

Potencialidade dos dados WPM CBERS 4A para a identificação da interferência antrópica em elementos do ciclo hidrológico no campus Darcy Ribeiro da UnB

RESUMO

O crescimento territorial acelerado gera impactos ambientais como o aumento de áreas impermeáveis e consequente redução da vegetação. Tais impactos afetam diretamente a qualidade e disponibilidade da água. Nesse sentido, torna-se relevante para o planejamento territorial urbano o levantamento de informações relativas aos elementos do ciclo hidrológico no contexto urbano, com objetivo de estabelecer medidas que minimizem os impactos ambientais. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a potencialidade dos dados do sensor WPM do satélite CBERS 4A para a identificação das interferências antrópicas em elementos do ciclo hidrológico (interceptação, infiltração e escoamento superficial), no campus Darcy Ribeiro. Isso foi realizado, por meio da detecção dos efeitos da sazonalidade climática no comportamento da vegetação, utilizando modelos de sequestro de carbono. Foi possível diferenciar os estratos vegetativos e identificar as áreas com e sem vegetação, e quais dessas áreas possuem ou não interferências antrópicas. A vegetação arbórea demonstra menor dependência hídrica em relação à vegetação herbácea, que tem água como fator limitante. Portanto extratos herbáceos diminuem sua atividade fotossintética em períodos secos e a vegetação arbórea mantém atividade alta. Baseando-se nos resultados obtidos confirmou-se a potencialidade dos dados do satélite CBERS 4A/sensor WPM para identificação dos elementos do ciclo hidrológico.

PALAVRAS-CHAVE: Sensoriamento Remoto. Sensor WPM. Fusão de Imagens. Variação Sazonal.

Catarina Balduino Sollaci
catarina.sollaci@gmail.com
<http://orcid.org/0000-0002-6040-3050>
Universidade de Brasília (UnB), Brasília,
Distrito Federal, Brasil.

Pollyne Coutinho Lima
pollyne.coutinho@gmail.com
<http://orcid.org/0000-0002-6889-6478>
Universidade de Brasília (UnB), Brasília,
Distrito Federal, Brasil.

**Gustavo Macedo de Mello
Baptista**
gmbaptista@unb.br
<https://orcid.org/0000-0002-1973-2725>
Universidade de Brasília (UnB), Brasília,
Distrito Federal, Brasil.

**Pedro Henrique Zuchi da
Conceição**
pedrozuchi@unb.br
<https://orcid.org/0000-0002-3324-1578>
Universidade de Brasília (UnB), Brasília,
Distrito Federal, Brasil.

INTRODUÇÃO

O crescimento demográfico e espacial exponencial resultam na ocupação do solo de forma mal distribuída, ocasionando diversos impactos ambientais dentro da perspectiva intraurbana, tais como a impermeabilização, compactação do solo e supressão da vegetação. A vegetação intraurbana é importante pois aumenta a infiltração de água no solo minimizando o risco de enchentes, intercepta a parcela inicial da precipitação diminuindo a erosão dos solos e minimiza o escoamento superficial da água (PINTO et al., 2000).

Rocha et al. (2002) indicam que existe relação entre o fluxo de CO₂ e a fotossíntese da vegetação, demonstrando que, de forma sazonal, existe aumento de sequestro de carbono em estações úmidas e redução da atividade fotossintética em períodos de estiagem, devido à deficiência hídrica. Portanto, os estratos vegetativos de maior porte são mais resistentes a períodos de estiagem do que estratos vegetativos de menor porte, indicando que a vegetação se apresenta de maneira não uniforme à deficiência hídrica.

As imagens de satélites que possuem variedade multiespectral permitem que os padrões de reflectância dos dosséis possam ser minimamente diferenciados (SANO et al., 2019). Essa distinção é possível devido ao fato de os materiais das superfícies possuírem comportamentos específicos ao longo do espectro eletromagnético, podendo ser identificados e conseqüentemente diferenciados (PRICE, 1994). Portanto, infere-se ser possível identificar áreas componentes do ciclo hidrológico a partir da análise do sequestro sazonal do carbono pela vegetação utilizando-se de sensoriamento remoto.

O índice CO₂flux, proposto por Rahman e colaboradores em 2000, permite a mensuração do processo de sequestro de carbono pela vegetação. Esse índice é o resultado da multiplicação do NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) (Rouse et al., 1973) e PRI (*Photochemical Reflectance Index*) (Gamon et al., 1993) que podem ser relacionados respectivamente com o sequestro de carbono e com taxas de fotossíntese. O índice mostrou-se adequado para o mapeamento do sequestro do carbono pela vegetação no Cerrado, por meio de dados hiperespectrais (Baptista, 2003). Posteriormente, Santos (2017) apresentou resultados satisfatórios ao verificar o potencial das imagens multiespectrais para a detecção do sequestro de carbono.

Salles (2020) e Ataíde (2012), utilizam o sensoriamento remoto como ferramenta na determinação de processos hidrológicos no bioma Cerrado utilizando dados do sensor MODIS (*MODerate resolution Imaging Spectroradiometer*). Os estudos evidenciam que o sensoriamento remoto é uma ferramenta eficiente e com potencial temporal e espacial satisfatórios para estudos hidrológicos no bioma Cerrado.

Estudos da interferência antrópica em elementos do ciclo hidrológico no campus Darcy Ribeiro são abordados por Britto (2020). A autora avalia a potencialidade de imagens multiespectrais Planet em identificar áreas componentes do ciclo hidrológico. O estudo analisa o comportamento da vegetação utilizando-se do índice espectral CO₂flux. Os valores de CO₂flux encontrados pela autora revelam a variação de sequestro de carbono entre estação seca e chuvosa, e demonstram ser possível identificar os componentes do ciclo hidrológico no território do campus.

O presente estudo tem o objetivo de avaliar a potencialidade dos dados do satélite CBERS 4A para a identificação da interferência antrópica em elementos do ciclo hidrológico (interceptação, infiltração e escoamento superficial), no campus Darcy Ribeiro por meio da detecção dos efeitos da sazonalidade climática no comportamento da vegetação, utilizando modelos de sequestro de carbono a partir do índice CO2flux (Rahman et al., 2000).

SENSORIAMENTO REMOTO PARA ESTUDO DO CICLO HIDROLÓGICO EM ÁREAS URBANAS

Um das ferramentas para a análise do desenvolvimento urbano e seus componentes é a utilização de imagens de satélite e sensoriamento remoto. As imagens de satélite nos possibilitam identificar o aumento da ocupação do solo e mudanças na paisagem (STANGANINI; LOLLO, 2018). Já os sensores remotos registram a energia dos objetos por meio de medições da radiação eletromagnética. A partir desse registro é possível elaborar modelos que estimem a cobertura vegetal local em extratos vegetativos de grande, médio e pequeno porte e as áreas impermeabilizadas, consequentemente identificando os elementos do ciclo hidrológico. Para tanto, recomenda-se mediação de intérprete capaz de refinar os dados, tornando o resultado mais fidedigno (FLORENZANO, 2002; RUDORFF et al., 2004).

O CBERS 4A, sigla em inglês para *China Brazil Earth Resources Satellite* (INPE, 2018) é o sexto satélite brasileiro desenvolvido em parceria com a China no Programa CBERS, no qual ambos os países possuem igual responsabilidade pelo satélite (INPE, 2019). Foi lançado em dezembro de 2019 e seus dados foram disponibilizados ao grande público no final de julho de 2020. Opera em órbita sol síncrona e quase circular, assegurando uniformidade de iluminação e regularidade na escala durante o imageamento. Também possui órbita recorrente, repete o ciclo a cada 31 dias (INPE, 2019).

Dentre as câmeras usadas em estudos de monitoramento urbano, podemos destacar a WPM (Câmera Multiespectral e Pancromática de Ampla Varredura) que está a bordo do satélite CBERS 4A. A câmera WPM, de responsabilidade e fabricação chinesa, é indicada para estudos urbanos como o mapeamento de uso do solo e expansão urbanas (INPE, 2019).

O sensor WPM possui quatro bandas multiespectrais, cobrindo a região do visível e do infravermelho próximo, com 8 metros de resolução e uma banda pancromática com 2 metros de resolução. Apesar do satélite ser considerado de média resolução, a resolução de 2 metros é considerada alta quando comparada com outros sensores de satélites brasileiros que também possuem disponibilização gratuita de imagens. Esse é, portanto, um grande diferencial do sensor WPM, pois a alta resolução de imagens permite maior diferenciação de alvos no meio urbano (EMBRAPA, 2020). Além da alta resolução espacial, o sensor WPM também possui alta resolução radiométrica, pois possui 1.024 níveis de cinza. No Quadro 1 podemos observar os intervalos das bandas do sensor WPM, sua resolução radiométrica e espacial (INPE, 2019).

Quadro 1 – Características do sensor WPM do satélite CBERS 4A

Bandas espectrais	Intervalos no espectro	Resolução espacial	Quantização
RED	0,63-0,69µm	8m	10 bits
GREEN	0,52-0,59µm	8m	
BLUE	0,45-0,52µm	8m	
NIR	0,77-0,89µm	8m	
PAN	0,45-0,90 µm	2m	

Fonte: INPE (2019).

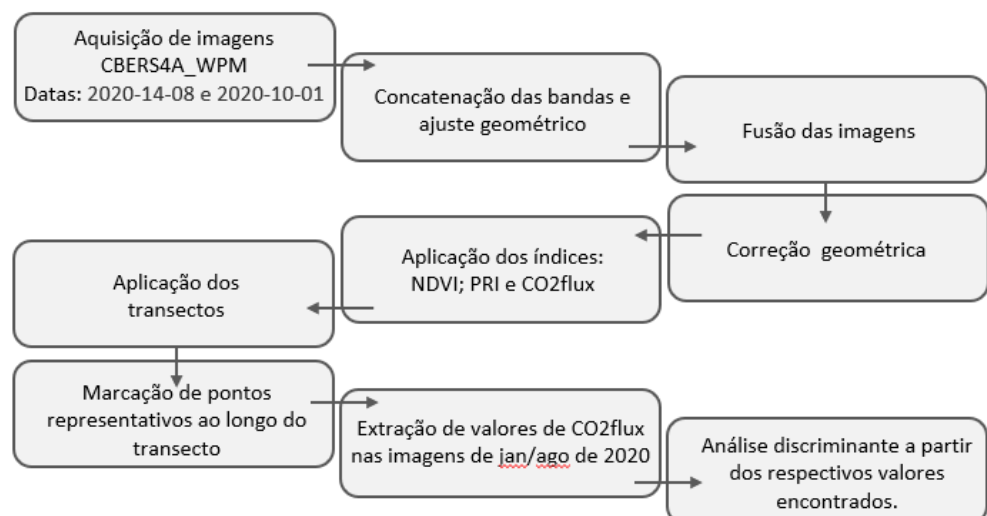
MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no Campus Darcy Ribeiro, na Universidade de Brasília (UnB). A área está localizada na porção norte da cidade de Brasília, Distrito Federal, entre o bairro Asa Norte e o Lago Paranoá e possui elevação entre 1000m e 1050m em relação ao nível do mar (DISTRITO FEDERAL, 2020). Encontra-se no bioma Cerrado, com clima tropical de altitude. Possui, portanto, grande contraste sazonal, com duas estações bem definidas, divididas em uma época quente e chuvosa e outra seca e relativamente fria. Esse comportamento influencia fortemente a fenologia da vegetação (SOUZA ET AL., 2016).

O Campus Darcy Ribeiro é dividido em 3 glebas, denominadas A, B e C (FUB, 2016). O presente estudo contempla as glebas A e B, que somam área aproximada de 411,00 ha, obtida a partir do software QGIS 3.10.

Para maior facilidade de compreensão da metodologia utilizada, as etapas de desenvolvimento da pesquisa são apresentadas na Figura 1.

Figura 1 – Fluxo das etapas da metodologia.

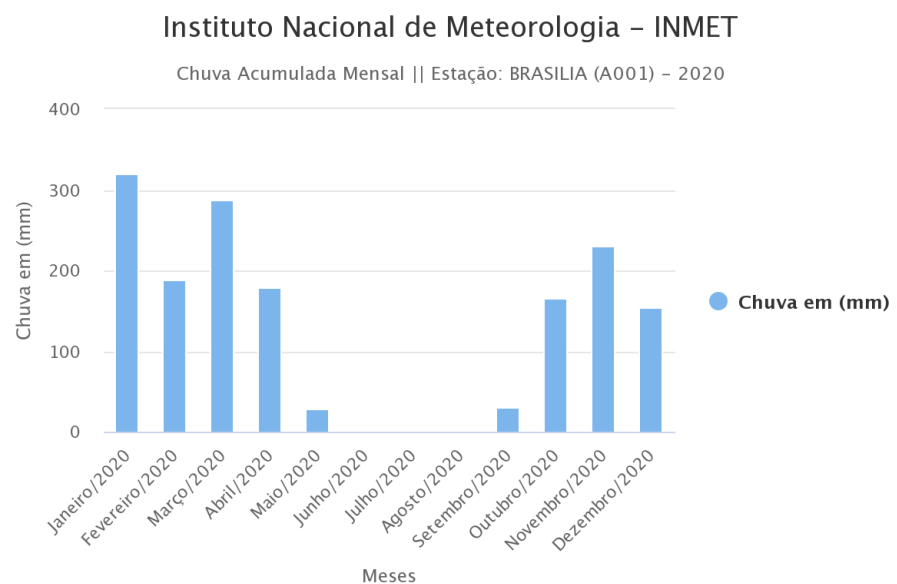


Fonte: Autoria própria (2022).

As bases para o estudo e cálculo dos índices NDVI, PRI e CO2flux foram formadas a partir de duas imagens do satélite CBERS 4A, sendo uma do dia 10 de janeiro de 2020, órbita 206 e ponto 133 e outra do dia 14 de agosto de 2020, órbita 203 e ponto 133, ambas obtidas pelo sensor WPM. As cenas selecionadas contemplam as áreas das glebas A e B do campus Darcy Ribeiro na UnB.

O critério utilizado na seleção das imagens foi a representação de diferentes estações do ano, para que o efeito sazonal ficasse evidente. Foram escolhidas duas imagens, uma do período seco (agosto) e uma do período chuvoso (janeiro) conforme representado na Figura 2. Buscou-se também a obtenção de imagens com menor índice de nebulosidade dentre os dados disponíveis.

Figura 2 – Gráfico mensal de chuva acumulada para o ano de 2020



Fonte – INMET (2020).

A coleta de dados foi realizada por meio do catálogo de imagens do INPE (INPE, 2020). As imagens do sensor WPM do satélite CBERS 4A selecionadas, possuem alta resolução espacial, com imagens multiespectrais com pixels de 8m de resolução e banda pancromática com pixels de 2m de resolução. Não foram necessários procedimentos de pré-processamento de correção radiométrica, no entanto foi necessário correção geométrica, apesar de ambas as imagens estarem georreferenciadas no sistema de coordenadas UTM, Datum WGS84, zona 23S (INPE, 2020). A imagem de agosto possui 0% de cobertura de nuvens, e a cobertura presente na imagem de janeiro não cobre a área do estudo.

FUSÃO DAS IMAGENS

Para o procedimento de fusão das imagens foram utilizados os *softwares* QGIS 3.10 e *Orfeo Toolbox*. Primeiramente a imagem foi reduzida para contemplar apenas a porção norte da cidade de Brasília. Esse procedimento foi feito pelo *software* QGIS 3.10. A partir do *software* *Orfeo Toolbox*, da agência espacial francesa CNES (*Centre National d'études Spatiales*), foram realizados os procedimentos de concatenação, o ajuste geométrico dos dados multiespectrais

para as dimensões do pancromático e a fusão, resultando em uma imagem multiespectral com resolução de 2 metros.

Antes do processo da fusão é preciso agrupar as bandas multiespectrais em um único arquivo. Esse processo de empilhamento dos dados é chamado de concatenação, e foi feito a partir do módulo *concatenate imagens*. Em seguida, é necessário fazer a reamostragem da imagem multiespectral para as dimensões da imagem pancromática. Esse processo é chamado de ajuste geométrico e foi feito pelo módulo *superimpose*. Finalmente é feita a integração da imagem multiespectral com a imagem pancromática, processo chamado de Fusão. Esse procedimento foi feito a partir da ferramenta *pansharpening*.

A técnica da fusão consiste na integração da imagem multiespectral com algum outro tipo de dado, podendo ser um dado geofísico ou uma outra imagem que contém diferentes informações, como por exemplo os dados da imagem da banda pancromática. Fazendo a fusão da imagem multiespectral com a imagem pancromática, obtém-se uma imagem que possui as propriedades das bandas multiespectrais integrada com a alta resolução espacial da banda pancromática.

Existem diferentes técnicas de fusão, tais como Brovey, Gram-Schmidt (GS) e Contribuição Relativa Espectral (RCS). Para o presente trabalho foi utilizada a técnica RCS devido à sua fácil execução em softwares gratuitos e preservação da qualidade da cor na imagem final.

A técnica RCS consiste na combinação linear das bandas espectrais. Primeiramente a imagem multiespectral é ampliada e registrada para as dimensões da pancromática, resultando em imagem denominada de XS. Em seguida, o algoritmo de fusão RCS (equação 1) pixel-a-pixel é aplicado aos pixels registrados da imagem XS para obter os pixels fusionados.

$$RCS = PAN / PAN_{suavização} * XS \quad (1)$$

onde PAN é a imagem pancromática; XS é a imagem multiespectral ampliada; e $PAN_{suavização}$ é a imagem pancromática suavizada para se ajustar à escala da multiespectral (MHANGARA; MAPURISA; MUDAU, 2020).

Ao sobrepor uma cena na outra, observou-se que as imagens possuem um pequeno deslocamento entre si, portanto foi feito o registro imagem e imagem, utilizando o software *TerraView*, desenvolvido pelo INPE. O registro imagem e imagem é uma correção geométrica feita com objetivo de deixar as duas imagens espacialmente coincidentes, ou seja, superpostas corretamente. Esse registro foi feito utilizando a ferramenta “registro” do *TerraView*.

Vale ressaltar que a imagem do dia 14 de agosto de 2020 utilizada no presente trabalho apresenta problemas radiométricos em parte da cena. Esse problema é observado em algumas das imagens do CBERS 4A/sensor WPM disponibilizadas no catálogo de imagens do INPE. No entanto, a área da cidade de Brasília está fora da parte problemática.

APLICAÇÃO DOS ÍNDICES

Utilizando o software *QGIS* 3.10 foi feita a delimitação das glebas A e B e criação do *shapefile* de forma manual seguindo o desenho dos mapas da Resolução

do Conselho Diretor (FUB,2016), georreferenciados. O perímetro do *shapefile* foi refinado a partir da imagem de satélite. Nesse processo, utilizou-se a composição colorida RGB 321.

As duas imagens do satélite CBERS 4A dos dias 10 de janeiro de 2020 e 14 de agosto de 2020 foram recortadas pelo *shapefile* de delimitação das glebas A e B pela ferramenta “recortar *raster* pela camada de máscara” a partir do QGIS 3.10. Para as análises dos elementos do ciclo hidrológico (interceptação, infiltração e escoamento superficial) foram utilizados índices de vegetação que permitem a identificação dos diferentes tipos de cobertura vegetal, solo exposto, áreas construídas e pavimentadas.

Tendo as imagens dos meses de janeiro e agosto de 2020 delimitadas pelas glebas A e B, foram calculados os índices de vegetação NDVI, PRI, sPRI (valores de PRI reescalados) e CO2flux pela “calculadora *raster*” do QGIS 3.10. Rahman et al. (2000) propôs e validou o índice CO2flux, que é a integralização de dois índices que detectam aspectos diferentes da vegetação, o NDVI e sPRI.

O NDVI (índice de vegetação por diferença normalizada) (Rouse et al., 1973) quantifica o crescimento da vegetação, podendo variar de - 1 a 1, valores negativos ou próximos de 0 indicam solo exposto, água ou construções, e quanto maior o valor, mais representativa é a vegetação, sendo, portanto, um bom indicador de biomassa (Grohs et al., 2009), e é calculado pelas bandas do infravermelho próximo (*NIR*) e vermelha (*RED*), conforme Equação (2):

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR+RED), \quad (2)$$

sendo:

- NIR - B4: 0,77 - 0,89 μ m;
- RED - B3: 0,63 - 0,69 μ m.

Já o PRI (índice de reflectância fotoquímica) (equação 3) é relacionado a função fotossintética, sendo um bom parâmetro de medida do uso eficiente da luz e para seu cálculo são utilizadas as bandas do azul (*BLUE*) e verde (*GREEN*), e tem seu valor variando de - 1 a 1.

$$PRI = (BLUE-GREEN) / (BLUE+GREEN), \quad (3)$$

sendo:

- BLUE - B1: 0,45 - 0,52 μ m
- GREEN - B2: 0,52 - 0,59 μ m

Porém é necessário reescalonar o PRI, gerando assim o sPRI (equação 4), para ser representado por valores positivos (de 0 a 1), dessa forma quanto mais próximo de 0 for o valor, indica-se que a eficiência do uso da luz fotossintética é baixa, enquanto valores mais próximos de 1 indicam alta eficiência (Rahman et al., 2000).

$$sPRI = PRI+1 / 2 \quad (4)$$

E por fim, com os cálculos feitos de NDVI e sPRI é gerado o CO2flux (equação 5), que é relacionado ao fluxo de CO2 e mostra a eficiência do sequestro de carbono pelas plantas, sendo que valores negativos indicam a absorção de carbono

pela superfície e positivos indicam perda de carbono para a atmosfera (Rahman et al., 2000).

$$CO2flux = sPRI * NDVI \quad (5)$$

Os valores de CO2flux analisados são dos alvos interceptados pelos transectos (figura 3) traçados a partir do critério de abrangência da maior variedade possível de alvos, entre eles: áreas construídas, solo exposto, vegetação herbácea e vegetação arbustiva e arbórea.

Foram feitos dois transectos (Figura 3) pelo QGIS 3.10, passando diagonalmente de norte a sul na gleba A (do ponto A ao B) e na gleba B (do ponto C ao D). Primeiramente foi criado o *shapefile* de linha, e para os valores obedecerem a ordem do transecto (de A a B; e C a D) a linha foi transformada em pontos pela ferramenta *convert lines to points* no provedor de algoritmos SAGA presente no QGIS 3.10 e em seguida foram inseridas as coordenadas de cada ponto pela calculadora de campo, podendo assim, serem ordenados de maior para menor latitude.

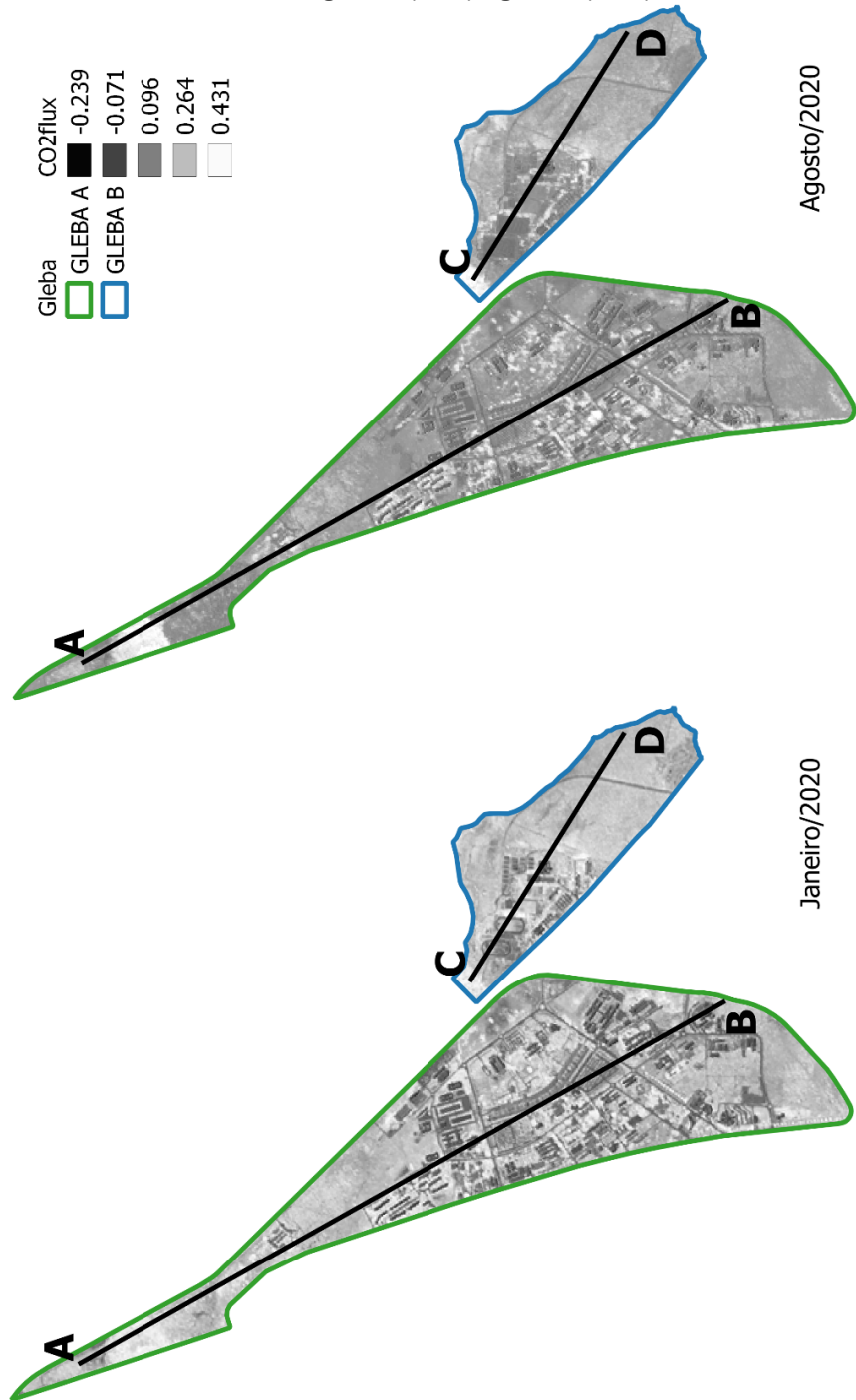
Para cruzar os dados de CO2flux com os pontos, cada pixel da imagem *raster* foi transformado em polígonos pela ferramenta “pixels de *raster* para polígonos” mantendo seus respectivos valores. Posteriormente foi feita a interseção dos pontos dos transectos com os polígonos e geradas as tabelas de atributos com valores possíveis de serem plotados em gráficos com os valores de CO2flux de cada pixel no transecto.

Para atestar a funcionalidade dos índices foram selecionados alguns pontos ao longo dos transectos que representem alvos com comportamentos espectrais variados. Foram selecionados os pixels 47, 511, 610 e 668 no transecto A, representando respectivamente vegetação arbórea, vegetação herbácea, área construída e solo exposto e os pixels 232, 157, 67 e 05 no transecto B representando solo exposto, vegetação herbácea natural, vegetação herbácea com interferência antrópica e vegetação arbórea. Foi selecionada também uma área onde ocorreu incêndio florestal, indo do pixel 92 ao pixel 191.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A imagem fusionada utilizando o método RCS produziu resultados satisfatórios, considerando seus aspectos visuais, sendo possível atestar os resultados dos transectos feitos nas Glebas A e B, apresentados nas figuras 3, 4 e 9.

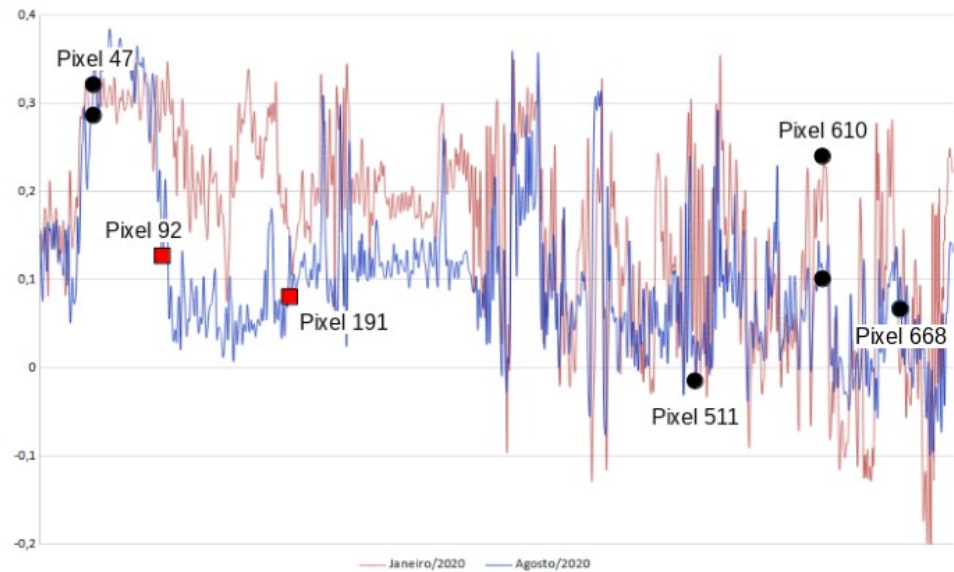
Figura 3 - Imagem dos meses de janeiro e agosto de 2020 com dados de CO2flux e transectos da gleba A (A - B) e gleba B (C - D)



Fonte: Autoria própria (2022).

A Figura 4 apresenta os valores de CO2flux ao longo do transecto referente à gleba A. Os pixels indicados são exemplos do comportamento de alvos selecionados. No gráfico são indicadas as suas respostas em valores de CO2flux.

Figura 4 - Transecto da gleba A, no sentido A - B, dos valores de CO₂flux por pixel para janeiro e agosto de 2020



Fonte: Autoria própria (2022).

Observa-se que os valores do CO₂flux possuem maiores variações em alvos de maior dependência hídrica, como é o caso da vegetação herbácea; e menor ou nenhuma variação em alvos de menor ou nenhuma dependência hídrica, como a vegetação arbustiva e arbórea e as áreas construídas. A diferença da resposta espectral da vegetação arbustiva e arbórea para as áreas construídas é que em áreas construídas os valores de CO₂flux são muito baixos e chegam a valores negativos e os valores de CO₂flux para a vegetação arbustiva e arbórea são altos, e esses são locais de ocorrência de infiltração e interceptação da precipitação.

As áreas com vegetação herbácea são áreas com ocorrência de infiltração e possuem grandes variações de fluxo de CO₂ ao longo do ano. Em períodos de estiagem o processo de fotossíntese fica altamente prejudicado chegando ao ponto de ressecar a vegetação, e sua resposta para o CO₂flux se assemelha com a resposta de solo exposto.

Outro alvo que possui resposta espectral semelhante ao do solo exposto nos índices avaliados são as áreas construídas, apesar de serem compostos de materiais totalmente diferentes. Ambos os alvos possuem comportamento hidráulico semelhantes, pois são áreas nas quais ocorrem escoamento superficial e não infiltração da precipitação.

O pixel 47 (Figura 5) representa área de vegetação densa, com presença de árvores e arbustos, pois apresenta altos valores de CO₂flux, 0,311 e 0,293 para janeiro e agosto de 2020 respectivamente, e pouca variação entre os períodos seco e chuvoso. Na área do pixel 47 existe um pequeno córrego onde as águas do Parque olhos d'água correm até desaguar no lago Paranoá. Por esse motivo a vegetação sofre muito pouco no período de estiagem, mantendo atividade fotossintética elevada e consequentemente seus valores de CO₂flux também elevados.

Figura 5 – Imagens correspondentes ao pixel 47 – Setor arboreto, Campus Darcy Ribeiro/UnB



Fonte: Autoria própria (2022).

Áreas com vegetação arbórea indicam áreas em que ocorrem interceptação da água da chuva e sua infiltração no solo. Em agosto há uma área onde ocorreu incêndio florestal, entre os pixels 92 e 191, no gráfico (Figura 4) é possível notar os valores inferiores de CO₂flux devido a remoção de cobertura vegetal pela queimada. Na mesma área em janeiro os valores de CO₂flux tem média de 0,239, enquanto em agosto a média é de 0,073, um valor bem menor se comparado com o pixel 47 que demonstra o comportamento esperado para a vegetação densa, comumente presente na região.

O pixel 610 (Figura 6) indica área de vegetação herbácea, pois os valores de CO₂flux apresentam variação maior entre os períodos de estiagem e período chuvoso. Para o mês de janeiro e agosto os valores são de 0,239 e 0,103 respectivamente. Portanto, observa-se que a resposta espectral é diferente a depender do mês. O sequestro de carbono nesse ponto é menor nos períodos de seca, já que o processo de fotossíntese fica comprometido pela carência de água. Já nos períodos de chuva o verdor da vegetação aumenta, aumentando também o sequestro de carbono. A figura também destaca a vegetação seca na imagem de agosto.

Figura 6 – Imagens correspondentes ao pixel 610 – Setor Sul, Campus Darcy Ribeiro/ UnB



Fonte: Autoria própria (2022).

A partir dos resultados para vegetação arbórea e arbustiva e vegetação herbácea é possível confirmar que estratos vegetativos de maior porte são mais resistentes a períodos de estiagem do que estratos vegetativos de menor porte. Essa confirmação indica que a vegetação se apresenta de maneira não uniforme à deficiência hídrica do solo.

O pixel 511 (Figura 7) possui valores de CO₂flux negativos, de -0,003 e -0,007 para janeiro e agosto respectivamente. Valores negativos significam que não há atividade fotossintética e apresentam variação pequena entre as estações seca e chuvosa, indicando que essa é uma área construída. Áreas construídas possuem pouca variação sazonal e baixos valores de CO₂flux. A Figura 7 mostra o ICC – Instituto Central de Ciências, edificação principal do campus Darcy Ribeiro da Universidade de Brasília.

Figura 7 – Imagens correspondentes ao pixel 511 – Setor centro, Campus Darcy Ribeiro/ UnB



Fonte: Autoria própria (2022).

O pixel 668 (Figura 8) possui valores de CO₂flux baixos, 0,065 em janeiro e 0,069 em agosto, indicando solo exposto por ter atividade fotossintética próxima a zero.

Figura 8 – Imagens correspondentes ao pixel 668 – Setor sul, Campus Darcy Ribeiro/UnB

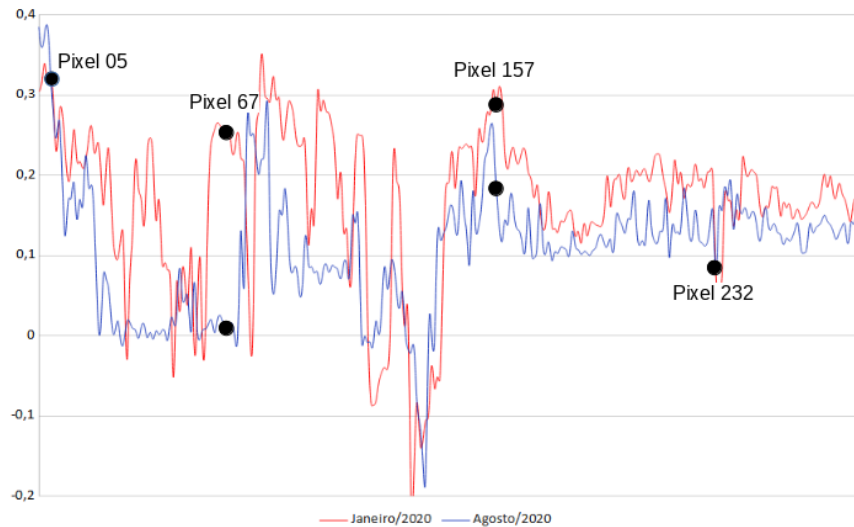


Fonte: Autoria própria (2022).

A Figura 9 apresenta os valores de CO₂flux ao longo do transecto referente à gleba B. Os pixels indicados na figura 8 são exemplos do comportamento de alvos que representam solo exposto, vegetação herbácea natural e vegetação herbácea com interferência antrópica. A escolha dos pontos 156, 237 e 67 obedeceu ao critério de representar alvos com diferentes comportamentos espectrais dos observados na gleba A (solo exposto) e com o objetivo de se fazer uma comparação

do comportamento de alvos iguais (vegetação herbácea) que possuem ou não interferência antrópica.

Figura 9 – Transecto da gleba B, no sentido C - D, dos valores de CO₂flux por pixel para janeiro e agosto de 2020



Fonte: Autoria própria (2022).

Como dito anteriormente, o solo exposto e as áreas construídas possuem respostas espectrais semelhantes nos índices avaliados, reforçando a importância da mediação de intérprete no processo de análise dos dados. O pixel 232 (Figura 10) apresenta baixos valores de CO₂flux, 0,071 e 0,082, para janeiro e agosto respectivamente, com variação pequena entre as estações seca e chuvosa indicando solo exposto ou pavimentado. A área em questão refere-se a uma pista que corta o Setor Península no Centro Olímpico (CO), portanto é uma área antropicamente modificada, com ocorrência de escoamento superficial.

Figura 10 – Imagens correspondentes ao pixel 232 – Setor península, Campus Darcy Ribeiro/ UnB



Fonte: Autoria própria (2022).

O pixel 157 (Figura 11) demonstra relevante variação sazonal com valores CO₂flux para janeiro e agosto de 0,292 e 0,186 respectivamente. A grande variação e altos valores em períodos chuvosos indica área com vegetação herbácea, variando a capacidade fotossintética da cobertura vegetal do período de chuva para o período de seca. Observa-se que essa é uma área que não possui interferência antrópica e a vegetação permanece fotossinteticamente ativa, apesar de reduzida, mesmo no período seco.

Figura 11 – Imagens correspondentes ao pixel 157 – Setor centro olímpico, Campus Darcy Ribeiro/ UnB



Fonte: Autoria própria (2022).

O pixel 67 (Figura 12) possui grande variação sazonal, tendo valores de CO₂flux para janeiro de 0,228 e agosto 0,014, além disso no período de estiagem a capacidade fotossintética da área chega a quase zero, se assemelhando a resposta espectral de solo exposto. A área em questão é uma pista de atletismo construída do Centro Olímpico (CO) da UnB. Essa área vem sofrendo reforma desde meados de 2020, data próxima a aquisição da imagem de agosto. Em janeiro percebe-se uma área coberta por um gramado (vegetação de textura fina), apresentando considerável capacidade fotossintética. Após o início da reforma, a área passa a reduzir sua capacidade fotossintética à valores irrelevantes, ficando evidente a interferência antrópica no local.

Figura 12 – Imagens correspondentes ao pixel 67 – Setor centro olímpico, Campus Darcy Ribeiro/ UnB.



Fonte: Autoria própria (2022).

O pixel 05 (Figura 13) apresenta valores de CO₂flux de 0,321 para janeiro e 0,330 para agosto, em meses de chuva ou estiagem os valores de CO₂flux permanecem altos e com valores próximos indicando vegetação arbórea densa.

Figura 13 – Imagens correspondentes ao pixel 05 – Setor centro olímpico, Campus Darcy Ribeiro/ UnB



Fonte: Autoria própria (2022).

Ao analisar os pixels 156 e 67 fica nítida a perturbação que a interferência antrópica causa nos componentes do ciclo hidrológico pois a resposta espectral de alvos iguais torna-se diferente devido às modificações resultantes da ação humana na paisagem. A interferência do homem no meio também é observada em áreas

de solo exposto e áreas construídas (edificações, áreas pavimentadas e campos esportivos) pois essas são as áreas de menor ou nenhuma infiltração da água no solo e são os locais de ocorrências de escoamento superficial.

Assim como Salles (2020) e Ataíde (2012) o presente estudo confirma mais uma vez a eficiência do uso do sensoriamento remoto para estudos hidrológicos no Cerrado. Os valores de CO₂flux obtidos a partir dos transectos confirmam a variação de sequestro de carbono entre as estações seca e chuvosa.

A metodologia aplicada no presente estudo foi baseada na metodologia aplicada por Britto (2020) e os resultados obtidos são semelhantes. Ambos obtêm respostas satisfatórias na identificação da interferência antrópica em elementos do ciclo hidrológico. O diferencial dos dados aqui utilizados é a resolução espacial mais alta, 2 metros de resolução do sensor WPM/CBERS 4A comparados com 3 metros de resolução do Planetscope e 1km de resolução do MODIS (dados utilizados por Salles (2020) e Ataíde (2012)), possibilitando visualização mais clara dos alvos de forma a atestar os resultados sem a necessidade de estudo in loco. Além disso, os dados CBERS 4A/sensor WPM são obtidos de forma gratuita.

Os resultados apresentados contribuem para futuros estudos urbanos que necessitem de boa visualização e clareza de alvos. Também apresentam alternativas de aquisição de dados, aplicação de índices e realização de análises gratuitamente. Uma vez que foi feito uso exclusivo de softwares livres.

CONCLUSÃO

Com base na análise realizada a partir do índice CO₂flux e os resultados apresentados, foram obtidas respostas satisfatórias ao avaliar as interferências antrópicas nos componentes do ciclo hidrológico, de forma a identificar as áreas construídas e solo exposto além das áreas de ocorrência de interceptação, infiltração e escoamento superficial ao longo do transecto, considerando a variação sazonal. Conclui-se, portanto, que os valores de CO₂flux encontrados, apresentaram o comportamento esperado. Sendo possível confirmar a potencialidade e eficiência dos dados do satélite CBERS 4A/sensor WPM para identificação dos componentes do ciclo hidrológico.

Conclui-se que os índices aqui utilizados são eficazes e apropriados para estudos de elementos do ciclo hidrológico e estudos de vegetação urbana. Ressalta-se que a modelagem de sequestro de carbono mostra indiretamente as interferências antrópicas nos elementos do ciclo hidrológico. As informações aqui descritas servem como contribuição para estudos com o objetivo de identificação dos componentes do ciclo hidrológico no contexto urbano por meio do sensoriamento remoto, de forma acessível.

O sensoriamento remoto é uma ferramenta eficiente e com potencial temporal e espacial satisfatórios para estudos urbanos e hidrológicos, contribuindo para o monitoramento e atualização das modificações ocorridas no espaço. A partir de imagens de satélites juntamente aos índices de vegetação é possível verificar o comportamento da vegetação que influencia no ciclo hidrológico, afetando sua qualidade e sua disponibilidade para usos múltiplos em ambientes urbanos.

Potentiality of WPM CBERS 4A data for identification of anthropic interference In elements of the water cycle on Darcy Ribeiro campus

ABSTRACT

The rapid territorial growth results in environmental impacts such as the increase of impermeable areas as well as the suppression of vegetation. Such impacts directly affect water quality. Therefore, it is relevant for urban territorial planning to study the hydrological cycle and its elements in an urban context, to establish measures that minimize those negative impacts. The present study aimed to verify the potential of the CBERS 4A satellite/ WPM sensor data for identifying component areas of the hydrological cycle - interception, infiltration, and occurrence of superficial runoff – on the Darcy Ribeiro campus through detecting the effects of climatic seasonality on the vegetation behavior, using carbon sequestration models. It was possible to differentiate the vegetative strata and identify the areas with and without vegetation, and which of these areas have anthropic interference. Tree vegetation, in general, shows little variability between dry and rainy periods. Herbaceous vegetation photosynthetic activity is lower in times of drought. Based on the results, the potential of the CBERS 4A satellite/ WPM sensor data for the identification of hydrological elements was confirmed.

KEYWORDS: Remote Sensing. WPM Sensor. Image Fusion. Seasonal Variation.

REFERÊNCIAS

ATAÍDE, K. R. P. **Modelagem de determinação da evapotranspiração real para o bioma cerrado por meio de dados de sensoriamento remoto orbital**. 2012. xvi, 176 f., il. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

BAPTISTA, G. M. M. Validação da modelagem de sequestro de carbono para Ambientes tropicais de cerrado, por meio de dados AVIRIS e HYPERION. Anais do XI SBSR, Belo Horizonte, Brasil, 05-10 abril 2003. **Anais [...]**. São José dos Campos: INPE, p. 1037-1044, 2003.

BRITTO, D. M. **Potencialidade dos dados PlanetScope para a identificação da interferência antrópica em elementos do ciclo hidrológico no campus Darcy Ribeiro**. Dissertação (Mestrado em Geociências Aplicadas e Geodinâmica) – Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 2020.

DISTRITO FEDERAL. Secretaria de Estado de Desenvolvimento Urbano e Habitação - SEDUH. Mapeamento SICAD - CHUÁ. Disponível em: <http://www.seduh.df.gov.br/mapas-2/>. Acesso em 20 mar. 2021.

FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA. Resolução do Conselho Diretor n.0007/2016, de 6 de abril de 2016. Institui a setorização e as diretrizes de uso do solo do território do Campus Universitário Darcy Ribeiro e dá outras providências. Disponível em: http://www.ceplan.unb.br/index.php?option=com_phocadownload&view=category&id=1&Itemid=682. Acesso em: 10 mar. 2021

FLORENZANO, T. G. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. 1 ed. São Paulo: Oficina de textos, 2002.

GAMON, J.A.; FILELLA, I.; PENUELAS, J. **The dynamic 531-nanometer delta reflectance signal: a survey of twenty angiosperm species**. In: Yamamoto, H.Y.; Smith, C.M. eds. *Photosynthetic responses to the environment*. Rockville, MD, USA: American Society of Plant Physiologists, 172–177, 1993.

GROHS, D. S.; BREDEMEIER, C.; MUNDSTOCK, C.M.; POLETTO, N. Modelo para estimativa do potencial produtivo em trigo e cevada por meio do sensor GreenSeeker. **Eng. Agric**, v. 29, n. 1, p. 101-112, 2009. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162009000100011>

INPE-INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Catálogo de imagens orbitais digitais do satélite CBERS 4A. Divisão de Geração de Imagens (DGI), 2020. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/catalogo/>. Acesso em: 10 abr. 2020.

INPE-INSTITUTO NACIONAL de PESQUISAS ESPACIAIS. História. Inpe, 2018. Disponível em: <http://www.cbers.inpe.br/sobre/historia.php>. Acesso em: 25 mar. 2021.

INPE-INSTITUTO NACIONAL de PESQUISAS ESPACIAIS.CBERS 4A. Inpe, 2019. Disponível em: <http://www.cbers.inpe.br/sobre/cbers04a.php>. Acesso em: 25 mar. 2021.

MHANGARA, P.; MAPURISA, W.; MUDAU, N. Comparison of image fusion techniques using *Satellite Pour l'Observation de la Terre* (SPOT) 6 satellite imagery. **Applied Science**. v.10, n.5, p.1881. 2020. <https://doi.org/10.3390/app10051881>

PINTO, N. L. S.; HOLTZ, A. C. T.; MARTINS, J. J.; GOMIDE, F. L. S. **Hidrologia Básica**. Ed. Rio de Janeiro: Editora Edgar Blücher, 2000.

PRICE, J. C. How unique are spectral signatures? **Remote Sensing of Environment**, vol. 49, issue 3, pp. 181-186, 1994. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(94\)90013-2](https://doi.org/10.1016/0034-4257(94)90013-2)

RAHMAN, A., GAMON, J., FUENTES, D., ROBERTS, D., PRENTISS, D., QIU, H. Modeling CO₂ flux of boreal forests using narrow-band indices from AVIRIS imagery. AVIRIS Workshop, JPL/NASA, Pasadena, California., 8p. 2000.

ROCHA, H. R.; FREITAS, H. C., ROSOLEM, R., JUÁREZ, R. I. N., TANNUS, R. N., LIGO, M. A., CABRAL, O. M. R., DIAS, M. A. F. S. Measurements of CO₂ exchange over a woodland savanna (Cerrado *Sensu stricto*) in southeast Brasil. **Biota Neotropica**, 2(1), 1–11. 2002. <https://doi.org/10.1590/s1676-06032002000100009>

RUDORFF, B. F. T.; BERKA, L. M. S.; MOREIRA, M. A.; DUARTE, V.; ROSA, V. G. C. Estimativa de área plantada com cana-de-açúcar em municípios do estado de São Paulo por meio de imagens de satélite e técnicas de geoprocessamento: ano 2004-2005. São José dos Campos-SP. INPE, 2004.

SALLES, L. A. S. **Sensoriamento remoto e análise espacial na determinação de processos hidrológicos no bioma Cerrado**. Tese (Doutorado em Geociências Aplicadas e Geodinâmica) – Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 2020.

SANO, E. E., PONZONI, F. G., BAPTISTA, G. M. M., TONIOL, A. C., GALVÃO, L. S. & ROCHA, W. J. S. F. **Reflectância da Vegetação**. In: MENESES, P. R.; ALMEIDA, T.; BAPTISTA, G. M. M. *Reflectância dos Materiais Terrestres*. Brasília: Oficina de Textos. Cap. 6. p. 189-223. 2019.

SANTOS, C. V. B. **Modelagem Espectral para Determinação de Fluxo de CO₂ em Áreas de Caatinga Preservada e em Regeneração**. Dissertação de Mestrado em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente, Universidade Estadual de Feira de Santana – UEFS, 2017.

SOUZA, G. M.; GURGEL, H. C.; CIAMP, P. M. Análise Sazonal Da Vegetação Do Cerrado Por Meio De Dados Do Sensor Modis No Distrito Federal. **Boletim Goiano de Geografia**, 36(3), 502. 2016. <https://doi.org/10.5216/bgg.v36i3.44555>

STANGANINI, F. N.; LOLLO, J. A. O crescimento da área urbana da cidade de São Carlos/ SP entre os anos de 2010 e 2015: o avanço da degradação ambiental. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 10, p. 118-128, 2018. <https://doi.org/10.1590/2175-3369.010.SUPL1.AO14>

THOMAS, N.; HENDRIX, C.; CONGALTON, R. G. A Comparison of Urban Mapping Methods Using High-Resolution Digital Imagery. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, [s.l.], v. 69, n. 9, p.963-972, 2003. <http://dx.doi.org/10.14358/pers.69.9.963>

Recebido: 18 ago. 2021

Aprovado: 18 nov. 2022

DOI: 10.3895/rbgeo.v10n3.14639

Como citar: SOLLACI, C. B.; LIMA, P. C.; BAPTISTA, G. M. M.; CONCEIÇÃO, P. H. Z. Potencialidade dos dados WPM CBERS 4A para a identificação da interferência antrópica em elementos do ciclo hidrológico no campus Darcy Ribeiro da UnB. **R. bras. Geom.**, Curitiba, v. 10, n. 3, p. 180-200, jul./set. 2022. Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/rbgeo>>. Acesso em: XXX.

Correspondência:

Catarina Balduino Sollaci

Super Quadra Sul, 316, CEP 30387-030, Brasília, Distrito Federal, Brasil.

Direito autoral: Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

