

UMA METODOLOGIA AUTOMATIZADA PARA EXTRAÇÃO DE CORPOS DE ÁGUA UTILIZANDO IMAGENS DO SENSOR WFI DO SATÉLITE CBERS-4 PARA APLICAÇÃO EM RESPOSTA A DESASTRES

Laércio Massaru Namikawa¹, Thales Sehn Körting²

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, Av. dos Astronautas, 1758, CEP: 12227-010
¹laercio.namikawa@inpe.br; ²thales.korting@inpe.br

RESUMO

As inundações são os desastres de grandes proporções que mais ocorrem no mundo. Considerando que o INPE opera seus próprios satélites de observação da Terra, metodologias automatizadas para detecção de áreas inundadas para as imagens do INPE podem ajudar na geração de produtos úteis para a resposta rápida a inundações, indicando equipamentos urbanos inacessíveis, habitações afetadas, cultivos danificados e outros prejuízos. Dentre os sensores a bordo dos satélites operacionais do INPE, o sensor WFI é o mais efetivo para mapeamento de inundações devido à sua alta resolução temporal, entre 3 e 5 dias, e à sua resolução espacial de 55 a 64 metros ser adequada à escala espacial do fenômeno inundação. Neste trabalho são apresentados resultados da adaptação de uma metodologia já proposta e testada pelos autores, resultado de um esforço para detecção de corpos de água com algoritmos rápidos e válidos para todas as áreas do Brasil. O método utiliza uma conversão do sistema de cores RGB para o sistema HSV, seguida do fatiamento da componente matiz H para a extração de corpos de água. As combinações de bandas e limiares foram identificadas e testadas num caso real, a partir de um mapeamento de referência para uma resposta a um desastre ocorrido em 2022 no Chade.

Palavras-chave — Gestão de riscos e desastres, Inundação e alagamento, CBERS4, WFI, IHS.

ABSTRACT

Floodings are the most common type of major disasters worldwide. Since INPE operates its own Earth Observation satellites, automated methodologies to detect flooded areas for INPE imagery are useful tools to create products for rapid response to flooding events, helping to identify inaccessibility turban facilities, affected housing, damaged and other losses. The WFI sensor is the most effective abroad INPE satellites to map floods due to its high temporal resolution between 3 and 5 days and its 55 to 64 meters spatial resolution fit to the spatial scale of the flooring phenomenon. This work presents results from the adaptation of the methodology proposed and tested by the

authors to detect water bodies using a fast algorithm and applicable to all areas in Brazil. The method uses the colour system conversion from RGB to HSV system, followed by a thresholding of the hue H component to extract the water bodies. Band combinations for the conversion and thresholds were identified and tested here to a real case, using the reference flooding to a disaster response that occurred in Chad in 2022.

Key words — Disaster and Risk Management, Flooding, CBERS4, WFI, IHS.

1. INTRODUÇÃO

As inundações são os desastres de grandes proporções que mais ocorrem no mundo. De acordo com o relatório anual de 2021 da Carta Internacional Espaço e Grandes Desastres (“International Charter Space and Major Disasters” - referido como Carta de aqui em diante), um consórcio de agências e operadores espaciais que fornece tecnologia espacial para resposta a desastres (disponível em: <https://disasterscharter.org/documents/10180/66908/21st-annual-report>), as inundações foram os agentes causadores de 44% dos desastres que solicitaram o uso de imagens de satélite durante o ano de 2021.

Considerando que o INPE opera satélites de observação da Terra e faz parte da Carta, participando de suas atividades gerenciais e fornecendo imagens de satélite, metodologias de detecção de áreas inundadas específicas para as imagens do INPE podem ajudar a gerar produtos úteis para a resposta a inundações, indicando equipamentos urbanos inacessíveis, habitações afetadas, cultivos danificados e outros prejuízos. Dentre os sensores de imageamento dos satélites operacionais do INPE CBERS-4, CBERS-4A e AMAZONIA-1, o sensor de visada amplo (“Wide Field Imager”-WFI) é o mais efetivo para mapeamento de inundações devido à sua revisita (resolução temporal) de 3 a 5 dias e à sua resolução espacial de 55 a 64 metros ser adequada à escala espacial do fenômeno inundação. Informações adicionais estão disponíveis buscando o tema “Engenharia de Satélites” no sítio WEB do INPE (www.inpe.br).

Apesar de o tipo de alvo água parecer ser fácil de ser extraído de imagens de sensoriamento remoto, a variabilidade grande da resposta espectral devido à presença em diferentes proporções de sedimentos e vegetação, assim

como devido a outros fatores que interagem com os anteriores, como a profundidade da lâmina de água, a presença de vento na superfície e a reflexão especular, os algoritmos de extração tendem a ser sofisticados e calibrados para diversos tipos de ocorrências de lâminas de água [1].

O resultado de um esforço para detecção de corpos de água com algoritmos rápidos e válidos para todas as áreas do Brasil foi disponibilizado pelo INPE no sítio <http://www.dpi.inpe.br/waterbodies/>. A partir deste sítio, podem ser obtidos os corpos de água extraídos de imagens da constelação RapidEye disponibilizadas pelo Ministério do Meio Ambiente em resolução espacial de 5m. Para gerar esta base de informações, o algoritmo utiliza a conversão de sistema de cores Vermelho/Verde/Azul (RGB) para o sistema de cores Matiz/Saturação/Valor (HSV) e um simples fatiamento do componente matiz (H) define a presença de corpos de água [2].

O objetivo deste trabalho é estender a metodologia de [2] para utilizar as imagens do sensor WFI do CBERS-4, adaptando a metodologia e definindo os valores de fatiamento do componente H adequados para o sensor. Ao final, uma comparação com resultados de extração em um mapa produzido pela Carta para uma resposta a desastre no Chade é apresentada.

2. MATERIAL E MÉTODOS

No desenvolvimento da metodologia de [2], foram utilizadas imagens dos recortes de imagem da constelação RapidEye sobre as regiões de Foz do Iguaçu, PR, e Jacareí, SP. Os recortes de imagem são de 25 por 25 km, sendo a de Foz do Iguaçu adquirida pelo satélite em 8/Ago/2014 e identificada pelo índice 212725, e a de Jacareí adquirida em 10/Out/2014 e identificada pelo índice 2328310. Para o desenvolvimento deste trabalho, foram utilizadas imagens do satélite CBERS-4, lançado ao final de 2014; portanto as imagens utilizadas aqui foram as primeiras imagens sobre Foz e Jacareí sem cobertura de nuvens, obtidas no catálogo de imagens do INPE (disponível em <http://www.dgi.inpe.br/catalogo/>). A imagem de Foz do Iguaçu foi adquirida pelo satélite em 16/Jan/2015 (mostrada na Figura 1(a)) e a de Jacareí em 8/Jan/2015 (mostrada na Figura 1(b)).

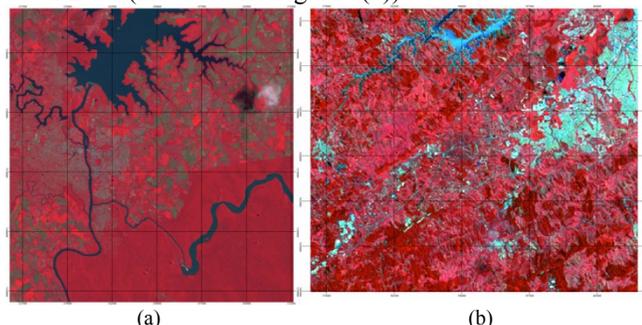


Figura 1. Imagens WFI CBERS-4 em composição 16(R),15(G), 14(B), onde os corpos de água aparecem em tons escuros e azulados. (a) Foz do Iguaçu; (b) Jacareí.

Para o desenvolvimento da metodologia em [2], foram extraídos os corpos de água das imagens RapidEye utilizando o algoritmo de K-Médias sobre as cinco bandas RapidEye. Estes corpos de água foram utilizados aqui também para analisar a estatística dos valores de Matiz e estão mostrados na Figura 2.

As imagens RapidEye utilizadas fornecem valores de radiância no sensor. Para as imagens WFI, os valores fornecidos são de número digital em 10 bits, entre 1 e 1023, com o zero sendo o valor nulo. A conversão entre este valor para radiância ou reflectância é necessária para garantir que os valores de limiar utilizados na metodologia sejam válidos em qualquer região e época do ano, uma vez que os valores de energia eletromagnética do Sol que incidem sobre os alvos na Terra variam temporalmente e geograficamente.

Medições de radiometria com o objetivo de calibrar as imagens do CBERS-4 foram realizadas em março de 2015 e utilizadas para gerar os fatores de conversão entre os valores digitais e a radiância no topo da atmosfera em [3]. Estes fatores de conversão foram implementados em um programa escrito na linguagem C++, utilizando a biblioteca de códigos da TerraLib [4] para obter a reflectância no topo da atmosfera para cada uma das bandas espectrais do sensor WFI.

A mesma biblioteca TerraLib foi utilizada para implementar outro programa em C++ para executar a conversão entre os sistemas de cores RGB e HSV, além de gerar imagens com valores máximos e mínimos entre as bandas do WFI. Um programa adicional, também em C++, foi escrito para gerar uma imagem baseada nos limiares definidos na metodologia aqui proposta. Decidiu-se ter 3 diferentes limiares, correspondendo a faixas de matiz no entorno da maioria dos valores de matiz sobre corpos de água. Os programas citados podem ser obtidos com o primeiro autor.

Os limiares definidos com o uso das imagens WFI de Foz do Iguaçu e Jacareí são apresentados junto à análise dos resultados obtidos com a aplicação dos programas na próxima seção. Os limiares foram aplicados ainda sobre a imagem da resposta à inundação no Chade e comparada com o mapa produzido para o Chade pela agência da ONU UNITAR (Disponível em: https://disasterscharter.org/image/journal/article.jpg?img_id=16074352&t=1666964315136) com imagem de 50 cm de resolução espacial da constelação Pleiades. Tanto a imagem Pleiades como a CBERS-4 foram obtidas no mesmo dia (21/Out/2021), com uma diferença de apenas cinco minutos entre elas, garantindo uma quase simultânea observação da inundação.

3. RESULTADOS

O primeiro passo da definição da metodologia consistiu em selecionar qual combinação das bandas do WFI (Banda 13 – azul, banda 14 – verde, banda 15 – vermelho, e banda 16 – Infravermelho próximo), devem ser utilizadas na conversão

RGB para HSV. Dado que em [2], foram utilizadas imagens do RapidEye que contém uma banda adicional chamada vermelho limitrofe, somente foram testadas as combinações com as bandas presentes no WFI que apresentam resultados melhores para a separação entre alvos com e sem água superficial em [2]. As combinações de bandas selecionadas para teste foram: 13,14,16; 13,15,16; e 14,15,16 (na ordem RGB). A

Nas Figura 2(a) até (c) estão apresentados os histogramas das componentes matiz (em radianos) da WFI de Foz do Iguaçu para as combinações citadas acima. Pode-se observar visualmente que a combinação 13,14,15, apresentada na Figura 2(a) apresenta o menor desvio padrão para os valores de pixel de não água (observe que na imagem da Figura 1(a) a maioria dos pixels são de não água) em comparação com as outras combinações.

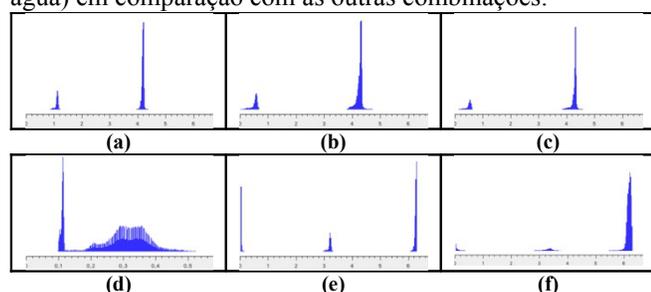
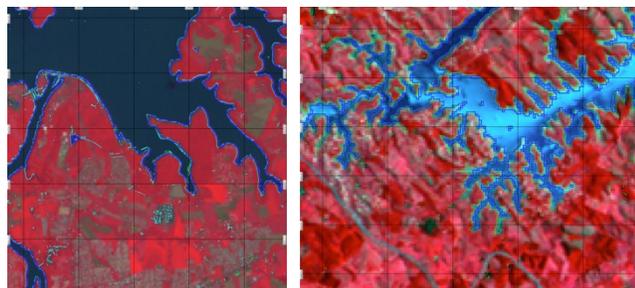


Figura 2. Histogramas dos valores na imagem de Foz do Iguaçu: (a) H da composição 13,14,16; (b) H da composição 13,15,16; (c) H da composição 14,15,16; (d) Máximo dos valores das bandas 13,14,15, e 16; (e) H da composição 16,13,14; e (f) H da composição 16,13,14 da imagem do Chade.

As áreas de água e não água definidas para Foz do Iguaçu em [2] (mostradas por seus limites na Figura 3(a)) foram utilizadas para calcular a média e desvio padrão destas áreas. As médias das combinações são próximas, mas o desvio padrão de não água na combinação 13,14,16 é a menor. Esta observação e a análise visual dos histogramas das Figuras 2(a) até (c) levaram à seleção da combinação de bandas 13,14 e 16 para o método.

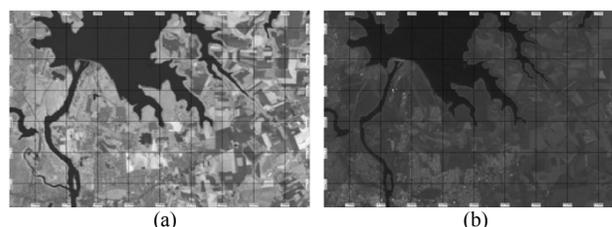
Observa-se no histograma da Figura 2(a) que os valores centrais do histograma correspondem aos alvos de não água. Valores centrais do histograma correspondendo à água facilita o processo de limiarização evitando que os valores de matiz de água não passem pela quebra de 2π para zero. Este histograma é obtido com o uso da combinação de bandas 16,13,14, como mostrado na Figura 2(e).



(a) (b)
Figura 3. Recorte das imagens de (a) - Foz do Iguaçu e (b) - Jacaréi. Em azul, os limites dos corpos de água extraídos com a metodologia proposta; em ciano, limites extraídos da RapidEye com KMédias; e em verde, os limites disponíveis em <http://www.dpi.inpe.br/waterbodies/>.

Na metodologia de [2], a imagem com valores mínimos das bandas é utilizado para evitar que falsos matizes, criados por valores muito altos de reflectância associados a nuvens, gerem falsos corpos de água. No entanto, como mostra a Figura 4, o valor de máximo de reflectância leva a uma maior separabilidade para estes casos. Observa-se que a imagem da Figura 4(a), correspondente a valores máximos, possui um contraste melhor do que a imagem da Figura 4(b) de mínimos. O histograma de máximos é apresentado na Figura 2(d).

Baseado nos histogramas da matiz da transformação RGB para HSV da combinação das bandas 16(R), 13(G) e 14(B) da Figura 2(d) e no histograma de máximos da Figura 2(e), definiu-se os corpos de água em imagens WFI do CBERS4 estão entre os valores de matiz 1 a 5 radianos se o valor máximo de reflectância estiver abaixo de 0.5. Uma vez que o programa de limiarização implementado permite criar três faixas de limiares, optou-se por definir uma faixa com maior possibilidade de ser corpo de água no entorno dos valores mais frequentes de matiz entre 2 e 4 radianos e duas outras faixas com menor possibilidade entre 1 e 2 radianos e entre 4 e 5 radianos. O contorno dos corpos de água detectados nas três faixas para a imagem de Foz do Iguaçu é apresentada em azul na Figura 3(a) e para a imagem Jacaréi na Figura 3(b).

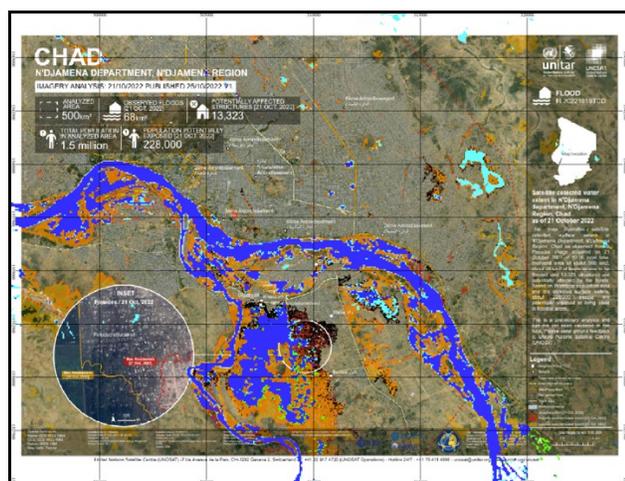


(a) (b)
Figura 4. Imagem de Foz do Iguaçu do valor: (a) máximo entre as reflectâncias das 4 bandas WFI e (b) mínimo das mesmas reflectâncias.

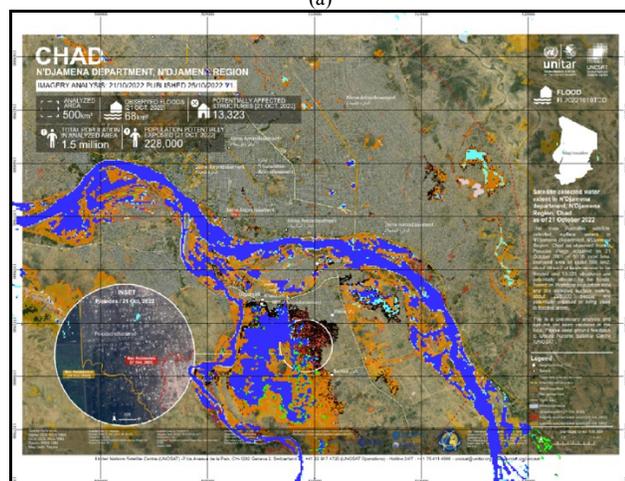
Os limiares definidos com o uso das imagens WFI de Foz do Iguaçu e Jacaréi foram aplicados à imagem sobre o Chade e a comparação com o mapa produzido pela UNITAR, no qual as áreas inundadas do Pleiades estão em tons de cor laranja, e as áreas inundadas estão em verde, azul e ciano para a imagem WFI, está na Figura 5(a). A análise visual mostra que algumas áreas, principalmente as onde uma lâmina pouco profunda de água da inundação cobre áreas urbanas e vegetação não são detectadas pelo método proposto. Assim, um ajuste foi realizado, estendendo os limiares de máximo até 0,525 e de matiz até 5,5 radianos. A Figura 5(b) mostra que houve uma melhoria na detecção com os novos limiares.

4. DISCUSSÃO

Este trabalho utilizou a metodologia já apresentada em [2], a qual foi implementada com sucesso para gerar a cobertura de corpos de água no Brasil. O uso da metodologia para extrair das imagens do sensor WFI requer ajustes nas combinações e nos limiares de definição de valores de matiz correspondentes a alvos do tipo água. Dado que as imagens WFI disponibilizadas são de valores digitais e não valores de radiância ou reflectância, a conversão se baseia no trabalho de calibração de [3], que considera somente o sensor WFI do CBERS-4.



(a)



(b)

Figura 5. Mapa produzido para o Chade pela agência da ONU UNITAR em resposta à ativação da Carta Internacional Espaço e Grandes Desastres, utilizando informações do satélite da constelação Pleiades, onde as áreas inundadas aparecem em

tons de laranja, com sobreposição dos corpos de água extraídos da imagem CBERS-4 em verde, ciano e azul. (a) Com limiares padrão e (b) com limiares relaxados. Copyright: © CNES (2022), distribution by Airbus DS; Source: Airbus DS

5. CONCLUSÕES

A adaptação da metodologia de [2] se mostrou possível para imagens do sensor WFI do CBERS-4, com o uso da mesma combinação de bandas (Infravermelho próximo, azul e verde). A principal vantagem do método é ter uma ampla faixa de valores de matiz H resultante da conversão de sistema de cores, entre 1 e 5 radianos.

Para as imagens de Foz do Iguaçu e Jacareí, os limiares entre 1 e 5 radianos se mostraram adequados quando associados com os pixels com máximo valor de reflectância em todas as bandas abaixo de 0,5. Quando aplicados à imagem sobre o Chade, foi necessário ampliar a faixa, mas esta ampliação não criou falsos positivos em uma análise visual comparativa.

Considera-se que devem ser realizados testes com outras imagens de regiões com alvos mais variados e com corpos de água com variações na espessura da lâmina, presença de sedimentos e vegetação aquática para verificar a robustez do método.

Adicionalmente, devem ser realizados testes de sensibilidade às variações de valores de reflectância, apesar de se ter uma intuição de ser baixa. Deve-se incluir aqui um esforço para estimar a reflectância das imagens WFI dos satélites CBERS-4A e AMAZONIA-1. Sugere-se que uma co-calibração usando imagens de mesma data sobre a mesma região.

8. REFERÊNCIAS

- [1] Pekel, J.-F.; Cottam, A.; Gorelick, N.; Belward, A.S. (2016). High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes. *Nature*, 540, 418–422, 2016
- [2] Namikawa, L. M., Körting, T. S., & Castejon, E. F. (2016). Water body extraction from Rapideye images: An automated methodology based on hue component of color transformation from RGB to HSV model. *Revista Brasileira de Cartografia*, 68(6), 1097-1111.
- [3] Pinto, C., Ponzoni, F., Castro, R., Leigh, L., Mishra, N., Aaron, D., & Helder, D. (2016). First in-flight radiometric calibration of MUX and WFI on-board CBERS-4. *Remote Sensing*, 8(5), 405.
- [4] Câmara, G., Vinhas, L., Ferreira, K. R., Queiroz, G. R. D., Souza, R. C. M. D., Monteiro, A. M. V., Carvalho, M. T., Casanova, M. A. & Freitas, U. M. D. (2008). TerraLib: An open source GIS library for large-scale environmental and socioeconomic applications. In *Open source approaches in spatial data handling* (pp. 247-270). Springer, Berlin, Heidelberg.