

Extração de máscara de água utilizando imagens da constelação RapidEye e *software* livre SPRING

Lucas Barbosa Cavalcante¹
Aline da Silva Inácio²
Wendell Santana Fagundes²
Heliofábio Barros Gomes¹

¹ Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Instituto de Ciências Atmosféricas – ICAT
Avenida Lourival de Melo Mota, s/n – Tabuleiro dos Martins, Maceió – AL, Brasil
CEP: 57072-900
{cavalcantelb, heliofab}@gmail.com

² Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Ciências Agrárias – CECA
BR 104, s/n – Rio Largo – AL, Brasil
CEP: 57100-000
alineinacio91@gmail.com
wendell-16@hotmail.com

Abstract. The use of remote sensing is a very effective and inexpensive way to obtain information on the physical environment. The information obtained through this technique in water resources becomes even more important in view of the degradation that the wellsprings are suffering and the likelihood of their absence in the medium term. In this sense, the main aim of this study is to apply the remote sensing technique to extract water mask through the high spatial resolution RapidEye satellite images, in order to subsidize the creation of new policies on water resources, well as the oversight with basis on current policies from the knowledge of the geolocation of water bodies. As a case study we apply the water mask extraction process for the Campo Alegre city, in the State of Alagoas, between the lower left (upper right) corner coordinates 783640,74 m E and 8900589,44 m N (809468,61 m E and 8925218,83 m N), with reference to the Universal Transverse Mercator (UTM) projection and as datum the Geocentric reference System for the Americas (SIRGAS 2000), belonging to the spindle 24S. The results showed a clearly delimited water mask, where it was possible to distinguish even small targets, providing a control of very precise sources.

Palavras-chave: remote sensing, image processing, open source, sensoriamento remoto, processamento de imagem, código aberto.

1 INTRODUÇÃO

Temos um planeta com área total de 510,3 milhões de quilômetros quadrados (510,3 milhões de km²), possuindo, 1,4 milhão de quilômetros cúbicos de água, desse total somente 2,5% são de água doce, encontrando-se quase 98% deste retido na forma de água subterrânea (GOMES, 2011).

O Brasil detém a maior reserva de água doce do mundo, a bacia Amazônica é fonte essencial para o planeta, tendo em vista o grande volume de água encontrada e a qualidade da mesma devido à baixa antropização da região. Somando-se a bacia Amazônica a outros mananciais brasileiros, o país apresenta aproximadamente 12% da água doce do mundo, alcançando assim o patamar de maior reserva hídrica do planeta (GOMES, 2011).

Mesmo com as condições supracitadas, o Brasil apresenta regiões que vem sofrendo ao longo dos anos por dificuldades ocasionadas em grande parte pela irregularidade do regime pluvial, a poluição dos mananciais hídricos, seu uso irracional e sem a gestão adequada. Um bom exemplo é o Nordeste brasileiro, em sua grande parte composto por rios sobre regime de

intermitência, suas formações geológicas não propiciam a retenção de água, além da pluviometria que se apresenta de forma regular o ano inteiro.

Um fator ainda mais preocupante é que, somado a todos os complicadores apresentados, a Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciências e Cultura (UNESCO), vem apresentando através de relatórios expostos em seus fóruns de água, que as reservas hídricas mundiais vem diminuindo de forma significativa ao longo dos anos, enquanto o consumo cresce continuamente. O que projeta a longo prazo, um cenário de bilhões de pessoas sem acesso à água potável.

É notório que seguindo o andamento atual de consumo hídrico, a escassez de água potável é um cenário muito provável dentro de alguns anos. Diante do exposto, é necessário que sejam criados e utilizados métodos com os quais se possa facilitar o uso e gestão dos mananciais existentes, além de possibilitar a espacialização dos mesmos. Visando facilitar a fiscalização de áreas de preservação e a criação de políticas públicas voltadas à conservação dos recursos hídricos.

Com esta crescente demanda e em um cenário que os recursos financeiros estão cada vez mais escassos, o sensoriamento remoto apresenta-se como uma importante ferramenta para alcançar resultados satisfatórios. Tendo em vista sua evolução constante e a colocação em órbita de sensores cada dia mais avançados. O que propicia agilidade no processo e alcance de resultados em um curto intervalo de tempo e de forma menos onerosa.

Isto posto, a presente pesquisa tem por objetivo a aquisição de máscaras de água, extraídas através do cálculo de índices estimados a partir de imagens da constelação RapidEye e utilizando-se o *software* livre e de código aberto SPRING (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas) (CAMARA *et al.*, 1996) desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, visando subsidiar o uso e gestão dos recursos hídricos.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Área de Estudo

A área de estudo é definida pelo município de Campo Alegre, localizado no Nordeste do Brasil, especificamente no estado de Alagoas (Figura 01). O município pertence à mesorregião do Leste Alagoano e à microrregião São Miguel dos Campos, tendo como municípios limítrofes: Boca da Mata, São Miguel dos Campos (Leste); Limoeiro de Anadia, Junqueiro, Teotônio Vilela (Oeste); Anadia (Norte) e Jequiá da Praia (Sul).

Campo Alegre possui segundo o IBGE (2015) uma população estimada para o ano de 2015 de 56.430 habitantes. Pelo censo de 2010 possuía 50.816 habitantes, apresentando assim um crescimento de aproximadamente 5.614 habitantes em 5 anos. Ainda segundo o IBGE (2015) o município apresenta uma área total de 313,573 km², o que equivale a uma densidade demográfica de 172,20 hab/km².

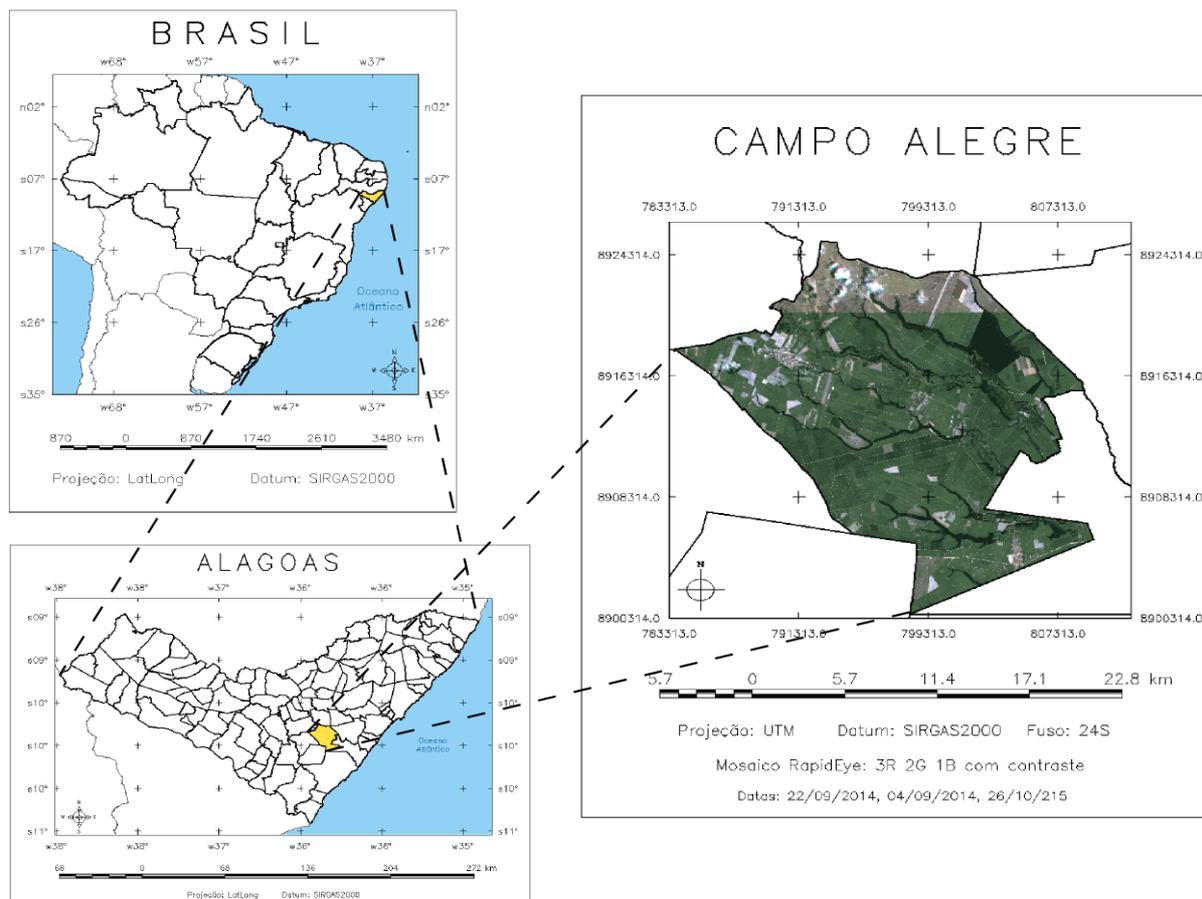


Figura 01: Mapa de localização do município de Campo Alegre – AL. Fonte: elaborado pelo autor.

O município de Campo Alegre está localizado entre as coordenadas de canto inferior esquerdo 783640,74 m E e 8900589,44 m N e superior direito 809468,61 m E e 8925218,83 m N, tendo como referência a projeção Universal Transversa de Mercator (UTM) e como *datum* o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas 2000 (SIRGAS2000), pertencendo ao fuso 24 S.

2.2 Hipsometria e declividade do município de Campo Alegre

Com o intuito de melhor caracterizar o município estudado, foram extraídas a hipsometria e a declividade através da utilização de imagens da missão SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) as quais foram obtidas através do sítio <<http://earthexplorer.usgs.gov>>, onde pode ser realizado o *download* das imagens de radar em formato *.tif.

O projeto SRTM foi uma ação conjunta da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), *National Imagery and Mapping Agency* (NIMA), *Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt* (DLR) e a *Agenzia Spaziale Italiana* (ASI) e segundo Zyl (2001). O objetivo desse projeto foi produzir dados topográficos de 80% da superfície da Terra, abrangendo as longitudes 60° N a 57° S.

Através da análise do mapa hipsométrico (Figura 02), é notório que o município de Campo Alegre não possui diferenças abruptas de relevo, a mínima hipsometria alcançada obteve valor de 16,13 m e a máxima de 201,26 m, com uma média de 146,36 m. Analisando o histograma de hipsometria (Figura 03) notasse um relevo bastante homogêneo, com suas maiores variações de frequência entre 100 e 120 m. As faixas com maiores áreas no território apresentam variações entre 136 e 151 e; 151 e 166, com um espaço total ocupado de 67,57 km² e 65,93 km², respectivamente.

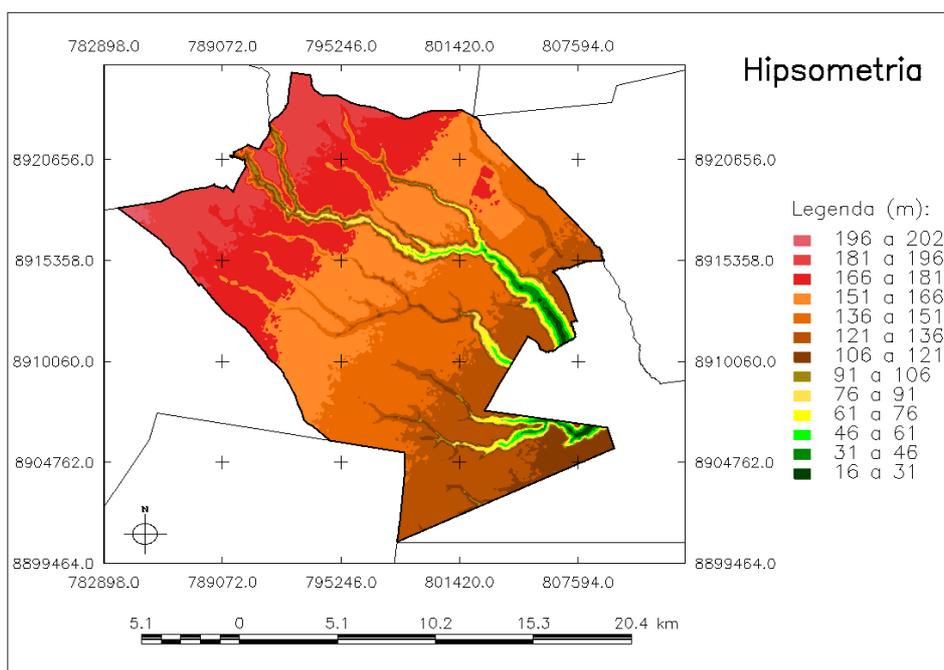


Figura 02: Mapa de hipsometria para o município de Campo Alegre – AL. Fonte: elaborado pelo autor.

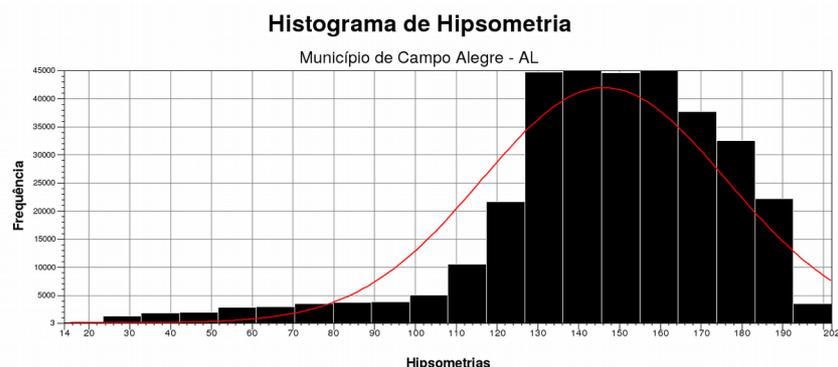


Figura 03: Histograma da hipsometria do município de Campo Alegre – AL. Fonte: elaborado pelo autor.

Na Figura 04 é apresentado o mapa de declividade de Campo Alegre, visando ratificar a condição de município com característica de relevo predominantemente plana, já apresentado pelo mapa hipsométrico, optou-se por classificar a declividade seguindo a proposta da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 1999), onde as classes seguem o estabelecido na Tabela 01.

Tabela 01: Classificação declividade segundo a EMBRAPA

Classes	Declividade (%)
Plano	0 - 3
Suave Ondulado	3 - 8
Ondulado	8 - 20
Forte Ondulado	20 - 45
Montanhoso	45 - 75
Escarpado	> 75

Fonte: EMBRAPA (1999).

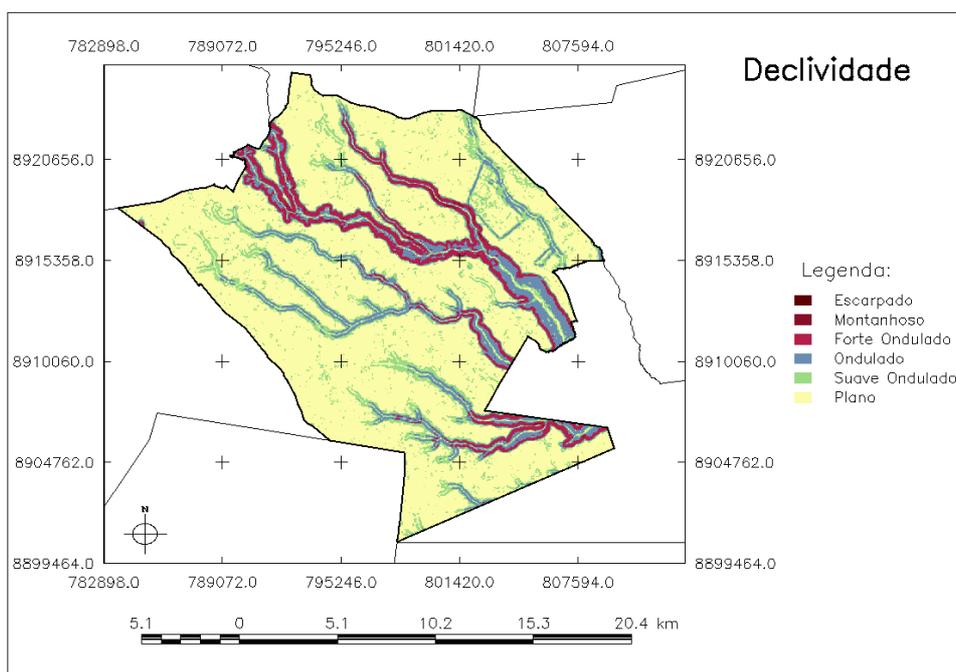


Figura 04: Mapa de declividade para o município de Campo Alegre – AL. Fonte: elaborado pelo autor.

Analisando as estatísticas do mapa de declividade (Figura 04) encontrou-se que a máxima declividade alcançada é de 61,94%, obtendo uma média de 5,07%. Quando verificado as áreas ocupadas de cada classe, a denominada Plano, alcançou 214,11 km², ou seja, 68,28% da área total do município.

2.3 Dados utilizados

Para a realização da presente pesquisa foram utilizadas imagens advindas da constelação RapidEye, obtidas pelo sensor REIS (*RapidEye Earth Imaging System*) e adquiridas através do Geo Catálogo do Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2015), através do sítio <[http://http://geocatalogo.mma.gov.br/](http://geocatalogo.mma.gov.br/)>. O sensor REIS possui 5 bandas espectrais: azul, verde, vermelho, *red-edge* e infravermelho próximo; uma resolução temporal de 5,5 dias, radiométrica de 12 *bits* e espacial de 5 m (Labs, 2015).

Segundo INÁCIO (2016), o maior diferencial do RapidEye está vinculado a não se tratar de um único satélite e sim uma constelação de cinco satélites idênticos, em órbita sincronizada e heliossíncrona igualmente espaçada (Figura 05).



Figura 05: Esquema da órbita da constelação RapidEye. Fonte: Inácio (2016).

As cenas utilizadas nesta pesquisa pertencem aos identificadores por número 2434627, 2434527 e 2434526, referentes às datas de 26/10/2015, 22/09/2014 e 04/09/2014 respectivamente.

Para o processamento das imagens foi utilizado o *software* livre e de código aberto SPRING em sua versão 5.3, rodando no sistema operacional Debian em sua versão 8 com arquitetura de 64 *bits*. O SPRING é um Sistema de Informações Geográficas (SIG) com funções robustas de processamento digital de imagens (PDI), desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Visando a política de utilização de ferramentas livre, nesta pesquisa, utilizou-se o Sistema Gerenciador de Banco de Dados (SGBD) PostgreSQL.

2.4 Metodologia

Todo o processo metodológico para a extração das variáveis pertinentes ao objetivo final que é a extração da máscara de água do município de Campo Alegre, está expresso no diagrama abaixo (Figura 06), logo em seguida todos os passos são explicados de forma detalhada.

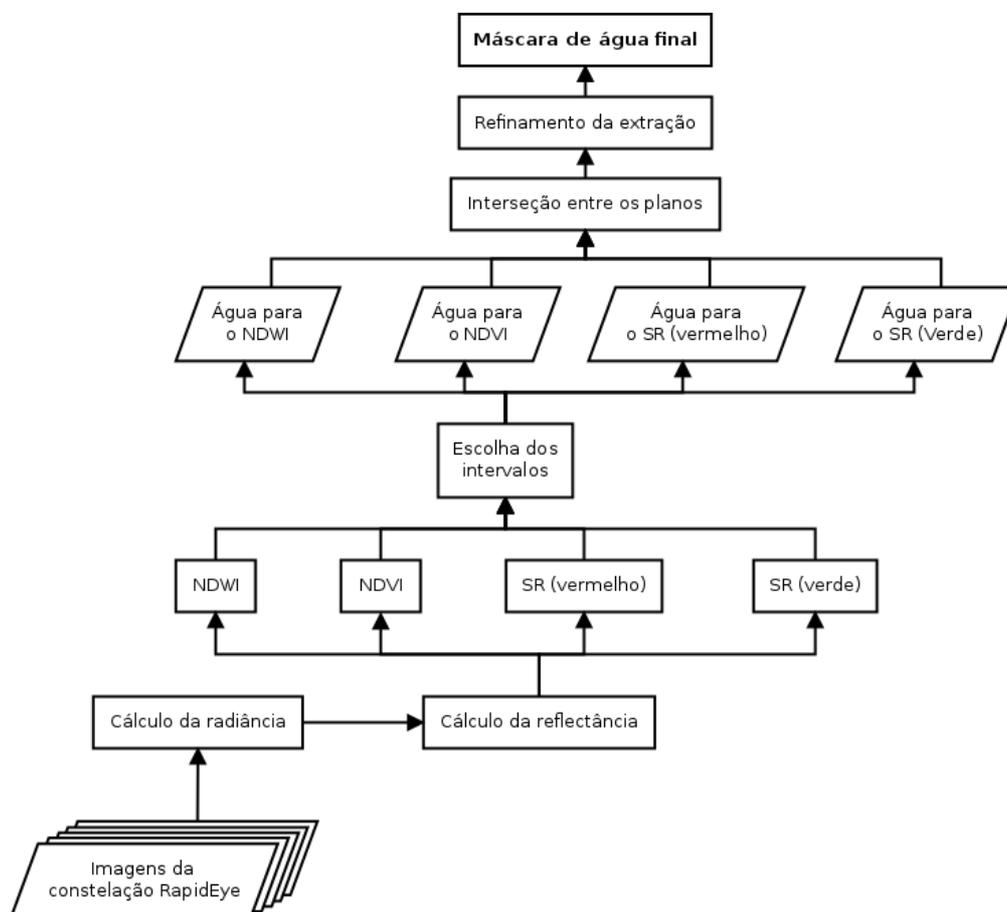


Figura 06: Diagrama metodológico para a extração de máscara de água. Fonte: elaborado pelo autor

2.4.1 Conversão de Números Digitais (ND) para reflectância

As etapas para conversão de números digitais em reflectância seguiram os passos desenvolvidos por Inácio (2016), que implementou, se utilizando da Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico (LEGAL), presente no *software* SPRING, todas as etapas necessárias para a conversão supracitada.

Inicia-se o processo com o cálculo da radiância espectral, sendo está calculado conforme a Equação 01 (SIMPLICIO; SILVA, 2013):

$$RAD_{(i)} = DN_{(i)} \cdot radiometricScaleFactor_{(i)} \quad (1)$$

Onde RAD corresponde ao valor da radiância, i é o número da banda espectral e o *radiometricScaleFactor* é um fator de escala com valor equivalente a $9,99999977648282 \cdot 10^{-3}$.

Prosseguindo a conversão, calcula-se a reflectância espectral no topo da atmosfera, utilizando-se os valores de radiância já obtidos, conforme a Equação 02 (SIMPLICIO; SILVA, 2013):

$$REF_{(i)} = RAD_{(i)} \cdot \frac{\pi \cdot SunDist^2}{EAI_{(i)} \cdot \cos(SolarZenith)} \quad (2)$$

Sendo REF o valor da reflectância, *SunDist* o inverso do quadrado da distância Terra-Sol (em unidades astronômicas), *SolarZenith* é o ângulo solar zenital (90° - elevação solar) e o EAI a irradiância solar na exoatmosfera, com valores constantes conforme Tabela 02.

Tabela 02: Irradiância Solar da Exoatmosfera (EAI)

Bandas	Irradiância solar na exoatmosfera (EAI)
1	1997,8
2	1863,5
3	1560,4
4	1395,0
5	1124,4

Fonte: Blackbridge (2015).

2.4.2 Cálculo dos Índices de Vegetação

Utilizando-se do algoritmo implementado por Inácio (2016), foram acrescentados os índices que se optou por utilizar nesta pesquisa, a escolha baseou-se em artigos presentes na literatura que tratavam de índices que tivessem respostas bem distintas para vegetação e corpos d'água. Tendo em vista que o objetivo final desta pesquisa é a extração automática de uma máscara de água.

Diante do exposto, o primeiro índice escolhido para o processo de extração foi o Índice de Diferença Normalizada da Água (*Normalized Difference Water Index*), conhecido pela sigla NDWI, que é expresso pela Equação 03 (MCFEETRS, 1996):

$$NDWI = \frac{(Vermelho - Infravermelho Próximo)}{(Vermelho + Infravermelho Próximo)} \quad (3)$$

Os valores de NDWI variam de -1 a 1, segundo Brenner e Guasselli (2013), se $NDWI \geq 0$ a cobertura é água; caso $NDWI < 0$ é não água. Diferente da equação proposta por Gao (1996), que se utilizava das reflectâncias do infravermelho próximo (IVP) e do infravermelho médio (IVM), para está pesquisa utilizou-se a reflectância do verde (V) em substituição à reflectância do infravermelho médio. Esta opção ocorreu primeiramente pela

inexistência da banda do IVM no sensor REIS e pelos bons resultados alcançados por Cinquini e Azevedo (2012) com esta substituição na separação de áreas alagadas.

Outro índice escolhido para compor o processo de extração foi o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index*) – NDVI. Segundo Fagundes e Torres (2015), tal índice foi proposto por Rouse *et al.* (1973) (Equação 04), e tem como objetivo ser um indicador da densidade do verdor vegetativo. Possui valores que variam de -1 a 1, onde os inferiores a 0 são considerados corpos d’água e os valores entre 0 e 1 representam de forma crescente o verdor da vegetação.

$$NDVI = \frac{(Infravermelho\ Pr\u00f3ximo - Vermelho)}{(Infravermelho\ Pr\u00f3ximo + Vermelho)} \quad (4)$$

Por último, optou-se por utilizar, o Índice de Razão Simples (*Simple Ratio*) – SR. Este índice pioneiro, proposto por Jordan (1969), trata da razão entre a reflectância do infravermelho próximo (IVP) e do vermelho (V) (Equação 05). Segundo Fagundes e Torres (2015) os valores de SR são sempre maiores que 1, quanto maior, mais é a indicação da presença de vegetação.

$$SR_{Vermelho} = \frac{Infravermelho\ Pr\u00f3ximo}{Vermelho} \quad (5)$$

Nesta pesquisa também realizou-se o Índice de Razão Simples através da razão entre a reflectância do infravermelho próximo e a do verde (Equação 06), com a finalidade de compreender também a relação de absorção da luz nesta faixa do espectro eletromagnético.

$$SR_{Verde} = \frac{Infravermelho\ Pr\u00f3ximo}{Verde} \quad (6)$$

2.4.3 Modelo para extração de máscara de água

Depois de extraídos através da álgebra de mapas todos os índices supracitados, foi necessária a análise estatística de cada um deles visando estipular os intervalos que compreendiam os corpos d’água. Os intervalos escolhidos para cada um, podem ser vistos na Tabela 03.

Tabela 03: Intervalos determinados como corpos d’água

Índices	Intervalo adotado para água
NDWI	Maior ou igual a 0
NDVI	Menor que 0
SR (Vermelho)	Menor que 1
SR (Verde)	Menor que 1

No SPRING foi realizado fatiamento das estimativas do NDWI, NDVI, SR (Vermelho) e SR (Verde) seguindo os valores da Tabela 03. Como resultado deste fatiamento foram confeccionados mapas contendo a máscara de água de cada índice. O próximo passo foi realizar a interseção de todas as máscaras, criando assim um único plano de informação (PI) contendo a junção das máscaras dos quatro índices analisados, completando assim o processo de extração automática de máscara de água. Como refinamento do processo, a máscara

extraída foi analisada e comparada sobrepondo-a a composição colorida das bandas 4, 5 e 1 do RapidEye, sendo realizada uma edição vetorial para corrigir as discrepâncias encontradas.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 07 mostra os mapas resultantes da extração das máscaras de água por índices calculados. Como pode ser visto, cada índice apresenta uma máscara distinta, tal resultado já era esperado tendo em vista que os níveis de absorção de luz em cada banda do espectro eletromagnético se comportam de uma forma distinta, logo, a álgebra entre estas bandas também leva esta propriedade.

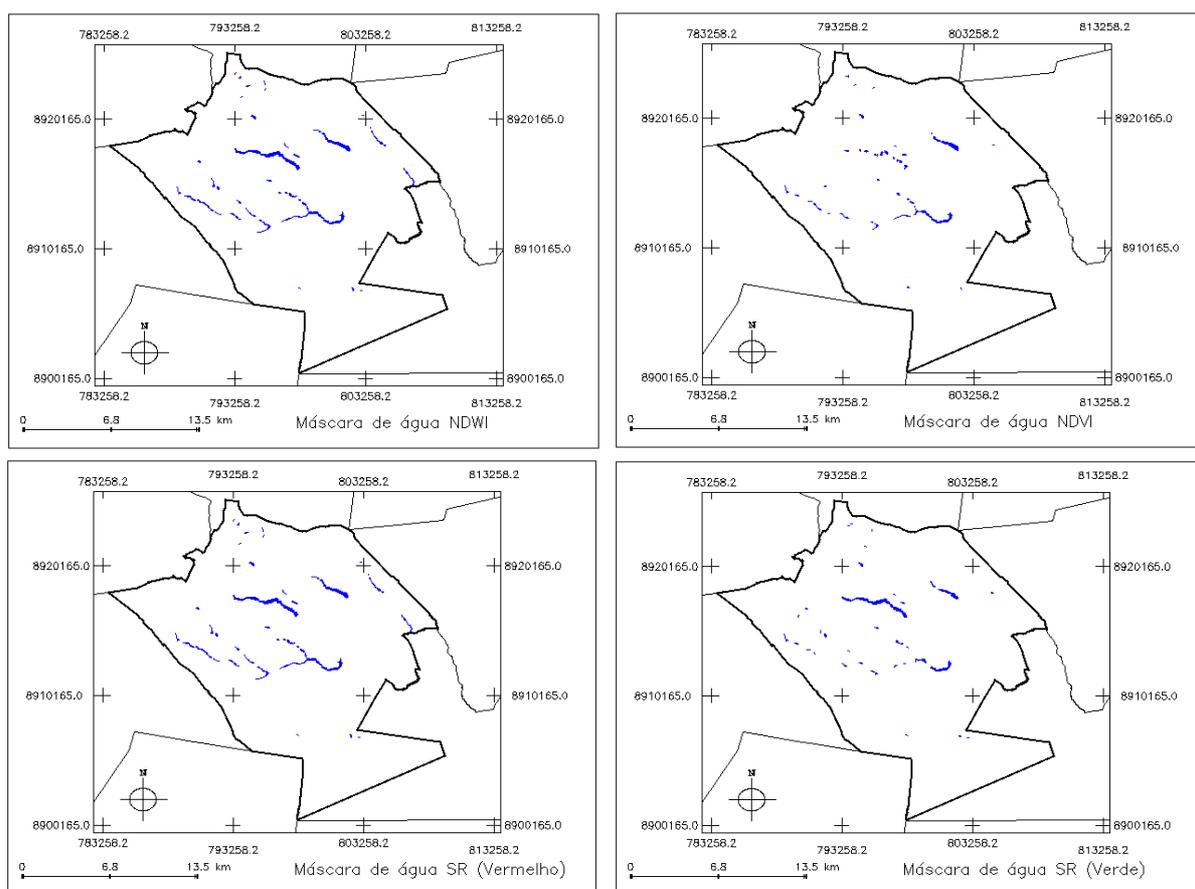


Figura 07: Mapas com as máscaras de água extraídas por índice. Fonte: elaborado pelo autor

Na Figura 08 é apresentado o mapa com a interseção das máscaras de água para o município de Campo Alegre, esta é a máscara bruta com a extração realizada de forma automática através da álgebra de mapas.

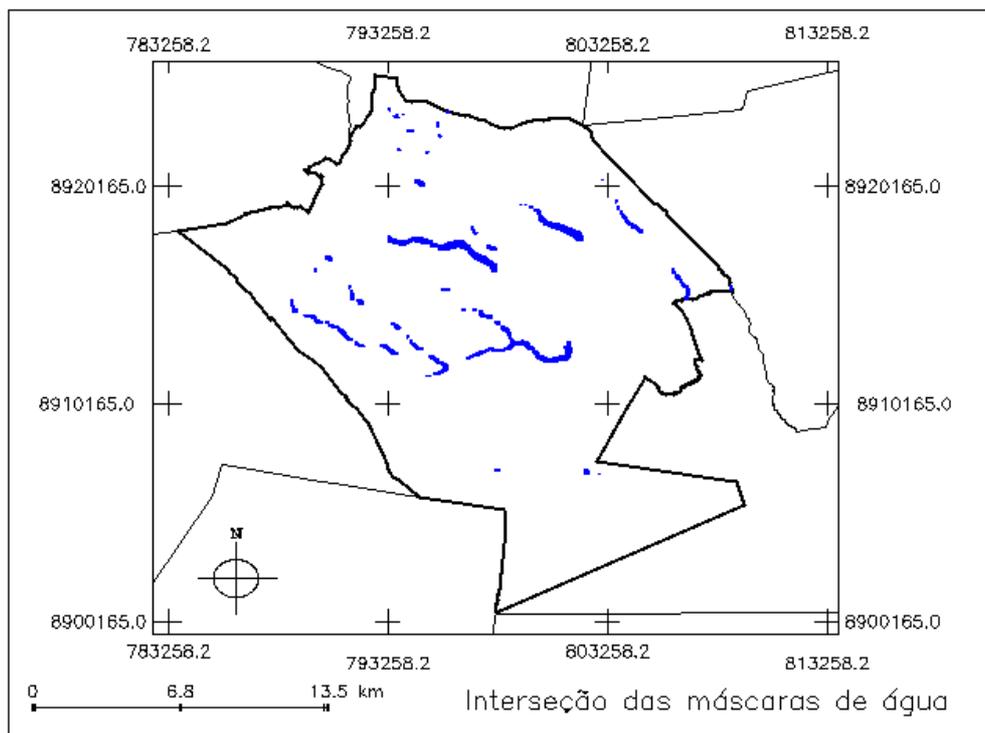


Figura 08: Interseção das máscaras de água. Fonte: elaborado pelo autor.

Para validar o processo realizado, foram distribuídos 200 pontos amostrais aleatórios dentro das massas de água extraídas (Figura 09), sendo posteriormente verificada a posição dos mesmos. Assim foram contabilizados os pontos que realmente eram corpo d'água e os que estavam em área de não água, alcançando 190 pontos corretos e 10 pontos incorretos. Obtendo-se assim 90% de acertos da máscara de água gerada por esta pesquisa.

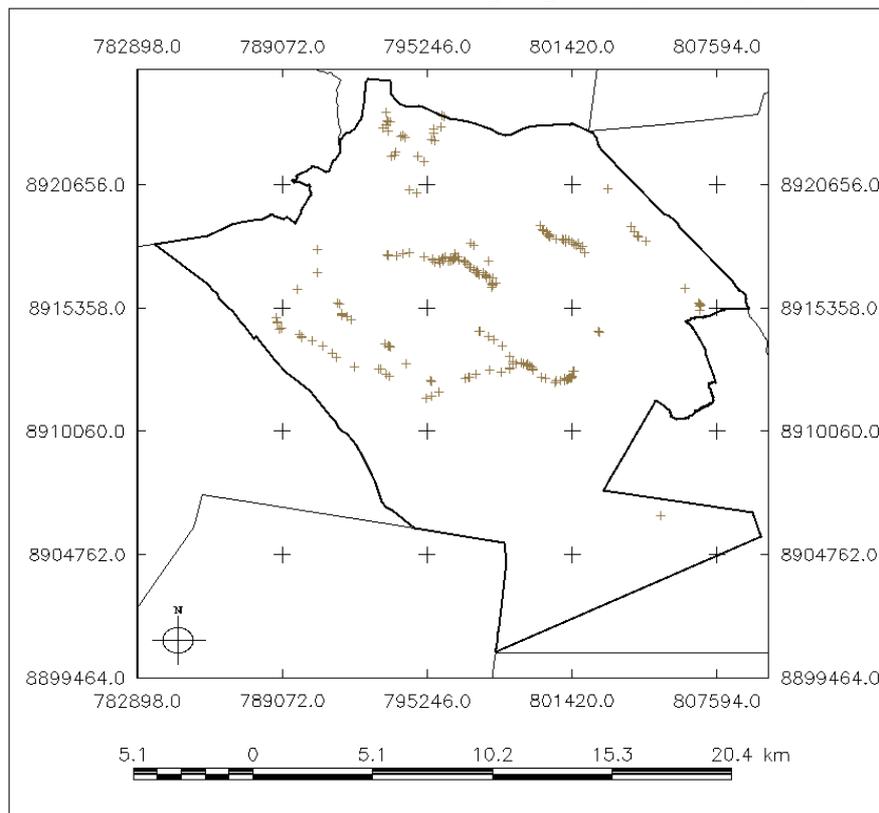


Figura 09: Localização das amostras. Fonte: elaborado pelo autor.

Com a finalidade de refinar a máscara de água, a mesma foi sobreposta à imagem RapidEye em composição colorida 4, 5. 1; composição esta que ressalta bastante os corpos d'água e a vegetação. Assim as áreas de não água foram melhores discriminadas, por fim todas as áreas não pertencentes a corpos d'água passaram por um processo de edição vetorial, onde as mesmas foram excluídas do plano de informação. As áreas com maior discrepância estavam no extremo Norte do município pela presença de nuvem nas imagens capturadas (Figura 01), o que gera erro das reflectâncias obtidas, e por consequência, erro na extração.

Na Figura 10, para comprovar a extração da máscara de água, são apresentados recortes das imagens em composição colorida, um em forma bruta e outra com a sobreposição da máscara. É notório que até mesmo pequenos corpos d'água não deixaram de ser captados na máscara, o que mostra sua eficiência e qualidade de extração com as imagens do RapidEye.

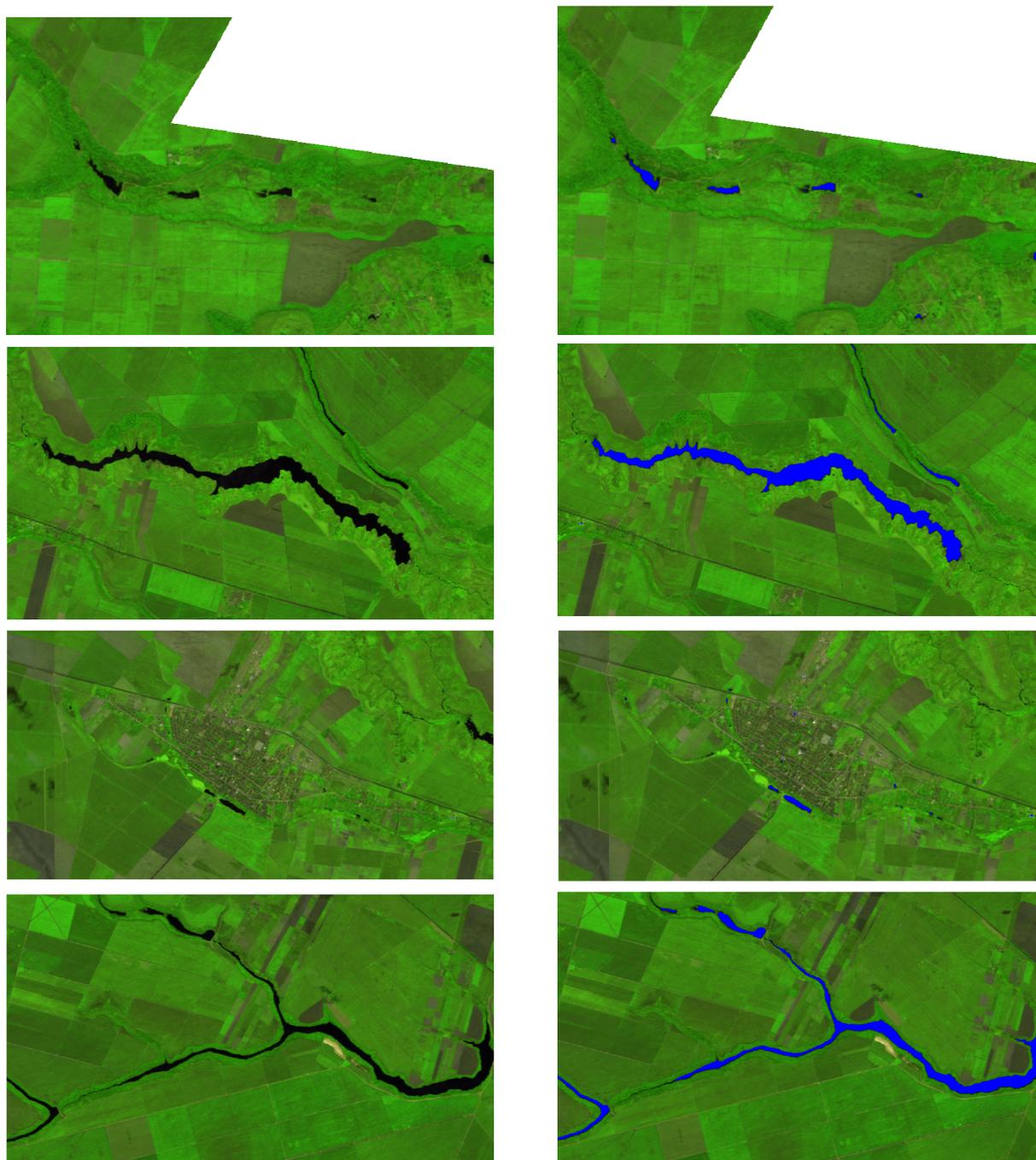


Figura 10: Recortes da imagem RapidEye do município de Campo Alegre e sua sobreposição a máscara de água extraída nesta pesquisa. Fonte: elaborado pelo autor.

4 CONCLUSÃO

Analisando todas as variáveis estudadas nesta pesquisa, é notório que a utilização das imagens captadas pelo sensor REIS do RapidEye, apresentam resultados satisfatórios para a extração de máscaras de água. Sua média resolução espectral de 5 bandas, média resolução radiométrica de 12 *bits* e alta resolução espacial de 5 metros, conseguem discernir até mesmo pequenos corpos d'água depois de processadas.

Com a abertura das imagens do RapidEye por parte do Ministério do Meio Ambiente, mediante cadastro, a utilização das mesmas torna-se bastante viável em estudos que necessitem do entendimento das modificações da superfície terrestre, controle de recursos hídricos e meio ambiente, tendo em vista a disponibilidade de quatro anos consecutivos de imagens e o custo zero.

A qualidade alcançada da máscara de água através do processo apresentado, mostra que a mesma pode ser utilizada para geração de políticas de gestão dos recursos hídricos, análise de áreas de preservação de mananciais, além da compreensão geoespacial por parte de gestores e órgãos competentes da localização dos recursos hídricos, seja a nível municipal, estadual ou federal, o qual pode auxiliar nas fiscalizações e cumprimentos das leis ambientais vigentes.

Por fim, a combinação das imagens RapidEye com a utilização de um *software* livre, nacional e de código aberto, como o SPRING, se mostrou bastante eficiente para a geração dos produtos propostos nesta pesquisa, possuindo todo o suporte necessário para a realização das etapas apresentadas, principalmente, pela existência da linguagem LEGAL que facilita a realização da álgebra de mapas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRENNER, V. C., & GUASSELLI, L. A. Índice de diferença normalizada da água (NDWI) para identificação de meandros ativos no leito do canal do rio Gravataí/RS—Brasil.

BLACKBRIDGE. Satellite Imagery Product Specifications. 2015. Disponível em: <<http://blackbridge.com/>>. Acesso em: 07 mai 2016.

CÂMARA, Gilberto, *et al.* "SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling." *Computers & graphics* 20.3 (1996): 395-403.

CINQUINI, J.; Azevedo, A. Estimativa de áreas alagadas no período de seca e cheia em ottobacia no município de Corumbá/MS, utilizando NDVI, NDWI e atributos de textura em imagens Landsat/TM. In: Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, 4, 2012, Bonito/MS, **Anais...** Brasília: EMBRAPA, 2012. Artigos p. 71-80.

EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. [S.l.]: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1999. 412 p.

FAGUNDES, W. S.; TORRES, M. L.. Análise conceitual dos Índices de vegetação e sua relação com a natureza espectral dos vegetais. In: ALAGOAS, Simpósio Sobre As Geotecnologias e Geoinformação no Estado de. **Anais do 3º GeoAlagoas - Simpósio sobre as geotecnologias e geoinformação no Estado de Alagoas (2015)**. Maceió: Seplag, 2015. p. 74-81. Disponível em: <<http://dados.al.gov.br/dataset/anais-do-geoalagoas/resource/a2aa1016-33da-4e3a-b3bc-85804ddb58e7>>. Acesso em: 07 maio 2016.

GAO, B.C. NDWI – A Normalized Difference Water Index for remote sensing of vegetation liquid water from space. **Remote Sensing of Environment**, v.58, p.257-266, 1996.

GOMES, M. A. F. **Água: sem ela seremos o planeta Marte de amanhã**. 2011. Disponível em: <http://webmail.cnpma.embrapa.br/down_hp/464.pdf>. Acesso em: 05 maio 2016.

IBGE. Informação Completa das Cidades. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2015. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/home.php>>. Acesso em: 23 fev 2015.

INÁCIO, A. S.. **Análise qualitativa do índice de vegetação por diferença normalizada (ndvi) extraído a partir de imagens rapideye e utilizando-se de software livre – estudo de caso município de são miguel dos campos/al.** 2016. 89 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Agrimensura, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2016.

LABS, P. RapidEye. 2015. Disponível em: <<https://www.planet.com/>>. Acesso em: 05 mai 2016.

MCFEETERS, S.K. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. International Journal of Remote Sensing, v.17, n.7, p.1425-1432, 1996.

MMA. Geo Catálogo Ministério do Meio Ambiente. 2015. Disponível em: <<http://geocatalogo.ibama.gov.br/>>. Acesso em: 01 mai 2016.

SIMPLICIO, B. F.; SILVA, A. J. F. M. Avaliação da influência da correção atmosférica no cálculo do índice de vegetação ndvi em imagens landsat 5 e rapideye. XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, p. 1442–1449, 2013.

ZYL, J. J. V. The shuttle radar topography mission (srtm): a breakthrough in remote sensing of topography. Acta Astronautica, Elsevier, v. 48, n. 5, p. 559–565, 2001.