SUPER-RESOLUÇÃO DE IMAGENS CBERS 04A ADQUIRIDAS SOBRE A FLORESTA AMAZÔNICA UTILIZANDO IMAGENS WORLDVIEW-2 E REDES ADVERSÁRIAS GENERATIVAS (GANS)

Rodrigo Souto Maior¹, Francisco V. D'Elia², Matheus Pinheiro Ferreira³

^{1,3} Seção de Engenharia de Defesa, Instituto Militar de Engenharia, Praça General Tibúrcio 80, CEP: 22290-270, Rio de Janeiro - RJ, Brasil. {souto.rodrigo;matheus}@ime.eb.br

² Bioverse Tecnologia e Inovação em Monitoramento Ambiental, Alameda dos Anapurus 1473, CEP: 04087-005 São Paulo -

 $SP\, {\tt francisco@bioverse.io}$

RESUMO

Imagens de altíssima resolução (pixel ≤ 0.5 m) como as do satélite WorldView-2 (WV-2) fornecem informações detalhadas sobre a superfície terrestre, permitindo, por exemplo, o mapeamento de árvores ao nível de copas individuais. Entretanto, tais imagens possuem custos elevados, restringindo sua utilização. Este trabalho propõe um método para elevar a resolução espacial de imagens gratuitas do satélite CBERS 04A (pixel = 2 m), visando melhorar a visualização de alvos. O método consiste na geração de imagens de super-resolução do CBERS 04A por meio do modelo super-resolution generative adversarial network (SRGAN) treinado exclusivamente com imagens WV-2. Os resultados mostram que houve uma tendência de melhora nos índices de similaridade com o uso da SRGAN em relação à superamostragem por interpolação bicúbica. As imagens geradas pela SRGAN apresentaram efeito de borda, entretanto não foram encontrados outros artefatos ou problemas. Testes futuros irão se concentrar na utilização da parte mais interna das imagens, podendo minimizar o efeito de borda.

Palavras-chave – Super-resolução, SRGAN, interpolação bicúbica, imagens óticas de satélite.

ABSTRACT

Very high resolution images (pixel $\leq 0.5 m$ *) like the ones from* WorldView-2 (WV-2) satellite provides detailed information about the earth surface, enabling, for example, the mapping of trees at individual crown level. However, these imagery have high costs, restricting their usage. This work proporses a method for increase the spatial resolution of free imagery from CBERS 04A satellite (pixel = 2 m), aiming at enhancing feature visulization. The method consists in generating superresolution images from CBERS 04A by the super-resolution generative adversarial network (SRGAN) model exclusevely trained with WV-2 imagery. The results showed a tendency of improvement in similarity indexes when using SRGAN in comparison to bicubic upsampling. The images generated by the SRGAN showed a border effect, although no other artifacts or issues were found. Future tests will focus in using the innermost part of the images, possibly minimizing the border effect.

Key words – *Super-resolution, SRGAN, bicubic interpolation, optical satellite images.*

1. INTRODUÇÃO

Informações da distribuição espacial de castanheiras-do-Pará (Bertholletia excelsa) nas regiões amazônicas brasileiras desempenham papel crucial no que tange às práticas de manejo e conservação. Segundo [1], esta espécie arbórea pode ser mapeada de forma acurada por meio do uso de imagens óticas de altíssima resolução (ground sample distance (GSD) ≈ 0.3 m) do satélite WorldView-3 usandose redes neurais convolucionais. Entretanto, imagens da série WorldView são caras (> \$ 1,000 USD) e usualmente não disponíveis para áreas remotas de florestas tropicais. Uma alternativa seria o uso de imagens orbitais gratuitas, como as de menor resolução do satélite CBERS 04A (GSD = 2.0 m), e utilizar um método para aumentar a resolução destas. O estudo realizado por [2], propôs o modelo improved super-resolution generative adversarial network (ISRGAN), capaz de aumentar em quatro vezes a resolução de imagens de satélites. Os autores obtiveram um aumento de 15% na exatidão da classificação da cobertura terrestre com uso da ISRGAN, em relação à classificação feita diretamente nas imagens sem super-resolução. O modelo ISRGAN foi baseado no modelo SRGAN, elaborado por [3].

O presente estudo visa utilizar o modelo SRGAN em imagens da banda pancromática CBERS 04A de forma a alcançar a resolução de imagens WorldView-2. O modelo será treinado com imagens WV-2 de áreas com ocorrência de *B. excelsa*. Então, a parte geradora da rede treinada será aplicada nas imagens CBERS 04A. Será feita uma análise utilizando o gráfico de funções de custo do gerador e discriminador para o treinamento, além da relação sinal-ruído de pico (PSNR: Peak Signal-to-Noise Ratio) e do índice de similaridade estrutural (SSIM: Structural SIMilarity) para a parte de geração.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Imagens de satélite

Neste trabalho, foram adquiridas imagens WV-2 e CBERS 4A sobre a região de terras indígenas Kayapó, localizada no estado do Pará, no sudeste da Amazônia brasileira.

WorldView-2 é um satélite imageador pertencente à empresa DigitalGlobe, lançado em 8 de outubro de 2009. Sua banda pancromática possui resolução espacial de 0.5 m. O WV-2 possui 8 bandas multiespectrais na região do visível e infravermelho próximo (400-1000 nm) [4]. Para as imagens WV-2 deste estudo, foi escolhida a banda pancromática. Uma

coleção de imagens sem nuvens foi adquirida em 11 de julho de 2011.

CBERS 04A, o sexto satélite da família CBERS, foi lançado em 20 de dezembro de 2019 [5]. Concebido pelo programa CBERS (*China-Brazil Earth Resources Satellite*), consiste numa parceria entre o Brasil e a China desde 1988. Visa desenvolver tecnologia em sensoriamento remoto e é tecnicamente liderado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e a instituição chinesa *Chinese Academy of Space Technology* (CAST) [6].

As imagens CBERS 04A neste estudo são provenientes da câmera multiespectral e pancromática de ampla varredura (WPM), consistindo de 4 bandas multiespectrais com 8 m de resolução espacial e 1 banda pancromática com 2 m de resolução espacial. As imagens possuem resolução radiométrica de 10 bits. O tempo de revisita do satélite é de 31 dias [7]. Existem imagens de diversas datas disponíveis, entretanto muitas possuem nuvens. Foram escolhidas imagens datando de 5 de agosto de 2020, por não apresentarem nuvens. As imagens adquiridas já haviam recebido correção radiométrica, correção geométrica, refinamento com pontos de controle e ortorretificação (produto com nível 4 de processamento - L4) [8].

2.2. Pré-processamento

A proporção entre a resolução espacial das imagens de baixa e de alta resolução precisa ser exatamente 4:1. As imagens WV-2 possuem na verdade resolução espacial de 0.4848291277885437012 m e as imagens CBERS possuem uma resolução de 2.0 m. Foi realizada uma subamostragem das imagens WV-2 para a resolução de 0.5 m. O método de interpolação escolhido foi o vizinho mais próximo. Para minimizar deslocamentos entre as duas imagens, foi realizado um registro entre elas. Para isso, as imagens WV-2 foram tomadas como referência e foi utilizada a transformação linear.

2.3. Super-resolução pela SRGAN

Conforme [3], a SRGAN pode usar imagens não vistas de baixa resolução para gerar imagens de alta resolução em um fator de quatro, ou seja, eleva a resolução em quatro vezes. Para isso, a rede deve ser treinada recebendo imagens de alta resolução que são internamente subamostradas num fator de escala de 1:4, de forma a se obter um par de imagens com alta e baixa resolução. Assim, a rede utiliza esses pares para gerar os pesos e vieses necessários para a super-resolução. Após o treinamento, a parte geradora da rede pode receber imagens não vistas de baixa resolução para gerar imagens de alta resolução, sem alterar novamente os valores dos pesos e vieses. Neste estudo, a SRGAN será treinada exclusivamente com imagens WV-2. Após o treinamento, a parte geradora da rede será utilizada para realizar a super-resolução da imagem CBERS 4A considerando fator de escala de quatro.

2.4. Treinamento da rede

Para o treinamento da rede, as imagens WV-2 foram separadas em 11.916 recortes com 256x256 pixels.

Como artifício de aumento artificial de dados elas foram aleatoriamente espelhadas e rotacionadas. Em cada passagem completa pela rede (época), foram utilizados lotes com 16 pares de recortes aleatórios. O treinamento foi realizado num total de 1.000 épocas. A cada 200 épocas, os pesos atualizados da parte geradora da rede eram armazenados. Após finalizar a época 1.000, os pesos não foram mais atualizados. Para destacar possíveis efeitos de sobreajuste foram plotados os gráficos de função de custo do gerador e do discriminador, procurando-se observar se haveria queda gradativa e estabilização dos valores.

2.5. Geração das imagens de super-resolução

Após o treinamento, a parte geradora da rede foi utilizada para criar imagens de super-resolução CBERS. Para isso, as imagens CBERS foram separadas em 11.916 recortes com 64x64 pixels. Então, para usar de entrada na parte geradora da rede, foram selecionadas 100 imagens de forma aleatória. No caso das imagens WV-2, também foram escolhidos 100 recortes aleatórios para usar como entrada no gerador da SRGAN.

2.6. Índices de qualidade das imagens geradas

Para realizar a avaliação de qualidade das imagens geradas, foram calculadas as médias dos índices PSNR e SSIM entre 100 imagens CBERS superamostradas por interpolação bicúbica e de super-resolução geradas pela SRGAN com suas respectivas imagens WV-2 de referência. Para fins de comparação, o procedimento também foi realizado em imagens WV-2 subamostradas para 2.0 m. Adicionalmente, foi realizada a inspeção visual em algumas amostras aleatoriamente selecionadas para encontrar possíveis artefatos e problemas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Treinamento

Os gráficos de função de custo inicialmente oscilaram, principalmente o do discriminador, entretanto apresentaram tendência descrescente e, ao chegar na época 1.000, já estavam estabilizados, conforme a Figura 1 e Figura 2. Isso significa que não houve sobreajuste significativo durante o treinamento.



Figura 1: Função de custo do gerador. A curva se estabilizou em torno da época 600



Figura 2: Função de custo do discriminador em escala semilogarítimica. A curva se estabilizou em torno da época 800

3.2. Índices de qualidade das imagens geradas

Considerando o mesmo sensor, as imagens de superresolução CBERS geradas pela SRGAN apresentaram índices significativamente superiores às CBERS geradas por interpolação. Situação similar foi observada entre as imagens WV-2 de super-resolução. Considerando sensores diferentes, foi observado que as imagens CBERS geradas pela SRGAN apresentaram índices similares às imagens WV-2 geradas por interpolação, entretanto significativamente inferiores quando comparando aos índices das imagens WV-2 geradas pela SRGAN. Os valores médios dos índices PSNR e SSIM encontrados são apresentados na Tabela 1.

		PSNR	SSIM
CBERS	bicúbico	12.46	0.15
	SRGAN	13.59	0.38
WV-2	bicúbico	15.43	0.33
	SRGAN	25.98	0.84

Tabela 1: Valores médios dos índices PSNR e SSIM.

3.3. Inspeção visual

Foi possível observar que as imagens de super-resolução CBERS apresentavam um efeito de borda. Tal efeito não foi observado nas imagens de super-resolução WV-2. A Figura 3 e Figura 4 ilustram essa situação.



Figura 3: Imagem de super-resolução CBERS gerada pela SRGAN apresentando efeito de borda. Para melhor visualização foi aplicada a equalização adaptativa de histograma de contraste limitado na imagem.



Figura 4: Imagem de super-resolução WV-2 gerada pela SRGAN. Esta imagem não apresenta efeito de borda.

Não foram encontrados outros artefatos nas imagens. A Figura 5 e Figura 6 ilustram essa situação.

(b) CBERS superamostrada bicubicamente



 (c) CBERS gerada pela SRGAR
 (d) WV-2 original

 (SD: 0.5 m)
 (d) WV-2 original

 (SD: 0.5 m)
 (d) WV-2 original

Figura 5: Agrupamento de imagens CBERS para inspeção visual.



Figura 6: Agrupamento de imagens WV-2 para inspeção visual.

Com relação ao efeito de borda observado, uma possível estratégia para minimizá-lo seria utilizar apenas a parte mais interna das imagens. Testes seriam necessários para avaliar o impacto da medida mitigadora. Não foram observados outros artefatos ou problemas.

4. CONCLUSÕES

Imagens de alta-resolução da região de Kayapó são uma ferramenta importante para a detecção automática de espécies arbóreas. A geração de imagens de super-resolução pode vir a auxiliar nesse processo. O presente trabalho realizou testes nesta área, utilizando imagens WV-2 e CBERS 04A para treinar uma rede convolucional de super-resolução (SRGAN). O treinamento da SRGAN foi realizado de forma a não apresentar sobreajuste. Foi verificada uma tendência de melhora nos índices PSNR e SSIM com o uso da SRGAN em relação à superamostragem por interpolação bicúbica. As imagens CBERS geradas pela SRGAN apresentaram efeito de borda, entretanto não foram encontrados outros artefatos ou problemas. O referido efeito pode vir a ser minimizado utilizando-se apenas a parte mais interna das imagens, entretanto testes seriam necessários para avaliar o impacto da medida.

5. REFERÊNCIAS

- [1] Ferreira, M. P. et al. Accurate mapping of brazil nut trees (bertholletia excelsa) in amazonian forests using worldview-3 satellite images and convolutional neural networks. *Ecological Informatics*, Volume 63, 2021.
- [2] Y. Xiong et al. Improved srgan for remote sensing image super-resolution across locations and sensors. *Remote Sensing*, Volume 12:nº 8, página 1.263, 2020.
- [3] C. Ledig et al. Photo-realistic single image super-resolution using a generative adversarial network. 2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), pages páginas 105–114, 2017.
- [4] European Space Agency (ESA). Worldview-2 instruments. Disponível em: https://earth.esa.int/ eogateway/missions/worldview-2>. Acesso em: 17 de out. de 2022.
- [5] National Institute for Space Research (INPE). Lançamento cbers 04a. Disponível em: <http://www.cbers.inpe. br/lancamentos/cbers04a.php>. Acesso em: 17 de out. de 2022., 2018.
- [6] National Institute for Space Research (INPE). História. Disponível em: <http://www.cbers.inpe.br/ sobre/historia.php>. Acesso em: 17 de out. de 2022., 2018.
- [7] National Institute for Space Research (INPE). Câmeras imageadoras cbers 04a. Disponível em: http://www.cbers.inpe.br/sobre/cameras/cbers04a.php>. Acesso em: 17 de out. de 2022., 2019.
- [8] National Institute for Space Research (INPE). Image processing levels of cbers and amazonia satellites. Disponível em: http://www.dgi.inpe.br/documentacao/ arquivos/ProcessingLevelsCBERSAMZ.pdf. Acesso em: 17 de out. de 2022.