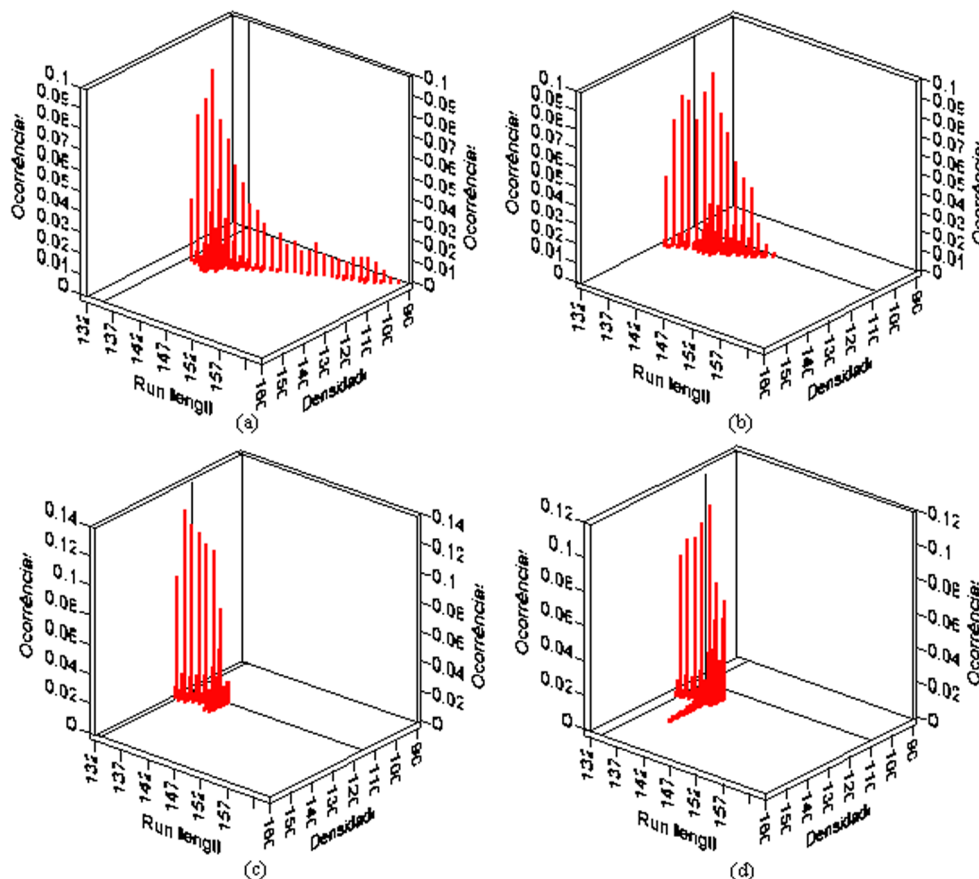


Figura 4.6: GLRLM aplicado no exemplo da Figura 4.1.

4.2.2 Análise do Nódulo Pulmonar Baseada em Textura (Funções Geoestatísticas) – Grupo II

A Figura 4.7 mostra a aplicação do semivariograma experimental para os nódulos representados pelas Figuras 4.1(a),(b),(c) e (d). Com base neste gráfico, foi observado que os nódulos benignos têm um patamar maior que o dos nódulos malignos, e que a inclinação da curva dos benignos é muito mais acentuada. O gráfico mostra também a presença de uma maior dispersão nos nódulos benignos do que nos malignos.

As Figuras 4.8 e 4.9 exemplificam, respectivamente, a aplicação da função de semivariograma para o nódulo benigno (Figura 4.1(a)) e o nódulo maligno (Figura 4.1(d)). As curvas dos gráficos significam a variância calculada nas 12 direções definidas na Seção 4.1.5, relacionadas às várias distâncias. A Figura 4.8 mostra que a distribuição espacial do nódulo benigno é isotrópica, ou seja, as curvas do semivariograma são muito similares. Neste caso, é necessário somente um modelo (uma curva) para representar a distribuição espacial para o nódulos benignos. O mesmo fato ocorre na Figura 4.9 que exemplifica o nódulo maligno.

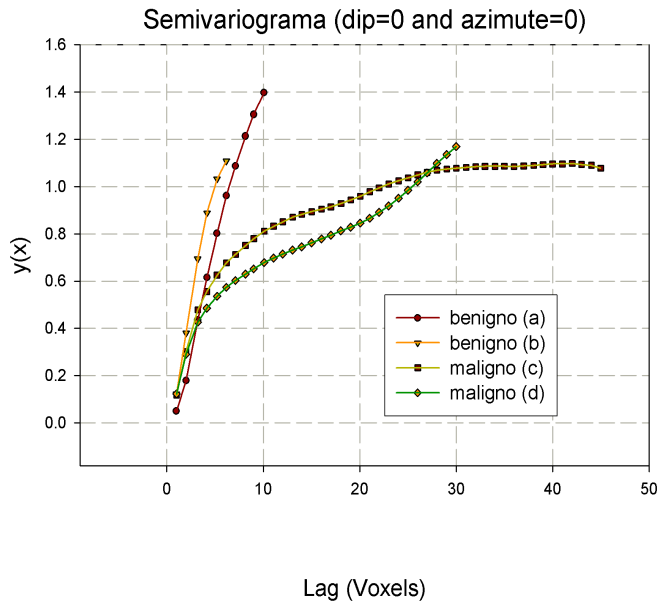


Figura 4.7: Semivariograma aplicado no exemplo da Figura 4.1.

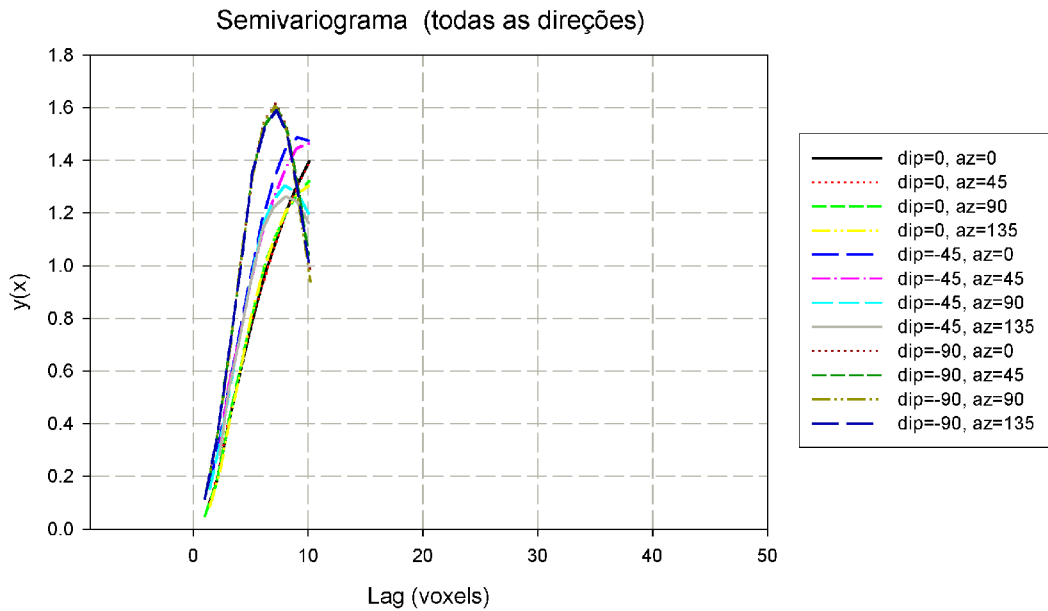


Figura 4.8: Semivariograma aplicado ao nódulo representado pela Figura 4.1(a).

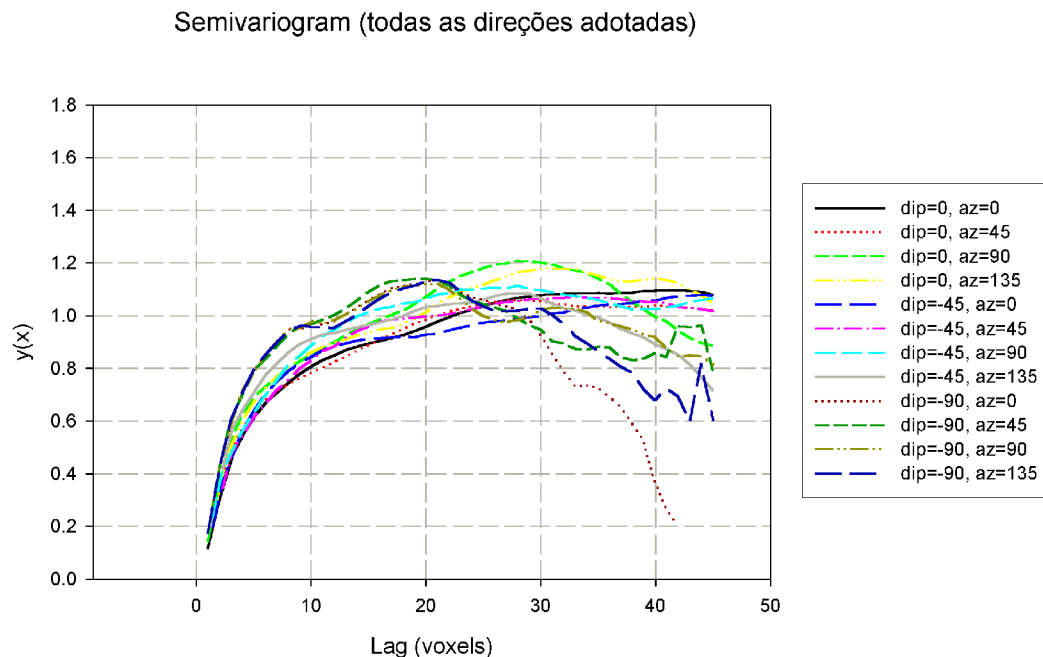


Figura 4.9: Semivariograma aplicado ao nódulo representado pela Figura 4.1(d).

Uma análise individual dessas funções na classificação de NPS foi realizada em [107]. Outros estudos dessas funções, mas combinadas com outros métodos, como o esqueleto e a geometria, para classificar os NPS foram realizados em [108] e [110].

4.2.3 Análise do Nódulo Pulmonar Baseada na Geometria – Grupo III

A Figura 4.10 mostra a aplicação de apenas 4 das 16 medidas geométricas apresentadas na Seção 3.3 relacionadas à curvatura, para os nódulos representados pelas Figuras 4.2(a), (d), (f) e (g). A análise foi realizada em relação à frequência de cada tipo de superfície, denominada QPK para *peak*, QPI para *pit*, QSR para *saddle ridge*, e QSV para *saddle valley*. No gráfico, *b1* e *b2* são os nódulos benignos relacionados às Figuras 4.2(a) e (d), e *m1* e *m2* são os nódulos malignos relacionados às Figuras 4.2(f) e (g).

Como se pode observar no gráfico, o maior número de ocorrências corresponde ao nódulo maligno *m1*, seguido pelo nódulo maligno *m2*, depois pelo nódulo benigno *b2*, e por último pelo nódulo benigno *b1*. Este fato é explicado pela maior quantidade de ramificações (curvaturas) apresentadas nos nódulos malignos. Neste exemplo, as medidas analisadas separaram corretamente os nódulos malignos dos benignos.

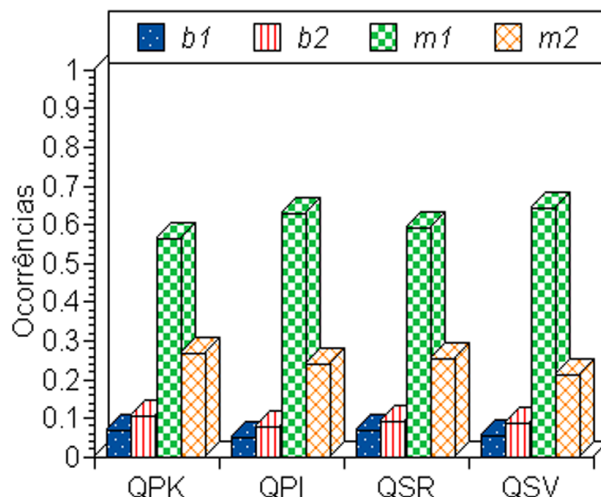


Figura 4.10: Medidas de Geometria aplicadas no exemplo da Figura 4.2.

Maiores detalhes sobre a eficiência das medidas geométricas propostas no diagnóstico de NPS podem ser encontrados em [94] e [109].

4.2.4

Análise do Nódulo Pulmonar Baseada em Textura e na Geometria – Grupo IV

Coefficiente de Gini

A Figura 4.11 mostra a curva de Lorenz e o coeficiente de Gini para os nódulos representados pelas Figuras 4.1(a), (b), (c) e (d). Neste exemplo, o coeficiente de Gini foi calculado somente para região mais externa de cada nódulo. É observado que os nódulos benignos com calcificações possuem uma área maior no gráfico do que os nódulos malignos, já que os nódulos benignos possuem maiores áreas de concentração (calcificação). O nódulo benigno (Figura 4.1(a)), que possui uma área maior com calcificação, tem um coeficiente de Gini com o maior valor, e o outro nódulo benigno (Figura 4.1(b)), que também tem calcificação mas numa área menor, tem um coeficiente Gini com um valor bem menor. Os nódulos malignos (Figura 4.1(c) e (d)) possuem os valores do coeficiente de Gini muito baixos, pois suas densidades são melhor distribuídas.

É importante salientar que existem nódulos benignos que também não possuem calcificação, ou nódulos malignos que têm calcificação, logo este método tem alguma probabilidade de não caracterizar corretamente os nódulos.

A Figura 4.12 exemplifica a aplicação da curva de Lorenz e do coeficiente de Gini para um nódulo com calcificação central (Figure 4.1(a)).

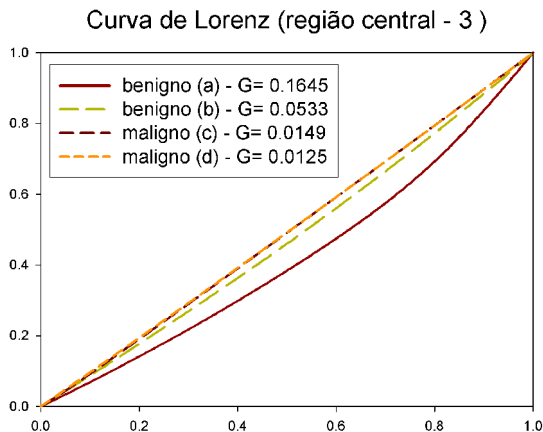


Figura 4.11: Coeficiente de Gini aplicado ao nódulo representado pela Figura 4.1(a).

Nesse caso em particular, a região central do nódulo apresenta uma concentração maior do que as outras regiões.

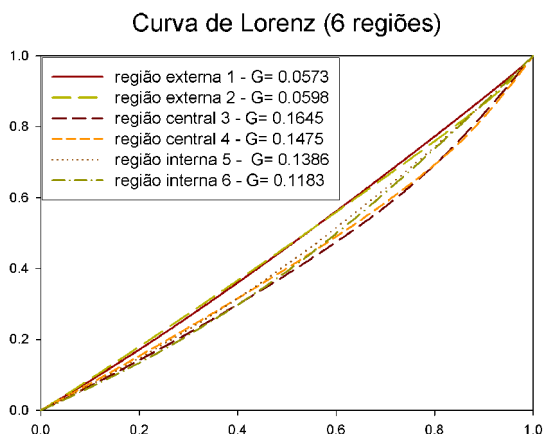


Figura 4.12: Curva de Lorenz e coeficiente de Gini aplicados no exemplo da Figura 4.1.

Medidas do Esqueleto

A Figura 4.13 mostra a aplicação do algoritmo de esqueleto nos nódulos das Figuras 4.2(a), (d), (f) e (g), respectivamente. É fácil observar que os nódulos malignos possuem um número maior de segmentos do que os benignos.

Maiores detalhes sobre o coeficiente de Gini e esqueleto no diagnóstico de NPS podem ser encontrados em [111] e [110].

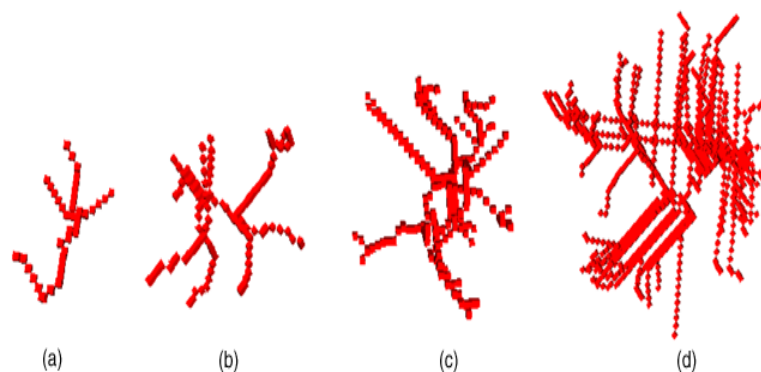


Figura 4.13: Aplicação do algoritmo de Zhou e Toga baseada nos nódulos da Figura 4.2(a), (b), (c) e (d).

4.3 Classificação

Esta seção tem por objetivo analisar os grupos de métodos propostos e sua combinação, através dos classificadores ALDF e MLP, para verificar a eficiência dos grupos de métodos e dos classificadores no diagnóstico dos NPS. A técnica *deixa um de fora* é utilizada para a validação do modelo determinado pelos classificadores, e a área da curva ROC é utilizada para avaliar os resultados encontrados.

4.3.1 Análise do Nódulo Pulmonar Baseada em Textura (Métodos Clássicos) – Grupo I

Com a utilização do procedimento de seleção de variáveis *passo a passo* foram selecionadas 10 medidas do Grupo I para serem analisadas pelo ALDF e MLP. As medidas selecionadas foram: CORg0082, CORg0163, SMAg0641, VARg0641, ENTd0322, SMAd0641, SMAd2562, RLD016, RP016 e GLD064. Os valores de α_1 e α_2 para a medida entrar e sair no modelo foram, respectivamente, 1.0 e 0.5.

Analisando as medidas selecionadas, algumas considerações podem ser feitas: 1) nenhuma medida do método do histograma foi selecionada, isto demonstra que a análise que leva em conta a relação entre *voxels* é mais significativa estatisticamente; 2) somente uma medida extraída dos nódulos quantizada com 8 níveis de cinza foi selecionada isto se deve a que, quanto menor o nível de quantização, mais informações serão perdidas; e 3) somente uma medida extraída quantizada com 256 níveis de cinza foi selecionada, isto pode ser explicado com uma análise mais detalhada do método SGLDM demonstrada em [58]. Nesse trabalho, à medida que as

imagens foram quantizadas com mais níveis de cinza, mais esparsa ficava a matriz gerada e, conseqüentemente, muitas informações significativas eram perdidas.

A estrutura da MLP para este grupo é 10-7-1. O número de nós da camada escondida foi determinado pelo *software NeuralPower*. Este *software* utiliza a Equação 4-1 para determinar o número de nós na camada escondida.

$$n = \frac{2}{3} (nE + nS) \tag{4-1}$$

onde nE é número de entradas e nS é o número de saídas. Os outros parâmetros da rede neural MLP são: taxa de aprendizagem igual a 0.15, momento igual a 0.75, o número de iterações (épocas) igual a 7000 e a função de ativação é a tangente hiperbólica.

A Tabela 4.1 mostra os resultados dos diagnósticos do Grupo I obtidos com ALDF e MLP. As Figuras 4.14 e 4.15 mostram como foi o comportamento dos nódulos quando diagnosticados com ALDF e MLP.

Classificador	% Acertos			$AUC \pm SE$
	Benigno	Maligno	Precisão	
ALDF	89.7 (26/29)	71.4 (5/7)	86.1	0.842 ± 0.098
MLP	93.1 (27/29)	71.4 (5/7)	88.8	0.830 ± 0.101

Tabela 4.1: % de acertos usando a ALDF e MLP para o Grupo I.

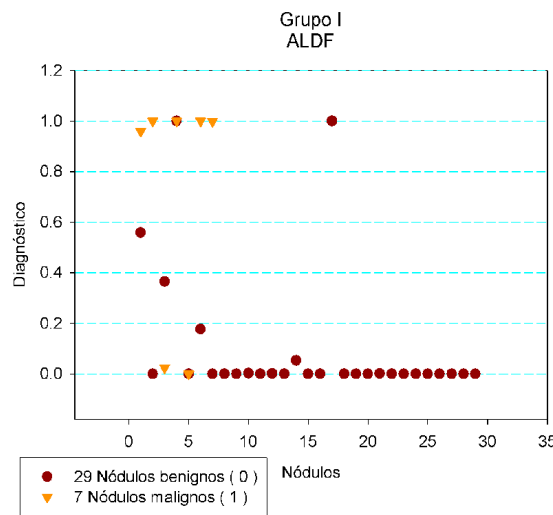


Figura 4.14: Distribuição dos nódulos do Grupo I usando ALDF.

A Figura 4.16 visualiza as curvas ROC resultantes desses diagnósticos. As áreas das curvas (AUC) dos dois classificadores tiveram nível de precisão considerado bom ($0.800 < AUC \leq 0.900$). Fazendo o teste de hipótese para verificar se a diferença entre as áreas das curvas é significativa

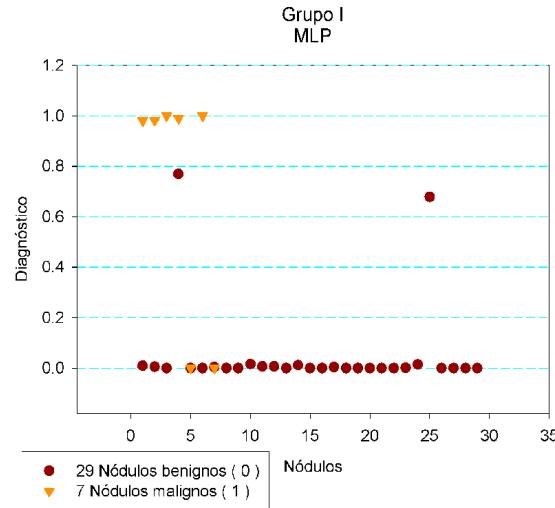


Figura 4.15: Distribuição dos nódulos do Grupo I usando MLP.

estatisticamente, conclui-se que não ao nível de significância 0.05, já que $p = 0.917$.

Apesar dos trabalhos [59] e [58] utilizarem o método SGLDM no diagnóstico do NPS, a comparação dos seus resultados com os encontrados nesta tese é muito difícil. As amostras utilizadas nesta tese e nos dois trabalhos são diferentes, e eles usaram apenas uma fatia na análise, enquanto aqui foram utilizadas todas as fatias do nódulo.

4.3.2 Análise do Nódulo Pulmonar Baseada em Textura (Funções Geoestatísticas) – Grupo II

O procedimento de seleção de variáveis *passo a passo* selecionou 7 medidas do Grupo II para serem analisadas pelo ALDF e MLP. As medidas selecionadas foram: v0450004, v0904503, v0009002, r0000004, r0004504, r0454504 e r1354501. Os valores de α_1 e α_2 para a medida entrar e sair no modelo foram, respectivamente, 1.5 e 1.0.

Analisando as medidas selecionadas, algumas considerações podem ser feitas: 1) nenhuma medida dos métodos de covariograma e semimadograma foi selecionada - esses dois métodos são fracos estatisticamente, fato esse demonstrado em [107]; 2) somente uma medida selecionada é relacionada ao primeiro *lag* - isto contradiz um pouco a idéia de colocar mais *lags* com distâncias menores para se obter mais detalhes; e 3) cinco medidas selecionadas têm *dip* diferente de 0° , logo isso mostra que as características 3D do nódulo são fundamentais para sua discriminação e classificação.

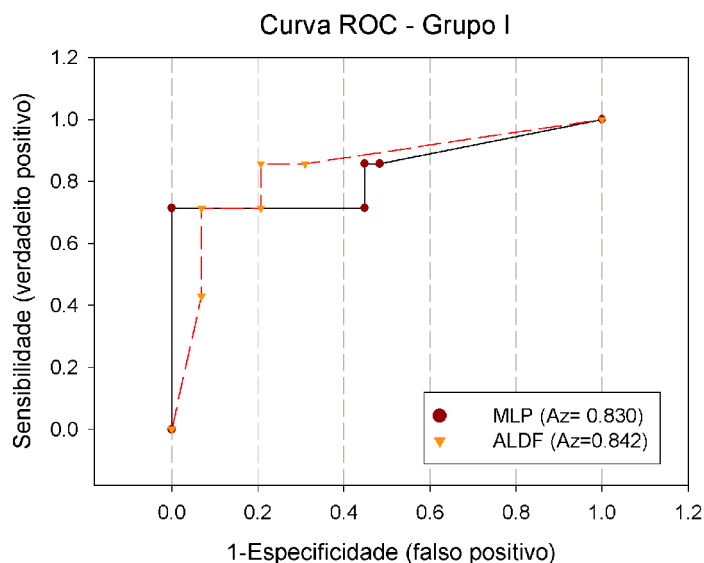


Figura 4.16: Curva ROC do Grupo I utilizando a ALDF e MLP.

A estrutura da MLP para este grupo é 7-5-1. Os outros parâmetros da rede neural MLP são: taxa de aprendizagem igual a 0.15, momento igual a 0.75, o número de iterações igual a 5000 e a função de ativação é a tangente hiperbólica.

A Tabela 4.2 mostra os resultados dos diagnósticos do Grupo II obtidos com ALDF e MLP. As Figuras 4.17 e 4.18 mostram como foi o comportamento dos nódulos quando diagnosticados com ALDF e MLP.

Classificador	% Acertos			$AUC \pm SE$
	Benigno	Maligno	Precisão	
ALDF	93.1 (27/29)	100.0 (7/7)	94.4	1.000 \pm 0.000
MLP	96.5 (28/29)	100.0 (7/7)	97.2	1.000 \pm 0.000

Tabela 4.2: % de acertos usando a ALDF e MLP para o Grupo II.

A Figura 4.19 visualiza as curvas ROC resultantes desses diagnósticos. As áreas das curvas (AUC) dos dois classificadores tiveram nível de precisão considerado excelente ($0.900 < AUC \leq 1.000$). Fazendo o teste de hipótese para verificar se a diferença entre as áreas das curvas é significativa estatisticamente, conclui-se que não ao nível de significância 0.05, já que $p = 1.000$.

4.3.3

Análise do Nódulo Pulmonar Baseada na Geometria – Grupo III

O procedimento de seleção de variáveis *passo a passo* selecionou 5 medidas do Grupo III para serem analisadas pelo ALDF e MLP. As medidas

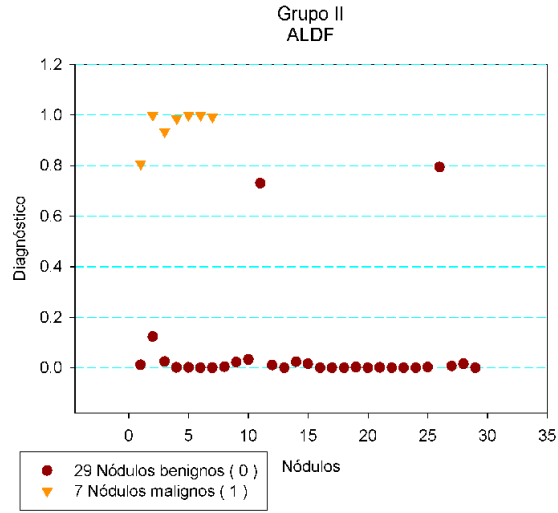


Figura 4.17: Distribuição dos nódulos do Grupo II usando ALDF.

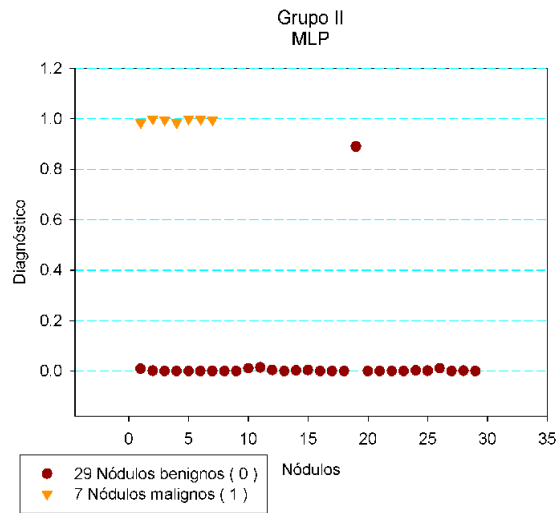


Figura 4.18: Distribuição dos nódulos do Grupo II usando MLP.

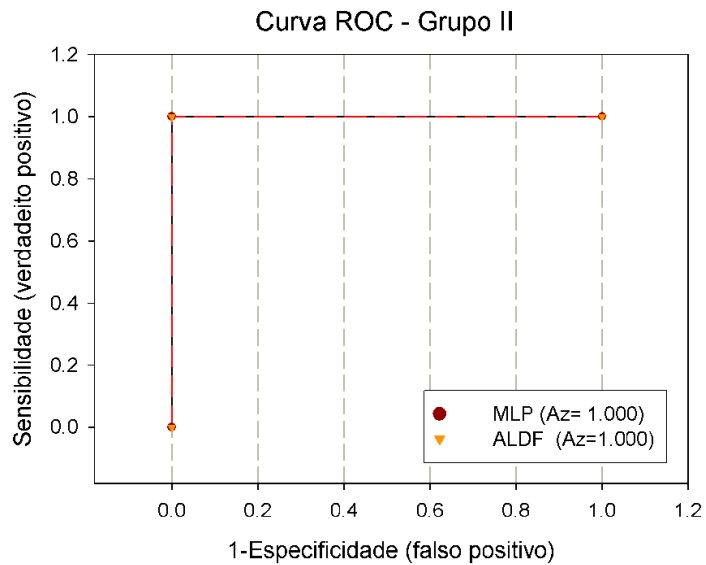


Figura 4.19: Curva ROC do Grupo II utilizando a ALDF e MLP.

selecionadas foram: ICE, QPK, QSR, QSV e CPI. Os valores de α_1 e α_2 para a medida entrar e sair no modelo foram, respectivamente, 1.5 e 1.0.

Analisando as medidas selecionadas, observa-se que todas elas são baseadas na curvatura, o que mostra um grande potencial da curvatura para diferenciar nódulos malignos de benignos.

A estrutura da MLP para este grupo é 5-4-1. Os outros parâmetros da rede neural MLP são: taxa de aprendizagem igual a 0.15, momento igual a 0.75, o número de iterações igual a 5000 e a função de ativação é a tangente hiperbólica.

A Tabela 4.3 mostra os resultados dos diagnósticos do Grupo III obtidos com ALDF e MLP. As Figuras 4.20 e 4.21 mostram como foi o comportamento dos nódulos quando diagnosticados com ALDF e MLP.

Classificador	% Acertos			$AUC \pm SE$
	Benigno	Maligno	Precisão	
ALDF	89.7 (26/29)	71.4 (5/7)	86.1	0.946 ± 0.061
MLP	89.7 (26/29)	85.7 (6/7)	88.8	0.906 ± 0.079

Tabela 4.3: % de acertos usando a ALDF e MLP para o Grupo III.

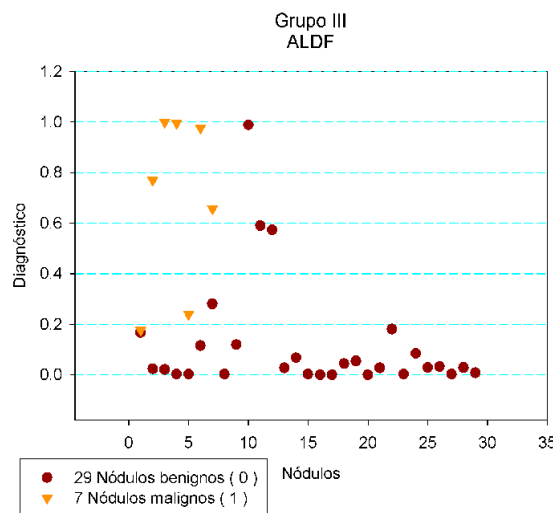


Figura 4.20: Distribuição dos nódulos do Grupo III usando ALDF.

A Figura 4.22 visualiza as curvas ROC resultantes desses diagnósticos. As áreas das curvas (AUC) dos dois classificadores tiveram nível de precisão considerado excelente ($0.900 < AUC \leq 1.000$). Fazendo o teste de hipótese para verificar se a diferença entre as áreas das curvas é significativa estatisticamente, conclui-se que não ao nível de significância 0.05, já que $p = 0.641$.

Nesta seção são utilizadas algumas medidas baseadas nas curvaturas, também utilizadas por [60], [45] e [46], mas novamente a comparação entre

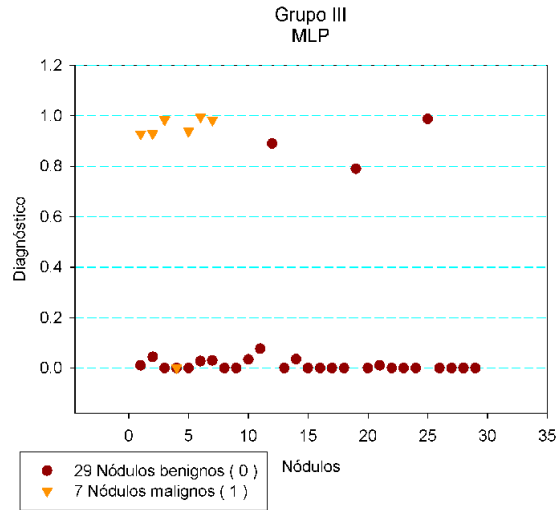


Figura 4.21: Distribuição dos nódulos do Grupo III usando MLP.

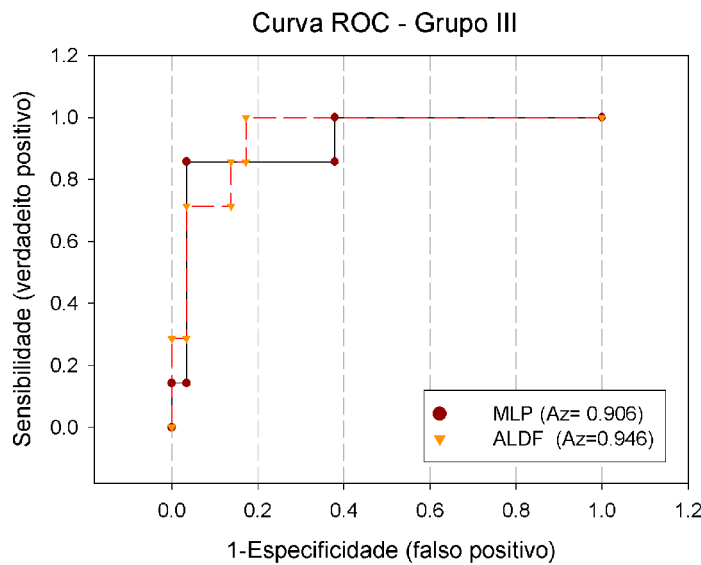


Figura 4.22: Curva ROC do Grupo III utilizando a ALDF e MLP.

os trabalhos é muito difícil. Nesses trabalhos o cálculo da curvatura foi feito utilizando o *voxel*, enquanto aqui foi utilizada a superfície. Além disso, nesta tese foram analisadas mais medidas que nos trabalhos citados e, por fim, as amostras são diferentes.

4.3.4 Análise do Nódulo Pulmonar Baseada em Textura e na Geometria – Grupo IV

O procedimento de seleção de variáveis *passo a passo* selecionou 4 medidas do Grupo IV para serem analisadas pelo ALDF e MLP. As medidas

selecionadas foram: NS, NR, CS e GINI1. Os valores de α_1 e α_2 para a medida entrar e sair no modelo foram, respectivamente, 1.5 e 1.0.

Analisando as medidas selecionadas, foi percebido que nenhuma das medidas baseadas no esqueleto, que possuem a combinação de geometria e textura, foi selecionada.

A estrutura da MLP para este grupo é 4-3-1. Os outros parâmetros da rede neural MLP são: taxa de aprendizagem igual a 0.15, momento igual a 0.75, o número de iterações igual a 4500 e a função de ativação é a tangente hiperbólica.

A Tabela 4.4 mostra os resultados dos diagnósticos do Grupo IV obtidos com ALDF e MLP. As Figuras 4.23 e 4.24 mostram como foi o comportamento dos nódulos quando diagnosticados com ALDF e MLP.

Classificador	% Acertos			$AUC \pm SE$
	Benigno	Maligno	Precisão	
ALDF	93.1 (27/29)	57.1 (4/7)	86.1	0.746 ± 0.115
MLP	89.7 (26/29)	71.4 (5/7)	96.1	0.764 ± 0.113

Tabela 4.4: % de acertos usando a ALDF e MLP para o Grupo IV.

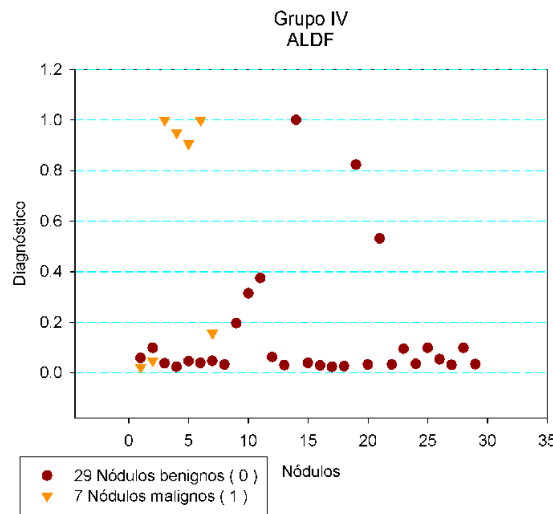


Figura 4.23: Distribuição dos nódulos do Grupo IV usando ALDF.

A Figura 4.25 visualiza as curvas ROC resultantes desses diagnósticos. As áreas das curvas (AUC) dos dois classificadores tiveram nível de precisão considerado regular ($0.700 < AUC \leq 8.000$). Fazendo o teste de hipótese para verificar se a diferença entre as áreas das curvas é significativa estatisticamente, conclui-se que não ao nível de significância 0.05, já que $p = 0.876$.

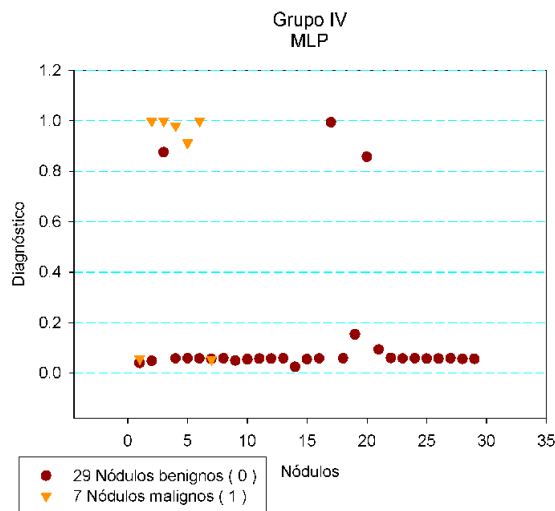


Figura 4.24: Distribuição dos nódulos do Grupo IV usando MLP.

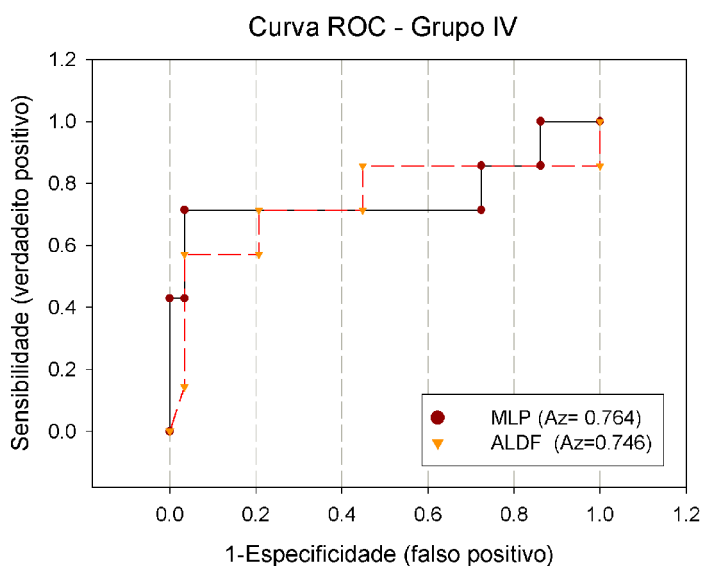


Figura 4.25: Curva ROC do Grupo IV utilizando a ALDF e MLP.

4.3.5 Métodos combinados (Grupos I, II, III e IV)

A análise individual de todos os grupos de métodos, mostrou que todos são eficientes na classificação dos NPS. Nesta seção todos esses métodos serão combinados e analisados.

O número de medidas de todos os grupos combinados é igual a 442. Utilizando o procedimento de seleção de variáveis *passo a passo* foram selecionadas 6 medidas para serem analisadas pelo ALDF e MLP. As medidas selecionadas foram: NR, v0450004, CS, RLD032, QSV e GINL5. Os valores de α_1 e α_2 para a medida entrar e sair no modelo foram, respectivamente, 1.5 e 1.0.

Analisando as medidas selecionadas, duas considerações podem ser feitas: 1) foram selecionadas medidas de todos os grupos; e 2) somente uma medida selecionada, GINI₅, não foi selecionada na análise individual dos respectivos grupos.

A estrutura da MLP para este grupo é 6-5-1. Os outros parâmetros da rede neural MLP são: taxa de aprendizagem igual a 0.15, momento igual a 0.75, o número de iterações igual a 5000 e a função de ativação é a tangente hiperbólica.

A Tabela 4.5 mostra os resultados dos diagnósticos dos Grupos combinados obtidos com ALDF e MLP. As Figuras 4.26 e 4.27 mostram como foi o comportamento dos nódulos quando diagnosticados com ALDF e MLP.

Classificador	% Acertos			$AUC \pm SE$
	Benigno	Maligno	Precisão	
ALDF	100.0 (29/29)	85.7 (6/7)	97.2	0.990 ± 0.027
MLP	100.0 (29/29)	100.0 (7/7)	100.0	1.000 ± 0.000

Tabela 4.5: % de acertos usando a ALDF e MLP para os Grupos combinados.

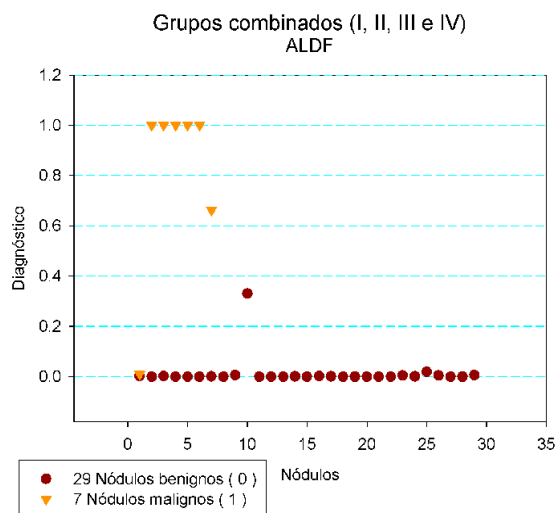


Figura 4.26: Distribuição dos nódulos dos Grupos combinados usando ALDF.

A Figura 4.28 visualiza as curvas ROC resultantes desses diagnósticos. As áreas das curvas (AUC) dos dois classificadores tiveram nível de precisão considerado excelente ($0.900 < AUC \leq 1.000$). Fazendo o teste de hipótese para verificar se a diferença entre as áreas das curvas é significativa estatisticamente, conclui-se que não ao nível de significância 0.05, já que $p = 0.714$.

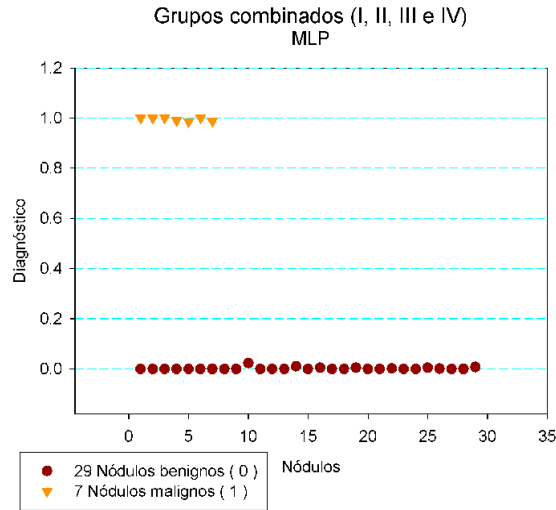


Figura 4.27: Distribuição dos nódulos dos Grupos combinados usando MLP.

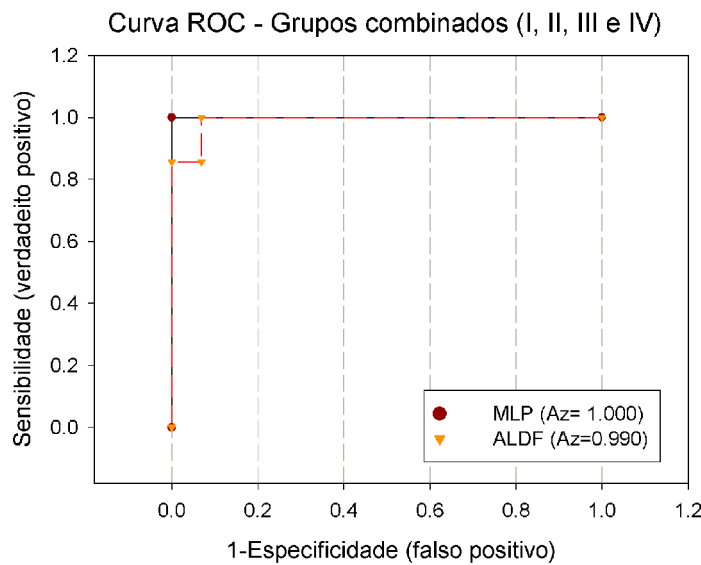


Figura 4.28: Curva ROC dos Grupos combinados utilizando a ALDF e MLP.

4.4 Conclusão

As Tabelas 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 e 4.5 mostram que todos os grupos de métodos tiveram mais de 80% de precisão nos diagnósticos dos NPS.

A Figura 4.29 compara as áreas de todas as curvas ROC dos grupos, utilizando a ALDF e MLP. Analisando o gráfico, constatam-se os seguintes fatos: 1) não houve grande predominância na classificação dos NPS de algum classificador, isto é, a ALDF e MLP tiveram precisão no diagnóstico bem semelhantes; 2) os Grupos II e III, e todos os Grupos combinados tiveram precisão nos diagnósticos considerada excelente; 3) somente o Grupo IV teve precisão considerada regular; e 4) o Grupo II, tanto com ALDF quanto com

MLP, e os grupos combinados, somente com MLP, tiveram a área da curva ROC considerada perfeita ($AUC = 1.000$).

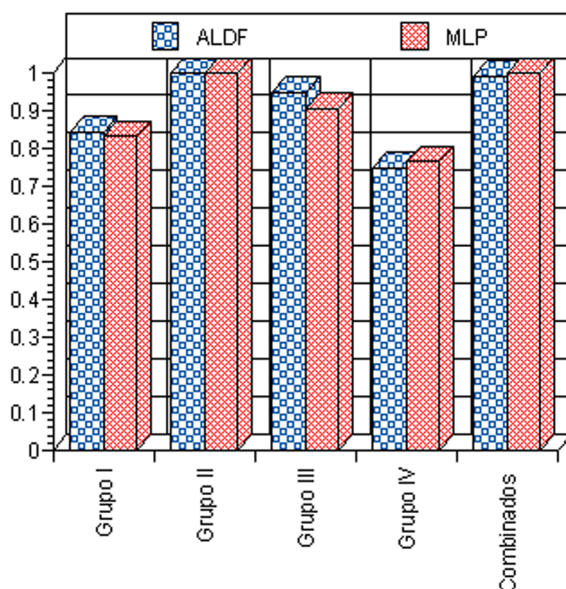
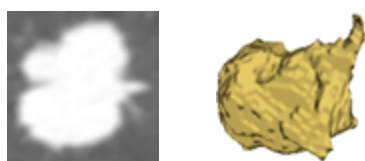


Figura 4.29: Comparação das áreas das curvas ROC de todos os grupos analisados, utilizando a ALDF e MLP.

Observando-se os resultados das classificações, constata-se que o nódulo 7 (maligno), mostrado na Figura 4.30, foi de difícil diagnóstico. Ele foi diagnosticado erradamente no Grupo I, com MLP (Figura 4.15), e no Grupo IV, com ALDF e MLP (Figuras 4.23 e 4.24). No entanto, ambos os métodos de classificação aplicados a todos os Grupos combinados (Figuras 4.26 e 4.27) o diagnosticaram corretamente.



4.30(a): Imagem em 2D do nódulo.
 4.30(b): Imagem em 3D do nódulo.

Figura 4.30: Nódulo com difícil diagnóstico.

Um fator importante a salientar é que o tamanho e a desproporção (mais nódulos benignos do que malignos) da amostra impede a obtenção de estatísticas mais conclusivas e confiáveis sobre os resultados.

Outro fator importante a ser considerado é a seleção das medidas. Existe a necessidade de se estudar outros procedimentos de seleção para que se possa confirmar ou determinar medidas com melhor poder de discriminação dos nódulos.

4.5

Resumo

Este capítulo analisou cada método proposto e suas combinações em grupos para diagnosticar os NPS. Primeiro, foram mostrados todos os procedimentos iniciais básicos para aquisição e segmentação dos nódulos, os *software* e *hardware* utilizados no desenvolvimento deste trabalho, e os parâmetros necessários para a utilização dos métodos propostos e dos programas utilizados. Foram feitas análises dos métodos propostos para verificar a capacidade de cada um na discriminação dos nódulos. Por último, cada grupo de métodos e sua combinação foram utilizados para analisar, discriminar e classificar os nódulos da amostra, através da ALDF e MLP.