

ARTIGO

Telerradiologia de Baixo Custo: uma solução brasileira

AUTORES

Amit Bhaya

Doutor em Engenharia Elétrica. Professor titular do NACAD/COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Alair Sarmet

Doutor. Professor Associado de Radiologia da Faculdade de Medicina, Universidade Federal Fluminense.

Alexandra M. V. Monteiro

Doutor. Professor Associado de Radiologia da Faculdade de Ciências Médicas, Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

Jaime Grande Vela

Mestre em Engenharia Elétrica, com a empresa Elbit Systems.

Leonardo V. Ferreira

Bacharelado em Matemática. Mestre e Doutor em Engenharia Elétrica. Pós-doutorando no NACAD/COPPE/UFRJ e analista de sistemas para CASNAV, RJ).

Paulo Bahia

Doutor. Professor Associado de Radiologia da Faculdade de Medicina, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Elise Tonomura

Mestre. Professora Assistente de Radiologia da Faculdade de Medicina, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

INTRODUÇÃO

Este artigo descreve o contexto no qual surgiu uma cooperação entre os três principais hospitais universitários do Estado do Rio de Janeiro e o Núcleo de Computação de Alto Desempenho (NACAD) da COPPE para desenvolver uma solução inovadora e de baixo custo para a digitalização de filmes radiográficos convencionais, principalmente aqueles de formato grande, correspondentes a imagens de tórax.

A realidade do Brasil como país de dimensões continentais e recursos distribuídos de forma não homogênea por sua extensão torna difícil a substituição de todos os equipamentos de radiografia convencional por equipamentos de radiologia digital (DR) ou até mesmo por equipamentos de Radiografia Computadorizada (CR) que produzem imagens digitais. 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 e minimizando deslocamento de pacientes e custos na rede nacional de Saúde.

Neste cenário, nos meados de 2007, o Ministério de Ciência e Tecnologia e a Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) elaboraram uma ação transversal em Telemedicina que resultou no lançamento de um edital (09/2007). Por ocasião de uma reunião de Telemedicina realizada no Hospital Universitário Pedro Ernesto da UERJ, houve um encontro entre os primeiros três coautores deste artigo, e resolveu-se apresentar um projeto para concorrer neste edital. O projeto foi elaborado, inicialmente, com a colaboração estreita do três departamentos de Radiologia do HUPE/UERJ, HUAP/UFF, HUCFF/UFRJ e o NACAD/COPPE/UFRJ, com a coordenação geral da Dra. Alexandra Monteiro,

e coordenação tecnológica do Prof. Amit Bhaya, sendo o objetivo principal o desenvolvimento de uma solução inovadora e de baixo custo para a digitalização de filmes radiográficos convencionais, principalmente aqueles de formato grande, correspondentes a imagens de tórax. Um objetivo secundário importante era a aquisição de equipamentos de Radiologia Computadorizada (CR), que proporcionariam imagens digitais de alta qualidade para servirem de padrão ouro, contra as quais as imagens produzidas pela solução de baixo custo seriam comparadas. Após a conclusão do projeto, os equipamentos CR se integrariam aos respectivos departamentos de Radiologia, proporcionando inúmeras melhorias no atendimento aos pacientes utilizando estes serviços dos hospitais universitários. Deve ser frisado que esta idéia de aquisição de equipamentos de alta qualidade, que melhorariam tanto o atendimento ao público quanto a qualidade da pesquisa proposta, foi fundamental para manter uma unidade de objetivos e interesse da equipe, composta de médicos e engenheiros, resultando em uma real cooperação interdisciplinar. O projeto, intitulado Tele-integração para imagens de raio-X (TIPIRX) foi aprovado pela FINEP e contratado no final de 2008 para um período de dois anos.

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 ¹ e até mesmo a utilização deste material digital no processo de ensino e treinamento ².

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 convencional, pode-se utilizar a digitalização de filmes radiográficos convencionais ³. Atualmente dois métodos de digitalização de filmes radiográficos são mais utilizados: um deles é utilizando fotografia digital e o outro é utilizando *scanner* de transparências de formato grande (i.e., sem costura) ^{4,5}.

A digitalização utilizando a câmera digital tem sido utilizada, todavia, com

limitações em relação às características técnicas para a aquisição da imagem, tais como necessidade de sala escura para a captura, utilização de negatoscópio, ajuste prévio nos parâmetros da câmera, 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 capturadas³⁻⁵. Por este motivo, o objetivo deste trabalho foi desenvolver um processo reprodutível, 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 *scanner* de transparências associado a um *software* de costura de imagens especialmente desenvolvido pela equipe deste projeto, pelo qual partes (de tamanho A4) de uma imagem são unidas de forma automática para formar a imagem inteira (de formato grande).

MATERIAIS E MÉTODOS

Descrição breve do software:

As radiografias de tórax são fornecidas em cinco tamanhos distintos e apenas um deles cabe na janela de digitalização do *scanner* utilizado pelo *scanRX*. A solução adotada consiste em fazer a digitalização em 1, 2, ou 4 partes, dependendo do tamanho da radiografia, e posteriormente juntar as partes digitalizadas para montar a imagem do filme inteiro. Esta técnica é conhecida como costura de imagens e um algoritmo foi desenvolvido especialmente para este fim.

Para que a costura de imagens seja feita corretamente, produzindo os resultados desejados, é preciso que cada parte a ser digitalizada seja posicionada corretamente na janela do *scanner*. Ao ser iniciado, o *scanRX* apresenta ao operador um formulário para identificação do paciente, exibido na Fig 1(a). Na etapa seguinte, é apresentado ao usuário um formulário solicitando informações físicas sobre a radiografia sendo digitalizada, mostrado na Fig. 1(b). Estas

informações são necessárias pois serão utilizadas pelo algoritmo de *costura de imagens* e também para guiar o processo de digitalização do filme.

The screenshot shows a web-based interface titled "scanRX - Identificação do paciente". At the top left is the TIPIRX logo. The main heading is "Seja bem-vindo ao scanRX". Below this, a note states "Entre com as informações solicitadas (todos os campos são obrigatórios)". The form contains several input fields: "Nome do paciente" with the value "Leonardo Valente Ferreira"; "Identificação da radiografia" with the value "1549944"; and "Nome do médico responsável" with the value "Pedro Maia Silva". A second input field for "Identificação da radiografia" is labeled "Digite novamente a identificação da radiografia para confirmação" and also contains "1549944". At the bottom of the form are three buttons: "OK", "Ajuda", and "Cancelar". Below the form, there are logos for "instituições executoras" (COPPE UFRJ, HUP, Hospital Universitário Antonio Pedro, HUCFF Hospital Universitário Clementino Fraga Filho) and "projeto financiado pela" (FINEP FINANCIADORA DE ESTUDOS E PROJETOS, MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA).

Fig 1: (a): Identificação da radiografia.

The screenshot shows a web-based interface titled "scanRX - Características da radiografia a ser digitalizada". It displays the patient information from the previous screen: "Nome do paciente: Leonardo Valente Ferreira", "Nome do médico responsável: Pedro Maia Silva", and "Identificação da radiografia: 1549944". The "Qualidade da imagem" section has three radio buttons: "Adequado" (selected), "Pouco penetrado (mais claro)", and "Muito penetrado (mais escuro)". The "Tamanho e orientação da radiografia" section shows four options with radio buttons and small radiograph thumbnails: "35x35 cm" (Orientation), "35x43 cm" (Orientation vertical - selected), "35x43 cm" (Orientation horizontal), "30x40 cm" (Orientation vertical), and "30x40 cm" (Orientation horizontal). Below these are two more options: "24x30 cm" (Orientation vertical) and "18x24 cm" (Orientation vertical). At the bottom are three buttons: "OK", "Ajuda", and "Cancelar".

Fig. 1 (b): Características físicas da radiografia.

No formulário da Fig. 1(b), o usuário deve informar a qualidade da imagem e o tamanho e orientação da radiografia. A qualidade da imagem refere-se à qualidade do filme que está sendo digitalizado, de acordo com a opção escolhida, o *scanRX* faz a correção de brilho e contraste para obter o melhor resultado possível e caso a opção escolhida seja “Adequado” nenhuma correção é feita.

Neste ponto, o *scanRX* já possui todos os dados necessários para fazer a digitalização da radiografia; no exemplo apresentado na Fig. 3, será digitalizada uma radiografia de 35x43cm, orientada verticalmente. O processo de digitalização deste filme dura cerca de 5 minutos e a tela do *scanRX*, informando ao usuário como posicionar corretamente a radiografia sobre o *scanner* na primeira etapa é mostrada na Fig. 4 abaixo.

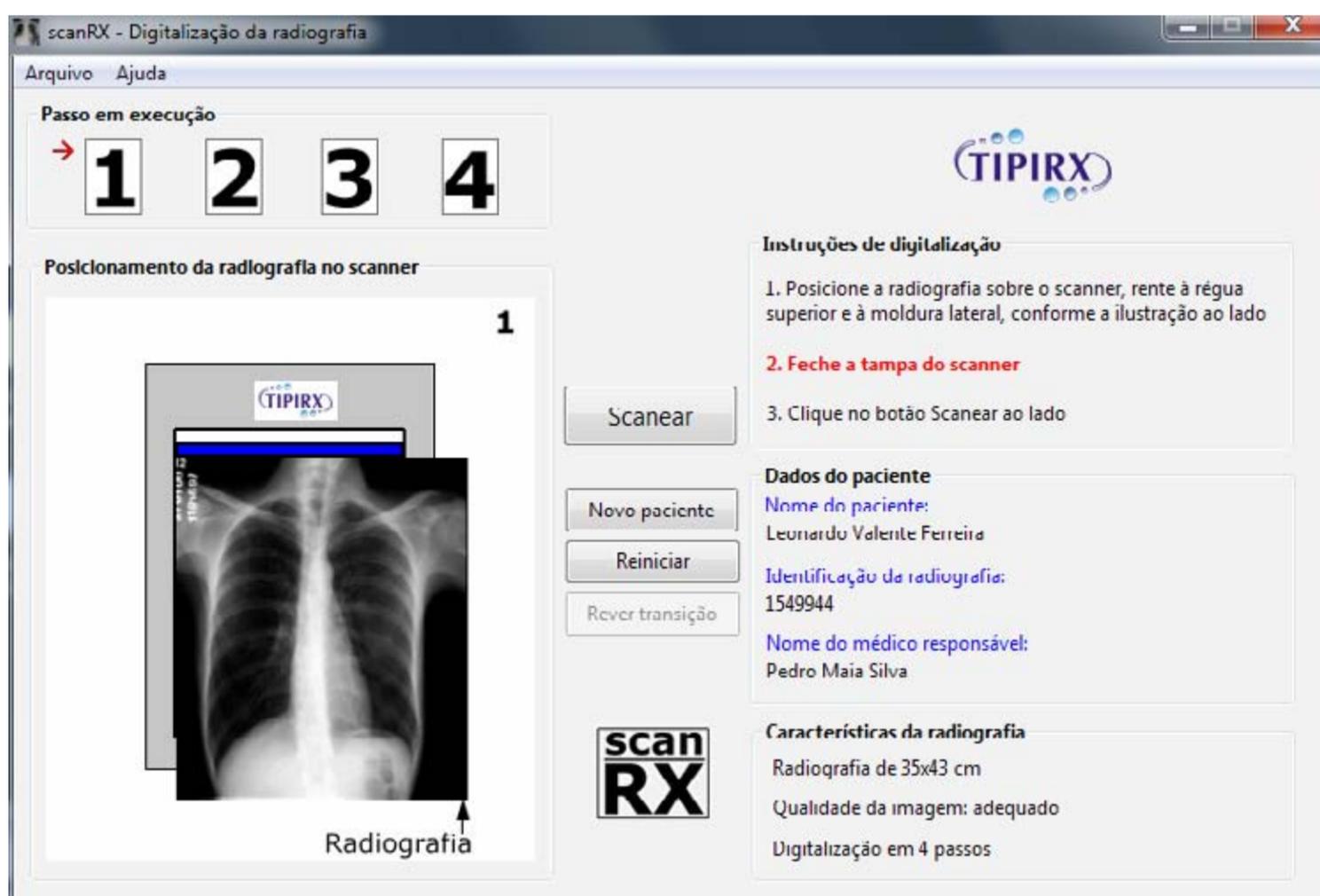


Fig. 4: Posicionamento da radiografia sobre o scanner no primeiro passo de digitalização.

A ilustração é modificada em cada etapa e após o quarto passo a imagem é costurada. O *scanRX* salva as imagens em formato DICOM, e elas podem ser compactadas em JPEG, viabilizando a transmissão via internet a partir de loca-

lidades em que serviços de banda larga não estão disponíveis e todas as informações fornecidas no formulário de identificação do paciente são incorporadas a este arquivo. De acordo com ⁶, a compactação JPEG, também utilizada neste trabalho, não causa perdas detectáveis visualmente, de modo que a imagem é adequada para uso diagnóstico. As maiores imagens geradas (após compactação) possuem um tamanho aproximado de 700 kB, viabilizando transmissão até mesmo como anexo de correio eletrônico. Em relação ao *software* como um todo, os seguintes pontos merecem destaque: a interface é intuitiva e amigável, não exigindo nenhum conhecimento específico do usuário; todos os componentes da interface e do algoritmo de costura foram desenvolvidos utilizando *software* livre e compatível com o sistema operacional *Windows*.



Fig. 5: Imagem inteira, costurada pelo scanRX, a partir de quatro scans parciais de tamanho A4.

Descrição breve do hardware

O funcionamento de um *scanner* comum ou *scanner* de mesa se baseia na

captura, pelo sensor, da luz refletida na mídia colocada na bandeja do *scanner*. 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 *scanner*, porém em *scanners* para transparências coloca-se a fonte de luz por trás da imagem, e não na frente como no caso dos *scanners* comuns. Por este motivo, para filmes radiográficos, utilizamos um *scanner* de transparências. Os *scanners* de transparências mais comuns no mercado são os de tamanho A4 (21×29,7 cm), porém este tipo não é capaz de digitalizar a maioria de filmes radiográficos utilizados na radiologia médica devido à limitação de suas áreas de captura. No *scanner* tamanho A3 (29,7×42 cm) é possível digitalizar quase completamente todos os filmes avaliados, mas o alto preço deste equipamento (até 6 vezes mais caro que o A4) inviabiliza seu uso dentro dos critérios de baixo custo⁸. Optou-se pelo uso do *scanner* de transparências A4 (*ScanMaker i800*, Microtek, Hsinchu, Taiwan), cujo preço no mercado é de aproximadamente R\$ 2.000, 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 costura⁹⁻¹².

Descrição breve do algoritmo de costura

A geração de uma imagem a partir de várias partes é um problema comum nas técnicas de processamento de imagens e existem diversas soluções já propostas⁹⁻¹². Neste processo cada imagem digitalizada será tratada como uma matriz ou tabela bidimensional onde 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 i, j

dentro da matriz, e um valor de intensidade luminosa que é um número inteiro entre 0 e 255.

Para a costura das imagens parciais 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.

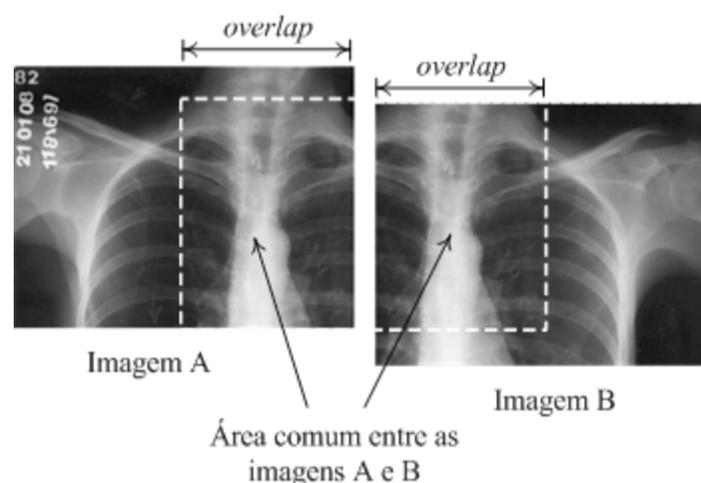


Figura 1. Áreas de *overlap* entre duas imagens.

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 sub-imagem, 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 nas tanto na sub-imagem A (denotaremos de CA), quanto na sub-imagem B (denotaremos de CB). Portanto, o posicionamento de CA exatamente por cima do CB implicará na fusão ou costura correta das duas sub-imagens A e B.

Na Figura 2 mostramos uma representação do que seria uma área de com-

paração localizada dentro da área de *overlap* da imagem A.

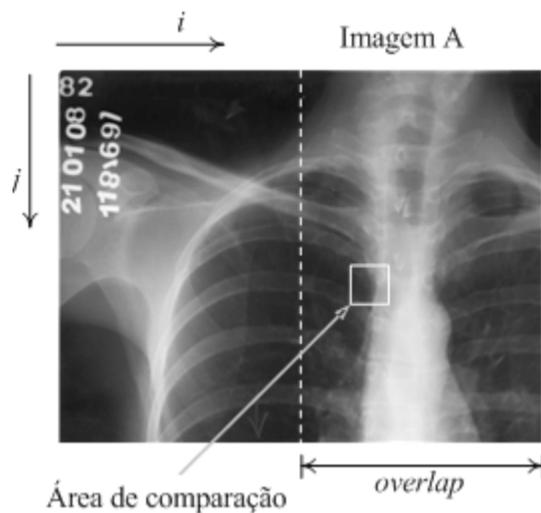


Figura 2. Área de comparação das imagens.

A inovação do algoritmo proposto neste artigo reside tanto nas escolhas ótimas das regiões de comparação e busca, quanto na utilização da geometria conhecida do *scanner* e do filme para acelerar as computações necessárias. O processo de costura não consiste simplesmente na mera sobreposição das sub-imagens, porém também se encarrega da fusão dos valores dos *pixels* na região de sobreposição^{13, 14, 15}, 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.

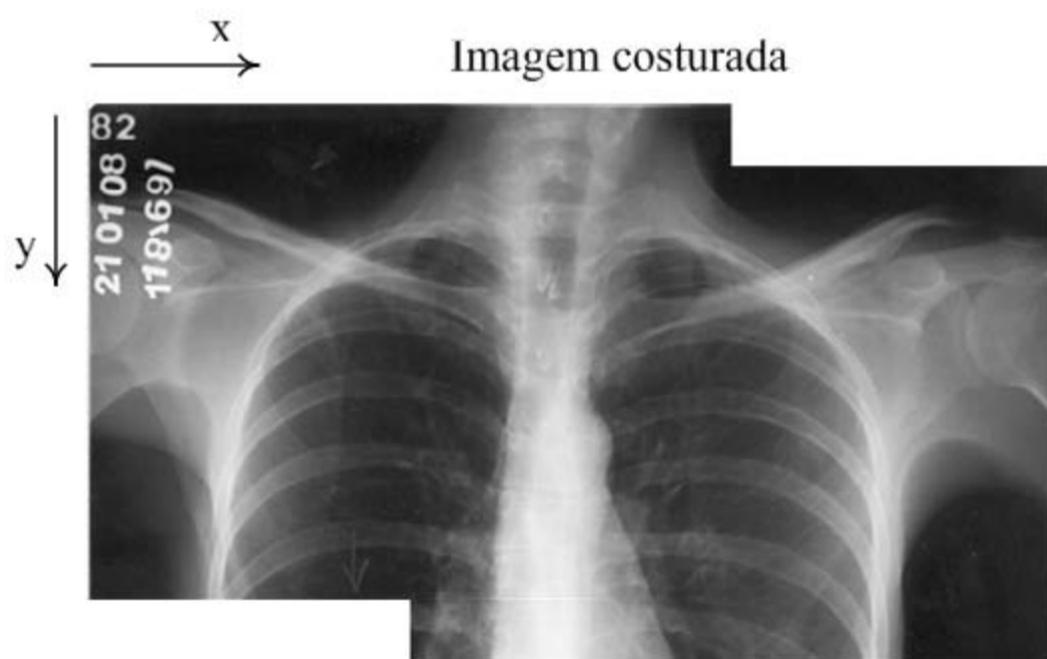


Figura 6. Costura de duas imagens.

Para filmes radiográficos de pacientes adultos, para os quais uma radiografia de tórax (PA) normalmente utilizaria o filme 35cm x 43cm, 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*. Maiores detalhes sobre o algoritmo de costura podem ser encontrados em [13,16].

Desempenho do software de costura: 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 *software scanRx* requer para realizar a costura. Para filmes radiográficos de 35 x 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 sub-imagens foi de aproximadamente 4 minutos (1 minuto por sub-imagem). Cabe salientar que o processo de “escaneamento” é um processo eletromecânico realizado pelo *scanner A4*, no qual não temos muito controle, e o tempo utilizado pelo *software* inclui as rotinas de reconhecimento, costura e posterior formatação do arquivo de saída, o qual é disponibilizado no formato padrão (DICOM) para imagens médicas.

RESULTADOS

Durante a fase de testes estatísticos do algoritmo, as imagens digitalizadas (exemplo na Figura 7) foram analisadas por médicos radiologistas com mais de quinze anos de experiência, do Hospital Universitário Pedro Ernesto da UERJ, do Hospital Universitário Antônio Pedro da UFF, e do Hospital Universitário Clementino Fraga Filho da UFRJ. Cerca de 280 radiografias foram digitalizadas

e classificadas quanto a: (a) qualidade da imagem e (b) certeza na identificação da(s) lesão(lesões). Foram obtidos índices de sensibilidade e especificidade de 94% e 95% respectivamente.



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

DISCUSSÃO

Estudos passados mostraram a possibilidade de utilização, em Radiologia, de imagens obtidas através de câmeras digitais ^{4,5,17}; estes 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 um melhor resultado na digitalização de filmes utilizando *scanner* de mesa com adaptador de transparências ^{18,19}. Nestes trabalhos, a utilização de *scanner* trouxe melhorias de 5 a 13% na acurácia do diagnóstico, se comparado com a utilização de câmeras digitais.

O tempo total de método de digitalização utilizando costura de imagens é, principalmente composto pelo tempo do processo de captura das sub-imagens, este processo é realizado pelo usuário com auxílio da interface gráfica do *software scanRx* e, já que, a interface gráfica mostra 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 forma automática pelo *software* é muito inferior (3,3%) ao tempo gasto pelo operador na aquisição das sub-imagens “escaneadas”; desta forma, podemos afirmar que a rapidez do processo todo é determinada pela velocidade do *scanner* e não pelo tempo de processamento do *software*.

O *software scanRX* já foi testado extensivamente, desde 2009, e milhares de filmes radiográficos de tamanhos diferentes têm sido digitalizados por diversos tipos de usuários, desde agentes de PSF, residentes e médicos. As imagens scaneadas foram examinadas por radiologistas e comparadas com os filmes, tendo sido aprovadas. Adicionalmente, oito Unidades de Pronto Atendimento (UPAs) foram contempladas, ainda dentro do escopo do projeto TIPIRX (financiado pela FAPERJ), com *kits (scanner + ScanRx software)* que estão sendo utilizados para consultas remotas junto aos radiologistas dos HUs participantes do projeto.

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 levemente comprometido uma vez que o preço do equipamento necessário (*scanner* 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 de-

terminadas condições e recursos. A utilização de um *scanner* 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 Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

1. Quintano RA, Puchnick A, Molina FC, De Lima PRL, Lederman HM, Torres IP. Avaliação de Um Sistema de Segunda Opinião em Radiologia. *Radiol Bras.* 2010;43:179-183.
2. Elias S, Pires SR, Patrocinio AC, Medeiros RB. Uso de Software Como Ferramenta Pedagógica no Processo de Ensino-aprendizagem da Mamografia Digital. *Radiol Bras.* 2009;42:115-120.
3. Samei E. Acquisition of digital chest images for pneumoconiosis classification: Methods, procedures, and hardware. 2008. 14 p. Located at: Application of the ILO International Classification of Radiographs of Pneumoconioses to digital Chest Radiographic Images. A NIOSH Scientific Workshop. Washington DC.
4. Logeswaran R, Choong MK, Bister M. Diagnostic Quality of X-ray Films Digitised Using Conventional Digital Cameras. *The Imaging Science Journal.* 2009 Feb; 57(1):1-7.
5. Szot A, Jacobson FL, Munn S, Jazayeri D, Nardell E, Harrison D, Drosten R, Ohno-Machado L, Smeaton LM, Fraser HSF. Diagnostic Accuracy of Chest X-rays Acquired Using a Digital Camera for Low-cost Teleradiology. *International Journal of Medical Informatics.* 2004 Jun 17; 73:65-73.
6. Slone R.M. , Muka E. , Pilgram T.K. (2003). Irreversible JPEG Compression of Digital Chest Radiographs for Primary Interpretation: Assessment of Visually Lossless Threshold. In *Radiology*, pages 425-429
7. Tyson J. How Scanners Work [Internet]. *How Stuff Works* [updated 2010 Feb

20, cited 2010 Dez 28]. URL: <http://computer.howstuffworks.com/scanner.htm>.

8. Filmes Fotos Transparências [Internet]. Fast Scan Service [updated 2010 Feb 20, cited 2010 Dez 28]. URL: <http://www.fastscan.com.br/cms/cmsms/index.php/portugues/equipamentos/filmes-fotos-transparencias>.

9. Zomet A, Levin A, Peleg S. Seamless Image Stitching by Minimizing False Edges. *IEEE Transactions on Image Processing*. 2006 Mar 20; 15(4):969-77.

10. Li Y, Ma L. A Fast and Robust Image Stitching Algorithm. *Intelligent Control and Automation. WCICA 2006*. 2006 Oct 26; 2(0):9604-8.

11. Gramer M, Bohlken W, Lundt B, Pralow T, Buzug TM. An Algorithm for Automatic Stitching of CR X-ray Images. *Advances in Medical Engineering*. 2007;114(II):193-98.

12. Wang X, Zhao Z. High-precision Image Mosaic Method in Big Frame Measurement. *Systems and Control in Aerospace and Astronautics. 1st International Symposium on*. 2006 Jan 19-21; Harbin: ISSCAA 2006. 207 p.

13. Vela JG. Digitalização de Filmes Radiográficos Utilizando Costura de Imagens [Dissertação de Mestrado]. [Rio de Janeiro]: Universidade Federal do Rio de Janeiro; 2010. 55 p.

14. Gonzales RC, Woods RE. *Digital Image Processing*. 3rd ed. New Jersey: Prentice Hall; 2008. 954p.

15. Levin A, Zomet A, Peleg S, Weiss Y. Seamless Image Stitching by Minimizing

False Edges. IEEE Transactions on Image Processing. 2006 Apr;15(4):969-9.

16. Vela JG, Bhaya A, Monteiro AMV, Ferreira LV, Damas dos Santos AASMo-
reira, Santos ML, Bahia P, Tonomura E, Digitalização de filmes radiográficos
com costura de imagens, Radiologia Brasileira, vol. 44, no. 4, pp. 233-237, 2011
Disponível em: http://www.rb.org.br/detalhe_artigo.asp?id=2203

17. Siström CL, Gay SB. Digital Cameras for Reproducing Radiologic Images:
Evaluation of Three Cameras. American Journal of Roentgenology. 1998 Feb
1;170(2):279-84.

18. Bassignani MJ, Bubash-Faust L, Ciambotti J, Moran R, McIlhenny J. Con-
version 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 May; 10(5):536-42.

19. Ruess L, Uyehara CFT, Shiels KC, Cho KH, O'Conner SC, Whitton RK, et al.
Digitizing Pediatric Chest Radiographs: Comparison of Low-cost, Commer-
cial off-the-shelf Technologies. Pediatr Radiol 2001;31:841-7.