

## Minimização dos ruídos das imagens CBERS-2 através da inversão do algoritmo de classificação isodata em região de floresta amazônica.

Francisco Darío Maldonado<sup>1</sup>  
João Roberto dos Santos<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA  
Caixa Postal 515 - 12245-970 - Manaus - AM, Brasil  
maldonado@inpa.gov.br

<sup>2</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil  
jroberto@ltd.inpe.br

**Abstract.** The main objective of this work is to minimize the noises of CBERS-2 images using the inversion of the Isodata classification technique. The Amazonian forest is the localization for that study. The followed hypothesis establishes the possibility of obtaining an image with radiometric quality for change detection. The parameters for noises minimized are extracted from the own image. The images results improved much in their visual quality. It's expected that the results of the application of change detection techniques can reach good quality, because expressive noises were not observed.

**Palavras-chave:** remote sensing, image processing, change detection,, sensoriamento remoto, processamento de imagens, detecção de mudanças, CBERS, Amazônia.

### 1. Introdução

As imagens de satélite são formadas por um arranjo de elementos produzidos pela interpretação eletrônica de sinais proveniente de um grupo de detectores, sobre o qual é projetada a radiação proveniente da superfície imageada. Neste processo, muitas vezes, são introduzidos os ruídos nos dados pelo próprio sistema sensor, ou mesmo, de correção do sensor. Estas variações no produto resultante interferem com nossa capacidade de extrair informação das imagens. O ruído ocorre numa ampla variedade de formas, dificultando o processo de modelagem e minimizado de seus efeitos na cena imageada. Por esta razão muitas técnicas de minimização são elaboradas, tomando como função de tratamento o tipo de ruído (Schowengerdt, 1997). Um dos algoritmos mais simples para minimizar o ruído é o aditivo independente do sinal, dado por  $DN = \text{int} [ S + r ]$ .

Neste presente trabalho, a modelagem dos ruídos é realizada a partir das características de homogeneidade radiométrica de uma classe obtida pela técnica de classificação Isodata - Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique (Richards, 1995; Schowengerdt, 1997) fazendo uso inicial de bandas espectrais relativamente livres de ruído. Esta técnica foi selecionada porque apresenta boas características para classificações simples, como por exemplo, a discriminação de floresta/não floresta (Graça, 2004), podendo ainda gerar uma classe de distribuição de frequência estreita.

Após a obtenção da classe-referência, o algoritmo de classificação é invertido sobre as imagens com o ruído. Com esse procedimento de inversão a partir de uma classe radiometricamente homogênea podem ser calculados os valores para aplicar em cada linha da imagem, com objetivo de obter uma classe homogênea também na banda com ruído. É comum nas imagens CBERS-2 encontrar o ruído afetando as linhas imageadas, ocasionado pelos vários detectores do arranjo do sensor CCD. Desta forma, cada uma destas linhas aumentará ou diminuirá em um valor determinado para aproximar sua média com a média das outras linhas da cena.

Após a aplicação dessa nova abordagem proposta, a qualidade radiométrica da cena pode não ser totalmente melhorada, mas a correspondência radiométrica com os alvos pode ser suficiente para a detecção de mudanças com técnicas adequadas. Algumas técnicas de detecção de mudanças minimizam as diferenças radiométricas entre cenas produzidas por fatores como as diferenças de transparência atmosférica, de calibração e até de sensibilidade do sensor (Santos et al. 2005). Estas podem também utilizar imagens com diferentes qualidades radiométricas para detectar as mudanças entre cenas. Dentre essas técnicas pode-se citar a RCEN – Rotação Controlada por Eixo de Não Mudança (Maldonado et al. 2005) ou RCEM – Rotação controlada pela evolução da moda (Maldonado, no prelo).

Feita a contextualização da presente pesquisa, o objetivo principal do trabalho é minimizar os ruídos das imagens CBERS-2 através da inversão da técnica de classificação isodata, tendo como área de investigação, uma área-piloto na floresta amazônica. A hipótese traçada é verificar a possibilidade de se obter uma imagem de qualidade radiométrica suficiente para detecção de mudanças de uso e cobertura da terra, fazendo uso de tal abordagem.

## 2. Área de estudo

O sudeste do Estado de Amazonas possui uma ampla paisagem florestal, relativamente pouco explorada, porém cortada pela rodovia Transamazônica, com dois pólos de desmatamento no Estado. A área de influência de um desses pólos de ocupação, localizado na interseção da Transamazônica BR-230 com a estrada para Novo Aripuanã, sito nas coordenadas centrais S 7°00' e 8°00' e W 59° 30' e 60° 30', foi selecionada para estudo (**Figura 1**).

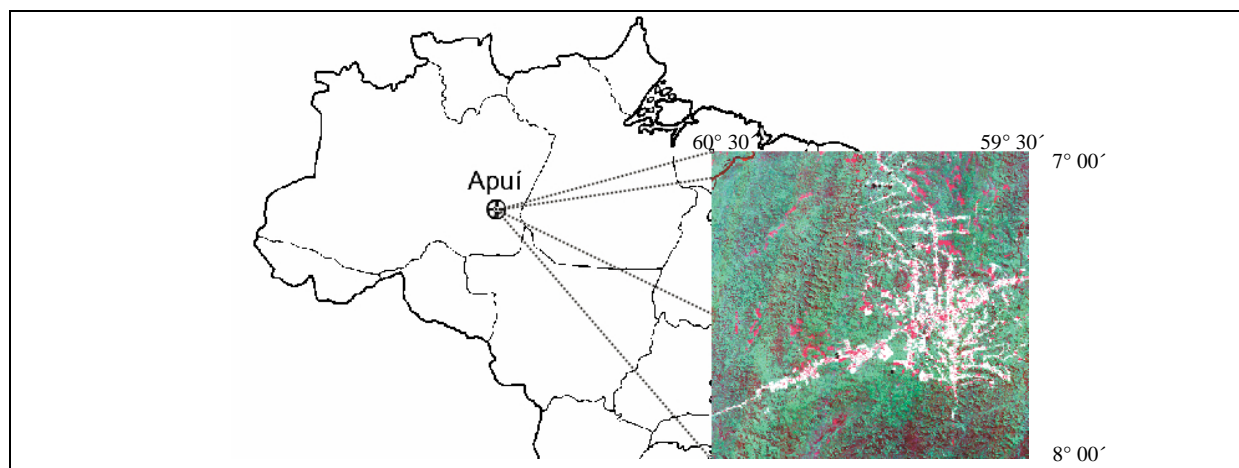


Fig. 1 – Localização da área de estudo no município de Apuí, no sul do Estado do Amazonas.

Nesta zona de estudo há predominância da pecuária, e em menor medida, de atividades de extração madeireira. As práticas tradicionais de degradação são de corte raso da floresta e posterior queima para implantação de extensas áreas de pastagem. Do ponto de vista geomorfológico, a paisagem de floresta ombrófila densa e aberta ocorre em áreas de relevo ondulado correspondente a unidade “Depressões com Residuais da Amazônia”, numa condição climática equatorial quente úmida, com 2 meses secos.

### 3. Material e método

No presente estudo foram utilizadas as imagens CBERS-2, de órbita-ponto 172/108, nas passagens de 29/04/2004 e 27/06/2006, em formato GeoTIF, bandas 2 (0,52-0,59 $\mu$ m), 3 (0,63-0,69 $\mu$ m) e 4 (0,77-0,89 $\mu$ m).

Foi utilizado um programa de aproximadamente 1500 linhas para processamentos complexos pixel a pixel, denominado Modulo MoMIRC do SIREI (Maldonado, 2004), confeccionado em Matlab 7.0 R14. Para a geração de mosaicos, classificações e máscaras foi utilizado o ERDAS 8.5. Todo o desenvolvimento metodológico foi estruturado como demonstrado na Figura 2.

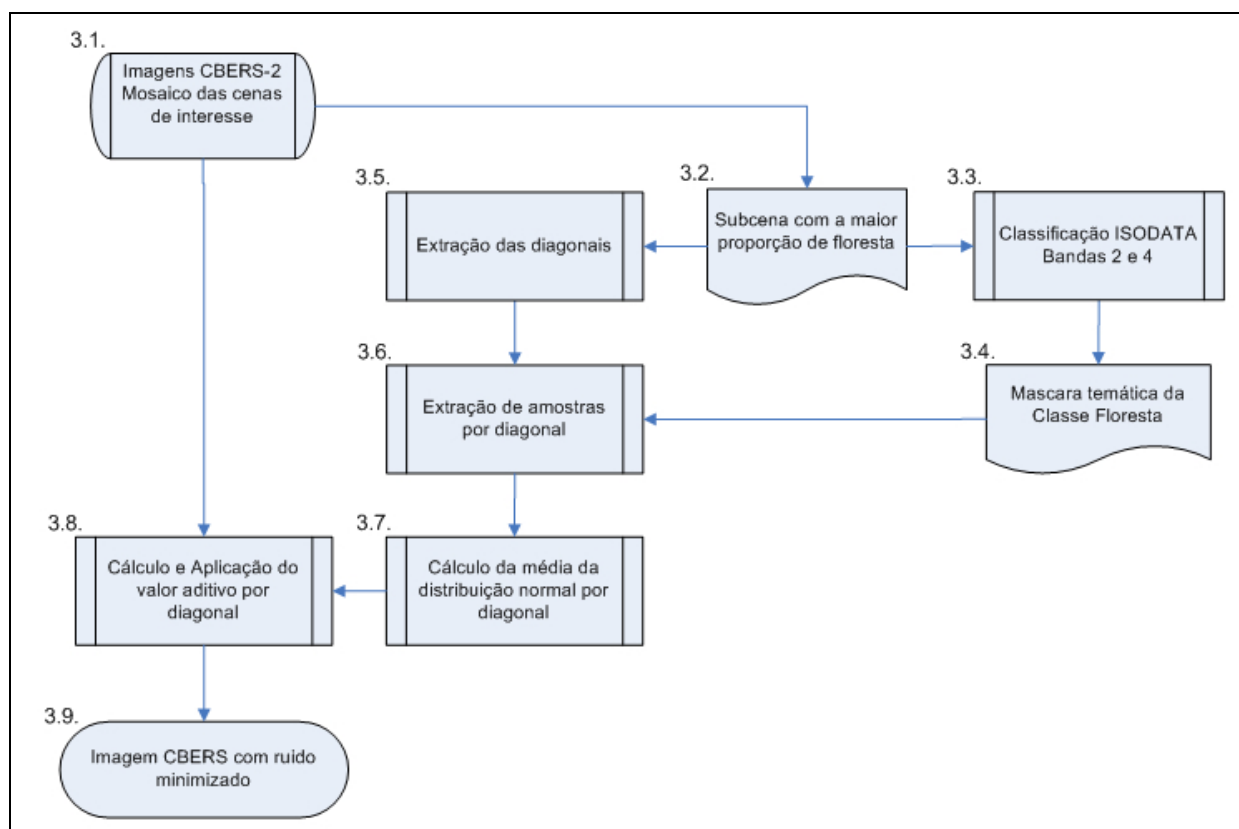


Figura 2 – Fluxograma metodológico da correção de uma imagem CBERS-2 ou de um mosaico de imagens na mesma órbita.

#### 3.1. Mosaico das cenas de interesse.

A região de interesse deve inicialmente estar contida numa cena com suficiente proporção do tema “floresta”, para gerar assim, uma classe que esteja representada em todas as diagonais da imagem. Entretanto, em alguns casos ocorre não se dispor de suficientes pixels da classe floresta numa cena. Nesta situação, a cena pode ser mosaicada com imagens da mesma órbita para obter maior quantidade de pixels desta classe.

As diagonais são definidas como linhas paralelas às bordas da cena. Num mosaico da mesma órbita, estas são suficientemente longas para permitir uma amostragem considerável de pixels da classe floresta, que garanta o correto funcionamento do programa. É oportuno comentar que as irregularidades radiométricas observadas nas imagens CBERS-2 são mantidas ao longo de faixa de imageamento.

### 3.2. Sub-cena com a maior proporção de floresta

A proporção de floresta na sub-cena deve ser suficiente grande para garantir um número de amostras dessa classe na imagem, aproximadamente com mesmas condições atmosféricas. Para garantir isto, as amostras devem ser obtidas em uma sub-cena contínua de amostragem (Figura 3), de menor tamanho possível.

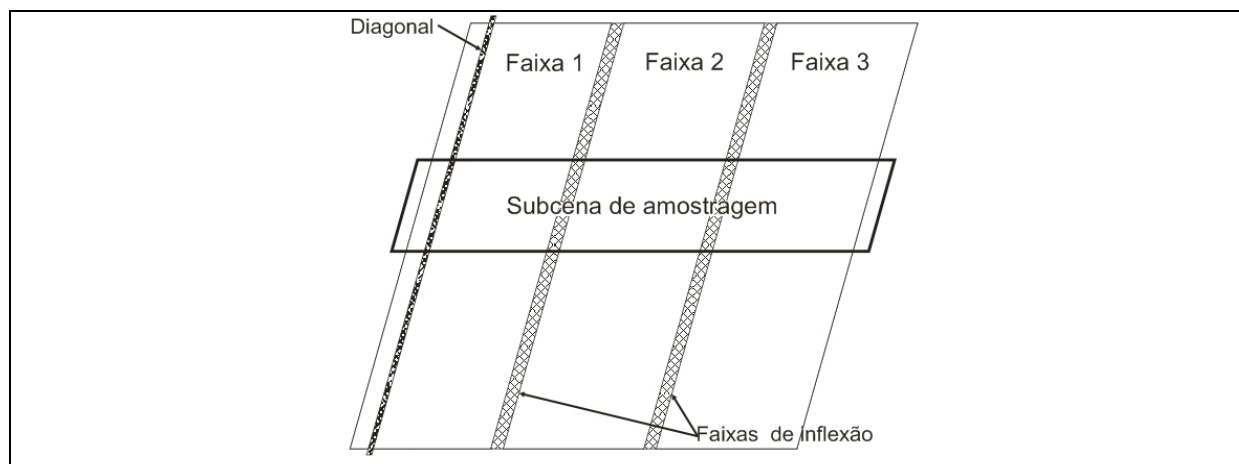


Figura 3 – Esquema dos elementos considerados neste método para agrupar e tratar os ruídos das imagens CBERS-2.

### 3.3. Classificação Isodata das bandas 2 e 4 do CBERS

As bandas 2 e 4 são usadas para obter a classe floresta e gerar uma máscara dessa classe floresta, onde a rotina computacional obterá as amostras de radiometria. As amostras de cada classe de paisagem são agrupadas em diagonais da imagem, isto significa que cada grupo de pixels de cada diagonal corresponde a um subgrupo cuja média e desvio padrão devem ser similares com as outras diagonais da imagem. Baseados nesta premissa são obtidos os valores aditivos que devem ser aplicados para corrigir a imagem, produzindo uma classe homogênea de floresta ao longo das diagonais.

É importante registrar que as bandas 2 e 4 foram selecionadas por estarem relativamente livres de ruídos, e ser suficientes para obter parâmetros da classe floresta, que contenha homogeneidade radiométrica aceitável. Esta classe floresta não pode ser um agrupamento de distintos tipos florestais; somente deve ser selecionada a classe obtida pelo ISODATA com a maior distribuição espacial. Na classificação pode ser incluída a banda 3 quando esta não está muito afetada por ruídos, ou ainda, quando as bandas 2 e 4 apresentam regiões de inflexão radiométricas marcantes, não permitindo se obter amostras de referência numa condição satisfatória dentro dessas faixas.

### 3.4. Máscara temática da classe floresta

Esta máscara é obtida agrupando as classes não-floresta numa classe de valor zero. Sobre o tema restante, de fisionomia estritamente florestal, é aplicado um filtro de erosão para eliminar os pixels das bordas que podem ser menos representativos da classe. Este refinamento pode ser seguido quando a classe for suficientemente distribuída.

### 3.5. Extração das diagonais

O sensor CCD possui uma fila de detectores independentes e cada um deles imageia uma linha longitudinal da imagem. Esta linha após a correção geométrica modifica sua posição na imagem, transformando-se em diagonal. A posição desta diagonal está relacionada com o georreferenciamento UTM WGS84. Estas imagens possuem ruídos e diferenças entre as linhas de pixels imageados por cada detector, que após o georreferenciamento das imagens se transformam em ruídos e diferenças entre as diagonais das imagens. Esta situação entre diagonais dificulta, em grande medida, o melhoramento radiométrico das imagens pelo usuário. As diagonais podem ser definidas em base às bordas da imagem, sendo que a borda esquerda é a primeira diagonal; pode-se assim, ser atribuído a cada pixel de uma linha o número de ordem da diagonal, começando pela borda com incremento igual a 1 até a outra borda da imagem.

### 3.6. Extração das amostras por diagonal

As anomalias na imagem se produzem em forma consistente por diagonal. A imagem pode ser delimitada visualmente em faixas dentro das quais as diagonais são comparáveis. Desta forma se observam três faixas principais (Figura 3) onde os valores são similares, separados por duas faixas de inflexão com valores muito altos ou muito baixos em relação às faixas principais.

### 3.7. Cálculo da média da distribuição normal

Este cálculo se efetua através da função “normfit” do Matlab 7 R14, a qual calcula a média considerando a distribuição normal como a distribuição esperada para as amostras desta classe. Isto permite minimizar o efeito de pixels fora do padrão da distribuição (outliers). Este passo se baseia na inversão do algoritmo da classificação ISODATA. A técnica do ISODATA se fundamenta no agrupamento de pixels por sua proximidade radiométrica no espaço n-dimensional, e por conseqüência, uma determinada classe contém homogeneidade radiométrica entre os pixels de uma banda espectral individual. Neste caso a classe floresta corresponde a uma classe espectral bem definida radiometricamente, cujo desvio padrão é relativamente pequeno em relação às outras classes que ocorrem na paisagem amazônica.

O Classificador ISODATA é um operador que utiliza um algoritmo iterativo de “clustering” não hierárquico. O algoritmo de classificação ISODATA agrupa os pixels ao redor de valores médios dos agrupamento de classes estimados nas imagens. Assim estes pixels pertencentes a mesma classe se caracterizam pela proximidade de seus valores radiométricos, minimizando as distâncias (**Equação 1**). Estes valores em algumas classes quando são analisadas em bandas individuais possuem distribuição de frequência normal e variância relativamente baixa.

$$\sum_{i=1}^n e_i = Xi \pm \Delta i \quad (1)$$

$$\text{ClasseIsodata} \rightarrow N(\overline{\chi_c}, \sigma) \quad \overline{\chi_c} : \text{média da classe}$$

$$\text{Sub - grupo} \rightarrow N(\overline{\chi_{sg}} \pm \Delta, \sigma) \quad \overline{\chi_{sg}} : \text{média dos sub-grupos}$$

Em tese, inverter o algoritmo de classificação significa que aqueles pixels que pertencem espectralmente à classe ISODATA são aproximados ao centro da classe a traves da aplicação de um valor aditivo. Este valor é calculado como a diferença entre a media de todos os pixels da classe e a media dos pixels na diagonal (sub-amostra da classe floresta) (**Equação 2**). Deste modo, o valor aditivo calculado se soma a cada pixel da diagonal seja da classe floresta ou não.

$$\overline{\chi}_{cf} = \overline{\chi}_{sg} \pm \Delta \quad \Rightarrow \text{Vaditivo} = \overline{\chi}_{cf} \pm \overline{\chi}_{sa} \quad (2)$$

Sendo: *Vaditivo* o valor aditivo para cada diagonal,  $\overline{X}_{cf}$  a média da classe floresta.  $\overline{\chi}_{sg}$  a média dos sub-grupos,  $\overline{X}_{sa}$  a média dos pixels das sub-amostras de cada diagonal e  $\Delta$  um valor que pode ser associado em parte com o ruído. A qualidade da classe floresta deve ser avaliada visualmente, cuidando que elementos como a nevoa ou nuvens tênues não venham a influir no aumento da variância da classe.

### 3.8. Cálculo e Aplicação do valor aditivo por diagonal

Como mencionado anteriormente, esse valor aditivo é calculado como a diferença entre a média da classe e a média das amostras dos pixels desta classe na diagonal. (Equação 3). O algoritmo computacional implementado aplica pixel a pixel o valor aditivo correspondente a cada diagonal, aproximando as médias dos pixels da classe floresta da linha diagonal com a média da classe.

### 3.9. Imagem CBERS com ruído minimizado

Nesta etapa a partir da aplicabilidade do algoritmo de inversão, tem-se como resultado imagens CBERS-2 com um aspecto visual aceitável e radiometricamente preparada para o uso de técnicas adequadas de detecção de mudanças como RCEN (Maldonado e Santos, 2005; Maldonado et al., no prelo), podendo-se utilizar toda a imagem e não simplesmente parte dela, como na maioria dos casos até hoje aplicativos.

## 4. Resultados e discussão

Uma primeira análise através de um simples teste de normalidade confirmou-se a normalidade radiométrica dos pixels de floresta amostrados por diagonal. Deste modo, as médias normais foram calculadas (**Figura 4**) para cada subgrupo de amostras coletadas nas diagonais. Nesta figura podem-se distinguir as faixas onde os valores de ruído dentro de cada faixa de imageamento são relativamente comparáveis. Nesses gráficos da **Figura 4** pode-se ainda visualizar claramente três setores separados por duas faixas estreitas de inflexão, representando as três linhas de detectores CCD que compõem o sensor do satélite.

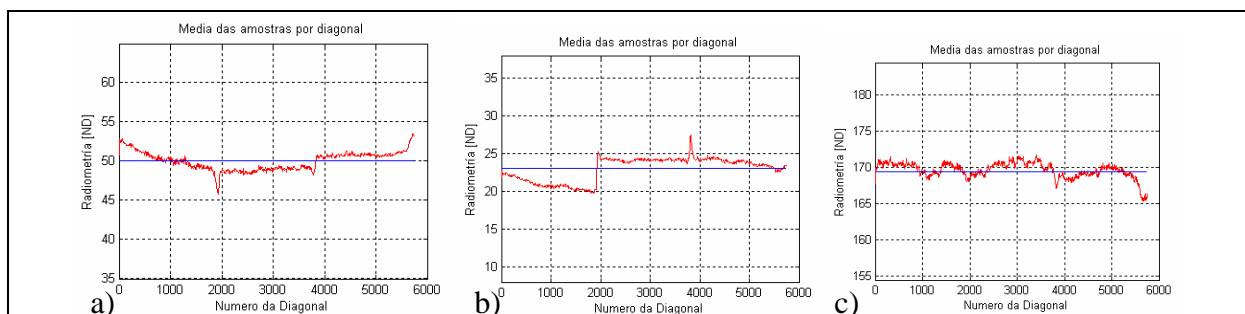


Figura 4 – Média das amostras das diagonais (linha vermelha) e média total da imagem (linha azul) para a classe floresta, nas Bandas 2 (a), Banda 3 (b) e Banda 4 (c).

Na **Figura 4a**, curva das médias da Banda 2 observa-se similaridade entre os valores médios de cada faixa. Contudo, na Banda 3 (**Figura 4b**) a primeira apresenta pronunciado decréscimo, de esquerda para direita, dos valores das médias de floresta até um valor baixo em relação à média da imagem (linha horizontal azul), apresentando na faixa de inflexão, importante diferença com os valores da segunda faixa. Na **Figura 5c**, relacionada à banda 4,



são apresentados os valores das médias, observando-se os valores altos media 170, e a forma irregular e relativamente homogênea com as faixas de inflexão pouco evidentes.

O desvio padrão das amostras coletadas no segmento de cada diagonal na sub-cena investigada, foi em média de 1.5 para a banda 2, valor 1 para a banda 3, enquanto para a banda 4 tal desvio foi superior que 4. Esse valor alto pode acarretar numa certa dificuldade do algoritmo em minimizar os ruídos nessa faixa espectral. A seguir na **Figura 5** são apresentados os valores aditivos aplicados pela rotina de minimização.

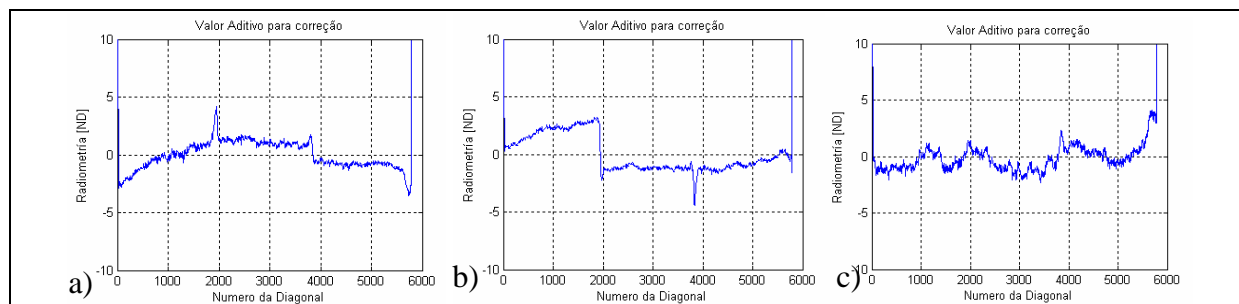


Figura 5 – Valor aditivo aplicado aos pixels de cada diagonal na banda 2(a) banda 3(b) e banda 4(c).

O máximo valor aditivo aplicado foi de 5 para a banda 2, de 3 para a banda 3 e de 4 para a banda 4. Na banda 2 e 4 (**Figuras 5a e 5c**) a borda direita possui ruídos que não puderam ser minimizados por falta de suficiente superfície de floresta classificada pelo ISODATA para a extração de amostras. Na **Figura 6** é apresentada a composição de bandas das imagens CCD/CBERS-2, antes e depois do tratamento proposto. As imagens têm uma boa qualidade visual e as faixas de inflexão tornaram-se tênues, desaparecendo quase completamente nas bandas 2 e 3, mas conservando-se levemente, especificamente para esse caso de estudo, na banda 4, referente à região do infravermelho próximo, como podem ver-se na **Figura 6**.

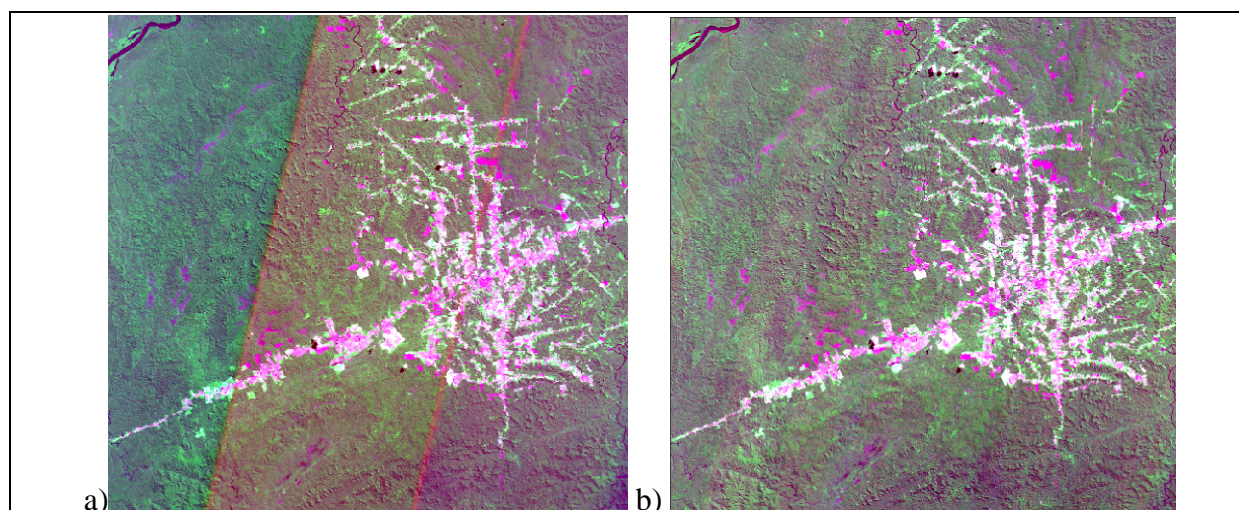


Figura 6 – Composições RGB bandas 3,4,2 do CCD/CBERS-2 com contraste de 1,8 desvios-padrão. Imagem com ruídos (a); e imagem com ruídos minimizados (b)

## 5. Considerações finais e recomendações

Como dito no decorrer do texto, os parâmetros para a minimização dos ruídos são oriundos da própria cena imageada, que dependendo do conteúdo radiométrico dos alvos presentes, podem tornar a cena em melhores condições de análise. De maneira geral, as imagens melhoraram muito sua qualidade visual na região. O espaço de atributos espaciais é ocupado por floresta, o que nos permite afirmar, por experiências anteriores, que os resultados de uma posterior aplicabilidade das técnicas de detecção de mudanças para esse caso, podem alcançar uma adequada acurácia, pois visualmente não se observaram ruídos de magnitude. Pode, por exemplo, ser usada a RCEN para a detecção de mudanças, sendo esta uma técnica resistente às diferenças entre cenas (Maldonado e Santos, 2005), diferenças essas provenientes do efeito atmosférico, ou de valores derivados de alguma calibração, sempre que estes afetem em forma homogênea toda a imagem.

Esta técnica pode se tornar mais efetiva com as imagens sem georreferenciamento prévio, nas quais as linhas imageadas por cada detector correspondem às colunas. Esta técnica pode ser utilizada em outros ambientes, sempre que exista alguma classe suficientemente distribuída e de pouca variância radiométrica para estar representada em todas as diagonais da imagem. A minimização de ruídos ainda pode ser melhorada definindo-se polinômios para suavizar as transições entre os valores aditivos, sejam nas faixas principais ou de inflexão. O prosseguimento dessa linha investigativa pode ser direcionada para aplicabilidade dessa técnica em uma calibração entre cenas de órbitas diferentes com fins de mosaicagem.

## Agradecimentos

Os autores agradecem a Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Amazonas - FAPEAM e ao CNPq pelas bolsas de pesquisa dos autores.

## Referências

- Cochrane, M. A., Souza Jr., C. Linear mixture model classification of burned forest in the eastern Amazon. **International Journal of Remote Sensing**, v.19, n.17, p3433–3440. 1998.
- Graça, P. M. L. **Monitoramento e Caracterização de Áreas Submetidas à Exploração Florestal na Amazônia por Técnicas de Detecção de Mudanças**. (INPE-13644-TDI/1046) São José dos Campos: INPE, 2004. 275p.
- Maldonado, F.D.; Santos, J.R. Metodología de detección de cambios utilizando técnicas de rotación radiométrica. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 12., 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. Artigos, p. 601-608. CD-ROM, On-line. ISBN 85-17-00018-8. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/rep-/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.19.19.44>>. Acesso em: 07 out. 2006.
- Maldonado, F.D; Santos, J. R.; Graça, P.M.L.. Change Detection Technique based on the Radiometric Rotation Controlled by No-Change Axis, applied on Semi-arid Landscape. **International Journal of Remote Sensing**. (in press)
- Richards, J. A. **Remote sensing digital image analysis – An introduction**. Berlin: Springer-Verlag, 1995. 340p.
- Santos, J.R.; Maldonado, F.D.; Graça, P.M.L.A. Integração de imagens LANDSAT/ETM+ e CBERS-2/CCD para detecção de mudanças em área da Amazônia sob domínio da floresta de transição. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 12., 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. Artigos, p. 1655-1662. CD-ROM, On-line. ISBN 85-17-00018-8. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/rep-/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.21.17.27>>. Acesso em: 07 out. 2006.
- Schowengerdt, R.A. **Remote Sensing. Models and methods for image processing**. Academic Press. 1997. 522p.