

SEGMENTAÇÃO DE CANDIDATOS A NÓDULO PULMONAR BASEADO EM TOMOGRAFIA COMPUTADORIZADA

Maura G. R. da Rocha¹, Willyams M. Saraiva¹, Patrícia M. L de L. Drumond¹, Antonio O. de Carvalho Filho¹, Alcilene D. de Sousa¹

¹Campus Senador Helvídio Nunes de Barros - Universidade Federal do Piauí (UFPI), Brasil

Resumo: O presente trabalho apresenta uma metodologia para segmentação automática de candidatos a nódulos pulmonares solitários usando Autômato Celular. A detecção precoce de nódulos pulmonares solitários que podem vir a se tornar câncer é essencial para sobrevivência dos pacientes. Para auxiliar os especialistas na identificação desses nódulos estão sendo desenvolvidos sistemas auxiliados por computadores que visam automatizar os trabalhos de detecção e classificação. A etapa de segmentação desempenha um papel fundamental na detecção automática de nódulos pulmonares, pois permite separar os elementos de imagem em regiões que apresentam a mesma propriedade ou característica. A metodologia utilizada nessa pesquisa inclui aquisição das imagens, eliminação de ruídos, segmentação do parênquima pulmonar e segmentação dos candidatos a nódulos pulmonares solitários. Os testes foram realizados utilizando conjunto de imagens da base LIDC-IDRI, contendo 739 nódulos. Os resultados mostram uma sensibilidade de 95,66% dos nódulos considerados.

Palavras-chave: Nódulo Pulmonar Solitário; Tomografia Computadorizada; Processamento de Imagem Assistida por Computador.

Abstract: The present work presents a methodology for automatic segmentation of pulmonary solitary nodules candidates using cellular automaton. Early detection of pulmonary solitary nodules that may become cancer is essential for survival of patients. To assist the experts in the identification of these nodules are being developed computer aided systems that aim to automate the work of detection and classification. The segmentation stage plays a key role in automatic detection of lung nodules, as it allows separating the image elements in regions, which have the same property or characteristic. The methodology used in the article includes acquisition of images, noise elimination, pulmonary parenchyma segmentation and segmentation of pulmonary solitary nodules candidates. The tests were conducted using set of images of the LIDC-IDRI base, containing 739 nodules. The test results show a sensitivity of 95.66% of the nodules.

Keywords: Solitary Pulmonary Nodule; Computed Tomography; Image Processing, Computer-Assisted.

Introdução

Câncer é o nome atribuído a um conjunto de mais de cem doenças, onde todas têm em comum o desenvolvimento desordenado das células que invadem tecidos e órgãos. O câncer de pulmão é um dos tipos de tumores malignos que ocorre com maior frequência. Essa 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 todo¹.

O diagnóstico precoce ainda é a melhor maneira para reduzir a mortalidade e aumentar a eficácia do tratamento. A identificação desses nódulos é feita por um especialista mediante análise de imagens adquiridas através da Tomografia Computadorizada (TC) do tórax, pois fornece ao especialista informações precisas do tamanho, localizações e níveis de invasão do nódulo.

Existem casos em que os nódulos pulmonares podem ser de difícil detecção usando TC por possuírem baixa intensidade, tamanho pequeno, ou a localização do nódulo envolto em uma área de anatomia complexa. A fim de distinguir entre nódulos e vasos, os especialistas geralmente necessitam comparar imagens de TC para retirar os dados relevantes, assim a carga de trabalho para esse tipo de análise é extremamente exaustiva. Essa análise pode ocasionar o desvio da atenção, especialmente quando há outras anomalias na imagem simultaneamente².

Atualmente, estão sendo desenvolvidos sistemas para auxiliar os especialistas na detecção e no diagnóstico de Nódulos Pulmonares Solitários (NPS) de forma mais rápida e precisa. Os sistemas *Computer-Aided Detection* (CAD) são sistemas que ajudam a detecção de lesões e melhoram o fluxo de trabalho durante a avaliação dos estudos de segmentação. A segmentação é uma das principais etapas de processamento de imagem utilizadas no CAD, ela é responsável por fornecer as regiões de interesse da imagem na qual serão analisadas e classificadas como nódulo ou não-nódulo.

O processo de detecção automática de NPS contém algumas etapas como a segmentação, extração de características e classificação. Este trabalho apresenta uma metodologia para segmentação dos candidatos a NPS em imagens de TC do tórax usando Autômato Celular (AC).

Trabalhos Relacionados

Na literatura são encontrados diversos trabalhos voltados para a detecção automática de nódulos pulmonares. Em destaque encontra-se os seguintes:

Akram *et al.*³, desenvolveram um sistema de detecção automatizado de nódulos pulmonares baseado em redes neurais artificiais com base em características híbridas geométricas 2D e 3D, e características estatísticas de intensidade. O volume pulmonar foi segmentado através de limiarização, etiquetagem de componentes 3D, correção de contorno e operadores morfológicos. A extração dos candidatos a nódulos foi realizada usando por base as características de formação dos nódulos. As características geométricas 2D e 3D e de intensidade foram extraídas baseadas em características estatísticas e usadas para treinar uma rede neural, obtendo uma taxa de sensibilidade de 96,95% e uma taxa de acurácia de 96,68%.

Elsayed *et al.*⁴, apresentaram uma abordagem completa para a detecção automática e classificação de nódulos pulmonares através da aplicação de várias técnicas nas imagens de TC do tórax. Na etapa inicial foi realizada a segmentação usando técnicas de multisegmentação, seguindo por extração de nódulos e, por fim, a classificação das características extraídas. Posteriormente, foi o pré-processamento, no qual transformou os valores em *pixel* em unidades *Hounsfield*, e depois, aplicação de uma técnica de crescimento de regiões. Em seguida, foi realizado o processo de segmentação dos candidatos a nódulos pulmonares utilizando as metodologias *Thresholding* e *Hesse*. Por fim, foram utilizados vários classificadores para realizar a classificação dos nódulos, obtendo bons resultados nos métodos propostos.

Messay, Hardie e Tunistra⁵, desenvolveram um novo algoritmo de segmentação de nódulo pulmonar para TC. Esse algoritmo inclui um sistema totalmente automatizado, um sistema semiautomático e um sistema híbrido. A aplicação sequencial dos três algoritmos e o uso de uma rede neural de regressão para calcular uma série de características de cada candidato a nódulo pulmonar, permitiu melhorar os resultados da segmentação. Além disso, a comparação com outros dez métodos de segmentação existentes mostrou que este trabalho apresentou um melhor desempenho pela sobreposição média de 69,23%.

Vivanti *et al.*⁶, desenvolveram um algoritmo de segmentação automática de tumores pulmonares em exames de TC, obtidas durante o acompanhamento de pacientes. O processo de segmentação consiste em registrar a imagem TC de linha de base e a delimitação dos tumores com as imagens de acompanhamento, realizar a segmentação inicial dos tumores nas imagens de acompanhamento,

detectar e corrigir os vazamentos da segmentação dos tumores de acompanhamento, e regularizar o limite do tumor. Este algoritmo apresenta resultados significativos, como indicado pelo erro médio de sobreposição DICE de 14,5% e fornece medições relevantes para os tumores pulmonares.

Shen *et al.*⁷, propuseram um algoritmo de segmentação do pulmão sem parâmetro com o objetivo de melhorar a precisão da detecção de nódulos pulmonares, concentrando-se em nódulos justapleurais. Um método de codificação de cadeia bidirecional combinado com um classificador MVS foi usado para facilitar, minimizando o excesso de segmentação das regiões adjacentes. Este método automatizado foi testado em 233 imagens de TC do banco de imagens LIDC-IDRI. A abordagem obteve uma taxa de sensibilidade de 92,6%.

Wang, Cheng e Ge⁸, propuseram segmentação automática de nódulo pulmonar usando Variável modificada de filtro N *Quoit* (VNQ). Essa metodologia foi dividida em três etapas: segmentação do parênquima pulmonar, correção e suavização da fronteira pulmonar, e segmentação dos candidatos a nódulos pulmonares. Na etapa de segmentação do parênquima foi utilizado o algoritmo *Adaptive Border Marching* (ABM), os métodos de correções foram baseados no algoritmo de comprimento de arco e côncava-convexo, e a segmentação dos candidatos a nódulo pulmonar foi utilizado o VNQ. Os testes foram realizados em 10 exames de TC, obtendo bons resultados nos métodos propostos.

Setio *et al.*⁹, desenvolveram um novo sistema CAD para nódulos pulmonares, utilizando multi-*Convolutional Networks* (ConvNets), para os quais os recursos característicos são automaticamente aprendidos com os dados de treinamentos. A rede foi alimentada com os candidatos a nódulo obtidos através da combinação de três técnicas de segmentação de candidatos a nódulos pulmonares, especificamente para sólidos, subsolid e grandes nódulos. Para cada candidato, foi utilizado um conjunto de *patches* 2-D de plano orientados para realizar a extração. A arquitetura proposta compreende múltiplos fluxos de ConvNets 2-D, para o qual as saídas são combinadas usando um método de fusão dedicado para conseguir a classificação final. Em 888 imagens do conjunto de dados LIDC-IDRI, esse método atingiu alta sensibilidade de detecção de 85,4% e 90,1% em 1 e 4 falsos positivos por digitalização.

Tunali e Guvenis¹⁰, desenvolveram um algoritmo combinando dois métodos para segmentação de nódulo pulmonar em TC do tórax. Primeiro, um método de segmentação semiautomática é usado para localizar uma estimativa inicial do nódulo usando um esquema de limiar não fixa. Em seguida, os vasos e tecidos ligados ao segmento de nódulo são removidos usando um método de refinamento com base nas distâncias de geodesias, obtendo uma sensibilidade de 61%.

Em todos os trabalhos relacionados descritos nesta seção, são observados alguns problemas na etapa da segmentação dos candidatos a nódulos pulmonares, em especial quando se refere ao tamanho, localização e baixo contraste do nódulo. Neste trabalho é utilizado um novo método de segmentação com uma técnica mais simples, porém, eficiente para minimizar estes problemas.

Métodos

Os métodos propostos para segmentação de candidatos a NPS nos exames de TC compreende cinco etapas, sendo: a aquisição das imagens, eliminação de ruídos, segmentação do parênquima pulmonar, segmentação dos candidatos a nódulos e métrica de avaliação de resultados. Como o objetivo desse trabalho é a segmentação dos candidatos a nódulos pulmonares, foi utilizada a metodologia descrita por Moura *et al.*¹¹ para eliminação de ruídos e segmentação do parênquima pulmonar. A base de imagens utilizada é a LIDC-IDRI. A Figura 1 ilustra a ordem das cinco etapas que inicia com a aquisição das imagens e encerra com a métrica de avaliação dos resultados.

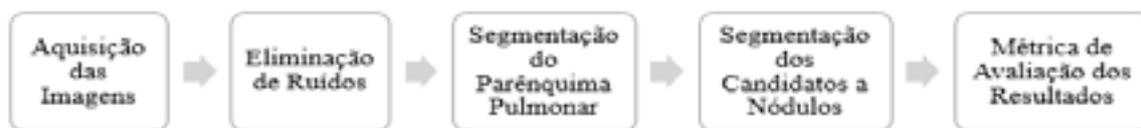


Figura 1: Etapas da metodologia para a segmentação de candidatos a nódulos pulmonares.

Segmentação é uma operação fundamental para aplicações de processamento de imagem, tendo como finalidade, determinar regiões homogêneas de *pixels* adjacentes em uma imagem que tenham características em comum. Estas características podem ser intensidade, cor, textura, entre outras¹².

Aquisição das Imagens - As imagens utilizadas para os testes são do banco imagens LIDC-IDRI (*Lung Image Database Consortium Image Collection*), um repositório público de imagens tomográficas, disponibilizado na *internet* pelo *National Cancer Institute of USA* (NCI). A base foi criada através de uma associação do *Lung Image Database Consortium* (LIDC) e a *Image Database Resource Initiative* (IDRI). Essa associação resultou em uma base 1018 casos, tendo como embasamento as informações e marcações da base LIDC. Cada exame da base possui informações e avaliações de quatro especialistas, que são disponibilizadas em um arquivo XML¹³.

A base LIDC-IDRI possui diversos tipos de nódulos. A base LIDC-IDRI fornece um contorno disponibilizado em um arquivo XML para os nódulos pulmonares maiores que 3 mm, enquanto que para aqueles menores que 3 mm, apenas o centroide é fornecido. Neste artigo foram utilizados nódulos maior ou igual a 3 mm.

Eliminação de Ruídos - Após a aquisição das imagens, o próximo passo é realizar um pré-processamento para eliminar o ruído que pode existir nestas imagens, o que facilita a detecção de nódulos. Utilizou-se a eliminação do ruído filtro de *wiener*.

O filtro de *wiener* é um método utilizado para restauração de imagens que realiza o filtro de suavização baseado o cálculo da média e variância na vizinhança de cada *pixel*.

Segmentação do Parênquima Pulmonar - A etapa de segmentação do parênquima pulmonar é necessária limiarizar a imagem filtrada, gerando uma imagem binária, como mostrado na Figura 2. O processo de limiarização consiste em separar as regiões de uma imagem usando um determinado limiar¹¹.



Figura 2: Imagem binária.

Fonte: Moura¹¹.

Primeiramente a imagem filtrada é binarizada utilizando o limiar 0,51. Depois é calculado o maior valor de intensidade de uma coluna central da imagem. Se esse valor for igual a 0, significa que a imagem não foi limiarizada corretamente. Então, a imagem filtrada é binarizada novamente utilizando o limiar 0,01. Assim, o limiar é definido de acordo com a imagem. A partir da imagem binária é obtida uma máscara como ilustrado na Figura 3(a). A máscara é gerada da seguinte forma: segmentando a caixa torácica, segmentando a região exterior a caixa torácica e aplicando a operação *not* nesta

imagem. Cada um desses passos gera uma nova imagem que é a entrada do passo seguinte. A operação *not* em uma imagem binária gera uma nova imagem atribuindo aos *pixels* cujo valor é igual a 1 o valor 0 e aos *pixels* cujo valor é igual 0 o valor 1¹¹.

A Figura 3(b) mostra a segmentação realizada com a máscara, eliminando a região exterior a caixa torácica. Essa imagem é então transformada em uma imagem binária e depois é invertida por meio da operação *not* gerando uma nova imagem. Em seguida é aplicado a operação *and* com essa imagem e a máscara, resultando em uma imagem segmentada do parênquima pulmonar. A operação *and* é aplicada a duas imagens binárias para gerar uma nova imagem contendo regiões comuns a essas duas imagens. Uma operação de fechamento utilizando um elemento estruturante circular com raio de dez unidades é feita para reconstruir o parênquima pulmonar como mostrado na Figura 3(c). O parênquima pulmonar é então obtido a partir desta imagem, conforme Figura 3(d)¹¹.

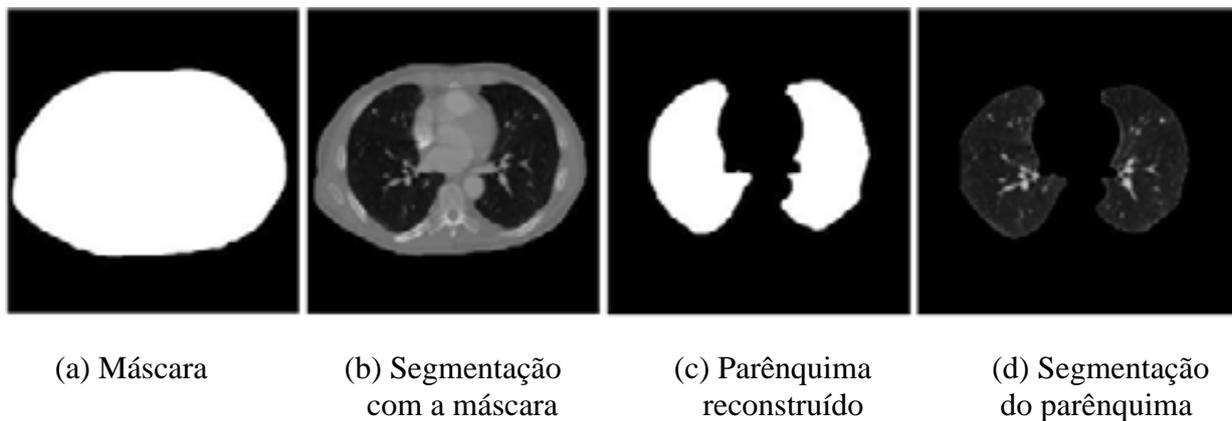


Figura 3: Resultado da segmentação do parênquima pulmonar.

Fonte: Moura¹¹

Segmentação dos Candidatos a Nódulos Pulmonares Solitários - Segmentação dos candidatos a NPS consiste em extrair as estruturas internas ao parênquima pulmonar. Estas estruturas podem ser nódulos, traqueia, vasos sanguíneos, entre outros. Para realizar a segmentação dos candidatos a NPS foi usado Autômato Celular (AC).

Os ACs são uma importante ferramenta computacional que começou a ser estudado no final da década de 40 pelo matemático John Von Neumann. Nessa época, o matemático Stanislaw Ulam sugeriu a Neumann a utilização dos ACs para a idealização de sistemas biológicos, dando maior ênfase para sistemas biológicos auto-reprodutivos. No entanto, os detalhes de sua construção e suas ideias foram publicados apenas após a sua morte em 1957.

Os ACs são modelos computacionais constituídos por uma matriz de células, onde cada célula (i, j) toma um valor v_{ij} e é atualizado o seu valor no decorrer do tempo t de acordo com uma dada regra $\rho(i, t)$. O estado v_{ij} de uma célula (i, j) é calculado em função das células na sua vizinhança.

Um dos ACs mais conhecido é o *game of life*, desenvolvido pelo matemático John Horton Conway em 1970. Ele simula o processo de evolução de células biológicas que representado por uma grade de células que podem estar em um de dois estados: vivas ou mortas. O que determina o estado de uma célula é a sua vizinhança ao redor, no caso 8 vizinhos¹⁶.

As regras deste autômato são as seguintes:

- Uma célula viva com um vizinho vivo ou nenhum vivo, morre por solidão.
- Uma célula viva com mais do que três vizinhos vivos, morre por superpopulação.
- Uma célula viva com 2 ou 3 vizinhos vivos, sobrevive no próximo instante.
- Uma célula morta com exatamente 3 vizinhos vivos, nasce.

A Figura 4(a) mostra o comportamento do *game of life* no instante $t = 0$ e as Figuras 4(b) e (c) mostram os instantes intermediários e a Figura 4(d) o instante em que o *game of life* se estabiliza, ou seja, as estruturas que se formam no AC não sofrem modificações com o passar do tempo.

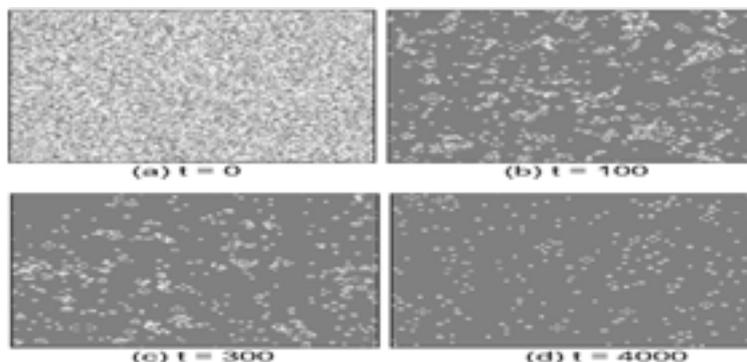


Figura 4: Evolução do *game of life*.

Fonte: Melotti¹⁴.

Na Figura 4 a cor cinza representa uma célula morta e cor branca nesta mesma Figura representa uma célula viva. O *game of life* foi simulado em uma matriz 200×200 com limite periódico, “lattice” quadrado e condição inicial aleatória.

A segmentação dos candidatos a NPS usando a metodologia AC é feita a partir da imagem do parênquima pulmonar segmentado como se observa na Figura 5(a). Inicialmente para segmentar os candidatos a NPS em uma imagem, os *pixels* da imagem que têm intensidade semelhante do parênquima pulmonar passam a representar o estado morto (cor preta) e os *pixels* de intensidade diferentes do parênquima o estado vivo (cor branca), formando assim uma imagem com apenas dois estados como mostra a Figura 5(b). Com base na metodologia AC os valores dos *pixels* evoluem de acordo com os comportamentos dos seus *pixels* vizinhos. Dessa forma, o *pixel* que possuir mais de dois vizinhos e menos de oito vizinhos no estado vivo, seu *pixel* central passa ter o estado vivo, independentemente de seu estado anterior; caso contrário o *pixel* central se transformar em estado morto como ilustrado na Figura 5(c). Depois da segmentação resulta apenas os candidatos a NPS, ficando no estado vivo. E por fim, os possíveis nódulos são destacados com a cor vermelha, pode-se ver na Figura 5(d).

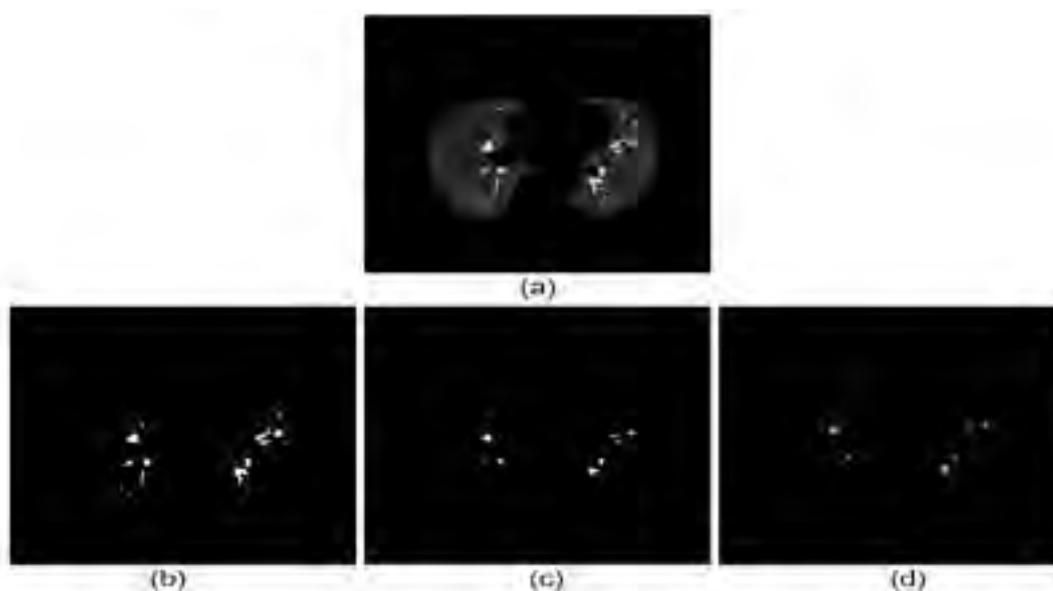


Figura 5: Resultado da segmentação dos candidatos a nódulos pulmonares.

Métrica de avaliação dos resultados - A base LIDC-IDRI é composta por exames, no qual cada exame possui um arquivo XML em que são armazenadas as informações das coordenadas do contorno dos nódulos e as fatias que compõem esses nódulos. Nas marcações do arquivo XML de cada fatia são indicadas as posições x e y que representam a localização do nódulo naquela fatia. Desta forma, é possível identificar em qual região da imagem de TC está localizado o nódulo pulmonar.

Conhecendo a localização exata do nódulo em determinada fatia, o teste consiste em aplicar o método de segmentação nesta imagem e verificar se dentre as regiões segmentadas alguma aparece com as mesmas coordenadas (x, y) que representa o nódulo na imagem original. Em seguida são verificados quantos nódulos o método conseguiu segmentar com sucesso e assim obtém-se a taxa de sensibilidade.

Resultados e Discussão

Nesta seção, descrevem-se e discutem-se os resultados obtidos pela metodologia proposta para segmentação de nódulos pulmonares usando AC.

A metodologia foi testada com 607 fatias de TC provenientes do banco de imagens LIDC-IDRI, contendo 739 nódulos. Os testes mostraram que o algoritmo segmentou 707 nódulos com sucesso e perdeu 32, ou seja, obteve uma taxa de sensibilidade de 95,66% na detecção dos NPS. A taxa de erros foi de 4,34% devido os nódulos apresentarem um nível de intensidade muito próximo ao do parênquima pulmonar.

A Figura 6 mostra três casos de acerto em que os nódulos marcados pelos especialistas com tamanhos e localizações diferentes no pulmão foram encontrados dentre os candidatos a nódulos. A Figura 6(a) são as imagens de exame de TC com as indicações dos nódulos e a Figura 6(b) são as imagens geradas pelo algoritmo contendo os candidatos a nódulos. Os nódulos são indicados por um círculo azul.

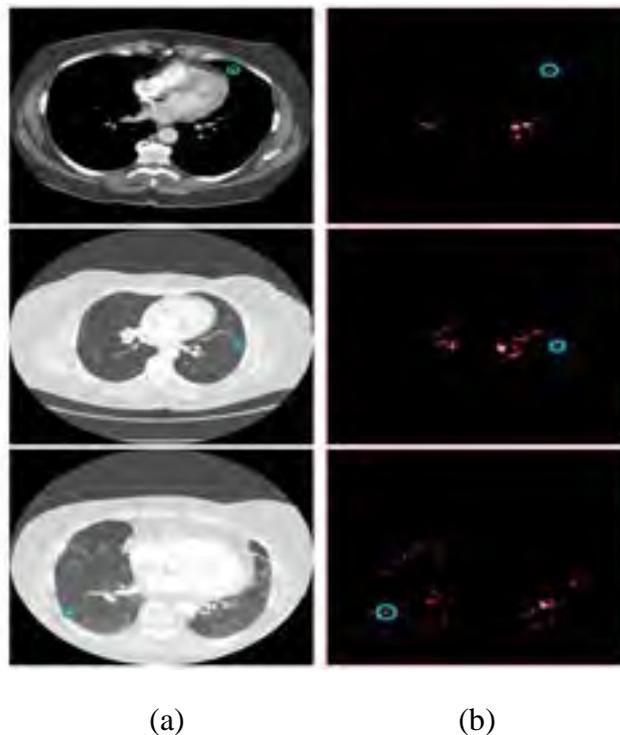


Figura 6: Imagens com indicações correta do nódulo pulmonar.

A Figura 7 mostra três casos de erros em que os nódulos marcados pelos especialistas não foram encontrados dentre os candidatos a nódulos por apresentar um nível de intensidade muito próximo ao do parênquima pulmonar. A Figura 7(a) são as imagens de exame de TC com as indicações dos nódulos e a Figura 7(b) são as imagens geradas pelo algoritmo contendo os candidatos a nódulos, entre os quais os nódulos marcados pelos especialistas não foram localizados.

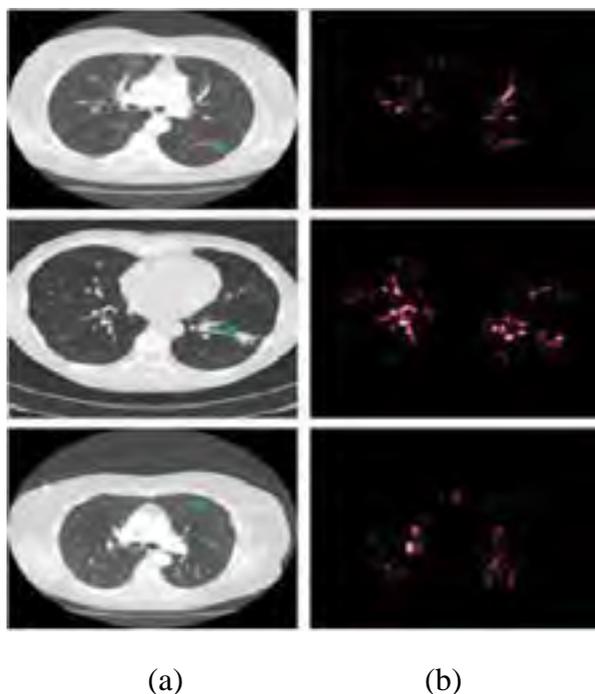


Figura 7: Imagens em que os nódulos não foram encontrados.

Os testes foram realizados em um computador com o processador *Intel (R) core (TM) i3-3217U* de 1.80 GHz, 64 Bits e 4 GB de RAM. O tempo médio de execução em segundos que o algoritmo levou para segmentar os possíveis candidatos a NPS em uma fatia foi de 2,56563 segundos. O tempo médio de execução foi calculado tomando como base um conjunto de 607 fatias.

A Tabela 1 apresenta os resultados encontrados pela metodologia proposta em comparação com outros trabalhos na etapa de detecção de nódulos pulmonares. A comparação é aproximativa, já que foram utilizadas quantidades e imagens diferentes.

Tabela 1: Comparação dos resultados.

Trabalho	Base	Quantidade de exames/fatias	Sensibilidade
Akram <i>et al</i> ³	*	*	96,95%
Elsayed <i>et al</i> ⁴	LIDC-IDRI	*	*
Messay, Hardie e Tunistra ⁵	LIDC-IDRI	*	69,23%
Vivanti <i>et al</i> ⁶	*	*	85,5%
Shen <i>et al</i> ⁷	LIDC-IDRI	233 (fatias)	92,6%.
Wang, Cheng e Ge ⁸	LIDC-IDRI	10 (exames)	*
Setio <i>et al</i> ⁹	LIDC-IDRI	888 (fatias)	90,4%
Tunali e Guvenis ¹⁰	*	*	61%
Trabalho proposto	LIDC-IDRI	607 (fatias)	95,66%

Na tabela 1, observa-se que a metodologia proposta apresentou resultados relevantes em relação aos trabalhos citados, com exceção do trabalho de Akram *et al*³ que apresenta a taxa de sensibilidade superior o trabalho proposto. Já em relação aos trabalhos de Elsayed *et al*⁴ e Wang, Cheng e Ge⁸ não foi possível fazer uma comparação mais aproximada, pois autores não mencionam as métricas de avaliação.

Conclusão

Os elevados índices de mortes e registros de ocorrências de câncer de pulmão no Brasil e no mundo demonstram a importância do desenvolvimento de pesquisas com objetivo de produzir recursos para a detecção precoce de nódulo pulmonar.

Este trabalho apresentou uma metodologia para segmentação de candidato a NPS usando AC em imagens de TC com uma abordagem dividida em cinco etapas. A metodologia tem como entrada uma imagem de TC e a partir dela gera uma imagem contendo as regiões segmentadas que correspondem aos candidatos a nódulos. No conjunto de teste composto por 739 nódulos de TC, obteve uma taxa de sensibilidade de 95,66% dos nódulos considerados. Em alguns casos, não foi possível localizar os nódulos devido ao nível de intensidade ser semelhante ao do parênquima pulmonar. Entretanto, os resultados obtidos demonstram o desempenho promissor.

A vantagem desta metodologia sobre outros métodos de segmentação de candidatos a nódulos, é a facilidade de implementação, devido a menor complexidade o que resulta em uma execução mais rápida. Além de ser simples, o método proposto fornece bons resultados de segmentação comprovado pela porcentagem dos nódulos segmentados nos experimentos.

Referências

- [1] Instituto Nacional de Câncer - INCA. O que é o câncer. Disponível em: <<http://www2.inca.gov.br/wps/wcm/connect/cancer/site/oquee>>. Acesso em 22 fev. 2016.
- [2] Filho AOC, Silva AC, Paiva AC, Nunes RA. Segmentação de Nódulo Pulmonar Solitário Usando Quality Trheshold Cluste. Núcleo de Computação Aplicada – NCA / Universidade Federal do Maranhão; 2014.p.1-5.
- [3] Akram S, Javed Y, Qamar U, Khanum A, Hassan A. Artificial Neural Network based Classification of Lungs Nodule using Hybrid Features from Computerized Tomographic Images. Applied Mathematics & Information Sciencesb, 2014.
- [4] Elsayed O, Mahar K, Kholief M, Khater HA. Automatic detection of the pulmonary nodules from CT images. IEE SAI Intelligent Systems Conference (IntelliSys); 2015. p. 742-746.
- [5] Messay T, Hardie RC, Tuinstra TR. Segmentation of pulmonary nodules in computed tomography using a regression neural network approach and its application to the Lung Image Database Consortium and Image Database Resource Initiative dataset. Medical Image Analysis; 2015. P.48-62.
- [6] Vivanti R, Joskowicz L, Karaaslan OA, Sosna J. Automatic lung tumor segmentation with leaks removal in follow-up CT studies. Int J CARS, 2015.
- [7] Shen S, Bui AAT, Cong J, Hsu W. An automated lung segmentation approach using bidirectional chain codes to improve nodule detection accuracy. Computers in Biology Medicine 57; 2015. p. 139-149.
- [8] Wang J, Cheng Y, Ge Q. Pulmonary Nodule Segmentation with Modified Variable N-Quoit Filter Combining Border Smoothing and Correction. IEEE Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics (IHMSC); 2015. p. 374-377.

- [9] Setio AAA, Ciompi F, Litjens P, Jacobs C, Riel S, Wille MW, Sanchez C, Ginneken. Pulmonary nodule detection in CT images: false positive reduction using multi-view convolutional networks. *IEEE Transactions on Medical Imaging*; 2016.p.1.
- [10] Tunali I, Guvenis A. A fusion method for pulmonary nodule segmentation in chest CT image sets”, *IEEE-EMBS International Conference on Biomedical and Health Informatics (BHI)*, 2016. p. 180 – 183.
- [11] Moura MJC, Sousa AD, Oliveira IA, Mesquita LN; Drumond PMLL. Segmentação Automática de Candidatos a Nódulos Pulmonares em Imagens de Tomografia Computadorizada. Campus Senador Helvídio Nunes de Barros – Universidade do Piauí (UFPI); 2015. p. 1-10.
- [12] Bovik AC. *Handbook of image and vídeo processing (Communications, Networking na Multimedia)*. Academic Press, Inc, 2005.
- [13] Armato III SG, McLennan g, Bidaut L, McNitt-Gray MF, Meyer CR, Reeves AP, *et al.* The Lung Image Database Consortium (LIDC) and Image Database Resource Initiative (IDRI): a completed reference database of lung nodule on CT scans. *Med. Phys.* 38; 2011.p. 915-931.
- [14] Melotti G. *Aplicação de Autômatos Celulares em Sistemas Complexo: Um Estudo de Caso em Espalhamento de Epidemias*. Dissertação (Mestrado) – UFMG; 2009.

Contato

Maura G. R. da Rocha

E-mail: mauragessicah@hotmail.com

Telefone: (89) 99418 - 9741

Willyams M. Saraiva

E-mail: willyamsp2@gmail.com

Telefone: (86) 9998 - 2030

Patrícia M. L. de L. Drumond1

E-mail: patymedy@hotmail.com

Telefone: (86) 999422 – 3484

Antonio O. de Carvalho Filho

E-mail: antoniooseas@gmail.com

Telefone: (89) 99465 – 9693

Alcilene D. de Sousa

E-mail: alcileneluzsousa@gail.com

Telefone: (89) 99422 – 1033

Endereço: Campus Senador Helvídio Nunes de Barros - Universidade Federal do Piauí (UFPI), Av. Cícero Eduardo - Junco, CEP 64607675, Picos, PI, Brasil