

## A IMAGEM ENTROPIA-COERÊNCIA NA DETECÇÃO DE VARIAÇÕES ENTRE IMAGENS SAR

RAFAEL ZANDONÁ SCHNEIDER

DAVID FERNANDES

Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA) – Centro Técnico Aeroespacial (CTA)

Praça Mal. Eduardo Gomes, 50 12228-900 - São José dos Campos - SP, Brasil

Tel.: (12) 3947-6807, Fax: (12) 3947-5878

david@ele.ita.br

**Abstract.** The Coherence Map is frequently used to detect changes in a sequence of temporal SAR images and to evaluate the quality of interferometric images. An alternative method of change detection is also given by the Entropy Image. This work presents the Entropy-Coherence (HC) image generated by the Coherence and Entropy composition. The HC Image has a better global performance than the Coherence or the Entropy and can be used in the change detection. Real and simulated SAR images are used in the HC Image performance evaluation.

**Keywords:** Change detection in SAR images, SAR image processing, coherence in SAR images, SAR interferometry.

### 1. Introdução

Um modo usual para detecção de variações em sequências temporais de imagens SAR é a utilização do Mapa Coerência (Touzzi,1999). Schneider e Fernandes (2002) e Schneider (2002) propõem um método alternativo para este tipo de detecção através da utilização da Imagem Entropia. Eles demonstram que a Imagem Entropia é mais sensível que o Mapa Coerência nas regiões de alta coerência. Deste modo a imagem Entropia pode ser utilizada para detectar pequenas variações temporais entre duas imagens.

Neste trabalho propõe-se a formação de uma imagem composta da coerência e da entropia, denominada Imagem HC, que utiliza as vantagens de cada tipo de imagem. A Imagem HC apresenta características globais melhores que a Imagens Entropia e que o Mapa Coerência utilizados separadamente. A análise do desempenho da Imagem HC, para a detecção de variações entre duas imagens SAR, é feita através de simulações e com a utilização de imagens reais.

### 2. Entropia entre duas imagen

A entropia entre os valores dos pixels (i,j) de duas imagens SAR complexas, coregistradas, é definida como:

$$H(i, j) = - \sum_{k=1}^2 p_k(i, j) \cdot \log_2 p_k(i, j) \quad (1)$$

A grandeza  $p_k(i, j)$  é calculada por:

$$p_k(i, j) = \frac{\mathbf{I}_k(i, j)}{\mathbf{I}_1(i, j) + \mathbf{I}_2(i, j)} \quad k = 1, 2 \quad p_1(i, j) + p_2(i, j) = 1 \quad (2)$$

onde  $\mathbf{I}_1(i, j)$  e  $\mathbf{I}_2(i, j)$  são os autovalores da matriz de covariância  $S(i, j)$  associada aos pixels (i, j) das duas imagens.

A expressão (1) é análoga à expressão da entropia de uma variável aleatória binária onde as probabilidades das realizações são dadas por  $p_1(i, j)$  e  $p_2(i, j)$ . Como  $p_1(i, j) + p_2(i, j) = 1$

então  $0 \leq H(i, j) \leq 1$ . Se  $p_1(i, j) = p_2(i, j) = 0,5$  (eventos equiprováveis) então  $H(i, j) = 1$  se  $p_1(i, j)$  ou  $p_2(i, j)$  for igual a 1 (evento certo) então  $H(i, j) = 0$ . O conceito de entropia utilizado também é analogo ao cálculo da entropia de imagens polarimétricas proposto por Cloude e Pottier (1997).

Representando-se as duas imagens SAR complexas, de média nula, por  $X$  e  $Y$  e omitindo-se os índices  $(i, j)$ , relativos aos pixels, tem-se:

$$S = \begin{bmatrix} \overline{|X|^2} & \overline{X.Y^*} \\ \overline{Y.X^*} & \overline{|Y|^2} \end{bmatrix} \quad (3)$$

Os autovalores dessa matriz são dados por:

$$I_{1,2} = \frac{1}{2} \left( \overline{|X|^2} + \overline{|Y|^2} \pm \sqrt{\overline{|X|^2}^2 + \overline{|Y|^2}^2 - 2.\overline{|X|^2}.\overline{|Y|^2} + 4.\overline{|X.Y^*|^2}} \right) \quad (4)$$

Com (4) em (2) obtém-se:

$$p_{1,2} = \frac{1}{2} \left( 1 \pm \sqrt{\frac{\overline{|X|^2}^2 + \overline{|Y|^2}^2 + 2.\overline{|X|^2}.\overline{|Y|^2} . (2.C^2 - 1)}{(\overline{|X|^2} + \overline{|Y|^2})^2}} \right) \quad (5)$$

onde  $C$  é a coerência entre as imagens  $X$  e  $Y$

$$C = \frac{\overline{|X.Y^*|}}{\sqrt{\overline{|X|^2}.\overline{|Y|^2}}} \quad 0 \leq C \leq 1 \quad (6)$$

Definindo-se as potências normalizadas:

$$P_x = \frac{\overline{|X|^2}}{\overline{|X|^2} + \overline{|Y|^2}} \text{ e } P_y = \frac{\overline{|Y|^2}}{\overline{|X|^2} + \overline{|Y|^2}}, \quad P_x + P_y = 1 \quad (7)$$

a expressão (5) fica:

$$p_{1,2} = \frac{1 \pm R}{2} \quad (8)$$

onde

$$R = \sqrt{(2.P_x - 1)^2 + 4.P_x(1 - P_x).C^2}, \quad 0 \leq R \leq 1 \quad (9)$$

Considerando-se a função Entropia definida como:

$$h_e(p) = -p.\log_2 p - (1 - p).\log_2(1 - p) \quad (10)$$

Pode-se representar Entropia em (1) por:

$$H = h_e\left(\frac{1+R}{2}\right) \quad (11)$$

A **Figura 1** mostra um exemplo da Imagem Entropia calculada por (11) de duas imagens dos sensores orbitais ERS-1 e ERS-2. Na estimação pixel a pixel da matriz de covariância  $S$  utilizou-se amostras de uma vizinhança de 21x21 pixels em torno do pixel de interesse. Na **Figura 1** também se encontra o Mapa Coerência expresso por (6). No calculo da coerência foi

também utilizada uma vizinhança de 21x21 pixels. Ao contrário do Mapa Coerência, interpreta-se as regiões que possuem um valor alto na Imagem Entropia como regiões onde houve grande variação entre as imagens. Regiões com baixos valores na Imagem Entropia são interpretadas como regiões em que houve pouca variação entre as imagens.

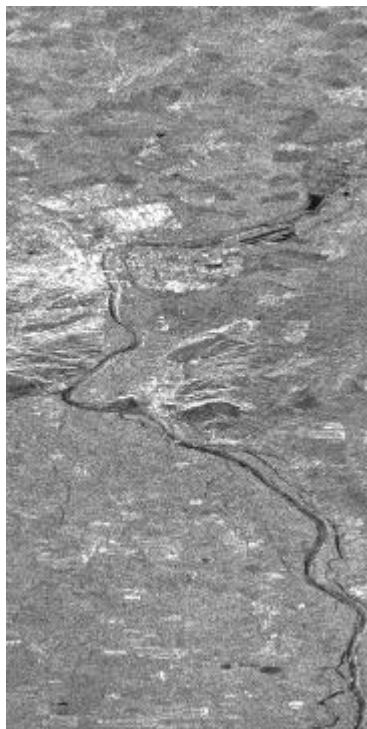


imagem ERS-1

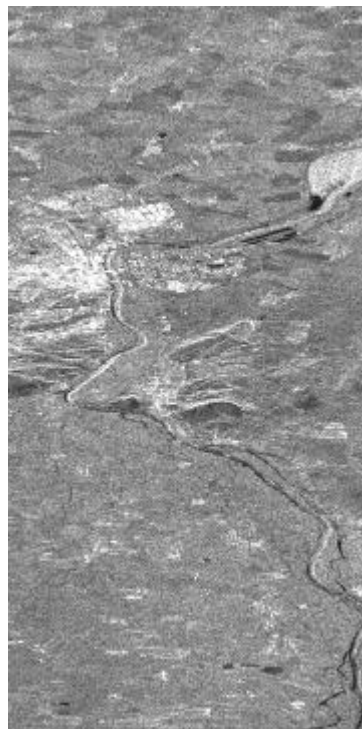


imagem ERS-2



Entropia



Coerência

Figura 1: Imagem Entropia e o Mapa Coerência de imagens SAR, com um dia de diferença, dos sensores orbitais ERS-1 e ERS-2.

Na **Figura 1** nota-se que as regiões escuras no Mapa Coerência resultaram claras na Imagem Entropia, como, por exemplo, o rio presente na imagem. E, ao contrário, regiões claras no Mapa Coerência resultaram escuras na Imagem Entropia.

A **Figura 2** mostra a relação, expressa em (11) e (9), entre a entropia, a coerência e a a e a potência normalizada  $P_x$ .

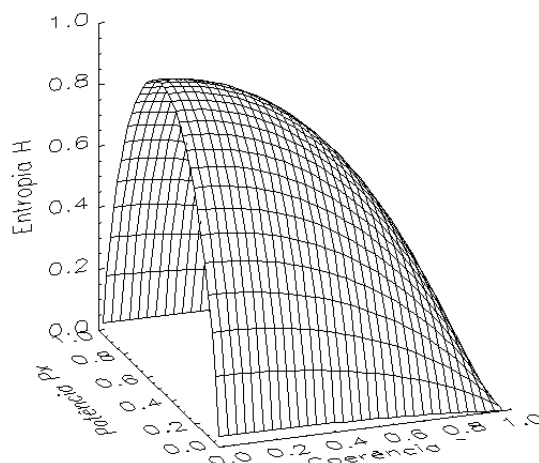


Figura 2: Entropia (H) em função da Coerência (C) e da potência normalizada ( $P_x$ ).

A entropia somente atingirá o seu valor máximo (ou seja, a unidade), quando a coerência for nula e os pixels das imagens possuírem a mesma potência ( $P_x = P_y = 0,5$ ), além disso, a entropia será mínima (zero) quando a coerência for máxima (ou seja, igual à unidade), independente das potências dos pixels. A entropia também será nula, quando um dos pixels das imagens tiver potência nula (o outro pixel terá potência máxima ou seja unitária), para qualquer valor de coerência.

Schneider e Fernandes (2002) e Schneider (2002) calcularam no plano (C,  $P_x$ ) as regiões onde a entropia e a coerência possuem maior sensibilidade, ou seja, mostram melhor as variações na imagem. O valor de  $R = 0,6$  (em consequência  $H \approx 0,7$ ) define o limite das regiões de maior sensibilidade entre a entropia e a coerência. A **Figura 3** mostra estas regiões.

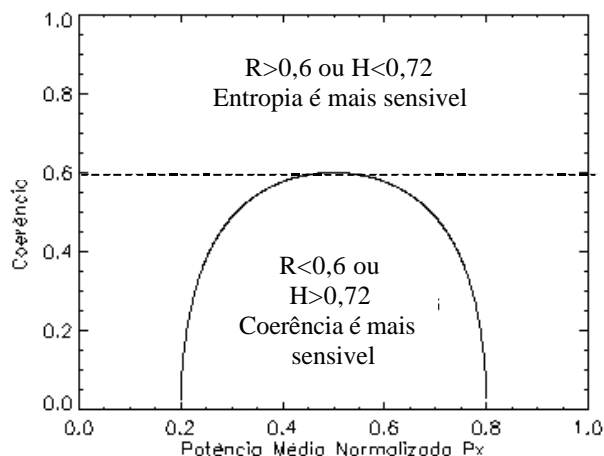


Figura 3: regiões de maior sensibilidade da entropia e da coerência.

A fronteira das regiões de maior sensibilidade entre a entropia e a coerência é calculada através da expressão (Schneider e Fernandes, 2002):

$$\frac{\partial H}{\partial R} = \frac{1}{2} \log_2 \left( \frac{1-R}{2} \right) - \frac{1}{2} \log_2 \left( \frac{1+R}{2} \right) = -1 \Rightarrow R = 0,6 \Rightarrow C = \sqrt{\frac{0,09 - (P_x - 0,5)^2}{P_x \cdot (1 - P_x)}} \quad (12)$$

Na **Figura 3** observa-se que nas regiões em que a coerência é maior que 0.6 a entropia é sempre mais sensível. Como em regiões de alta coerência houve menores variações entre as imagens, pode-se concluir que nestas regiões a entropia é mais sensível e portanto pode detectar melhor pequenas variações entre as imagens. Em regiões de baixa coerência a entropia só é mais sensível se a potência  $P_x$  for menor que 0,2 ou maior que 0,8.

### 3. Imagem Entropia-Coerência (HC)

Um modo de aproveitar as propriedades da entropia e da coerência em suas regiões de maior sensibilidade é adotar o seguinte procedimento, pixel a pixel:

- estima-se o parâmetro R através da expressão (9);
- se R for menor ou igual a 0,6 a coerência é estimada por (6);
- se R for maior que 0,6 a entropia é estimada por (11) e
- para compatibilizar em uma única imagem a coerência e a entropia calcula-se a Imagem HC do seguinte modo:

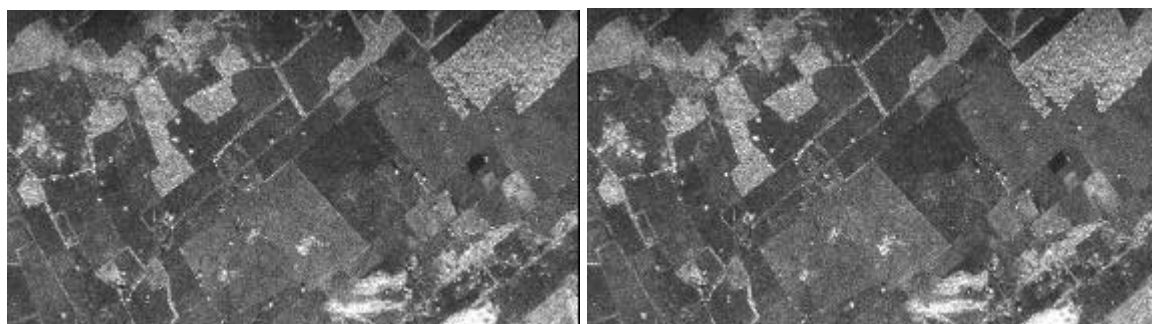
$$HC = \begin{cases} \frac{C}{0,6 + 0,72} & , \text{ para } R \leq 0,6 \\ \frac{0,6 + (0,72 - H)}{0,6 + 0,72} & , \text{ para } R > 0,6 \end{cases} \quad 0 \leq HC \leq 1 \quad (13)$$

A **Figura 4** mostra a comparação entre o Mapa Coerência, de valor médio alto, a Imagem Entropia e a Imagem HC de um par de imagens interferométricas, da Região do Rio São Francisco, obtidas pelo sensor SAR AeS da empresa alemã Aerosensing. Analisando-se o histograma das imagens observa-se que o valor médio da Imagem HC é menor que o valor médio do Mapa Coerência, porém, o histograma da Imagem HC é mais espalhado que o da Coerência mostrando desta forma que a Imagem HC tem maior contraste em comparação com ao Mapa Coerência.

A **Figura 5** mostra o Mapa Coerência e as Imagens Entropia e HC de imagens SAR simuladas (Fernandes, 1998 e Schneider, 2002). Também são mostrados os histogramas das imagens enfatizando as distinções entre as classes que formam a imagem.

As imagens da **Figura 5** foram geradas a partir de dois pares de imagens SAR complexas simuladas, cada par com três classes de alvos extensos, e com coerência das classes controlada. Os valores de coerência entre as classes do primeiro par foram 0,33; 0,95 e 0,99 e para o segundo par 0,1 ; 0,5 e 0,9.

Nota-se que o Mapa Coerência distingue melhor as classes (melhor definição na imagem) para valores baixos de coerência e que a Imagem Entropia distingue melhor as classes para valores altos de coerência. A Imagem HC possui uma boa sensibilidade nas regiões de baixa coerência, que não é tão elevada como a do Mapa Coerência, mas também não é tão baixa como a da Imagem Entropia. Da mesma forma, nas regiões de alta coerência, sua sensibilidade não é tão elevada como a da Imagem Entropia, mas também não é tão baixa como a do Mapa Coerência. Assim, a Imagem HC é uma imagem que possui uma melhor sensibilidade global.



Par de imagens interferométricas

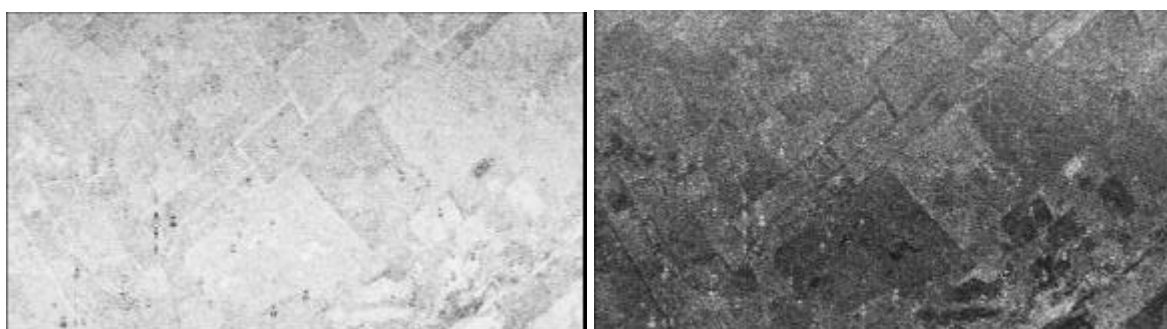


Imagem Coerência

Imagem Entropia



Imagem HC

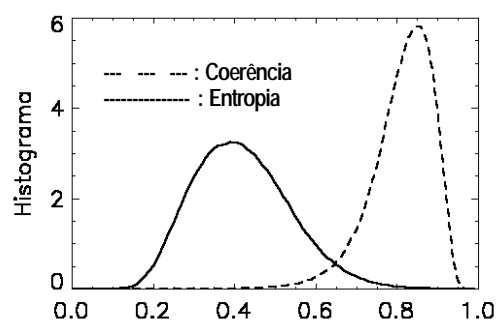
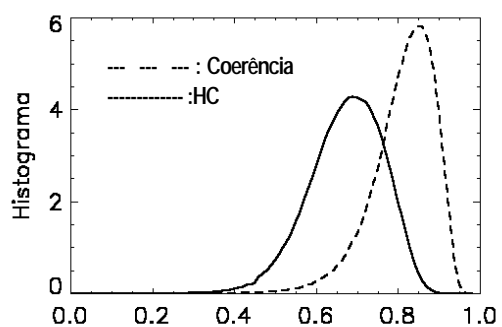
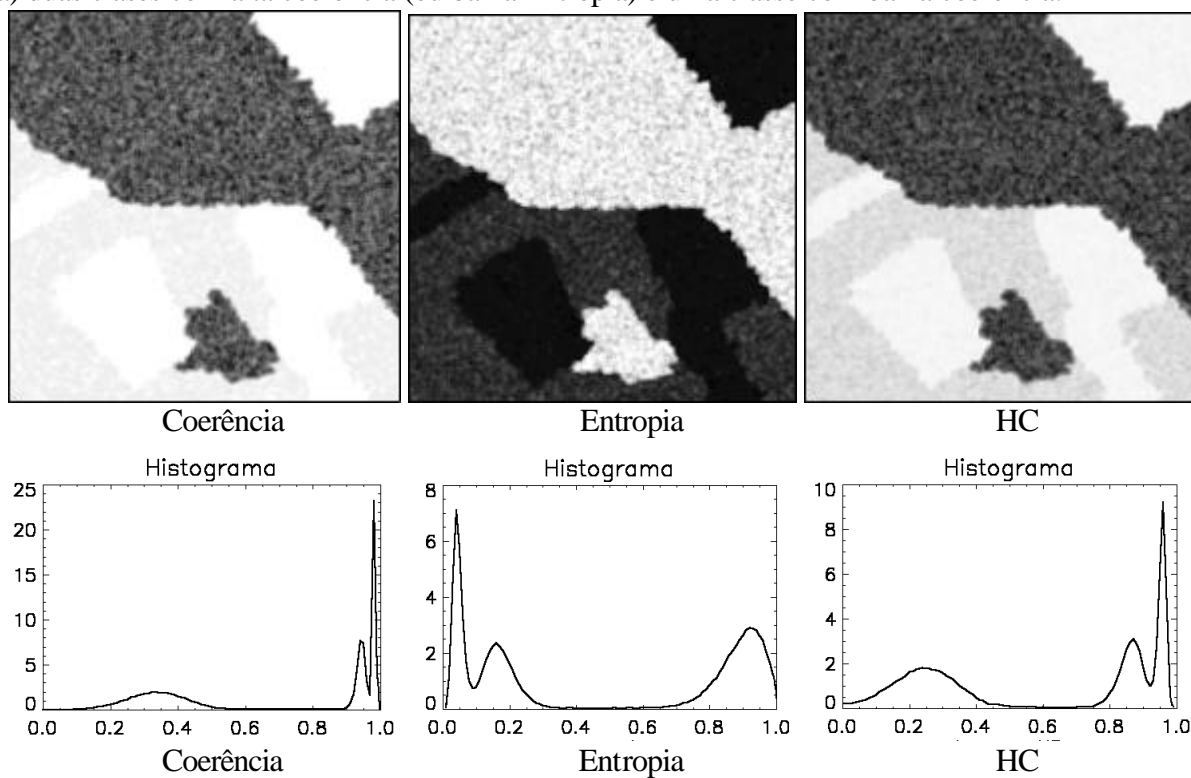


Figura 4: Mapa Coerência, de valor médio alto, Imagem Entropia e Imagem HC correspondente a de um par de imagens interferométricas, de uma única passada, do sensor SAR aerotransportado AeS.

a) duas classes com alta coerência (ou baixa Entropia) e uma classe com baixa coerência:



b) classes com coerências baixa, media e alta:

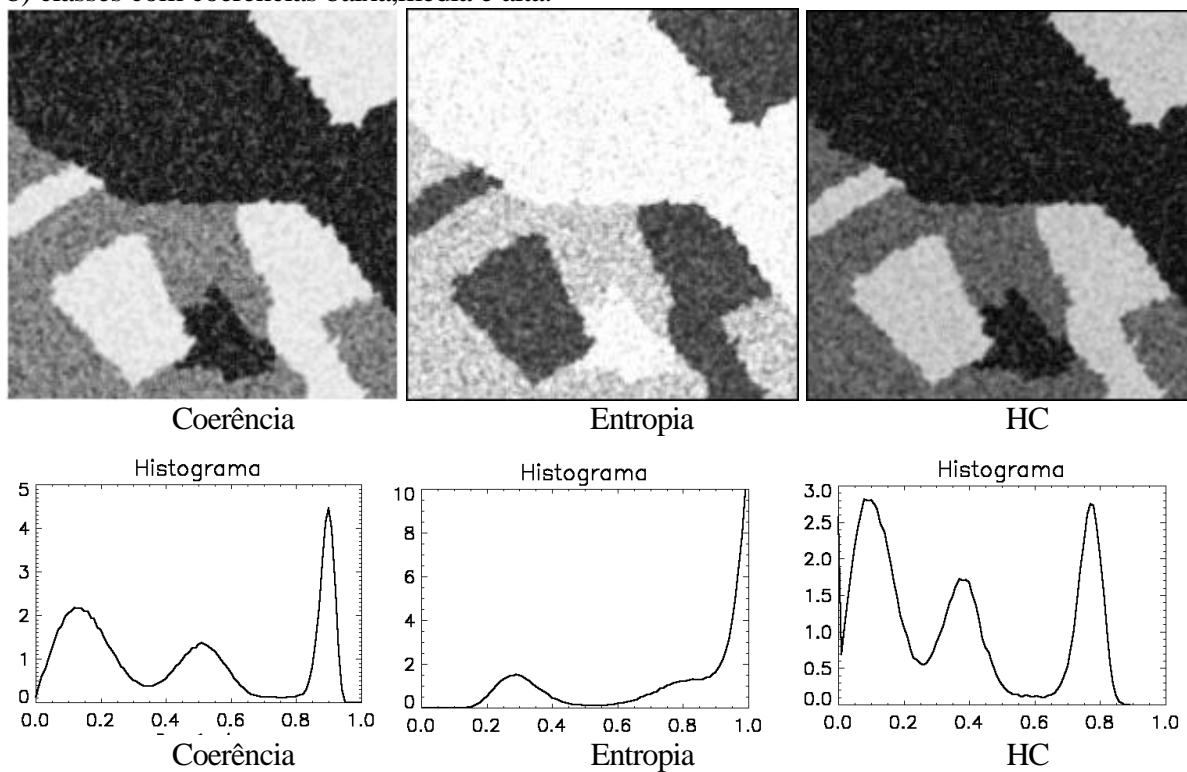


Figura 5: comparação entre o Mapa Coerência e as Imagens Entropia e HC de imagens SAR simuladas com coerência controlada.

## 6. Comentários finais

Utilizando-se a Imagem Entropia e o Mapa Coerência, ambas utilizadas para a detecção de variações temporais em imagens SAR, definiu-se uma nova imagem, denominada Imagem Entropia-Coerência (HC), que globalmente é melhor que a Imagem Entropia e que o Mapa Coerência utilizadas separadamente.

A coerência é boa para se detectar grandes variações nas imagens SAR, enquanto que a entropia é boa para se detectar pequenas variações. A imagem mista Entropia-Coerência apesar de não ser tão boa quanto o Mapa Coerência, em regiões de baixa coerência, e não ser tão boa quanto a Imagem Entropia, em regiões de alta coerência, tem um desempenho global melhor do que cada uma delas separadamente.

## Agradecimentos

À ATECH e CCSIVAM que por intermédio do Termo Aditivo I da Cooperação CTA-CCSIVAM financiou este estudo.

## Referências

- Cloude, S. R. and Pottier, E. A Entropy based classification scheme for land application of polarimetric SAR. *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 35, No. 1, 1997, pp. 67-78.
- Fernandes, D. Simulation of Speckled SAR Interferogram. *In: European Conference on Synthetic Aperture Radar (EUSAR'98)*, VDE-VERLAG GMBH, 1998, pp. 493-496.
- Schneider, R. Z. *Detecção de variações temporais em imagens SAR utilizando o conceito de entropia*. Tese de Mestrado. Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), São José dos Campos, 2002.
- Schneider, R. Z.; Fernandes, D. Entropy concept for change detection in multitemporal SAR images. *In: European Conference on Synthetic Aperture Radar (EUSAR 2002)*, VDE-VERLAG GMBH, 2002, pp. 221-224.
- Touzi, R.; Lopes, A.; Bruniquel J. and Vachon P. Coherence Estimation for SAR Imagery. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 37, No.1, 1999, pp. 135-149.