

1

Introdução

Desde a descoberta dos raios X em 1895, utiliza-se imagens como forma de aquisição de informações sobre o estado de saúde de pacientes. Em 1917, J. Radón elaborou teorias matemáticas que permitiriam a reconstrução tomográfica de imagens [79]. O uso de imagens intensificou-se a partir de 1967, com a criação da primeira máquina de tomografia por G. N. Hounsfield [80]. Nos dias atuais, utiliza-se diversas modalidades de imageamento na área médica. Entre elas, estão a tomografia computadorizada, ultrassonografia e a ressonância magnética.

Essas formas de imageamento possuem a grande vantagem de serem não invasivas, ou seja, não há a penetração de instrumentos no corpo do paciente. Além disso, é indubitável a qualidade das imagens geradas por tais equipamentos, beneficiando atividades médicas tais como diagnóstico, planejamento cirúrgico e terapia.

Tais imagens possuem um alto grau de conteúdo médico, pois contêm informações relevantes para o exercício de diversas especialidades: oncologia, ginecologia, radiologia, pneumologia e cardiologia, para citar algumas. Entretanto, para o aproveitamento máximo do conteúdo nessas imagens, faz-se necessário o uso do computador pelos profissionais dessa área.

O uso da Computação Gráfica na área médica aumentou exponencialmente na década passada. Pode-se apontar duas razões para esse aumento: inicialmente, o avanço na área de aquisição de dados criou uma forte demanda para o desenvolvimento de técnicas de processamento de informações, o que veio ao encontro do aumento da capacidade de processamento dos computadores; em um segundo plano, podemos afirmar que as técnicas de Computação Gráfica trouxeram um grande acréscimo de qualidade nas áreas de diagnóstico, planejamento/simulação cirúrgica e telemedicina [88].

O grau de desenvolvimento atual alcançado pelas técnicas de modelagem computacional, em conjunto com o rápido crescimento do desempenho de cálculo dos computadores, tem permitido o estudo,

desenvolvimento e solução de modelos altamente sofisticados, capazes de auxiliar, com aceitável grau de precisão, os resultados de importantes procedimentos médicos, como por exemplo, o diagnóstico de câncer.

Câncer é o nome dado a todas as formas de tumores malignos. A palavra vem do latim *cancer*, que significa caranguejo. Esse nome deve-se à semelhança entre as pernas do crustáceo e os tentáculos do tumor, que se infiltram nos tecidos sadios do corpo.

A história do câncer de pulmão no mundo é um fato assustador. O câncer de pulmão, entre os homens, é a primeira causa de morte por câncer em 38 dos 45 países para os quais a Organização Mundial de Saúde coleta e publica dados estatísticos. Nos países restantes, a taxa de mortalidade por câncer de pulmão é alta, sendo a segunda causa de morte por câncer nos homens [96]. Entre as mulheres do mundo, a primeira causa de morte por câncer em 34 países é o câncer de mama, seguida por câncer de estômago (6 países) e finalmente, o câncer de pulmão (5 países) [96].

No Brasil, o câncer de pulmão foi responsável por 14.069 óbitos em 1999, sendo este o tipo de câncer que fez mais vítimas. Segundo o Instituto Nacional de Câncer – INCA [97], o câncer de pulmão atingiu aproximadamente 22.085 pessoas (15.165 homens e 4.915 mulheres) e causou 16.230 mortes em 2003. Neste mesmo ano, o câncer de pulmão foi a primeira causa de morte por câncer no sexo masculino, e a segunda causa no sexo feminino. A doença está associada ao consumo de tabaco em 90% dos casos diagnosticados e tem uma taxa de crescimento anual de 2% em sua incidência no mundo todo. Outros fatores relacionados são: agentes químicos, doença pulmonar obstrutiva crônica, fatores genéticos e história familiar de câncer de pulmão.

O câncer de pulmão é uma das neoplasias de menor sobrevida a partir de seu diagnóstico, e o número de mortes aumenta a cada ano. Possui uma evolução lenta, de forma que o tumor pode permanecer despercebido por muitos anos. Em sua fase sintomática, o tumor já percorreu 2/3 de sua existência e possui uma grande população de células malignas, restando apenas 1/3 da sua existência para o diagnóstico e o tratamento. Por esta razão, quanto mais cedo for diagnosticado, maior será a chance de cura do paciente, e quanto mais informações e recursos o médico dispuser, mais preciso será o diagnóstico.

1.1

Motivação

Existe uma grande dificuldade na definição qualificada das características benignas ou malignas do Nódulo Pulmonar Solitário, bem como no acompanhamento do crescimento eventual deste tipo de nódulo de uma forma mais fidedigna. Muitas vezes, a avaliação do crescimento nodular é feita pela medição do nódulo no filme impresso da tomografia computadorizada, usando uma régua sobre a imagem, resultando em medidas pouco precisas. Embora medidas mais precisas possam ser feitas diretamente com o dado digital, muitas vezes elas não estão disponíveis ao médicos, que freqüentemente têm acesso somente ao filme impresso.

A extração cirúrgica do nódulo é a conduta tomada na maioria dos pacientes com nódulo pulmonar indeterminado. Contudo, muitas dessas intervenções poderiam ser evitadas, visto que na maioria das vezes trata-se de nódulos benignos, principalmente no Brasil e em outros países em desenvolvimento, onde a incidência de tuberculose é extremamente alta. Assim, é fundamental o uso de técnicas mais precisas para melhor avaliar o crescimento nodular e suas características, podendo dessa forma determinar com mais credibilidade a benignidade ou a malignidade do nódulo.

Apesar de o pulmão ter em sua própria composição um contraste natural, existem dificuldades para a identificação e o diagnóstico de nódulos decorrentes de alguns fatores:

1. O órgão contém estruturas com características (formas, densidades, etc.) semelhantes, que às vezes se confundem;
2. O nódulo na fase inicial, quando tem dimensões pequenas e forma mal definida, é de difícil diagnóstico;
3. As medidas efetuadas pelos médicos para a análise da evolução do nódulo, como, por exemplo, o seu diâmetro, são realizadas de forma artesanal, geralmente utilizando uma régua sobre a imagem;
4. O cansaço visual, o fator emocional e a experiência do médico podem influenciar no diagnóstico;
5. E por fim, a imagem tem qualidade insuficiente, em muitos casos.

Para exemplificar as dificuldades no diagnóstico do nódulo pulmonar, são mostrados na Figura 1.1 dois nódulos pulmonares. Com base nestes nódulos, é possível saber: 1) se os dois são malignos? 2) se os dois são benignos? 3) um é maligno e o outro é benigno?

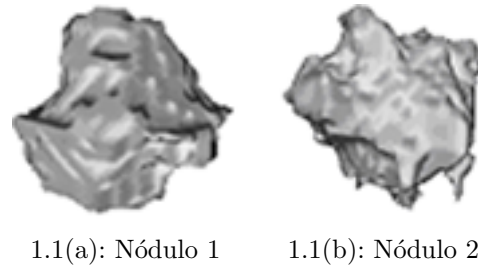


Figura 1.1: Nódulos Pulmonares Solitários.

Técnicas de processamento de imagens e visão computacional podem ser desenvolvidas para facilitar a identificação e o diagnóstico, através do paradigma conhecido como “Diagnóstico Assistido por Computador - *Computer-Aided Diagnosis (CAD)*”.

1.2 Objetivos

Para contribuir para a minimização dos problemas citados anteriormente, este trabalho visa desenvolver uma ferramenta computacional para sugerir a malignidade ou benignidade de Nódulos Pulmonares Solitários através da análise de medidas de textura e geometria. As informações decorrentes destas medidas podem ser utilizadas para fornecer uma “segunda opinião” para os médicos na rotina clínica básica, ou seja, eles poderão utilizar os resultados obtidos pelo computador na conduta diagnóstica de pacientes que apresentem nódulos indeterminados, isto é, aqueles que não possuem sinais radiológicos claros de malignidade ou benignidade.

O presente trabalho envolve a análise e o diagnóstico de Nódulos Pulmonares Solitários utilizando-se características calculadas a partir de medidas baseadas na textura e na geometria. Com a finalidade de separar mais eficientemente os nódulos benignos dos malignos, são aplicadas duas técnicas de classificação: Análise Discriminante Linear de Fisher e a Rede Neural Perceptron de Múltiplas Camadas. A Figura 1.2 resume os objetivos a serem alcançados neste trabalho.

As medidas baseadas na textura têm por objetivo extrair características do tecido do Nódulo Pulmonar Solitário que indiquem benignidade (calcificação, por exemplo) ou malignidade (necrose, por exemplo). Já as medidas baseadas na geometria visam extrair características da forma 3D do Nódulo Pulmonar Solitário que indiquem benignidade (liso

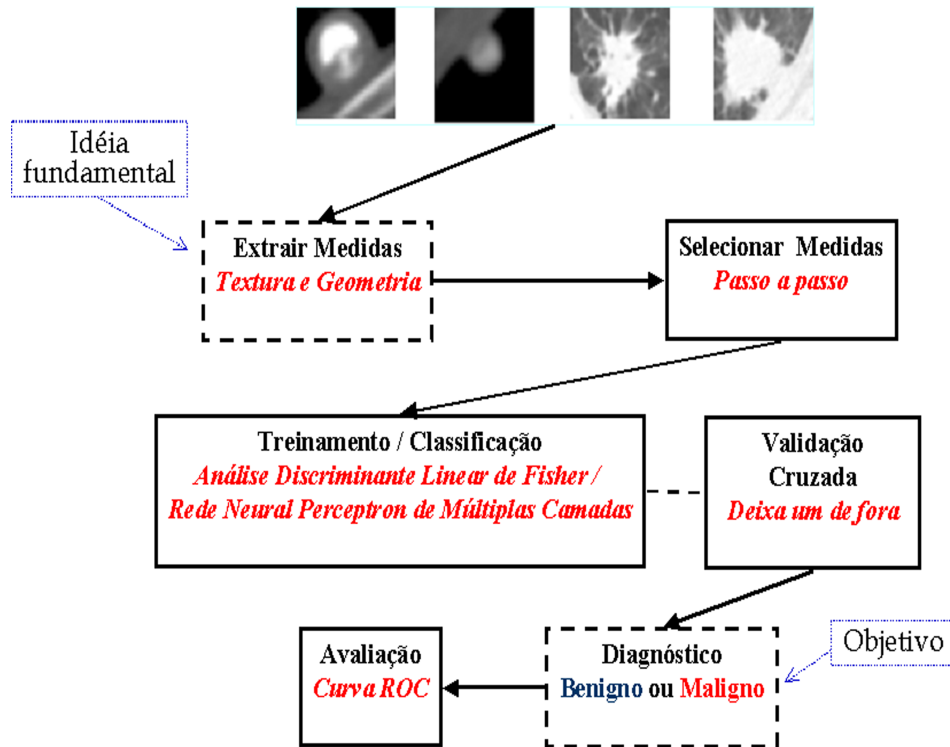


Figura 1.2: Esquema dos objetivos deste trabalho.

e com fronteira bem definida, por exemplo) ou malignidade (espiculado e com fronteira mal definida, por exemplo).

A Análise Discriminante Linear de Fisher e a Rede Neural Perceptron de Múltiplas Camadas têm como objetivo o estudo das diferenças entre grupos bem definidos, com base em um conjunto relevante de características dos seus elementos. Tratam-se de técnicas que procuram identificar e interpretar as diferenças existentes entre os grupos e permitem classificar indivíduos de origem desconhecida em um dos grupos existentes.

1.3 Contribuição

Como contribuições deste trabalho, podemos citar:

- Adaptação de métodos clássicos de textura em processamento de imagens, como o Método de Dependência Espacial de Níveis de Cinza – SGLDM, o Método de Diferença de Níveis de Cinza – GLDM, e o Método de Comprimento de Primitivas de Níveis de Cinza – GLRLM, para caracterizar o nódulo em 3D.

- Utilização de funções geoestatísticas como semivariograma, semimadograma, covariograma e correlograma para análise de textura, e discriminação entre malignidade e benignidade do nódulo.
- Utilização de um índice de concentração chamado coeficiente de Gini, geralmente utilizado em economia e geografia, para análise da geometria e textura do nódulo.
- Utilização do esqueleto do nódulo para análise da geometria e textura do nódulo.
- Comparação entre duas técnicas de classificação muito utilizadas na área de reconhecimento de padrões, a Análise Discriminante Linear de Fisher e a Rede Neural Perceptron de Múltiplas Camadas, com os objetivos de discriminar e classificar nódulos como benignos ou malignos.
- Criação de uma ferramenta auxiliar no diagnóstico de Nódulos Pulmonares Solitários.

1.4 Trabalhos Relacionados

Como mencionado anteriormente, a identificação e o diagnóstico precoce de Nódulos Pulmonares Solitários possibilita uma maior sobrevivência ao paciente. Porém, algumas vezes, devido aos fatores já vistos, o diagnóstico pode ser muito difícil, o que pode levar a procedimentos desnecessários, causando até a morte do paciente. Para amenizar estes casos, algumas pesquisas, utilizando o computador como recurso, têm sido realizadas nas últimas décadas [79].

Nesta seção, estão relacionados alguns trabalhos que têm como objetivo o diagnóstico de Nódulos Pulmonares Solitários e que serviram de apoio para o desenvolvimento deste trabalho:

- **Automated Computerized Scheme for Distinction between Benign and Malignant Solitary Pulmonary Nodules on Chest Images** [89]

Neste trabalho os autores desenvolveram um método de extração e diagnóstico de Nódulos Pulmonares Solitários em radiografia convencional. O método consiste de duas fases: 1) extraindo o nódulo de forma semi-automática, o médico indica a localização do nódulo, e em seguida, as bordas são delineadas através da representação das

coordenadas polares; 2) após a extração do nódulo, são determinadas as características (sexo, idade, diâmetro, circularidade, grau de irregularidade, histograma, gradiente) que servirão como entrada para o método estatístico de Análise Discriminante Linear e Rede Neural Perceptron de Múltiplas Camadas.

Os autores concluíram, que utilizando a curva ROC, o resultado com Análise Discriminante Linear (área = 0.886) foi ligeiramente mais eficiente na classificação entre nódulos benignos e malignos do que a Rede Neural Perceptron de Múltiplas Camadas (área = 0.872).

A idéia desse trabalho é muito semelhante ao que esta tese se propõe. Entretanto, esse trabalho foi realizado em radiografias convencionais, e portanto, levou em consideração apenas as características 2D do nódulo, enquanto que a proposta desta tese é usar a tomografia computadorizada e medidas que analisem as características 3D do nódulo, tanto em textura quanto em geometria.

– **Improvement in Detection of Pulmonary Nodules: Digital Image Processing and Computerized Diagnosis [69]**

Este trabalho sugere um método de visualização e detecção de nódulos pulmonares em radiografia convencional para minimizar os altos índices de falso negativos e falso positivos e, ao mesmo tempo, evitar a necessidade de se fazer outro exame utilizando tomografia computadorizada. Na primeira fase do método, duas radiografias do mesmo paciente são tiradas quase que simultaneamente no mesmo tomógrafo, ou então são tiradas duas radiografias em tomógrafos diferentes. A segunda fase consiste de quatro passos: 1) é aplicado um filtro em cada imagem para realçar a opacidade do nódulo; 2) é extraída a diferença entre as imagens resultantes; 3) vários níveis de limiares são determinados para a segmentação do nódulo a partir do histograma da imagem de diferença; e 4) os nódulos candidatos são classificados e escolhidos aplicando o algoritmo de crescimento de regiões.

Os testes foram realizados com grupos de médicos radiologistas, residentes e não radiologistas, e em todos os casos em que o algoritmo proposto foi utilizado houve uma diminuição substancial de falsos negativos e falsos positivos.

O foco desse trabalho é um pouco diferente desta tese. Nesse trabalho os autores buscam identificar automaticamente e visualizar nódulos, tanto malignos como benignos, em exames de tomografia

computadorizada, enquanto que nesta tese a tarefa principal é diagnosticar o nódulo segmentado anteriormente. A fase de extração (segmentação) dos nódulos da tese corresponde ao foco desse trabalho.

– **Computerized Detection of Pulmonary Nodules on CT Scans** [57]

Os autores descrevem uma ferramenta computadorizada que segmenta automaticamente o nódulo pulmonar de um exame de tomografia computadorizada. O método consiste em: 1) extrair o parênquima pulmonar; 2) reconstruir o parênquima, caso o nódulo esteja adjacente à pleura; 3) segmentar todas as estruturas internas do pulmão; e 4) diferenciar através de características baseadas na textura (média e desvio padrão) e geometria (volume, esfericidade, raio equivalente à esfera, compactidade máxima e circularidade máxima) os nódulos das outras estruturas pulmonares.

Depois que estas características são extraídas, é utilizada a análise discriminante para separar entre o nódulo e não nódulos. A área da curva ROC serve para determinar a eficácia do método. Os autores concluíram que a área da curva foi de 0.93, o que significa uma excelente discriminação.

Algumas medidas utilizadas nesse trabalho, como esfericidade e compactidade, são semelhantes às usadas nesta tese. Entretanto, o objetivo desse trabalho é separar os nódulos de outras estruturas internas do pulmão, e no caso desta tese o objetivo é obter informações que possam caracterizar o nódulo como maligno ou benigno.

– **The Effects of Co-occurrence Matrix Based Texture Parameters on the Classification of Solitary Pulmonary Nodules Imaged on Computed Tomography** [58]

O propósito desse trabalho é investigar os efeitos de variar os parâmetros da matriz de co-ocorrência em 2D (direção, distância e quantização) na classificação de nódulos pulmonares.

As matrizes foram formadas usando diferentes combinações de: 1) níveis de quantização (8, 16, 32, 64 ou (max-min)); 2) distância entre os *pixels*; e 3) diferentes direções. Depois da criação de cada matriz, foram calculadas 13 medidas, baseadas no trabalho de Haralick [1]. Com uma amostra de 32 pacientes, cada característica da textura foi extraída de cada combinação da matriz de co-ocorrência. Para a avaliação da performance das características de textura na tarefa de classificação, foi utilizado o procedimento de seleção de variáveis

passo a passo para selecionar o menor número de medidas que separe nódulos malignos de benignos. A análise discriminante foi utilizada para determinar a função de discriminação e fazer a classificação.

O melhor resultado foi obtido quando foi utilizado o esquema de quantização relativa. Foram classificados corretamente 93.8% utilizando a técnica de resubstituição e 90.6% utilizando a técnica de Jackknife.

Os autores concluíram que as medidas de texturas, quando analisadas combinadas e com parâmetros variados (direção, distância e quantização), são muito precisas na classificação de nódulos pulmonares.

O objetivo desse trabalho é classificar nódulos pulmonares como benignos ou malignos, o que corresponde ao objetivo desta tese. Entretanto, os autores utilizaram imagens em 2D e apenas a matriz de co-ocorrência (análise baseada em textura) com vários parâmetros na análise do nódulo, enquanto esta tese analisa o nódulo em 3D e utiliza na análise, além da matriz de co-ocorrência, outros métodos baseados na textura e geometria.

– **A Pattern Classification Approach to Characterizing Solitary Pulmonary Nodules Imaged on High Resolution CT: Preliminary Results [59]**

O propósito desse trabalho é caracterizar Nódulos Pulmonares Solitários como benignos ou malignos com base em medidas quantitativas de uma fatia (2D) de uma Tomografia Computadorizada de alta resolução (HRCT). A amostra é de 31 pacientes com diagnóstico confirmado por médicos, sendo 14 benignos e 17 malignos. Após a segmentação dos nódulos, várias medidas foram extraídas relacionadas ao tamanho do nódulo, forma, coeficiente de atenuação, distribuição de atenuação e textura.

A técnica de análise discriminante com o procedimento de seleção de variáveis *passo a passo* foi utilizada para determinar que combinações de medidas são adequadas para discriminar os nódulos entre benignos e malignos. A técnica de Jackknife foi utilizada para conferir mais confiabilidade ao diagnóstico. De todas as medidas fornecidas à análise discriminante, somente duas medidas de textura - correlação e diferença de entropia - foram escolhidas para a determinação da função. A função discriminante usando estas medidas classificou

corretamente 90.3% dos nódulos e utilizando a técnica de Jackknife, também classificou 90.3% corretamente.

O foco desse trabalho é muito semelhante ao proposto nesta tese, isto é, os autores analisam o nódulo com medidas baseadas em textura e geometria, mas eles utilizaram apenas uma determinada fatia do exame. No presente trabalho, são utilizadas todas as fatias do exame em que o nódulo se encontra.

– **Internal Structure Analysis of Pulmonary Nodules in Topological and Histogram Feature Spaces** [70]

Este trabalho apresenta um método para caracterizar estruturas internas do nódulo 3D, que são importantes indícios para diferenciar sua benignidade ou malignidade. Neste método cada *voxel* foi descrito em termos do índice de forma (*shape index*) [20] derivado das curvaturas (gaussiana e média) do *voxel*. Os *voxels* dentro do nódulo são agregados dentro do histograma de forma a quantificar quantas categorias de formas foram encontradas no nódulo. As características topológicas (número de Euler, número de componentes conectados, cavidades e buracos) também são utilizadas na análise.

Na classificação foi utilizada uma estrutura híbrida (não supervisionada e supervisionada), *k-means clustering*, e análise discriminante. O método de *k-means clustering* analisa a similaridade dos dados e os classifica em subclasses. Este método melhora a performance da análise discriminante, pois as subclasses ficam com uma distribuição normal.

Os testes foram realizados em uma amostra de 210 nódulos, sendo 141 malignos e 69 benignos. Os resultados mostraram que o método híbrido teve melhor desempenho do que utilizando somente a análise discriminante.

Esse e os próximos três trabalhos foram fundamentais no embasamento teórico sobre o assunto e, particularmente, como ponto de partida no desenvolvimento das medidas propostas nesta tese. As medidas desenvolvidas por eles, analisam basicamente a curvatura e suas derivações no nódulo pulmonar. Essas medidas foram utilizadas nesta tese, mas a diferença básica consiste no cálculo da curvatura, que os autores calcularam em relação aos *voxels* e nesta tese foi calculada com base na superfície reconstruída do nódulo. Além disso, uma outra grande diferença entre o trabalho analisado e esta tese é que na tese foram desenvolvidas muitas outras medidas, abordando outros

aspectos além da geometria, o que propiciou uma melhor qualidade e eficiência no diagnóstico do nódulo.

– **Computer Aided Differential Diagnosis of Pulmonary Nodules Using Curvature Based Analysis** [60]

Este artigo apresenta outro método para caracterizar estruturas internas do nódulo 3D que faz uso do índice de forma (*shape index*) e da densidade da tomografia computadorizada para representar localmente cada *voxel*. É criado um histograma de características, baseado no índice de forma, chamado “medida de espectro de forma” (*shape spectrum measures*), que armazena o *voxel* com um determinado índice para caracterizar o nódulo. Além desse histograma, foram criadas matrizes semelhantes ao método de análise de textura, matrizes de co-ocorrência, para índice de forma e densidade.

A técnica estatística de análise discriminante foi utilizada para classificar nódulos benignos e malignos. Para a seleção das medidas mais significativas foi utilizado o procedimento de seleção de variáveis *passo para frente*. Na validação dos resultados foi utilizada a técnica de Jackknife. Os resultados foram analisados através da curva de ROC e demonstraram ser bastante encorajadores.

– **Curvature Based Analysis of Internal Structure of Pulmonary Nodules Using Thin-section CT Images** [45]

A representação da curvatura é utilizada para a caracterização de nódulos benignos e malignos. A descrição local da curvatura é obtida usando o índice de forma (*shape index*) e a densidade da tomografia computadorizada. Baseado na descrição local, o método de espectro de forma (*shape spectrum measures*) é derivado para representar globalmente o nódulo. É criado um histograma para *curvedness* e outro para densidade.

A eficácia da classificação do espectro de forma é avaliada para quatro regiões diferentes: 1) nódulo completo; 2) região interna do nódulo; 3) complemento da região interna do nódulo; 4) região da vizinhança ao redor do nódulo.

A técnica estatística de análise discriminante foi utilizada para classificar nódulos benignos e malignos. Os resultados indicam que as medidas baseadas no espectro de forma são uma boa alternativa para diagnosticar nódulos pulmonares.

– **Quantitative Surface Characterization of Pulmonary Nodules Based on Thin-Section CT Images** [46]

Este trabalho mostra um método para quantificar as características de pequenos nódulos pulmonares com superfície bem definida, baseado na tomografia computadorizada. O aspecto significativo deste trabalho é a extração de características de curvatura (taxa de cada tipo de superfície - *peak*, *pit*, *saddle pit*, *saddle valley* e a média de *curvedness*) como indícios para sugerir a malignidade ou benignidade do nódulo.

Os resultados dos testes efetuados demonstram que medidas baseadas na curvatura discriminam nódulos benignos de malignos com muita eficiência.

1.5

Estrutura da Tese

Esta Tese está estruturada da seguinte forma:

O Capítulo 2 fornece uma introdução aos principais conceitos necessários para o entendimento deste trabalho. O capítulo inicia-se com uma visão geral de Computação Gráfica na Medicina, e com relação às formas de aquisição de imagens, mostra a importância da tomografia computadorizada na identificação e diagnóstico dos nódulos. Depois, o Nódulo Pulmonar Solitário é mostrado de forma básica. Em seguida será descrita a técnica que visa selecionar as medidas (entradas) mais significativas para fazerem parte do treinamento da Análise Discriminante Linear de Fisher e da Rede Neural Perceptron de Múltiplas Camadas. Depois, na Seção 2.3 serão estudadas duas técnicas de classificação que determinarão a benignidade ou malignidade do Nódulo Pulmonar Solitário. A primeira técnica é baseada nos métodos clássicos de estatística, chamada Análise Discriminante Linear de Fisher – ALDF. Para esta técnica será apresentada a teoria básica para análise, aprendizagem e classificação entre dois grupos. A segunda técnica realiza discriminações não lineares e é chamada de Rede Neural Perceptron de Múltiplas Camadas – MLP. Para a MLP é apresentado o algoritmo de treinamento mais utilizado, retropropagação, além da utilização da rede após o treinamento e suas limitações. Para finalizar é feita uma breve comparação entre MLP e ADLF, mostrando aspectos similares entre ambas. Será descrita também uma técnica de validação cruzada do modelo, chamada *deixa um de fora* (*leave-one-out*), que avalia mais realistamente os modelos encontrados. Por

último, será abordada a Curva ROC (*Receiver Operating Characteristic*), que é uma técnica freqüentemente utilizada por médicos para a avaliação de diagnósticos e algoritmos.

O Capítulo 3 descreve todos os métodos utilizados para diagnosticar os nódulos pulmonares solitários, baseados nas suas características de textura e geometria. Os métodos foram agrupados de acordo com sua função na análise. O Grupo I trata dos métodos comuns na literatura de processamento de imagens, como histograma, Método de Dependência Espacial de Níveis de Cinza – SGLDM, Método de Diferença de Níveis de Cinza - GLDM e Método de Comprimento de Primitivas de Níveis de Cinza - GLRLM. Todos os métodos deste grupo foram adaptados para obter a característica 3D do Nódulo Pulmonar Solitário. O Grupo II ainda trata da textura dos nódulos, mas utiliza quatro funções geoestatísticas para seu diagnóstico. As funções foram: semivariograma, semimadograma, covariograma e correlograma. O Grupo III descreve apenas medidas baseadas na geometria do nódulo. Foram analisadas medidas de convexidade, esfericidade, e medidas baseadas na curvatura. Por fim, no Grupo IV, são analisados métodos que levam em consideração tanto a geometria quanto a textura do nódulo: o coeficiente de Gini e o esqueleto do nódulo. O coeficiente de Gini é calculado para seis regiões distintas, determinadas pela codificação dos *voxels*. Com base no esqueleto são extraídas mais oito medidas: número de segmentos, número de ramificações, fração do volume, comprimento dos segmentos, volume do fecho convexo, taxa entre o número de segmentos e o volume do fecho convexo, coeficiente de variação e momentos do histograma.

Os testes e resultados serão apresentados no Capítulo 4. Este capítulo analisa cada método proposto e suas combinações em grupos para diagnosticar os NPS. Primeiro, serão detalhados todos os procedimentos iniciais básicos para a 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 *software* utilizados. Além disso, serão feitas análises de todos dos métodos propostos e como consequência, será determinado qual dos métodos melhor discrimina e classifica os nódulos malignos e benignos.

Por último, no Capítulo 5, há um resumo e são apresentadas as conclusões tiradas deste trabalho, além de serem feitas sugestões de trabalhos futuros.