

Saturação radiométrica da banda 4 da CCD/CBERS-2

Camila Souza dos Anjos¹
José Carlos Neves Epiphanyo²
Leila Maria Garcia Fonseca²

¹ Imagem Soluções de Inteligência Geográfica
Rua Itororó, 555 Vila Bandeirantes. CEP: 12216-440.
São José dos Campos - SP, Brasil.
canjos@img.com.br

² Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE
Av. dos Astronautas, 1.758 Jd. Granja - CEP:12227-010.
São José dos Campos - SP, Brasil.
epiphanyo@dsr.inpe.br
leila@dpi.inpe.br

Abstract. CBERS is the acronym for Chinese-Brazilian Earth Resources Satellite. The second of its series was launched in October 21st, 2003, and CCD is its High Resolution Camera, with 20m spatial resolution. CCD band 4 has presented some saturation effects during the summer season, mainly for agricultural and urban targets. In this paper, the saturation effect in band 4 of the CCD/CBERS-2 sensor was analyzed. It was shown that the saturation is dependent of the latitude and the season. A methodology based on linear regression approach using the other bands was proposed to estimate the pixel values whose information was lost by the saturation phenomenon. The results show that some marginal improvements can be achieved. However, as the band 4 gain controls affect the gain of the other bands for CBERS-2, this solution could not be implemented.

Palavras-chave: CCD/CBERS-2 sensor, radiometric saturation, linear regression, sensor CCD/CBERS-2, saturação radiométrica, regressão linear.

1. Introdução

Imagens de satélites podem apresentar algumas falhas que resultam na perda de informação. Um fenômeno que causa este tipo de problema é a saturação de imagens.

Segundo Karnieli et al. (2004), a radiometria de um sensor é considerada saturada quando o sinal de radiância de entrada, em termos de voltagem, excede o máximo sinal mensurável pelo detector. Neste caso, alvos com diferentes características de reflectância podem aparecer, na imagem, representados pelo mesmo nível de cinza. No caso de uma imagem com resolução radiométrica de 8 bits, esses alvos saturados são representados na imagem por pixels com nível de cinza igual a 255.

O efeito da saturação é fortemente influenciado pelo ângulo solar, pois quanto menor a distância Terra-Sol maior a irradiância e, conseqüentemente, a chance de ocorrer saturação. Assim, a época do ano tem grande influência sobre o fenômeno de saturação. A saturação é também dependente da área coberta pela cena, pois existem alvos mais sensíveis às variações do ângulo solar; e também é dependente dos efeitos atmosféricos, que afetam o valor da energia radiante recebida pelo sensor e variam durante o ano.

De acordo com Fonseca et al. (2004), a banda 4 das imagens Câmera Imageadora de Alta Resolução (CCD) do Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres (CBERS-2) têm apresentado altos valores de brilho e contraste em relação às bandas 1, 2 e 3, que, por vezes, leva à saturação dos valores de nível de cinza. Esse fenômeno pode ser verificado pelo

histograma da imagem, que descreve a distribuição estatística em termos de números de pixels para cada nível de cinza (Markelin e Honkavaara, 2004).

O problema de saturação é comum nas imagens de áreas de vegetação e urbanas, que possuem regiões de alta reflectância na banda 4.

2. Análise espaço-temporal da saturação

De acordo com Dowdeswell e McIntyre (1986), o problema da saturação em imagens MSS/Landsat-3 é inversamente relacionado à latitude. Para analisar esta questão, um estudo com dados CCD/CBERS-2 foi realizado. Foram selecionadas imagens adquiridas em três diferentes latitudes nos períodos de Outubro a Abril de 2004/2005 e 2005/2006.

Todas as imagens foram analisadas para verificar a presença do fenômeno de saturação. Este estudo foi realizado por meio de análise visual de histogramas e de perfis radiométricos. Cada imagem foi considerada saturada quando qualquer alvo da cena naquela data apresentasse o fenômeno de saturação. Os resultados encontrados para as imagens dos verões de 2004/2005 e 2005/2006 são idênticos e são apresentados na Figura 1.

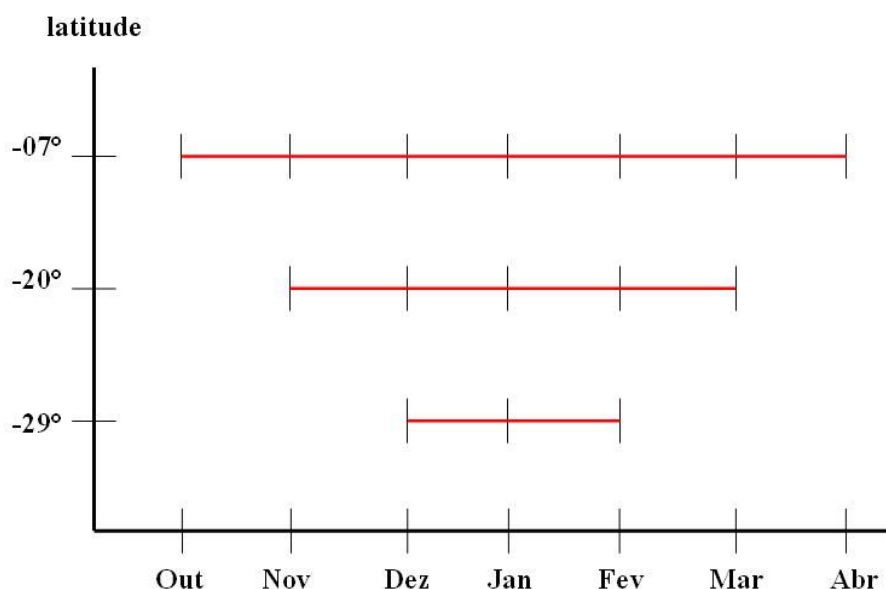


Figura 1 - Análise espaço-temporal do fenômeno de saturação nos períodos de Outubro a Abril de 2004/2005 e 2005/2006.

Na Figura 1, o traço vermelho sobre o mês representa presença de saturação na imagem de estudo. Os resultados são idênticos, pois o mesmo fenômeno ocorreu nos verões de 2004/2005 e 2005/2006. A saturação ocorreu de Outubro a Abril na cena CCD/CBERS-2 148/108 localizada na Paraíba, cuja latitude central é de $-7,167^\circ$. Na cena CCD/CBERS-2 156/123, localizada no nordeste do Estado de São Paulo, cuja latitude central é de $-20,588^\circ$, a saturação ocorreu de Novembro a Março. E na cena CCD/CBERS-2 160/133, localizada na área central do Estado do Rio Grande do Sul, cuja latitude central é de $-29,505^\circ$, a saturação ocorreu apenas de Dezembro a Fevereiro.

Os resultados da análise estão coerentes com os resultados de Dowdeswell e McIntyre (1986), pois a saturação se apresentou inversamente relacionada com a latitude.

3. Reparação do efeito da saturação

Esta seção descreve o experimento realizado para estimar os valores de níveis de cinza dos pixels saturados, cujas informações foram perdidas devido ao fenômeno da saturação.

3.1 Seleção e pré-processamento das imagens

Três imagens com alvos que apresentavam o fenômeno da saturação foram selecionadas. As imagens são mostradas na Figura 2. As características das imagens selecionadas são apresentadas na Tabela 1.

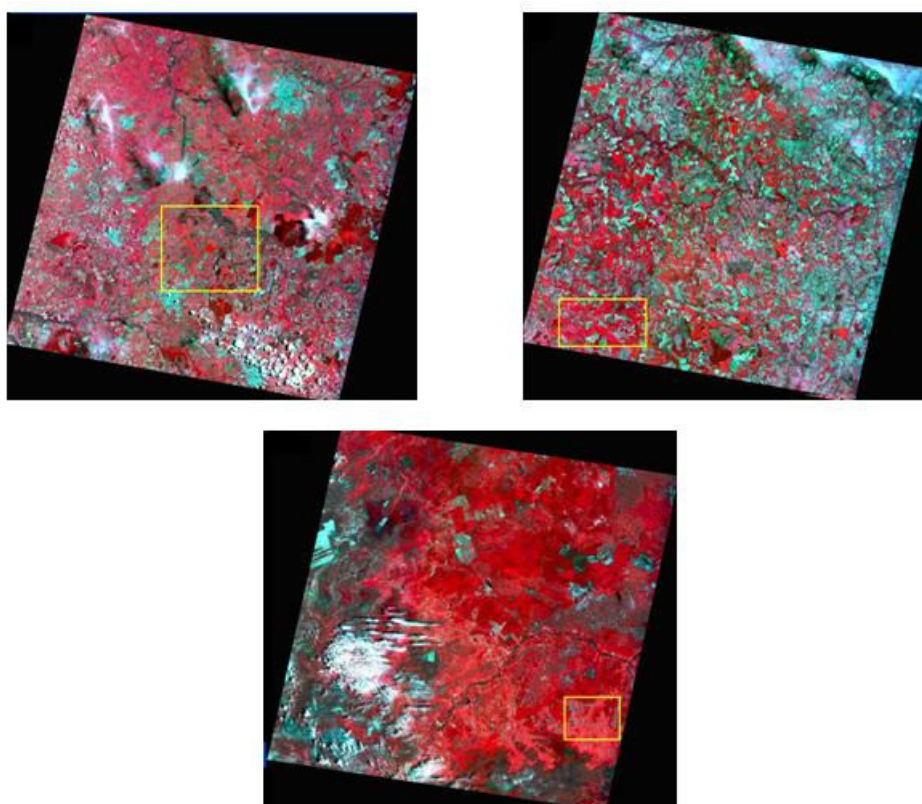


Figura 2 – Cenas CCD/CBERS-2 utilizadas no experimento. Os retângulos amarelos representam a área de estudo dentro de cada cena.

Tabela 1 – Características das imagens selecionadas.

Imagem	Data	Alvo saturado	Hora Decimal	Longitude Central	Latitude Central	Elevação Solar
156/124	14/02/2005	Cana	13:21:05	-48,034	-21,481	59,5058°
163/125	19/02/2005	Soja	13:48:17	-55,0013	-22,3739	58,5741°
155/113	27/12/2004	Feijão	13:18:51	-44,812	-11,645	62,8211°

As imagens selecionadas foram transformadas de nível de cinza para imagens reflectância de superfície pelo uso de um programa que realiza a correção atmosférica pelo modelo 5S adaptado para o sensor CCD/CBERS-2 (Ponzoni et al., 2005).

3.2 Identificação do problema de saturação

Primeiramente, foi realizada uma análise visual para identificar pixels saturados nas imagens. A constatação do fenômeno foi realizada por meio dos histogramas e perfis radiométricos das imagens. A Figura 3 é um exemplo de histograma e perfil radiométrico de uma imagem saturada.

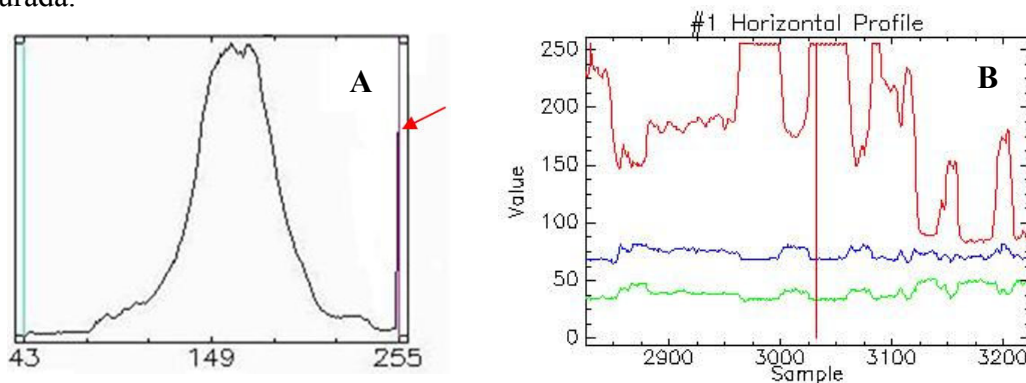


Figura 3 – Constatação do fenômeno saturação. Histograma (A) e perfil radiométrico (B) da imagem saturada CCD/CBERS-2 (156/124) de 14/02/2005.

A Figura 3-A apresenta o histograma da banda-4 (infravermelho próximo), com a saturação indicada no histograma por uma seta vermelha. A Figura 3-B apresenta o perfil radiométrico da mesma cena saturada, onde as cores vermelha, verde e azul estão associadas às bandas 4, 3 e 2, respectivamente. A saturação da banda 4 (vermelho) é caracterizada por platôs de reflectância que representam a parte saturada da área de estudo.

Além de constatar o fenômeno, os perfis radiométricos de cenas corrigidas (atmosfera), permitem identificar os valores de reflectância dos pixels saturados, indicados pelos platôs. Os valores encontrados na saturação da banda 4 em cada uma das imagens analisadas são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Saturação da banda 4 do CCD/CBERS-2.

Imagem	156/124	163/125	155/113
Data	14/02/2005	19/02/2005	27/12/2005
Reflectância de superfície	0,463	0,482	0,439
Porcentagem	46,3%	48,2%	43,9%

Pela Tabela 2 percebe-se que as imagens saturam em diferentes valores de reflectância. Isso pode ser explicado pelas diferentes datas e localização das imagens, que resultam em diferentes ângulos de elevação solar, fator de grande influência na saturação de uma imagem.

3.3 Reparação do fenômeno da saturação

Karnieli et al. (2004) afirmam que a banda 3 do ETM+/Landsat-7 apresenta o problema de saturação de imagens e descrevem um experimento para reparação do fenômeno, em que o alvo saturado é o deserto de Negev, em Israel. Os valores dos pixels saturados são inferidos por meio de uma regressão linear múltipla onde as variáveis explicativas são os valores dos mesmos pixels nas bandas não saturadas. Um bom resultado é alcançado pelo experimento.

Com o objetivo de verificar a potencialidade de uma análise de regressão entre as bandas espectrais como uma técnica de recuperação de imagens saturadas CCD/CBERS-2, foi realizada uma análise de correlação entre a banda 4 e as demais bandas.

A Figura 4 apresenta um indicativo da correlação entre as bandas da imagem 156/124 de 14/02/2005.

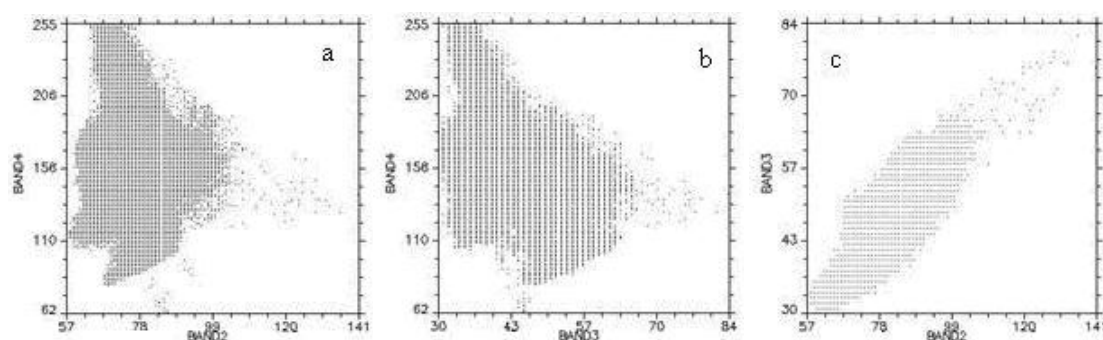


Figura 4 - Diagramas de espalhamento da imagem 156/124 de 14/02/2005: (a) B2 x B4, (b) B3 x B4 e (c) B2 x B3.

Foi verificada uma pequena correlação entre a banda 4 e as bandas 2 e 3. Por outro lado, foi observada uma alta correlação entre as bandas 2 e 3 da mesma imagem. A imagem utilizada como exemplo é o reflexo do que acontece em qualquer imagem do sensor CCD/CBERS-2. Realmente, a banda 4 (infravermelho próximo) do CCD/CBERS-2 não possui alto grau de correlação com as outras bandas do mesmo sensor (bandas do visível). Entretanto, no ETM+/Landsat-7 quem satura é a banda 3 (vermelho), que é altamente correlacionada com as outras bandas do visível.

Em vista da baixa correlação, e na tentativa de solucionar o problema, foram selecionadas imagens de outras datas (não-saturadas) e outros sensores para, por meio de uma análise de regressão, inferir valores para os pixels cuja informação havia sido perdida.

A imagem resultante da regressão entre datas corrige quase que por completo a área saturada, ou melhor, estima valores para os pixels cujas informações foram perdidas. Mas estes valores não puderam ser considerados como verdade, pois os alvos que apresentam o fenômeno de saturação na banda 4 do sensor CCD/CBERS-2 são em sua maioria alvos agrícolas, que são alvos mutáveis, como é o caso das cenas utilizadas no experimento. Como, os valores dos antigos pixels saturados na imagem resultante do experimento são inferidos a partir de informações diferentes da realidade do alvo na data do imageamento, o experimento foi descartado.

Outra tentativa de estimar valores para os pixels da banda 4 (0,76 – 0,9 μm) do sensor CCD/CBERS-2, que apresentam o fenômeno da saturação, foi utilizar as bandas 3 e 4 do sensor WFI/CBERS-2, que correspondem ao mesmo intervalo espectral das imagens CCD/CBERS-2 e são gravadas na mesma passagem do satélite.

A resolução espacial das imagens CCD (20m) foi degradada para a resolução das imagens WFI (260m) pelo método de interpolação pelo método do vizinho mais próximo. Mas um problema radiométrico do WFI/CBERS-2 prejudicou fortemente a correlação entre as imagens, e o experimento também foi descartado.

Como os dois experimentos anteriores não geraram um resultado apropriado, optou-se pela estimação dos valores dos pixels saturados por meio de regressão linear entre bandas da mesma imagem, apesar da baixa correlação da banda 4 com as outras bandas, já demonstrada anteriormente.

Amostras de alvos próximos à saturação na cena 156/124 de 14/02/2005 foram coletadas para compor os dados da regressão. Foram coletadas 15 amostras de 20 pixels cada, totalizando assim 300 pixels amostrais.

Os pixels saturados (com reflectância de superfície igual a 0,463, conforme Tabela 2) foram retirados das amostras, resultando em 239 pixels amostrais.

Para a construção do modelo foi realizado o teste *Best Subsets*, que, entre todas as regressões possíveis, indica a melhor combinação de variáveis para a um modelo significativo (Neter et al., 1996). O teste utilizado baseia-se na análise do R^2_p , que indicou como ideal o modelo composto pelas variáveis B2 e B1*B3 apresentado na equação 1.

$$PC = 94,5816 + 1,9009 * (\text{Banda 2}) - 0,0478 * (\text{Banda 1} * \text{Banda 3}) \quad (1)$$

PC é o pixel corrigido resultante da aplicação da equação 1.

Como a amostra foi realizada com pixels de valores altos, na imagem resultante do processamento apenas os pixels saturados foram substituídos pelos valores indicados na regressão. As imagens original e resultante são apresentadas na Figura 5.

Detalhes de alvos saturados nas imagens original e corrigida são apresentados na Figura 6.

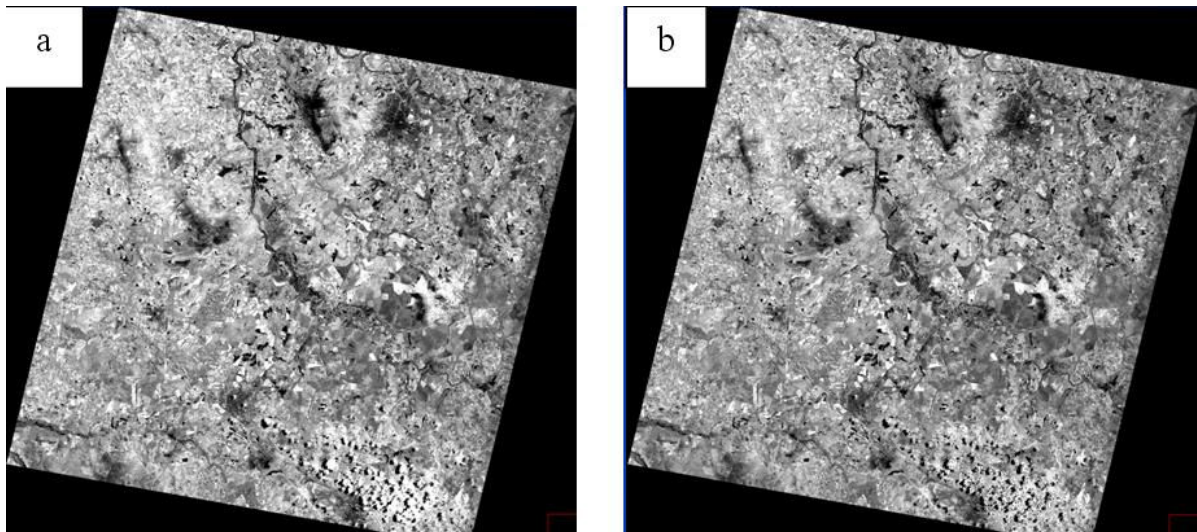


Figura 5 – Banda 4: Imagem Original (a). Imagem Corrigida (b).

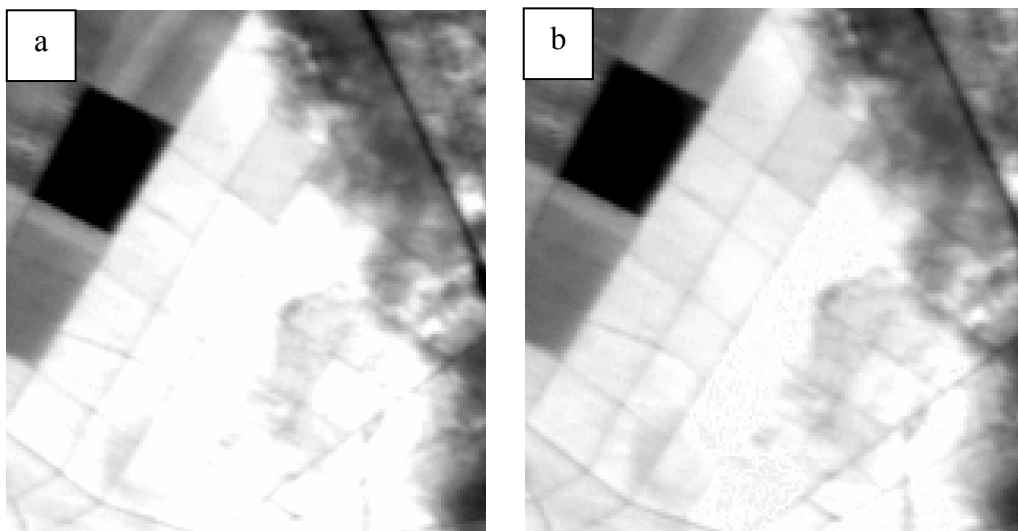


Figura 6 – Banda 4: Detalhe da imagem saturada (a). Detalhe da imagem corrigida (b).

A Figura 6 mostra que, apesar da baixa correlação entre as bandas, é possível inferir valores para os pixels saturados, melhorando a qualidade da imagem na área de informação perdida. Nota-se também que a imagem corrigida apresenta um aspecto salpicado em algumas áreas, devido aos valores muito próximos da saturação. Um teste foi realizado para substituir por valores inferidos também os pixels que apresentam, na imagem B4 original, valores muito próximos da saturação, com a intenção de melhorar o aspecto visual da imagem, mas o resultado não foi significativo.

Também foi realizada uma análise de regressão linear simples somente com a banda 3, pois, apesar de muito baixa, esta é a banda que apresenta maior correlação com a banda 4 CCD/CBERS-2. O resultado obtido é apresentado na Figura 7.

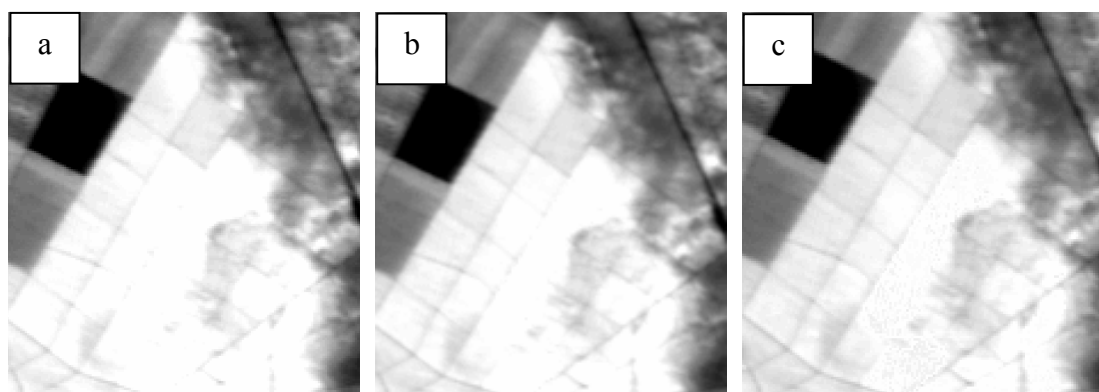


Figura 7 – Detalhe da imagem saturada (a). Detalhe da imagem corrigida – regressão com B3 (b). Detalhe da imagem corrigida regressão com B1, B2 e B3 (c).

A Figura 7 (b) mostra que a banda 3 é capaz de acrescentar informação na reparação do fenômeno da saturação. Mas, como esperado, a Figura 7 (c) mostra que a regressão linear múltipla apresenta um melhor resultado que a regressão linear simples. O resultado obtido neste experimento é interessante, mas ainda não é o suficiente para “corrigir” grandes áreas com alvos saturados, devido à baixa variabilidade de valores destes mesmos alvos nas outras bandas, conforme a Tabela 3.

Tabela 3 – Variabilidade dos números digitais de alvos saturados em bandas que não apresentam saturação.

Banda	Variabilidade dos Números Digitais
B1	entre 19 e 22
B2	entre 11 e 13
B3	entre 13 e 16

Os pixels saturados na banda 4 da cena CCD/CBERS-2 (156/124) de 14/02/2005 apresentam valores iguais a 118 numa escala entre 0 e 255, o que representa uma reflectância de superfície de aproximadamente 46,27%. A Tabela 3 apresenta a baixa variabilidade dos valores de reflectância de superfície correspondentes aos pixels saturados nas outras bandas.

4. Conclusões e Recomendações

O trabalho mostrou que apesar da baixa correlação é possível acrescentar informações à banda saturada do infravermelho próximo por meio das bandas do visível.

Entretanto, o problema da saturação de imagens somente ocorre quando o ganho do sensor não está corretamente definido ou não está dentro das especificações. Uma real solução do problema seria a alteração do valor do ganho do sensor. No caso da CCD/CBERS-2 a modificação dos valores de ganho fica dificultada, pois o ganho é agrupado em bandas, ou seja, não é possível ajustar o ganho para cada uma das bandas individualmente. Ao alterar o valor do ganho da banda 4, altera-se também o ganho das bandas 2 e 3, o que poderia acarretar problemas radiométricos nestas bandas.

Então sugere-se que os próximos sensores da série CBERS apresentem o controle do ganho de forma individual, em que cada banda possua seu próprio controle de ganho, podendo assim ser alterado sempre que necessário, para que o sensor possa captar corretamente os valores de energia em qualquer época do ano sem apresentar o fenômeno da saturação.

5. Referências

Dowdeswell, J.A.; McIntyre, N.F. The saturation of LANDSAT MSS detectors over large ice masses. **International Journal of Remote Sensing**, n.7, v.1, p.151-164, 1986.

Fonseca, L.M.G. ; Ponzoni, F.; Cartaxo, R. **Radiometric quality assessment of CBERS-2**. São José dos Campos: INPE, 2004. 17 p. (APPL-06-2004, 1.1).

Karnieli, A.; Ben-Dor, E.; Bayarjargal, Y.; Lugasi, R. Radiometric saturation of Landsat-7 ETM+ data over the Negev Desert (Israel): problems and solutions. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, n.5, p.219-237, 2004.

Markelin, L.; Honkavaara, E. Procedures for radiometric quality of scanned CIR images. In: XX Congress International Society for Photogrammetric and Remote Sensing. 12-23 July 2004, Istanbul, Turkey. **Anais...** Istanbul: XX ISPRS, 2004. CD-ROM.

Neter, J.; Kutner, M.N.; Nachtsheim, C.J.; Wasserman, W. **Applied linear statistical models**. Boston: WCB/McGraw-Hill, 4ª Ed. 1996, 791p.

Ponzoni, F.J.; Junior, J.Z.; Lamparelli, R.A.C. Calibração absoluta da câmera CCD/CBERS-2. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. 16-21 abril 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. p. 1067-1074. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.09.15.05/doc/1067.pdf>> Acesso em 13 out. 2005.