

Digitalização de filmes radiográficos com costura de imagens*

Digitalization of X-ray films with image stitching

Jaime Grande Vela¹, Amit Bhaya², Alexandra Maria Vieira Monteiro³, Leonardo Valente Ferreira⁴, Alair Augusto Sarmet Moreira Damas dos Santos⁵, Maria Lucia Santos⁵, Paulo Bahia⁶, Elise Tonomura⁷

Resumo **Objetivo:** Propor um método reprodutível, de fácil utilização e de baixo custo para a digitalização de filmes radiográficos de todos os tamanhos padrões, concentrando nossos esforços em filmes radiográficos de tórax. **Materiais e Métodos:** O objetivo de baixo custo ditou o uso de um escâner A4 com adaptador de transparência, bem como um software de costura de imagens otimizado, que tira proveito da geometria do escâner e área de captura constante, bem como o conhecimento das dimensões dos filmes radiográficos padrões. **Resultados:** O resultado final do método proposto é uma imagem de alta resolução com bom contraste e sem artefatos de costura perceptíveis. **Conclusão:** O método de digitalização proposto usando um escâner A4 possibilita reprodutibilidade, excelente qualidade de imagem e alto grau de certeza na identificação de lesões.

Unitermos: Radiologia digital; Telerradiologia; Costura de imagens.

Abstract **Objective:** To propose a reproducible, user friendly and low cost method for digitization of radiographic films of all the standard sizes, focusing efforts on chest X-ray films. **Materials and Methods:** The focus on low cost have dictated the use of an A4 scanner with transparency adapter, as well as an optimized image stitching software that takes advantage of the scanner geometry and constant capture area, besides the knowledge of the standard X-ray film sizes. **Results:** The end result of the proposed method is a high resolution image with good contrast and no perceptible stitching artifacts. **Conclusion:** The proposed digitization method with an A4 scanner allows reproducibility, excellent image quality and high degree of certainty in the identification of lesions.

Keywords: Digital radiology; Teleradiology; Image stitching.

Vela JG, Bhaya A, Monteiro AMV, Ferreira LV, Santos AASMD, Santos ML, Bahia P, Tonomura E. Digitalização de filmes radiográficos com costura de imagens. Radiol Bras. 2011 Jul/Ago;44(4):233-237.

INTRODUÇÃO

O conceito original de radiologia digital foi introduzido no final da década de 1970 e começo de 1980, mas esta tecnolo-

gia não foi maturada até a Primeira Conferência Internacional e Workshop de Arquivamento de Figuras e Sistemas de Comunicação (PACS), realizada em Newport Beach, CA, em janeiro de 1982⁽¹⁾. Com a introdução da imagem digital, começou uma nova era no campo da radiologia: o uso de arquivos digitais em vez de filmes convencionais trouxe novas facilidades para a manipulação, transmissão, armazenamento e visualização das radiografias.

A representação digital de radiografias oferece inúmeras vantagens para o sistema brasileiro de saúde, tais como a comprovada eficiência dos sistemas de segunda opinião via web⁽²⁾ e até mesmo a utilização deste material digital no processo de ensino e treinamento⁽³⁾.

Para aproveitar todas as vantagens da representação digital de uma radiografia, além da radiografia digital (DR), cujo custo de implementação é consideravelmente maior ao custo da radiografia convencio-

nal, pode-se utilizar a digitalização de filmes radiográficos convencionais⁽⁴⁾. Atualmente, conhecemos dois métodos de digitalização de filmes radiográficos: um deles é utilizando fotografia digital e o outro é utilizando escâner de transparências^(5,6).

A realidade do Brasil como país de dimensões continentais e recursos limitados torna praticamente inviável a substituição de todos os equipamentos de radiografia convencional por equipamentos de DR ou até mesmo a compra de equipamentos de radiografia computadorizada (CR) em larga escala. Por outro lado, o pequeno número de médicos radiologistas em áreas geograficamente afastadas e a prevalência de doenças pulmonares fazem com que soluções de digitalização de baixo custo, para a radiologia geral, sejam essenciais como meio para a telerradiologia entre pontos remotos e centros de excelência, reduzindo barreiras geográficas, deslocamento de pacientes e custos na rede nacional de saúde.

* Trabalho realizado no Núcleo de Atendimento em Computação de Alto Desempenho (NACAD) da COPPE-UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

1. Mestre, Bolsista de Desenvolvimento Tecnológico Industrial do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) Nível 2, NACAD/COPPE-UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

2. PhD, Professor da COPPE-UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

3. Doutora, Professora Adjunta de Radiologia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

4. Doutor, Pesquisador do NACAD/COPPE-UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

5. Doutores, Professores Associados de Radiologia da Universidade Federal Fluminense (UFF), Niterói, RJ, Brasil.

6. Doutor, Professor Adjunto de Radiologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

7. Mestre, Professora Assistente de Radiologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

Endereço para correspondência: Eng. Jaime Grande Vela. Cidade Universitária – Centro de Tecnologia, Bloco I, Sala I-248, Ilha do Fundão. Caixa Postal 68516. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 21941-972. E-mail: jaimegravela@yahoo.com.br

Recebido para publicação em 13/1/2011. Aceito, após revisão, em 30/5/2011.

A digitalização utilizando a câmera digital tem sido utilizada, porém, com limitações em relação às características técnicas para a aquisição da imagem, tais como: a) necessidade de sala escura para a captura; b) utilização de negatoscópio; c) ajuste prévio nos parâmetros da câmera; d) utilização de tripé para evitar a movimentação da máquina durante a aquisição da imagem; e) pós-edição (corte, rotação, escala de cinza, etc.) das imagens capturadas⁽⁴⁾. Por este motivo, o objetivo deste trabalho foi desenvolver um processo reproduzível, de fácil execução e de baixo custo para a digitalização de filmes radiográficos, mais especificamente radiografia de tórax pela alta prevalência na demanda, utilizando um escâner de transparências associado a um *software* de costura de imagens especialmente desenvolvido pela equipe deste projeto, pelo qual partes parciais de uma imagem são unidas de forma automática.

Esta pesquisa foi executada com o apoio da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) e desenvolvida no Núcleo de Atendimento em Computação de Alto Desempenho (NACAD/COPPE-UFRJ).

MATERIAIS E MÉTODOS

O funcionamento de um escâner comum ou escâner de mesa se baseia na captura, pelo sensor, da luz refletida na mídia colocada na bandeja no escâner. Este processo é feito de forma contínua e o resultado final é uma representação digital da imagem escaneada⁽⁷⁾. Este processo é praticamente o mesmo em todos os modelos de escâner, porém em escâneres para transparências coloca-se a fonte de luz por trás da imagem e não na frente, como no caso dos escâneres comuns. Por este motivo, para filmes radiográficos, utilizamos um escâner de transparências. Os escâneres de transparências mais comuns no mercado são os de tamanho A4 (21 × 29,7 cm), porém este tipo de escâner não é capaz de digitalizar a maioria de filmes radiográficos utilizados na radiologia médica devido à limitação de suas áreas de captura. No escâner tamanho A3 (29,7 × 42 cm) é possível digitalizar quase completamente todos os filmes avaliados, mas o alto preço deste equipamento (até seis vezes mais que o A4) inviabiliza seu uso dentro dos critérios de

baixo custo⁽⁸⁾. Desta forma, para atingir os nossos objetivos optou-se pelo uso do escâner de transparências A4 (ScanMaker i800; Microtek, Hsinchu, Taiwan), cujo preço no mercado é de aproximadamente R\$ 2.000,00, superando-se a limitação espacial da área de captura com a utilização de um *software* de costura de imagens denominado scanRX, especialmente desenvolvido pela equipe deste projeto, pelo qual partes parciais de uma imagem são unidas de forma automática para formar a imagem completa e sem vestígios da costura^(9,10).

A geração de uma imagem a partir de várias partes é problema comum nas técnicas de processamento de imagens e existem diversas soluções já propostas⁽⁹⁻¹¹⁾. Neste processo, cada imagem digitalizada será tratada como uma matriz ou tabela bidimensional, em que cada elemento ou *pixel* terá uma coordenada ou posição específica no plano *ij* e um valor que representará a intensidade luminosa, que pode ir de 0 (preto total) até 255 (branco total). Desta forma, cada imagem digital ficará definida como uma matriz $m \times n$ (m colunas e n linhas) composta por elementos que têm uma posição definida pelas coordenadas *ij* dentro da matriz, e um valor de intensidade luminosa, que é um número inteiro entre 0 e 255.

Para a costura das imagens é indispensável a definição de uma área de *overlap* (sobreposição), ou seja, uma região comum

entre duas imagens que formam parte de uma imagem maior⁽¹¹⁾. No caso específico de costura tratada neste artigo, o mesmo filme é posicionado no escâner de modo a gerar imagens parciais, isto é, com partes comuns ou repetidas. A tarefa do algoritmo de costura é exatamente a utilização das informações associadas ao processo físico de escaneamento para calcular uma referência que permita juntar duas imagens que pertencem a uma imagem maior sobrepondo as partes iguais⁽¹²⁾. Na Figura 1 é mostrado um exemplo de área de sobreposição ou área de *overlap* entre duas imagens.

Uma vez identificadas as áreas de sobreposição nas imagens obtidas do mesmo filme, o próximo passo no processo de costura de imagens consiste na escolha de uma subimagem, dentro da área de sobreposição da imagem A, denominada “área de comparação”^(12,13), que servirá para localizar a posição correta de costura ou fusão. Observa-se que esta área de comparação está contida tanto na subimagem A (denotaremos de CA) quanto na subimagem B (denotaremos de CB). Portanto, o posicionamento de CA exatamente por cima de CB implicará a fusão ou costura correta das duas subimagens A e B.

Na Figura 2 mostramos uma representação do que seria uma área de comparação localizada dentro da área de *overlap* da imagem A.

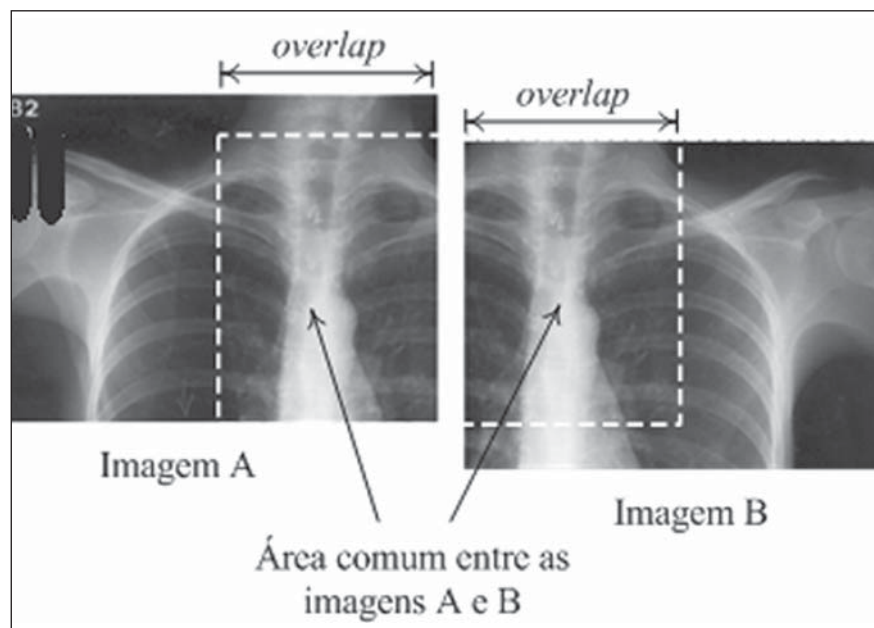


Figura 1. Áreas de *overlap* entre duas imagens.

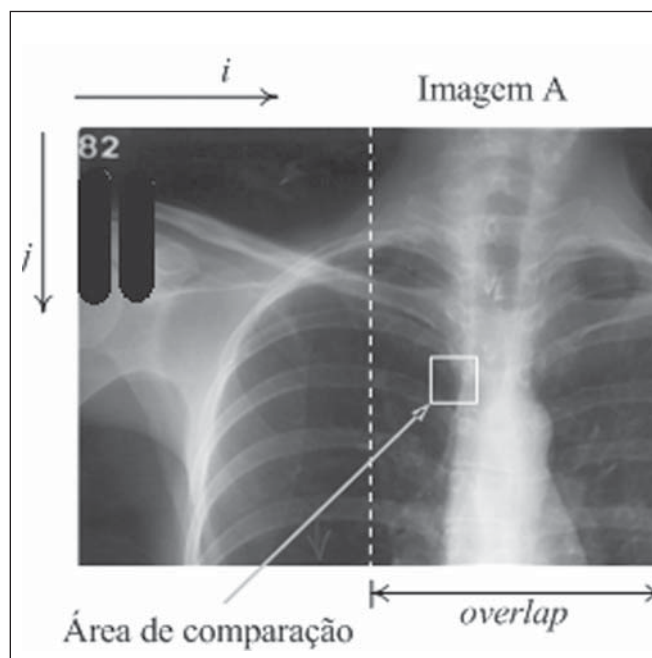


Figura 2. Área de comparação das imagens.

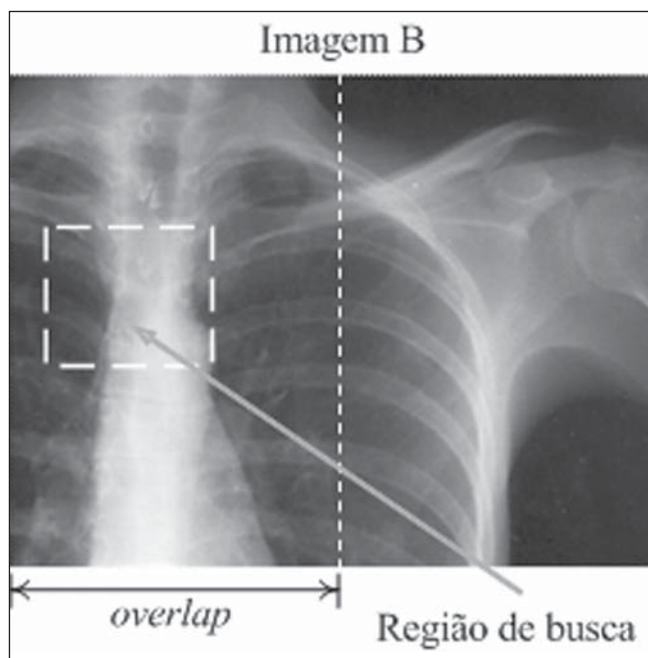


Figura 3. Região de busca na imagem.

O número de elementos ou *pixels* desta subimagem, chamada de “área de comparação”, é um fator muito importante no tempo de processamento do algoritmo, pois quanto maior o número de *pixels* da área de comparação, maior será o esforço computacional (tempo de processamento)⁽¹³⁾. Por outro lado, quanto maior o número de *pixels* da área de comparação, maiores serão as chances de achar esta área contida na outra subimagem e, conseqüentemente, da costura ser bem sucedida. Como radiografias dos campos pulmonares comumente apresentam grandes áreas com a mesma tonalidade de cinza, é necessário realizar uma cuidadosa escolha da área de comparação, baseada na maior dispersão de tonalidades contidas nela, para que haja suficiente informação relevante para facilitar uma costura bem sucedida⁽¹⁴⁾. Para acelerar o processo de costura brevemente descrita acima, define-se uma “região de busca reduzida”, supondo que a obtenção das imagens é feita de forma ideal, ou seja, que as imagens parciais estão completamente alinhadas, não havendo deslocamento vertical entre elas. Esta aquisição ideal das imagens é, de fato, realizável na prática, utilizando as informações de tamanho dos filmes, tamanho da área de captura e número de *pixels* por polegada de resolução do escâner, bem como as próprias caracte-

rísticas físicas do escâner, conforme detalhado em Vela⁽¹³⁾. De posse das informações exatas de largura da área de *overlap* e dimensão das imagens parciais (em *pixels*), é possível calcular as coordenadas exatas da área de comparação. A Figura 3 mostra uma região de busca reduzida na imagem B.

Uma vez definida a área ótima de comparação e a região de busca reduzida, inicia-se o processo de comparação de imagens. Este processo consiste em calcular o grau de similaridade entre a área de comparação da subimagem A e todas as áreas, na subimagem B, do mesmo tamanho e formato, percorrendo exaustivamente a região de busca reduzida em B. Para quantizar o grau de similaridade utilizada na comparação, optou-se por calcular a raiz da diferença média de escala de cinza (RGAD – *root of grayscale average difference*)^(12,13), definida como a média do somatório da diferença entre dois *pixels* correspondentes nas subimagens sendo comparadas. De forma mais simples, quanto menor o valor da RGAD, mais parecidas são as duas imagens em termos da diferença dos valores dos *pixels* que têm as mesmas coordenadas. A Figura 4 mostra um exemplo de dois elementos (*pixels*) com as mesmas coordenadas em imagens correspondentes.

No algoritmo efetua-se uma varredura linha a linha e coluna a coluna: para cada

ponto da matriz da região de busca reduzida, calcula-se e armazena-se a RGAD, para posteriormente determinarem-se as coordenadas que correspondem à menor RGAD. Este processo é representado na Figura 5.

As coordenadas (*i,j*) do ponto que correspondem ao maior grau de similaridade são utilizadas para sobrepor a imagem que contém a área de comparação (A) sobre a imagem que contém a região de busca (B). Este processo resulta em uma imagem única maior que as duas anteriores e composta pelas imagens parciais A e B. O processo de costura não consiste simplesmente na mera sobreposição das subimagens, porém também se encarrega da fusão dos valores dos *pixels* na região de sobreposição^(9,13), de modo que não seja perceptível, ao olho humano, qualquer vestígio do processo de costura (como, por exemplo, uma linha de costura). O resultado deste processo está exemplificado na Figura 6.

Para filmes radiográficos de pacientes adultos, para os quais uma radiografia de tórax (PA) normalmente utilizaria o filme 35 cm × 43 cm, o processo completo de digitalização do filme está composto por quatro rotinas de escaneamento das partes parciais do filme, assim como três rotinas de costura e formatação, executadas de forma automática pelo *software* ScanRX.

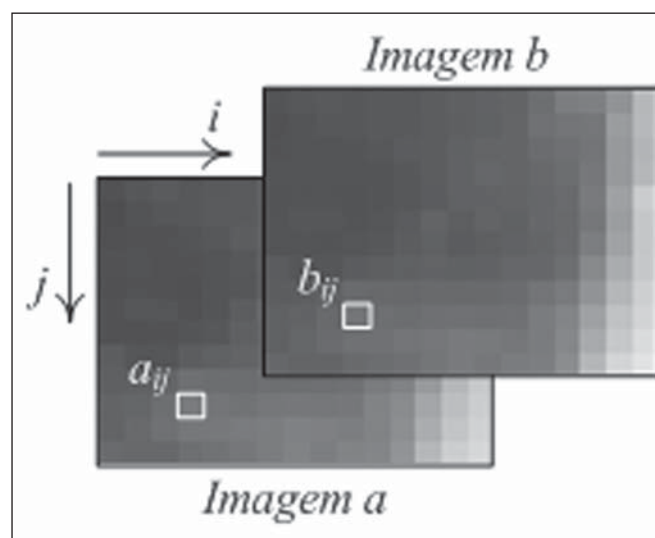


Figura 4. Pixels com as mesmas coordenadas em duas imagens correspondentes.

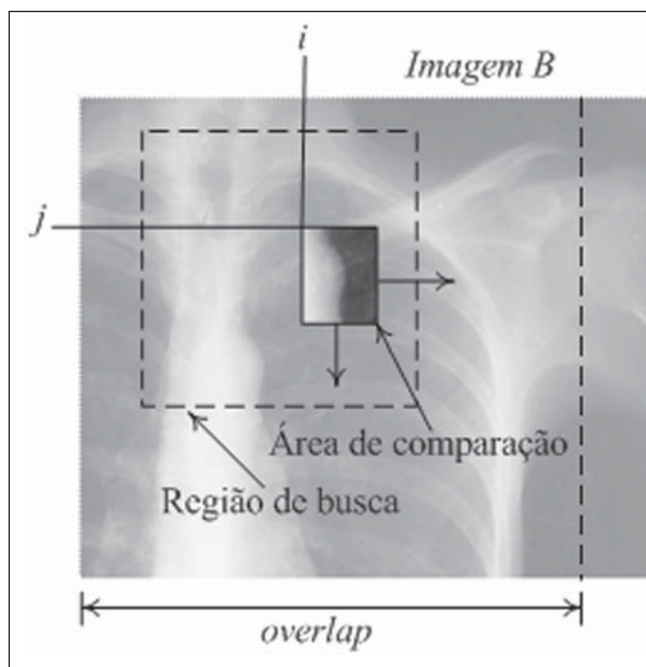


Figura 5. Varredura da região de busca.

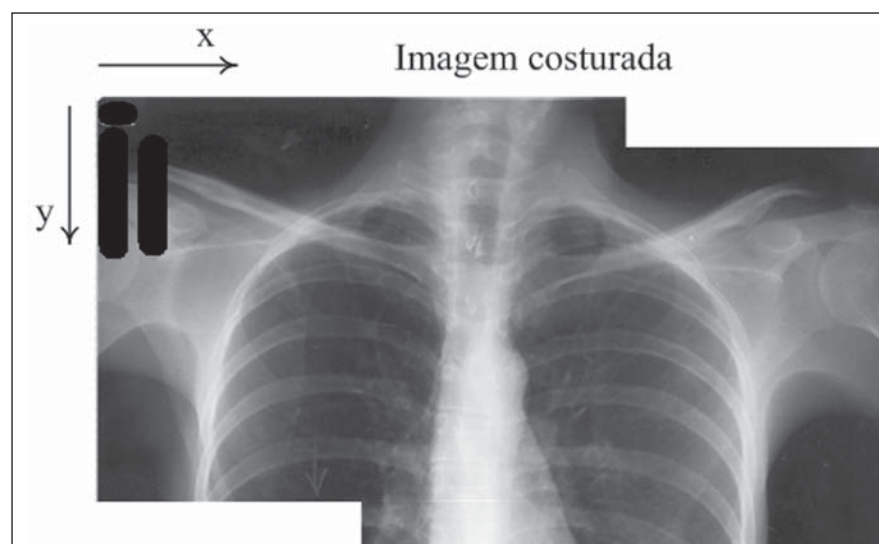


Figura 6. Costura de duas imagens.

RESULTADOS

Todos os testes de desempenho realizados com o processo de digitalização descrito na seção anterior foram executados em um microcomputador comum com processador AMD 3800, 2.4 GHz, 1 GB RAM.

O tempo total gasto pelo processo de digitalização foi considerado como a soma do tempo de escaneamento das partes parciais do filme e o tempo que o *software* scanRx requer para realizar a costura.

Para filmes radiográficos de 35 cm × 43 cm, o tempo médio da rotina (automática) executada pelo *software* scanRx foi de 8,15 segundos, e o tempo médio de aquisição das quatro subimagens foi de aproximadamente 4 minutos (1 minuto por subimagem). Cabe salientar que o processo de escaneamento é um processo eletromecânico realizado pelo escâner A4, no qual não temos muito controle, e o tempo utilizado pelo *software* inclui as rotinas de reconhecimento, costura e posterior forma-

tação do arquivo de saída, o qual é disponibilizado no formato padrão (DICOM) para imagens médicas.

As imagens adquiridas utilizando este processo (ver exemplo na Figura 7) foram analisadas por médicos radiologistas com mais de 15 anos de experiência, do Hospital Universitário Pedro Ernesto da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, do Hospital Universitário Antônio Pedro da Universidade Federal Fluminense, e do Hospital Universitário Clementino Fraga Filho da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Aproximadamente 280 radiografias foram digitalizadas e classificadas quanto a: a) qualidade da imagem; b) certeza na identificação da(s) lesão(ões), com sensibilidade e especificidade de 94% e 95%, respectivamente.

DISCUSSÃO

Estudos passados mostraram a possibilidade de utilização, em radiologia, de imagens obtidas por meio de câmeras digitais^(5,6,15). Esses estudos reportaram a ausência de diferenças significativas entre o filme original e sua imagem digital comprimida (formato JPEG), para o diagnóstico de lesões pulmonares decorrentes da tuberculose pulmonar. Trabalhos posteriores mostraram

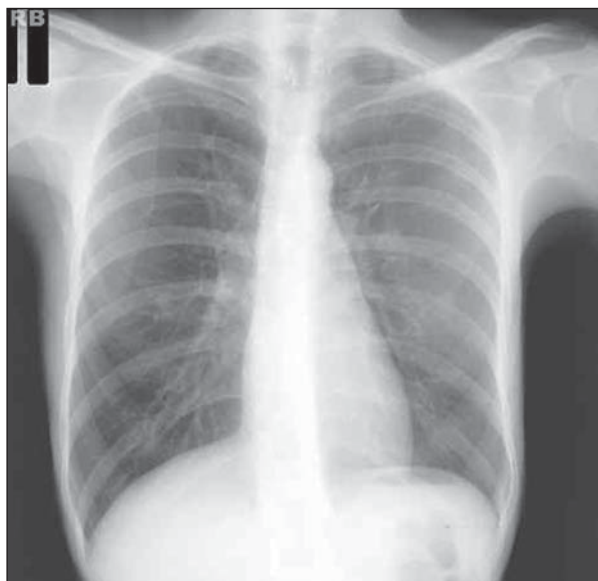


Figura 7. Resultado de digitalização de um filme de 35 cm × 35 cm.

um melhor resultado na digitalização de filmes utilizando escâner de mesa com adaptador de transparências^(16,17), e nesses trabalhos a utilização de escâner trouxe melhorias de 5% a 13% na acurácia do diagnóstico se comparado com a utilização de câmeras digitais.

O tempo total do método de digitalização utilizando costura de imagens é maiormente composto pelo tempo do processo de captura das subimagens; este processo é realizado pelo usuário com auxílio da interface gráfica do *software* scanRx e, já que a interface gráfica mostra detalhadamente e interativamente o passo a passo do procedimento, não é necessário nenhum conhecimento básico de informática por parte do operador.

O tempo de execução do processo de costura e edição, que é realizado de modo automático pelo *software*, é muito inferior (3,3%) ao tempo gasto pelo operador na aquisição das subimagens escaneadas. Desta forma, podemos afirmar que a rapidez do processo todo é determinada pela velocidade do escâner e não pelo tempo de processamento do *software*.

Atualmente, este método está sendo implantado como piloto em oito unidades de telerradiologia de baixo custo, no Estado do Rio de Janeiro, em parceria com o Programa Nacional de Telessaúde⁽¹⁸⁾.

CONCLUSÃO

O método de digitalização de filmes utilizando costura de imagens atingiu os objetivos de facilidade de utilização, reprodutibilidade dos resultados e alta qualidade de imagem final. O objetivo de baixo custo ficou comprometido, já que o preço do equipamento necessário (escâner de transparências A4) é mais elevado que o de uma máquina fotográfica digital, todavia, o bom resultado do método de fotografia digital é dependente de determinadas condições e recursos. A utilização de um escâner e de um *software* específico outorga a este método independência da luminosidade do ambiente, do negatoscópio e do conhecimento de informática por parte do operador, além da vantagem de obter a imagem final num formato adequado para imagens médicas (DICOM).

Agradecimentos

À FINEP – Financiadora de Estudos e Projetos, pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

1. Huang HK. PACS and imaging informatics: basic principles and applications. 2nd ed. Hoboken, NJ: Wiley-Liss; 2004.
2. Neira RAQ, Puchnick A, Cohrs FM, et al. Avaliação de um sistema de segunda opinião em radiologia. Radiol Bras. 2010;43:179–83.

3. Elias S, Pires SR, Patrocínio AC, et al. Uso de *software* como ferramenta pedagógica no processo de ensino-aprendizagem da mamografia digital. Radiol Bras. 2009;42:115–20.
4. Samei E. Acquisition of digital chest images for pneumoconiosis classification: methods, procedures, and hardware. Proc. NIOSH/ILO Scientific Workshop on Pneumoconiosis, Washington, DC, March 2008.
5. Logeswaran R, Choong MK, Bister M. Diagnostic quality of X-ray films digitised using conventional digital cameras. The Imaging Science Journal. 2009;57:1–7.
6. Szot A, Jacobson FL, Munn S, et al. Diagnostic accuracy of chest X-rays acquired using a digital camera for low-cost teleradiology. Int J Med Inform. 2004;73:65–73.
7. Tyson J. How scanners work. [cited 2010 Dec 28]. Available from: <http://computer.howstuffworks.com/scanner.htm>
8. Fast Scan Service. Filmes / fotos / transparências. [cited 2010 Dec 28]. Available from: <http://www.fastscan.com.br/cms/cmsms/index.php/portugues/equipamentos/filmes-fotos-transparencias>
9. Zomet A, Levin A, Peleg S, et al. Seamless image stitching by minimizing false edges. IEEE Trans Image Process. 2006;15:969–77.
10. Li Y, Ma L. A fast and robust image stitching algorithm. Proc 6th World Congress on Intelligent Control and Automation; 2006 June 21–23; Dalian, China.
11. Gramer M, Bohlken W, Lundt B, et al. An algorithm for automatic stitching of CR X-ray images. Advances in Medical Engineering. 2007;114(Pt II):193–8.
12. Wang X, Zhao Z. High-precision image mosaic method in big frame measurement. Proc 1st International Symposium on Systems and Control in Aerospace and Astronautics; 2006 Jan 19–21; Harbin, China.
13. Vela JG. Digitalização de filmes radiográficos utilizando costura de imagens [dissertação]. Rio de Janeiro, RJ: Universidade Federal do Rio de Janeiro; 2010.
14. Gonzalez RC, Woods RE. Digital image processing. 3rd ed. New Jersey: Prentice Hall; 2008.
15. Siström CL, Gay SB. Digital cameras for reproducing radiologic images: evaluation of three cameras. AJR Am J Roentgenol. 1998;170:279–84.
16. Bassignani MJ, Bubash-Faust L, Ciambotti J, et al. Conversion of teaching file cases from film to digital format: a comparison between use of a diagnostic-quality digitizer and use of a flatbed scanner with transparency adapter. Acad Radiol. 2003;10:536–42.
17. Ruess L, Uyehara CFT, Shiels KC, et al. Digitizing pediatric chest radiographs: comparison of low-cost, commercial off-the-shelf technologies. Pediatr Radiol. 2001;31:841–7.
18. Núcleo de Telessaúde do Estado do Rio de Janeiro. Programa Telessaúde Brasil. [cited 2010 Oct 23]. Available from: <http://www.telessaude.rj.uerj.br/>