

APLICAÇÃO DO MÉTODO DE CONTORNOS ATIVOS RADIAL PARA MEDIÇÃO DE DUREZA BRINELL UTILIZANDO ENERGIA HILBERTIANA

Alexandria, Auzuir Ripardo de¹, auzuir@gmail.com
Cortez, Paulo César Cortez², cortez@deti.ufc.br
Almeida, Thomaz Maia², thomazmaia@gmail.com
Bessa, Jéssyca Almeida¹, bessajessyca@gmail.com
Cavalcante, Tarique da Silveira², tariques@yahoo.com.br
Rebouças Filho, Pedro Pedrosa², pedrosa_rf@hotmail.com
Felix, John Hebert da Silva², jhsfelix@gmail.com
Araújo, André Luiz de Souza¹, araujoals@yahoo.com.br
Albuquerque, Victor Hugo Costa de³, victor120585@yahoo.com.br

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará,

²Universidade Federal do Ceará,

³Universidade Federal da Paraíba.

Resumo: Os métodos de contornos ativos tem obtido bons resultados na segmentação de imagens em situações de baixa relação sinal/ruído. Estes métodos consistem na minimização da energia total do contorno calculada pela soma da energia interna, função da geometria da curva e da energia externa, função de características provenientes da imagem a ser segmentada. Tradicionalmente, a energia externa é obtida pelo gradiente da imagem analisada. Dentre os métodos de contornos ativos, os métodos radiais, possuem menor complexidade computacional e resultados satisfatórios quando aplicados em uma avaliação em tempo real. Neste trabalho é proposta a utilização da transformada de Hilbert para gerar uma nova energia externa denominada de energia Hilbertiana que compõe os contornos ativos radiais para a segmentação da identificação da dureza Brinell, bem como seu valor. Testes realizados em 20 identificações a partir do ensaio de dureza Brinell mostram que o método radial é satisfatório para essa finalidade, realizando a segmentação de forma adequada, em conjunto com a energia Hilbertiana.

Palavras-chave: snakes radiais; transformada de Hilbert; energia Hilbertiana; ensaio de dureza Brinell.

1. INTRODUÇÃO

O interesse na utilização de técnicas de Processamento Digital de Imagens (PDI) decorre de dois princípios de aplicação: (1) melhoria de informação visual para a interpretação humana e (2) processamento de dados de cenas para percepção automática através de máquina (Gonzalez e Woods, 2008).

A primeira etapa a ser considerada para analisar uma imagem digital é sua aquisição, de preferência, com boa qualidade de contraste e brilho facilitando os processamentos seguintes. Após a aquisição, realiza-se a segmentação, que corresponde à subdivisão das regiões de interesse a partir da imagem analisada. O nível até o qual essa subdivisão deve ser realizada depende do problema a ser resolvido. Os métodos de contornos ativos têm sido muito utilizados na etapa de segmentação, porém outras técnicas baseadas em redes neurais, lógica *fuzzy*, também são aplicadas com esta finalidade (Olivete Júnior, 2006).

O método de contornos ativos, apresentado inicialmente por Kass, Witkin e Terzopoulos (1987), consiste na deformação de uma curva (*snake*) ajustada de acordo com o contorno do objeto a ser segmentado. A deformação da curva é realizada através da busca de sua menor energia total. Esses métodos são aplicados a vários problemas de processamento e análise tais como: detecção de bordas, fechamento de contornos, rastreamento de objetos, aplicações em tempo real, segmentação de imagens médicas etc.

O *snakes* inovou na solução de problemas que a detecção de bordas por gradiente não obteve sucesso, devido aos contornos com pouco contraste, presença de ruídos, entre outros. Outra característica é a de que os contornos ativos podem lidar com mudanças na posição e perfil de contorno do objeto, devido à sua capacidade de deformação inerente (Denzler et al., 1996).

Dentre os métodos de contornos ativos, destacam-se os métodos de contornos ativos radiais. Buda et al. (1983) anteciparam a necessidade do uso de técnicas que utilizam coordenadas polares ao efetuar a detecção de bordas do ventrículo esquerdo a partir do centro do endocárdio.

Contudo, o trabalho proposto por Hunter, Soraghan e McDonagh (1995) foi um dos primeiros que utilizaram *snakes* associado ao termo busca radial. Neste trabalho foram definidas as equações para energias internas. Porém, a expressão para a energia externa se mostrou dependente do treinamento de uma Rede Neural Artificial Multicamadas.

Snakes radiais foram desenvolvidos com o objetivo de diminuir a complexidade computacional dos métodos de contornos ativos. Os cálculos para minimização da energia total são realizados em uma dimensão (1D), tornado-os bastante rápidos com relação aos métodos de contornos ativos (Denzler e Niemann, 1999).

A busca pela otimização desse tipo de *snake* fomentou o uso da transformada de Hilbert como uma das forças da curva. A transformada de Hilbert (1D) é aplicada como energia externa ao longo dos feixes radiais da imagem representada em coordenadas polares. A transformada de Hilbert possui características peculiares na detecção de bordas de sinais (Kohlmann, 1996; Marques, Cortez e Madeiro, 2008; Guanlei, Xiaotong e Xiaogang, 2009).

Isso fez com que fosse inserida a transformada de Hilbert como uma das forças da curva. A transformada de Hilbert (1D) é aplicada como energia externa ao longo dos feixes radiais da imagem representada em coordenadas polares. A transformada de Hilbert possui características peculiares na detecção de bordas de sinais (Kohlmann, 1996; Marques, Cortez e Madeiro, 2008; Guanlei, Xiaotong e Xiaogang, 2009).

Este trabalho propõe a medição semi-automática da dureza Brinell, por meio da aplicação do método de contornos ativos radial utilizando a energia denominada de energia Hilbertiana como energia externa. A energia Hilbertiana é calculada utilizando a transformada de Hilbert.

O processo de medição da dureza Brinell é usualmente realizado por um operador, sendo a leitura do seu valor totalmente subjetiva, de acordo com a interpretação deste operador, isto é, sujeita a erros como, por exemplo, paralaxe, uma vez que as amostras têm que apresentar faces paralelas, fadiga e cansaço do operador. Neste contexto, o principal objetivo deste trabalho é desenvolver e analisar um método semi-automático capaz de obter resultados quantitativos de dureza Brinell, com maior rapidez e precisão com relação ao operador.

O presente trabalho está organizado da seguinte forma: na próxima seção é realizada uma prévia explanação sobre ensaios de dureza Brinell. Na terceira seção, é apresentada uma revisão bibliográfica sucinta sobre os métodos de contornos ativos radiais. Na quarta seção, é efetuada uma breve explicação sobre o comportamento da energia Hilbertiana como energia externa na detecção de bordas. O algoritmo proposto é descrito na quinta seção. As discussões sobre os resultados obtidos são apresentadas na sexta seção. Por fim, sétima seção, são mostrados as conclusões e trabalhos futuros.

2. ENSAIO DE DUREZA BRINELL

O ensaio de dureza Brinell é realizado em um material para determinar a sua capacidade de resistir à penetração. Por meio do resultado da dureza Brinell é possível se determinar indiretamente várias outras propriedades de um material, como a sua ductilidade, resistência ao desgaste, tensão de escoamento entre outras (Callister, 2006).

O ensaio de dureza Brinell foi o primeiro método para teste de dureza a ser utilizado na indústria. Normalmente, este processo de teste dura entre 10 e 30 segundos e é realizado pressionando um penetrador esférico de um determinado diâmetro contra a superfície de ensaio da amostra de um material. A carga aplicada não é superior a 29,4N, e o valor de dureza é fornecida na escala Brinell. O teste de dureza Brinell usa penetradores de aço para testar materiais com valores de dureza até 350 (HB) ou de metal duro (tungstênio) para testar os materiais com valores de dureza entre 350 e 650 HB. A escolha do penetrador a ser utilizada está diretamente relacionada às propriedades mecânicas do material a ser analisado.

O índice de dureza Brinell (HB), é uma função tanto da magnitude da carga como do diâmetro da impressão resultante. Esse diâmetro é medido com um microscópio que utiliza uma escala que está gravada na sua ocular. O diâmetro medido é então convertido ao número HB apropriado com o auxílio de um gráfico (Callister, 2006).

Acerca da aparelhagem, a máquina para medição é capaz de aplicar uma força predeterminada ou forças na faixa de 9,807 N a 29,42 kN, de acordo com a NBR NM 187-2 (ABNT, 1999).

A medição deve ser realizada sobre superfícies lisas e planas, livres de oxidações, sem materiais estranhos e livres de lubrificantes. A espessura do corpo de prova deve ser, pelo menos, oito vezes a profundidade da impressão. Após a remoção da força, nenhuma deformação deve ser visível no lado oposto à impressão.

O corpo de prova é apoiado em um suporte rígido. O penetrador é colocado em contato com a superfície a qual se deseja medir a dureza e a força é aplicada lentamente, na direção perpendicular à superfície, sem choque e vibração, até atingir o valor especificado. O tempo decorrido entre o início de aplicação da força até que a força total seja atingida não deve ser inferior a dois segundos nem maior que oito segundos. Então, é medido o diâmetro de cada impressão em duas direções perpendiculares. A média aritmética dos dois valores deve ser utilizada para calcular o valor da dureza Brinell, da forma

$$HB = \left[\frac{N}{mm^2} \right] = \frac{2P}{\pi D [D - \sqrt{D^2 - d^2}]} \quad (1)$$

em que P representa a carga aplicada, D o diâmetro do penetrador e d a diagonal média da impressão da indentação lida pelo operador. A carga utilizada é da ordem de 1837,5 N, com penetrador esférico de carboneto de tungstênio com diâmetro (D) de 2,5 mm.

3. CONTORNOS ATIVOS RADIAIS (SNAKES RADIAIS)

O método de contornos ativos radiais é menos complexo que os contornos ativos em geral pois os cálculos de minimização da energia são realizados em uma dimensão.

O princípio básico é a inserção de um ponto no centro de um contorno c e encontrar pontos que caracterizam este contorno, realizando uma busca ao longo de raios que divergem a partir do ponto central m

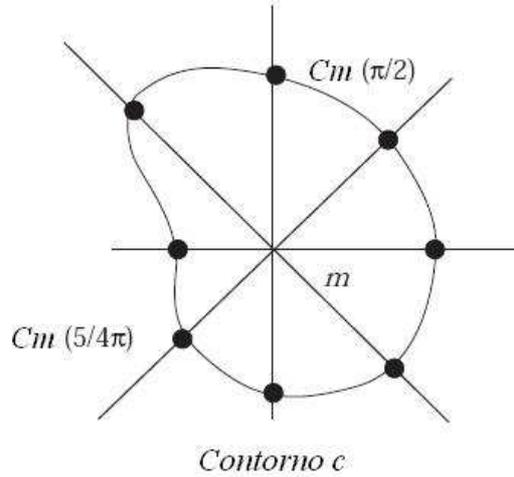


Figura 2 - Princípio do active rays.

Logo, o contorno $c(s)$ passa a ser definido como

$$\begin{cases} [0,1] \rightarrow \mathbb{R}^2 \\ s \rightarrow c(s) = c_m(\phi(s), \lambda(s)), \end{cases} \quad (2)$$

em que $c(s)$ é o contorno ativo e $c_m(s)$ é o contorno definido a partir da origem m , em coordenadas polares (ϕ, λ) (Denzler e Niemman, 1996). A energia interna do contorno é dada por:

$$E_i(c_m(\phi)) = \alpha(\phi) \left| \frac{d}{d\phi} \lambda(\phi) \right|^2 + \beta(\phi) \left| \frac{d^2}{d\phi^2} \lambda(\phi) \right|^2, \quad (3)$$

em que $\alpha(\phi)$ e $b(\phi)$ são constantes reais para determinado ângulo ϕ . Para esse caso, então, as energias de continuidade e curvatura são definidas. Observa-se que estas energias podem ser calculadas ao longo de um feixe. Sendo assim, os cálculos efetuados são todos unidimensionais. Isso se torna mais claro ainda nas equações utilizadas por Chen, Huang e Ave (2001).

Chen, Huang e Ave (2001) desenvolveram uma técnica de contornos ativos radial ótimo utilizando programação dinâmica. Sua principal aplicação é rastreamento de objetos. Estes autores definiram a energia total E do contorno como

$$E_i(r_m(\phi)) = \int_0^{2\pi} [E_i(r_m(\phi)) + E_e(r_m(\phi))] d\phi, \quad (4)$$

em que, $r_m(\phi)$ é a distância da origem m para o contorno, considerando-se o ângulo ϕ , E_i é a energia interna e E_e , a energia externa. A energia externa E_e do contorno ativo é função do gradiente da imagem a ser segmentada

$$E_e(r_m(\phi)) = \alpha_e \cdot g \left(- \left| \frac{d}{d\phi} \rho_m(\phi, \lambda) \right|^2 \right) = \alpha_e \cdot g \left(-(\rho_m(\phi, \lambda + 1) - \rho_m(\phi, \lambda))^2 \right), \quad (5)$$

em que ϕ e λ são as coordenadas polares de um ponto de controle (nó) do contorno ativo; g é uma função não linear monotonicamente crescente e ρ_m é o active ray. A energia de continuidade E_i^{cont} no i -ésimo nó do contorno ativo é calculada pela expressão

$$E_i^{cont}(r_m(\phi)) = \alpha_i \cdot |r_m(\phi_i) - r_m(\phi_{i-1})|^2, \quad (6)$$

em que α_i uma constante real. A energia de curvatura E_i^{curv} , por sua vez, é dada pela Eq. (7)

$$E_i^{curv}(r_m(\phi)) = \beta_i \cdot |r_m(\phi_i) - r_m(\phi_{i-1}) - r_m(\phi_{i-1}) - r_m(\phi_{i-2})|^2, \quad (7)$$

em que β_i é uma constante real. Uma aplicação prática já desenvolvida utilizando essas técnicas é a segmentação de microcalcificações em mamografias (Arikidis et al., 2008). Outra aplicação é a segmentação de artérias, solução embarcada em DSP (Gemignani et al., 2004, 2007).

4. A TRANSFORMADA DE HILBERT

A transformada de Hilbert de uma função real é definida por

$$\hat{f}(t) = \frac{1}{\pi} P \int_{-\infty}^{\infty} \frac{f(\tau)}{t-\tau} d\tau, \quad (8)$$

em que P denota valor principal de Cauchy, já que há uma singularidade na integral para $t=0$ (Johansson,1999; Cizek,1970). Outra forma de apresentar a transformada de Hilbert é através da integral de convolução como

$$\hat{f}(t) = \frac{1}{\pi t} * f(t). \quad (9)$$

A transformada de Fourier da função $\frac{1}{\pi t}$ é dada por $F\left(\frac{1}{\pi t}\right) = -j \cdot \text{sgn}(w)$, em que a função sinal $\text{sgn}(w)$ é dada por

$$\text{sgn}(w) = \begin{cases} +1, & \text{se } w > 0; \\ 0, & \text{se } w = 0 \text{ e} \\ -1, & \text{se } w < 0. \end{cases} \quad (10)$$

Dessa forma a transformada de Hilbert é normalmente implementada através da aplicação da transformada inversa de Fourier sobre o resultado da multiplicação de $-j \cdot \text{sgn}(w)$ pela transformada de Fourier de $f(t)$, ou seja, $\hat{f}(t) = F^{-1}(-j \cdot \text{sgn}(w) \cdot F(w))$.

5. ENERGIA HILBERTIANA

Uma das características mais importantes da transformada de Hilbert é o seu uso como detector de bordas mesmo na presença de ruído. Tanto na borda de subida como na borda de descida do sinal, a transformada de Hilbert apresenta um pico, sendo negativo e positivo, respectivamente.

Outra característica da transformada de Hilbert é que o valor da transformada aumenta ou diminui seu valor de maneira suave à medida que se aproxima da borda. Essas características permitem que a transformada seja utilizada como energia externa em algoritmos de contornos ativos.

Para que isso seja possível, aplica-se a transformada de Hilbert 1D ao longo dos feixes radiais da imagem representada em coordenadas polares. Assim, usa-se a energia externa Hilbertiana em contornos ativos radiais dessa maneira

$$E_{H \text{ ext}}^n(r, \theta) = |\hat{f}(r)|, \quad (11)$$

que pode ser normalizada pela expressão

$$E_{H \text{ ext}}^n(r, \theta) = 1 - \frac{|\hat{f}(r)|}{\max(|\hat{f}(r_i)|)}, \quad (13)$$

para $r_i \in [0, r_{\max}]$, em que r_{\max} é o maior raio atingindo pelo feixe em que a energia externa está sendo calculada.

O comportamento da energia Hilbertiana é ilustrado na Fig. (2c) relativa às bordas do objeto mostrado na Fig. (2a) e Fig. (2b).

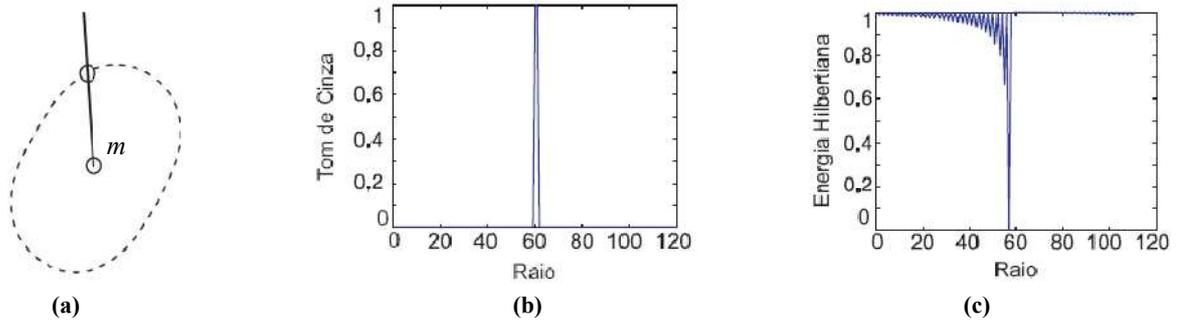


Figura 3 – O comportamento da energia Hilbertiana, (a) feixe atravessando o contorno do objeto, (b) representação 1D da intensidade de *pixels* em um feixe radial, (c) energia Hilbertiana em um feixe.

Quanto menor a dimensão do ruído em relação a borda a ser detectada, menos suscetível a ruído é a energia Hilbertiana, logo, menor é a interferência do ruído.

6. APLICAÇÃO NUMÉRICA E RESULTADOS

O ensaio de dureza é empregado amplamente em pesquisa e avaliação de materiais para controle de qualidade, porque é um ensaio mecânico rápido e preciso, obtendo informações sobre as propriedades mecânicas dos materiais analisados. Entretanto, os resultados do ensaio estão sujeitos a incerteza de alguns parâmetros como a habilidade do operador por ser um processo cansativo e repetitivo.

Para tornar este ensaio menos subjetivo, desenvolveu-se neste trabalho um sistema baseado em técnicas de processamento e análise de imagens utilizando método de contornos ativos radial com energia Hilbertiana para o cálculo da energia externa.

Para verificar a eficiência do uso do método radial formado pela energia Hilbertiana para medição da dureza Brinell, foi implementado para calcular as energias internas, Eq. (6) e Eq. (7), com valores como valores de $\alpha = 0,5$ e $\beta = 1$, um sistema computacional baseado no método dos contornos ativos radiais.

Primeiramente são criados os raios ativos em que os pontos do *snake* irão se mover. A origem dos feixes m é fornecida em coordenadas cartesianas pelo usuário e a partir dele são definidos os raios a cada ângulo ϕ de tamanho λ .

Para aplicação do algoritmo são utilizados 120 feixes com um raio de 120 *pixels*.

Depois de criados os raios, as coordenadas agora passam a ser dadas em coordenadas polares. A partir disto é definido um contorno inicial ao redor do ponto central m , chamado de nó, em cada raio. O conjunto de nós é alocado em uma lista encadeada. Esta consiste em um conjunto de pontos que obedecem a uma seqüência. Cada componente da lista desenvolvida é chamado de nó e este possui como parâmetros as suas coordenadas. Estas são alteradas através da minimização da energia (externa e interna) em cada algoritmo, sendo isto feito para cada nó.

O número de nós, que por sua vez obedece ao número de raios, varia de acordo com o ângulo escolhido. A partir disso torna-se possível inferir que quanto mais raios, mais nós e mais suave é o contorno.

Como energia externa é utilizada a energia Hilbertiana, conforme a Eq.(10).

Para minimização da energia total do *snake* radial, utiliza-se o algoritmo guloso (*Greedy Algorithms*) (Bednorz, 2008) que consiste em só observar as redondezas. O espaço de busca é ao longo do raio e é composto pelos cinco vizinhos: o ponto atual, dois pontos acima e dois abaixo.

Antes da segmentação é utilizado um filtro passa-baixas, que se mostra ineficiente em imagens pouco ruidosas, porém, tem utilidade em imagens mais ruidosas, o que pode ser observado na Fig.(4).

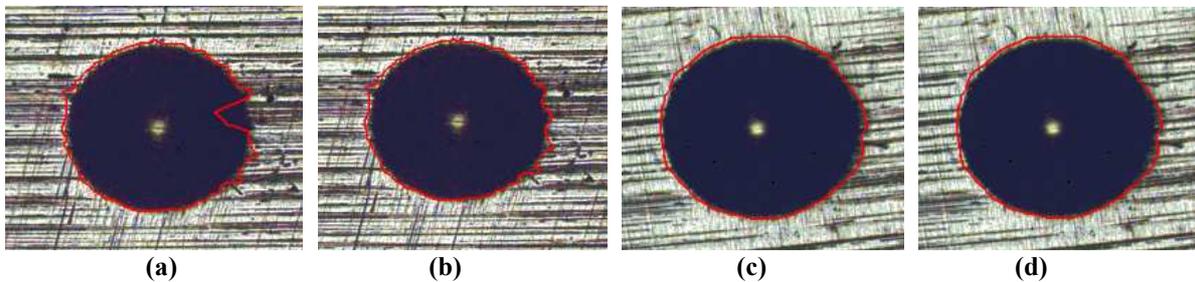


Figura 4 – Resultado de segmentações (a) identificação ruidosa sem o filtro passa-baixas (b) identificação ruidosa com o filtro passa-baixas (c) identificação pouco ruidosa sem o filtro passa-baixas (d) identificação pouco ruidosa com o filtro passa-baixas.

As simulações e interface apresentadas nesta seção, como mostradas na Fig.(5), utilizam o MATLAB, versão 7.6 R2008a.

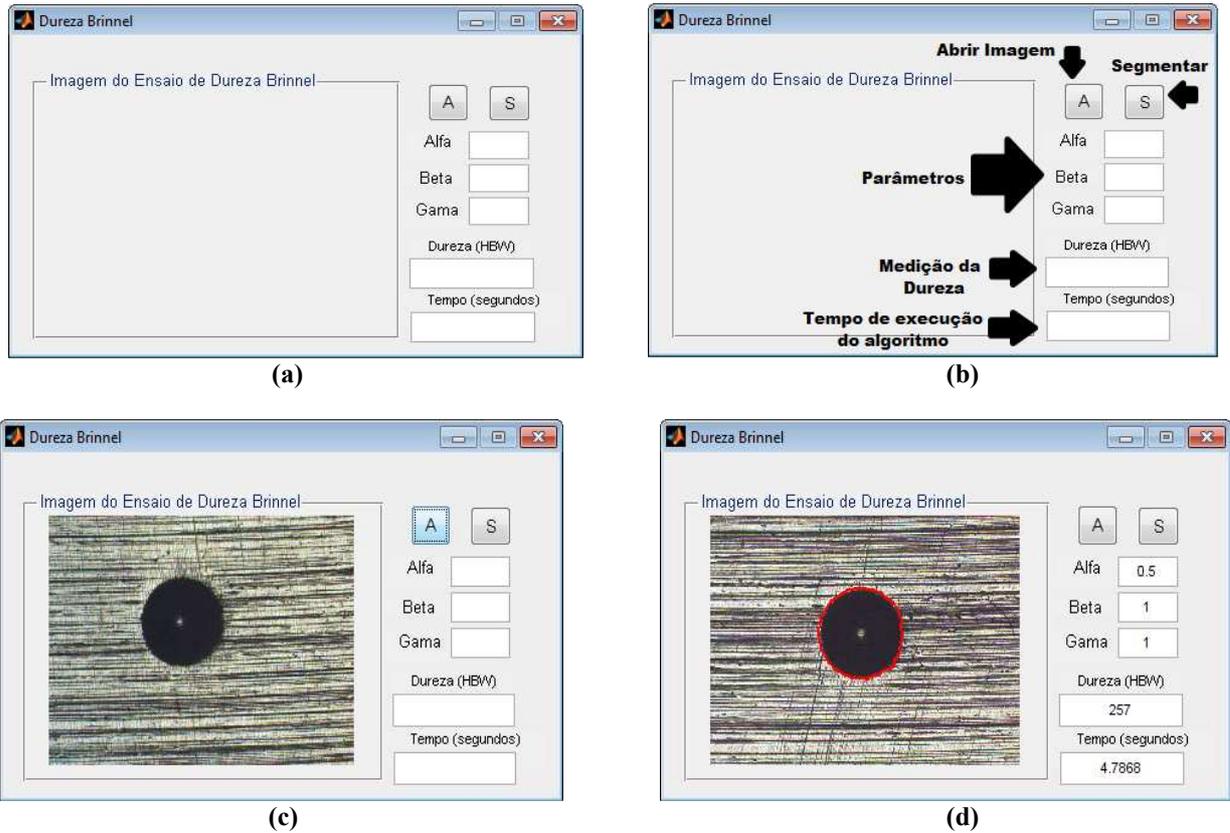


Figura 5 – Interface do sistema computacional para medição de Dureza Brinell (a) interface do sistema de medição desenvolvido (b) parâmetros de entrada e saída (c) imagem a ser segmentada (d) imagem segmentada e sua respectiva medição de dureza.

São efetuadas 25 iterações para convergência do *snake* e obtenção do resultado da segmentação para as imagens testadas. Nota-se na Fig. (6) que o contorno ativo acompanha a borda do ensaio de dureza Brinell de maneira adequada.

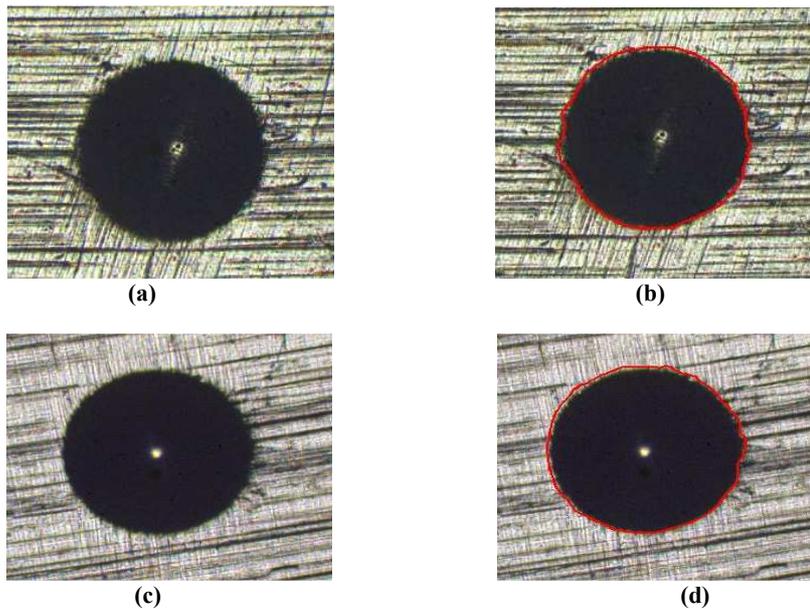


Figura 6 – Resultado das segmentações (a) e (c) identificações originais do ensaio de dureza Brinell e (b) e (d) suas segmentações a partir do método computacional.

A medição da dureza é realizada através da média dos raios do polígono oriundo da segmentação. E os resultados obtidos são satisfatórios em comparação com o método manual. Estes resultados são mostrados na Tab. (1).

Amostras	Método Manual (HBW)	Método Computacional (HBW)	Tempo de segmentação e cálculo de dureza pelo método semi-automático (segundos)
1	295	287	3,58
2	246	244	3,49
3	239	246	3,33
4	236	246	3,74
5	198	214	3,37
6	219	222	3,18
7	222	215	3,12
8	257	250	2,92
9	222	218	3,58
10	200	191	3,34
11	211	212	3,46
12	249	257	3,00
13	269	272	3,11
14	218	222	3,57
15	285	294	3,49
16	223	215	3,54
17	350	361	3,32
18	325	326	3,34
19	302	299	2,88
20	307	301	3,37
Média	254	254	3,34
Desvio Padrão	2,51	2,43	
Erro (%)	0,98	0,95	

Tabela 1 – Resultados estatísticos das medições de dureza através do método manual e do método computacional sugerido.

A utilização da transformada de Hilbert como energia externa em contornos ativos radiais se mostra bastante eficiente para a segmentação da indentação em dureza Brinell e medição da mesma.

Nota-se que a média da medição das vinte durezas para ambos os métodos utilizados neste trabalho são as mesmas. No entanto, o desvio padrão em relação a essa média diminuiu, sendo uma vantagem do método semi-automático proposto. Além do mais, ocorreu uma redução de 0,03% em relação ao erro. Além do mais, o tempo médio para o método semi-automático segmentar uma indentação e calcular a dureza é de 3,34 segundos, enquanto um operador treinado levaria cerca de dois minutos para extrair os dois diâmetros, calcular a média e assim, obter o valor de dureza (HB), sendo esta a principal contribuição deste trabalho para ensaios mecânicos, além da eliminação da subjetividade durante a determinação do valor da dureza Brinell por parte do operador.

A principal vantagem em termos computacionais do uso dessa nova energia externa, baseada na transformada de Hilbert, é a substituição da aplicação da derivada como energia externa, já que esta torna difícil a segmentação quando o *snake* inicial é definido longe da borda.

7. CONCLUSÕES

O objetivo deste trabalho é propor um novo método de análise, utilizando a transformada de Hilbert para o cálculo da energia externa em contornos ativos radiais, para segmentação da indentação da dureza Brinell, bem como o cálculo de seu valor.

A medição manual da dureza Brinell é um processo inteiramente dependente da leitura feita pelo operador, além de ser cansativo e provocar fadiga ao mesmo, estando, assim, os resultados propícios a erros. O parâmetro habilidade do operador apresenta uma grande influência no resultado final da medida, podendo representar uma grande fonte de erro.

Este erro pode decorrer de deficiências no treinamento do observador para realização do ensaio e da bagagem individual do operador que leva a interpretações diferenciadas.

Por esta razão, torna-se importante o desenvolvimento de uma metodologia que não seja influenciada pela capacidade de observação e interpretação do operador. Neste contexto, apresenta-se uma abordagem de medição semi-automática de dureza Brinell, baseada em conceitos de Processamento Digital de Imagens, com o objetivo de minimizar este importante fator no processo de medição.

O método é testado utilizando imagens de idetações de dureza Brinell, sendo os resultados obtidos bastante eficientes para as imagens testadas. Espera-se, dessa forma, com este trabalho contribuir para o progresso das análises de imagens de dureza Brinell melhorando as ferramentas de trabalho do operador em sua análise , contribuindo indiretamente para a diminuição de erros em decorrência da experiência do observador. Sugere-se o estudo sobre a robustez do referido método na presença de ruído.

A semi-automatização desse sistema, usando o algoritmo propostos, obtém resultados mais precisos e de maneira mais rápida em relação ao procedimento convencional.

8. AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), pelo apoio dado para a realização deste trabalho, em particular ao Laboratório de Ensaio Mecânicos (LEM) para realização dos ensaios metalográficos e a aquisição das imagens usadas.

9. REFERÊNCIAS

- Arikidis, N. S., Skiadopoulou, S., Karahaliou, A., Likaki, E., Panayiotakis, G., Costaridou L.,2008, B-spline active rayas segmentation of microcalcifications in mamography, *Medical Physics*.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT),1999. NBR NM 187-2:Máquina de Medição de Dureza Brinell. Parte 2: Calibração de Máquina de Medição de Dureza Brinell.
- Buda, A. J., Delp, E. J., Meyer, C. R., Jenkins, J. M., Smith, D. N., Bookstein, F. L., Pitt, B., 1983, Automatic computer processing of digital 2-dimensional echocardiograms, *The American Journal of Cardiology*.
- Callister, W., 2006, *Materials Science and Engineering: An Introduction*, USA: John Wiley and Sons.
- Chen, Y., Huang, T. S., Ave, N. M., 2001, Optimal radial contour tracking by dynamic programming, In Proc. ICIP.
- Cizek, V. Discrete hilbert transforma.,1970, *IEEE Transactions on Audio and Electroacustics*, Au-18, p. 340-343, Dec.
- Denzler, J., Niemann, H.,1996, Active rays: A new approach to contour tracking, *International Journal of Computing and Information Technology*.
- Denzler, J., Niemann, H.,1999, Active rays: Polar-transformed active contours for real-time contour tracking, *Journal on Real-Time Imageing*.
- Gemignani, V., Faita, F., Guidoni, L., Poggianti, E, Demi, M., 2007, A system for realtime measurement of the brachial artery diameter in b-mode ultrasound images, *Medical Imaging*.
- Gemignani, V., Faita, F., Guidoni, L, Poggianti, E, Demi, M., 2004, Real time contour tracking with a new edge detector, *Real-Time Imageing*.
- Gonzalez, R.C., Woods, R., 2008, *Digital Image Processing*, 3rd edition, USA, Addison-Wesley Publishing Company.
- Guanlei, X.; Xiaotong, W.; Xiaogang, X. Generalized hilbert transform and its properties in 2d lct domain. *Signal Processing*, v. 89, n. 7, p. 1395- 1402,2009. ISSN 0165-1684.
- Hunter I.; Soraghan, J.; Mcdonagh, T.,1995, Fully automatic left ventricular boundary extraction in echocardiographic images. *Computers in Cardiology 1995*, p.741-744.
- Johansson, M.,1999, *The Hilbert Transform*. Dissertação (Mestrado) - Vaxjo Universitet.
- Kass, M.; Witkin, A.; Terzopoulos.,1987, D. Snakes: active contour models. *International Journal of Computer Vision*, v. 1.
- Kohlmann, K.,1984, Corner detection in natural images based on the 2-d Hilbert transform. *Signal Process.*, Elsevier North-Holland, Inc., Amsterdam, The Netherlands, v. 48, n. 3, p. 225-234, 1996. ISSN 0165.
- Marques, J. A. L.; Cortez, P. C.; Madeiro, J. P. do V.,2008, Detecção de alterações da frequência cardíaca fetal e do tônus uterino materno em exames cardiotocógrafos utilizando transformada de hillbert. *Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica*.
- Olivete Junior, C., Rodrigues, E.L.L., 2006. Segmentação de Imagens Carpais Utilizando Modelos de Contornos Deformáveis. In: X Congresso Brasileiro de Informática em Saúde, 2006, Florianópolis. X Congresso Brasileiro de Informática em Saúde.
- Witold Bednorz, 2008. *Advances in Greedy Algorithms*. IN-TECH Education and Publishing, Vienna



VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA
VI NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING
18 a 21 de agosto de 2010 – Campina Grande – Paraíba - Brasil
August 18 – 21, 2010 – Campina Grande – Paraíba – Brazil

RADIAL ACTIVE CONTOUR'S APPLICATION METHOD WITH HILBERTIAN ENERGY IN THE IMAGE SEGMENTATION OF BRINELL HARDNESS TEST

Alexandria, Auzuir Ripardo de¹, auzuir@gmail.com
Cortez, Paulo César Cortez², cortez@deti.ufc.br
Almeida, Thomaz Maia², thomazmaia@gmail.com
Bessa, Jéssyca Almeida¹, bessajessyca@gmail.com
Cavalcante, Tarique da Silveira², tariquesc@yahoo.com.br
Rebouças Filho, Pedro Pedrosa², pedrosa_rf@hotmail.com
Felix, John Hebert da Silva², jhsfelix@gmail.com
Araújo, André Luiz de Souza¹, araujoals@yahoo.com.br
Albuquerque, Victor Hugo Costa de³, victor120585@yahoo.com.br

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará,

²Universidade Federal do Ceará,

³Universidade Federal da Paraíba.

Abstract: *The active contour methods have obtained good results in image segmentation when low signal/noise relationship is found. These techniques consist in the minimization of the total energy of the contours, calculated by the sum of the internal energy (function of the curve's geometry) and the external energy (which depends on the characteristics of the image that is going to be segmented). Traditionally, the external energy is obtained by the gradient of the analyzed image. Among the active contours' methods, the radial ones have the lower computational complexity and provide satisfactory results when applied to real time applications. This work proposes the utilization of the Hilbert transform to generate a new external energy denominated Hilbertian energy, which composes the radial active contours' to segment the Brinell hardness indentation, and from it, the material hardness. Evaluation of 20 indentations obtained from Brinell tests showed the radial method is quite satisfying for this finality, performing the segmentation in the appropriate way, in connection with the Hilbertian energy.*

Keywords: *radial snakes; Hilbert's transform; Hilbertian energy; Brinell hardness indentation.*