

## **Amostragem de componentes puros (vegetação, solo, água/sombra) em imagens de satélite Sentinel-2 como subsídios à interpretação do NDVI na Bacia Hidrográfica do Ribeirão das Cruzes, Selvíria/MS.**

Alisson Rodrigues Santori<sup>1</sup>

### **RESUMO**

O presente estudo serve de contribuição metodológica para correlação e validação de produtos obtidos no processamento digital de imagens de satélite (PDI) e na aplicação de técnicas de sensoriamento remoto na bacia hidrográfica do Ribeirão das Cruzes (BHRC). Os mapas de cobertura da terra e índices de vegetação, são alguns dos produtos que as geotecnologias e o sensoriamento remoto fornecem para o monitoramento e análise ambiental, e para extração dos dados em sistemas ambientais. A revisão teórica e a contribuição da metodologia consistem na identificação e seleção de regiões de interesse que oferecem apoio representativo na execução dos processamentos mencionados, apoio que oferece subsídios a finalização e confirmação de estudos ambientais mais complexos. O objetivo deste estudo é avaliar uma das técnicas de interpretação dos dados radiométricos apoiados em produtos e conceitos do sensoriamento remoto. Deste modo, busca-se a definição de componentes puros (pixels) de vegetação, solo e sombra/água, realizada pela interpretação das imagens orbitais com a avaliação do comportamento e assinatura espectral destes três elementos. Como conclusão, buscam-se dois resultados, o primeiro indica a relação de separabilidade e pureza de determinados alvos de superfície em imagens orbitais, o segundo é a limitação dos intervalos espectrais e a identificação do comportamento das respostas de cada um dos elementos. Os resultados podem ser utilizados como reforço para a chave de interpretação no processamento temático dos usos da terra e como amostra referencial de resolução espectral nas metodologias/resultados obtidos em índices de vegetação e modelos de mistura na área de estudo.

**Palavras-chave:** Sensoriamento remoto; Análise ambiental; Índice de vegetação; PDI.

### **Sampling of pure components (vegetation, soil, water/shade) in Sentinel-2 satellite images as subsidies for the interpretation of NDVI in the Ribeirão das Cruzes River Basin, Selvíria/MS.**

### **ABSTRACT**

The present study serves as a methodological contribution to the correlation and validation of products obtained in the digital processing of satellite images (PDI) and in the application of remote sensing techniques in the Ribeirão das Cruzes watershed (BHRC). Maps of land cover and vegetation indexes are some of the products that geotechnologies and remote sensing provide for environmental monitoring and analysis, and for data extraction in environmental systems. The theoretical review and the contribution of the methodology consist in the identification and selection of regions of interest that offer representative support in the execution of the aforementioned processes, support that offers subsidies for the completion and confirmation of more complex environmental studies. The aim of this study is to evaluate one of the techniques for interpreting radiometric data based on remote sensing products and concepts. In this way, the definition of pure components (pixels) of vegetation, soil and shade / water is sought, carried out by the interpretation of orbital images with the evaluation of the behavior and spectral signature of these three elements. In conclusion, two results are sought, the first indicates the separability and purity relationship of certain surface targets in orbital images, the second is the limitation of spectral intervals and the identification of the response behavior of each of the elements. The results can be used as reinforcement for the interpretation key in the thematic processing of land uses and as a reference sample of spectral resolution in the methodologies / results obtained in vegetation indices and mixture models in the study area.

**Keywords:** Remote sensing, Environmental analysis, Vegetation index, DPI.

---

<sup>1</sup> Doutorando em Geografia do Programa de Pós-graduação da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (CPTL/UFMS). E-mail: [rodriguessantori@hotmail.com](mailto:rodriguessantori@hotmail.com)

## Introdução

O monitoramento contínuo e atualizado dos componentes ambientais tem ampliado as possibilidades de avaliação das mudanças ambientais e da evolução da paisagem. No conjunto conhecido de componentes particulares do sistema ambiental, estão três que se apresentam de forma latente nos ciclos de desenvolvimento e troca de fluxos são eles: cobertura vegetal, água e solo.

O conhecimento comportamental destes elementos no ambiente pode contribuir na orientação de levantamentos e pesquisas com variados interesses (SHIMABUKURO; SMITH, 1991; PONZONI; REZENDE, 2004). Nas ferramentas para construção deste conhecimento, são utilizados conceitos que sempre rondam os estudos ambientais. Entre eles se destaca o potencial de utilização de dados radiométricos orbitais, ou seja, informações de sensoriamento remoto proveniente de imagens de satélites que realizam um imageamento por sensor multiespectral da superfície terrestre (LILLESAND; KIEFER; CHIPMAN, 1978; NOVO; PONZONI, 2001).

Estudos como os de Ponzoni e Disperatti (1991) e Shimabukuro, Novo e Ponzoni (1998) além de outros, apontam para o entendimento dos processos de transformação da paisagem através do estabelecimento de correlações entre dados radiométricos originados no sensoriamento remoto e os aspectos biofísicos da vegetação. Assim, produzindo por meio do geoprocessamento, informações e dados sistematizados e geograficamente especializados, que abordem a identificação e quantificação de parâmetros e variáveis do meio ambiente.

O principal objetivo do estudo apresentado aborda a caracterização do comportamento espectral de determinados alvos de superfície. São caracterizados de forma amostral um conjunto de pixels puros com a presença de vegetação, solo e pixels de água em menor proporção

A base teórico-metodológica utilizada favorece o enfoque nas formas de cobertura vegetal mais abundantes, e propõem o entendimento da vegetação integrando as formações vegetais nativas e atividades agrícolas como pecuária (pastagens) e silvicultura (eucaliptos).

Os resultados visualizados precisam fornecer elementos para complementação de técnicas de representação de dados espaciais e ambientais, que apresentem as características radiométricas das formações vegetais e que relacionem espacialmente e temporalmente o comportamento deste e dos demais componentes.

Deste modo, serão apresentadas algumas discussões referentes a qualidade e representatividade de dados e produtos do sensoriamento remoto, somado a possibilidade de produzir, interpretar e validar diferentes tipos de informações geoambientais, e assim, colaborar na complementação de um banco de dados ambientais para diferentes objetivos e representações.

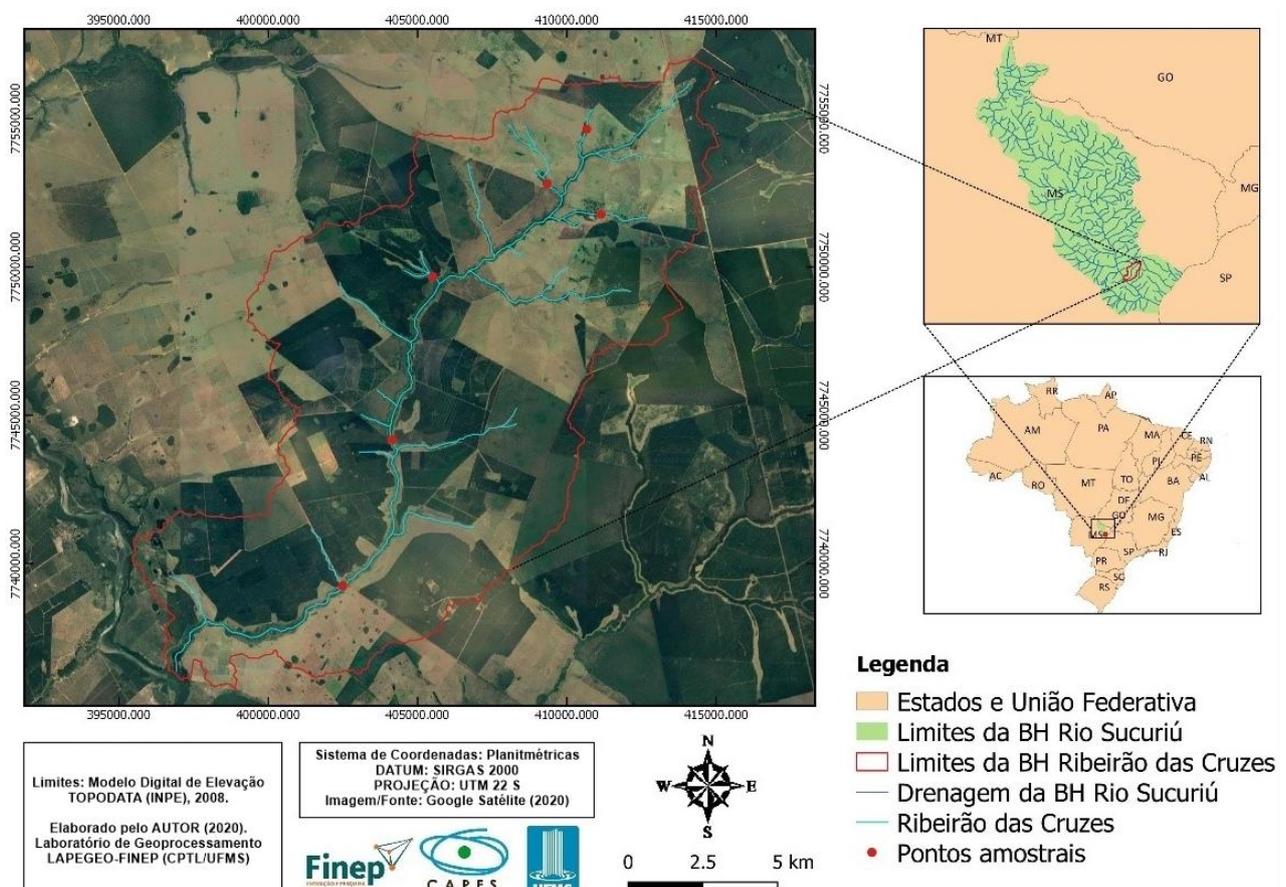
## Caracterização da área de estudo

O recorte escolhido para o desenvolvimento deste estudo é a bacia hidrográfica do Ribeirão das Cruzes (BHRC), esta área é situada na região leste do estado de Mato Grosso do Sul e inserida na porção sul/sudeste do território do município de Selvíria/MS. A área de estudo está inserida no contexto da rede hidrográfica da bacia do Rio Sucuriú, o principal acesso a esta área se dá pela rodovia estadual MS-112.

A BHRC foi adotada para a aplicação desta identificação e extração de dados ambientais por se tratar de um recorte exemplar da dinâmica do sistema em que ela está inserida. A utilização deste recorte de planejamento e gestão, as bacias hidrográficas, fornece algumas bases de norteamiento do estudo no que envolve referencial teórico alinhado aos geossistemas, representados por estas áreas, e metodologicamente como ambiente delimitado, mas muito dinâmico e complexo e que pode ser explorado e interpretado por meio de ferramentas de geoprocessamento.

A área de estudo está inserida no contexto da rede hidrográfica da bacia do Rio Sucuriú

A BHRC encontra-se entre as coordenadas geográficas  $20^{\circ} 15' 36''$  S e  $20^{\circ} 30' 33''$  S e  $52^{\circ} 05' 05''$  W e o  $51^{\circ} 45' 58''$  W, apresentando altitude mínima de 275 metros e máxima de 456 metros com uma área de aproximadamente 212 Km<sup>2</sup> (Figura 1).



**Figura 1:** Mapa de localização da área de estudo (BHRC). Elaborado pelo autor.

### Referencial teórico-metodológico

As bases teóricas são discutidas na tentativa de elucidar os princípios e os aspectos da transformação holística do sistema ambiental ou geossistema, integrando na análise ambiental que se propõem, a intensa relação entre os componentes do ambiente, os seus processos naturais e suas dinâmicas cíclicas com os elementos e atividades humanas na paisagem. Os conceitos abordados na aplicação deste estudo, buscam facilitar o entendimento do processo que envolve as contribuições do sensoriamento remoto e da análise ambiental geográfica em elementos dos geossistemas.

Todos os limiares teóricos utilizados na execução deste estudo são apresentados e descritos por um conjunto de trabalhos e metodologias aplicados por uma gama multidisciplinar de autores que colaboram em grande valia no aprofundamento da temática. O enfoque atribuído a cada um destes conceitos tenta fornecer apoio na análise da consistência dos dados obtidos por métodos convencionais de monitoramento ambiental com uso de geotecnologias.

O geossistema ressalta a visão integrada do ambiente e todas as suas variáveis, onde a partir de estudos de Bertalanffy (1969), surge a ideia de visão geossistêmica do mundo, como um conjunto dos elementos que processam interações e relações entre suas estruturas e entre os seus atributos. Segundo Mirandola-Garcia (2016), os geossistemas e sua compreensão holística, partem inicialmente da observação pelo pesquisador, da dinâmica do sistema, a partir do conhecimento das características das unidades ou elementos que constituem as partes componentes do todo, assim, é possível observar também a forte dependência dessas unidades interligadas.

Compreender o ambiente como um sistema de trocas de fluxos e energia, necessita da disposição do pesquisador em avaliar a dinâmica de processos complexos, muitas vezes invisíveis, mas que ocorrem e estão ocorrendo a cada segundo, em todo o momento. Christofolletti (1979) nos remete a contribuição positiva que a abertura da visão humana e científica oferece na percepção do mundo ao redor e na forte relação sistêmica da sociedade e da natureza, a TGS veste-se de multidisciplinaridade e possibilidades.

O mesmo autor reafirma o sistema como um conjunto de unidades que se inter-relacionam e são organizadas, criando fluxos de entrada (*input*) e saída (*output*) de energia e matéria entre as partes que compõem o todo, a correlação entre as variáveis (unidades) de um sistema revela o modo pelo qual elas se relacionam (CHRISTOFOLETTI, 1979).

Outro conceito de importante contribuição na compreensão das dinâmicas analisadas neste estudo é o de bacia hidrográficas, é essencial conhecer a bacia hidrográfica para entender o funcionamento

holístico de um sistema ambiental. Segundo Fernandes e Silva (1994) considera-se uma bacia hidrográfica um recorte ou área do terreno, que é palco e receptor de processos naturais e não naturais, e que pode possuir várias dimensões.

Na análise espacial as áreas e limites das sub-bacias e bacias hidrográficas pode ser conhecido com atributos topográficos extraídos em modelos de elevação. Assim, como apontam Christofolletti e Perez Filho (1975), a bacia hidrográfica pode ser delimitada a partir da caracterização dos seus divisores de água, ela integra características de drenagem como canais de escoamento e vertentes que captam naturalmente a precipitação, assim, sendo condicionada pela topografia ou pela estrutura geológica do terreno.

Com importância igual aos conceitos teóricos já mencionados, estão também os termos que envolvem as geotecnologias e mais especificamente as técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto utilizadas neste trabalho.

Ambos os conceitos podem ser definidos com o apoio de Novo e Ponzoni (2001), o geoprocessamento para os autores é um conjunto de técnicas que interpretam, extraem e apresentam informações ambientais das mais variadas formas. Complementando a definição deste recurso das geotecnologias, temos a compreensão do geoprocessamento também como:

Desta forma, pode ser definido como um ramo da ciência que estuda o processamento de informações georreferenciadas utilizando aplicativos (normalmente SIGs), equipamentos (computadores e periféricos), dados de diversas fontes e profissionais especializados. Este conjunto deve permitir a manipulação, avaliação e geração de produtos (geralmente cartográficos), relacionados principalmente à localização de informações sobre a superfície da terra (PIROLI, E. L. 2010, p. 5).

O conceito e o funcionamento do sensoriamento remoto (SR) está atrelado e integrado ao de geoprocessamento, mas representam técnicas e processos diferentes na atividade de mapeamento temático e na produção de levantamento e índices baseados em dados radiométricos (MOREIRA, 2001).

O SR consiste em todo complexo sistema de imageamento/leitura multinível de variados fenômenos físico-ambientais da superfície terrestre (LILLESAND; KIEFER; CHIPMAN, 1978). O SR é parte integrante das geotecnologias, e é compreendido com os usos de diferentes sensores que coletam informações a partir de equipamentos (radares ou satélites) que também processam estes dados e os disponibilizam para diferentes finalidades. Shimabukuro e Ponzoni (2017) afirmam que uma das principais características de utilização do sensoriamento remoto é devido sua capacidade de

abrangência espacial revelando informações geográficas e de recursos naturais amplos e as vezes inacessíveis fisicamente.

Conforme apontam Shimabukuro, Novo e Ponzoni (1998) o monitoramento de diferentes recursos em regiões com determinadas extensões e dificuldades de acesso, podem ser facilitadas e se obter respostas mais confiáveis através da utilização de técnicas de sensoriamento remoto. “Os tipos de dados de sensoriamento remoto a ser adquiridos dependem do tipo de informação necessária, do tamanho e da dinâmica dos objetos ou fenômenos estudados.” (NOVO; PONZONI, 2001, p. 11)

O poder de reflectância de um alvo é um dos principais conceitos empregados neste estudo, a vegetação, o solo exposto e a água, possuem características particulares em suas propriedades. Estas condicionam suas respostas espectrais e ao analisar o fator de reflectância destes alvos, possibilitasse a leitura de suas assinaturas espectrais e as possíveis diferenciações e particularidades que podem ser atribuídas a cada uma delas.

Como explicam Shimabukuro e Ponzoni (2017), cada alvo específico na superfície recebe fluxos diretos e difusos de energia da radiação incidente pela energia solar chamada de radiação eletromagnética (REM). A interação comportamental da REM com a vegetação, o solo e a sombra/água desenvolvem-se na forma de ondas de energia dentro de faixas diferentes do espectro, formadas pela oscilação dos campos elétrico e magnético (SHIMABUKURO; PONZONI, 2017).

Em cada um dos alvos ou “objetos” se obterá um tipo de resposta a partir de sua estrutura. Em cada resposta se pode interpretar o comportamento dos alvos pelas curvas espectrais da imagem. “Uma estratégia geralmente adotada para se definir um objeto de estudo é identificar as diferenças e as semelhanças que este objeto de estudo tem em relação a outros objetos” (NOVO; PONZONI, 2001, p. 42).

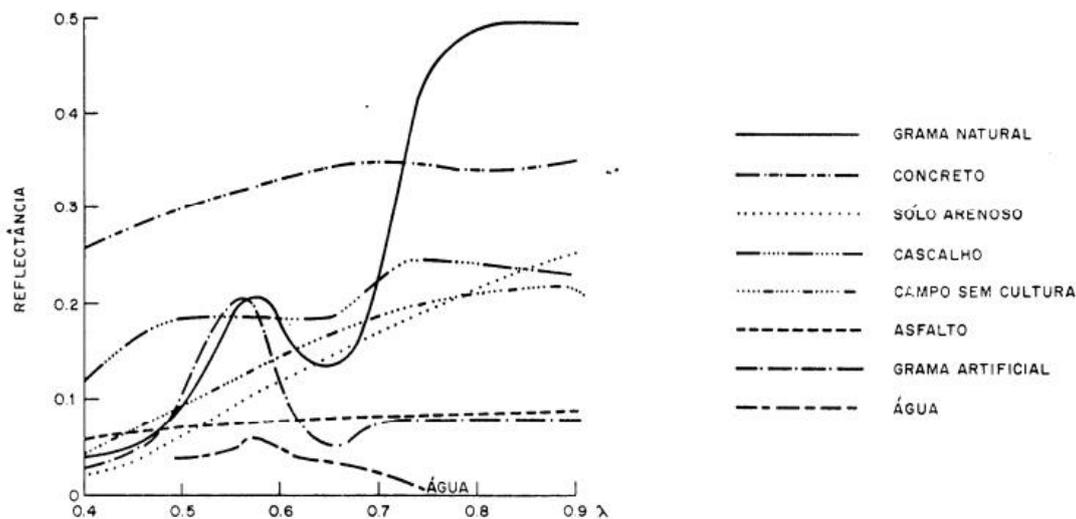
Nesta conceituação teórica é importante deixar claro a definição de dois aspectos relativos à resolução das imagens de satélite.

O primeiro é a resolução espectral que correspondente exatamente ao processo já descrito de distribuição da radiação entre as bandas de cada plataforma, onde quanto maior o número de bandas maior será a capacidade de registro da REM e conseqüentemente maior será a resolução espectral do sensor.

O segundo é a resolução radiométrica que corresponde a relação de números digitais (DN) ou níveis de cinza da imagem, esta necessita atenção especial, pois registra exatamente a grandeza radiométrica medida no alvo pelo sensor, e colabora para a definição das assinaturas espectrais dos

alvos desejados, além de fornecer a base teórico-metodológica para a seleção de componentes puros posteriormente.

Neste estudo, já definimos a importância de alguns conceitos teóricos centrais, resta agora apresentar de forma direta a discussão que envolve o processo de identificação, seleção e amostragem das classes de vegetação, solo exposto e água/sombra segundo o entendimento até aqui exposto. A figura 2 apresenta de forma geral o comportamento de variados elementos e recursos do ambiente natural e antropizado.



**Figura 2:** Comportamento das curvas de refletância de alguns recursos do ambiente.  
Fonte: Adaptado de NOVO; PONZONI. (2001)

Com base na ilustração dos comportamentos e assinaturas alvos de superfície apresentados por Novo e Ponzoni (2001), apoiado também em estudos e análises realizados por Moreira (2001); Lillisand e Kiefer (1987); Shepperd e Walsh (2002); Demattê et al. (2005), e Epiphanyo et al., (1992) podemos definir o comportamento geral dos elementos trabalhados.

Em relação a resposta proporcionada pelo comportamento do solo, existe uma infinita relação de parâmetros para se observar antes de definir uma resposta concisa sobre este recurso. Existem muitos tipos de solos com constituintes minerais e concentrações de água e ar diferentes, e com condições de manejo e conservação também diferentes.

Esta base conceitual indica que a componente solo tem a tendência comportamental de aumentar a reflectância a partir do comprimento de 400 nm, atingir um pico próximo a 50% (0.5) entre 865 nm e voltar a tendência de redução. A componente água possui comportamento peculiar resultando com frequência em valores próximos a 0, as únicas respostas mais acentuadas da água em imagens orbitais ocorrem entre a 380 nm e 700 nm com valor sempre inferior a 10% (0.1), acima da faixa espectral do visível a água absorve toda a radiação incidente.

Por fim, a vegetação apresenta a sua resposta muito condicionada as suas características biológicas, morfológicas e ambientais. A estrutura biológica e o funcionamento das plantas influenciam diretamente na interação da REM com a planta em si e com dossel vegetal como um todo (PONZONI; DISPERATTI, 1991).

De forma geral o comportamento da vegetação no espectro é definido por baixíssimas reflectâncias (grande absorção) nas faixas do azul e vermelho (400 nm e 600 nm) devido a absorção pela clorofila. Em contrapartida ocorre sempre o registro de alta resposta no infravermelho próximo entre 700 nm e 1200 nm, causada pela estrutura interna da folha que reflete a REM nas paredes celulares e na estrutura do mesófilo, a valores próximos de 40% (0.4).

### **Materiais e métodos**

A metodologia de produção dos resultados e alcance dos objetivos propostos para este estudo, consolida a utilização de técnicas de obtenção e interpretação de imagens de SR, e reforça a atividade de monitoramento geoambiental dos recursos naturais terrestres. Os passos de execução baseiam-se na coleta, avaliação, validação e apresentação dos dados ambientais pesquisados. A interpretação visual de imagens orbitais consiste na extração de informações dos alvos da superfície terrestre, com base nas suas respostas espectrais.

O primeiro passo é a coleta e organização dos dados gerais e dos materiais de suporte no estudo, neste caso são os dados (ferramentas) utilizadas na produção prática-metodológica do estudo, tais como, imagens de satélite (Sentinel-2), mapas temáticos (Google), o SIG utilizado (Qgis), além de gráficos e arquivos vetoriais de base (.shp). Outra parte destes dados são bibliográficos e correspondem ao pilar teórico-metodológico baseado em múltiplos conceitos e técnicas propostas em artigos, teses, dissertações e livros apresentados no item anterior.

A relação de conteúdos digitais básicos, juntamente com a utilização do Sistema de Informação Geográfica (SIG) de código aberto e uso gratuito QGIS 3.6 Noosa, deram suporte nas etapas de levantamento e definição das características ambientais da área de estudo. Os arquivos vetoriais de base utilizados neste processamento, representam o recorte ou limite da BHRC e a configuração da sua rede de drenagem, esta informação foi extraída em estudos anteriores (GUIMARÃES; SANTORI; MIRANDOLA-GARCIA, 2020), pelo tratamento do Modelo Digital de Elevação (SRTM) disponível no banco de dados morfométricos do Brasil (TOPODATA-INPE).

As imagens de satélite foram adquiridas na plataforma *Copernicus Hub* gerenciada pela Agência Espacial Europeia (European Space Agency – ESA) que agrupa em um banco de dados, todo o conjunto de imagens registradas pela plataforma Sentinel-2 desde seu início em 2015.

As cenas foram escolhidas segundo a sazonalidade do regime seco na região. Este indicador varia de abril/maio até setembro/outubro, as imagens que correspondem ao início do período seco são do dia 11 de abril de 2018 e as do final do período seco são do dia 08 de setembro de 2018, para cobertura da área da BHRC são necessárias duas cenas vizinhas que serão pré-processadas e no final se obter apenas a área de estudo em cada banda utilizada.

As bandas utilizadas possuem média resolução espacial (10 metros) e correspondem as faixas espectrais do azul visível (400nm – 500 nm) na banda 2, do vermelho visível (600nm – 700nm) na banda 4 e a faixa do infravermelho próximo (760nm – 1200nm) na banda 8. Na tabela 1 estão relacionados o conjunto de bandas obtidas no levantamento de dados e algumas características básicas relacionadas a forma de aquisição.

**Tabela 1:** Relação de bandas utilizadas na metodologia.

Nome	Banda	Data	nmC*	Nível/Orbita	Formato
T22KCC + T22 KDC (20180411T201448)	Banda 4 (RED)	11/04/2018	665	1C/124	JP2
	Banda 8 (NIR)		883		
	Banda 2 (BLUE)		490		
T22KCC + T22 KDC (20180908T200726)	Banda 4 (RED)	08/09/2018	665	1C/124	JP2
	Banda 8 (NIR)		883		
	Banda 2 (BLUE)		490		

Elaborado pelo Autor.

nmC\* = comprimento de banda central

As etapas iniciais realizadas nesta metodologia servem como preparação das imagens para o processamento de amostragem dos componentes puros. Para chegar à etapa final de seleção destes “pixels-puros” de vegetação, solo exposto e água, é preciso realizar algumas etapas e técnicas de pré-processamento dos dados. A atividade de pré-processamento consiste em uma série de etapas básicas, para preparar os dados de sensoriamento remoto utilizados de forma a potencializar sua qualidade e a representatividade das feições do terreno dentro de padrões aceitáveis.

Para o pré-processamento foi utilizado o sistema informação geográfica QGIS 3.6 Noosa e um de seus complementos, o Semi-Automatic Classification Plugin (SCP). Na interface do SCP existe uma

série de ferramentas que contribuem na visualização e preparação dos dados em etapas de pré-processamento e pós-processamento dos dados.

Após inseridos os dois conjuntos de imagens no SIG, foi efetuado o primeiro processo no SCP, que corresponde a correção ou conversão radiométrica das imagens, isto é, a mudança de seus números digitais (DN) ou níveis de cinza para valores da grandeza física (Radiância) que pode ser medida na base ou no topo de atmosfera.

A segunda etapa é a conversão dos parâmetros geométricos e físicos associados ao sistema de coordenadas e referências (SRC), este processo é simples e pode ser realizado nas ferramentas de projeções no menu *raster*. Originalmente, os dados orbitais da plataforma Sentinel-2 possuem coordenadas de saída em WGS 84, o registro realizado transforma as coordenadas geográficas em planimétricas baseadas na Unidade Transversal de Mercator (UTM) na projeção SIRGAS 2000, hemisférios Sul e latitude 22.

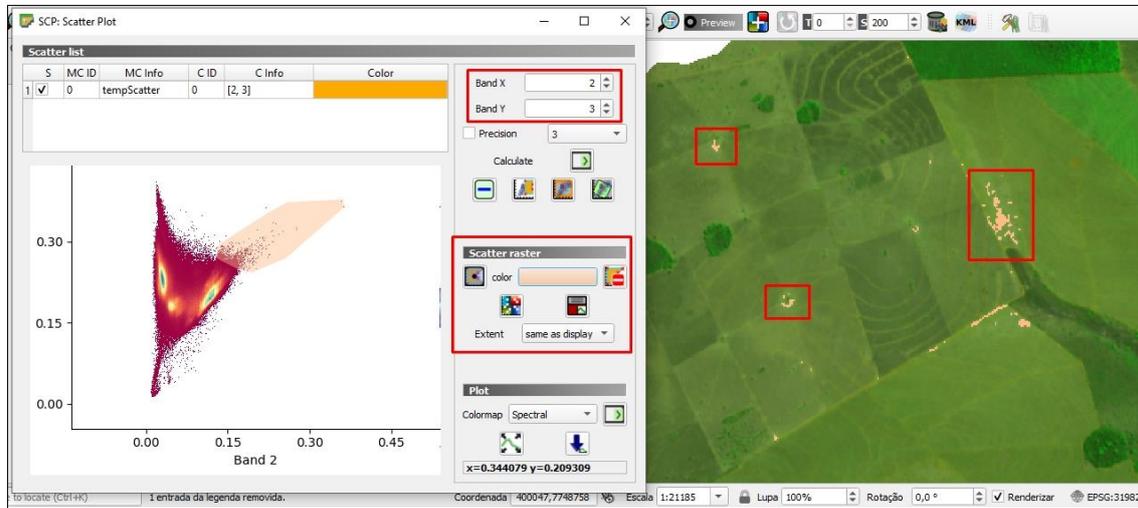
A terceira etapa é o mosaico que consiste em unir lado a lado as duas cenas vizinhas de ambas as datas consideradas (T22KCC + T22KDC), de forma que a cena final efetivamente contemple toda a área do recorte da BHRC.

A quarta etapa é o recorte da área de interesse nas bandas utilizadas (2-4-8) de forma que cada banda represente apenas a área de interesse, para este pré-processamento é necessário o arquivo vetorial com os limites da bacia hidrográfica extraídos do MDE da área. Este procedimento pode ser realizado na ferramenta de extração com a camada máscara (limites), recortando toda a área que sobrepõem o interior do polígono da BHRC.

A quinta etapa é o empilhamento ou a composição colorida das bandas selecionadas para o estudo, neste estudo foi criado o arquivo RGB com as bandas 4 (R), banda 8 (G) e banda 2 (B) criando uma composição falsa-cor com realce para o vigor e desenvolvimento da vegetação. Com a imagem RGB sem realce já inserida e devidamente registrada na lista de imagem multibandas do SCP (Bad Set), e com a definição correta das bandas empilhadas (4/8/2) e a relação correta de configurações de comprimento de onda das imagens.

Após configuradas estas etapas é preciso iniciar a ferramenta "*Scatter Plot*", responsável por realizar a seleção e amostragem dos componentes puros com base na avaliação dos vértices do diagrama de dispersão entre duas bandas distintas. No diagrama de dispersão é plotado a distribuição das respostas espectrais dos alvos dentro do campo eletromagnético, o diagrama possui dois eixos (X e Y) e em cada um é inserido o comportamento de uma banda espectral. Neste estudo utilizamos as bandas do vermelho (x) e infravermelho próximo (Y) como base para plotagem da dispersão espectral.

A figura 3 ilustra processo de seleção dos chamados “pixels-puros” que representam de forma total ou majoritária sua textura e ocupação com um dos três componentes da imagem trabalhados (vegetação, solo exposto e água/sombra).



**Figura 3:** Exemplo de seleção de amostras com solo exposto na dispersão entre NIR e RED. Elaborado pelo Autor.

A seleção dos componentes puros em si ocorre com a criação de áreas (polígonos) nas principais extremidades do diagrama. Com o diagrama do eixo Y e X já calculado, utilizamos a ferramenta ‘*Scatter Raster*’ para executar a seleção das áreas de possíveis *Endmembers* ou pixels-puros.

Na interpretação do eixo Y, a dispersão se apresenta de forma mais alongada e distribuída, os pixels alcançam valores de refletância próximos a 45% (0.45), o pico de reflectância é associado as respostas mais intensas da interação da REM com o espectro do infravermelho e pode indicar pixels puros de vegetação com menor ou nenhuma mistura com elementos de solo, sombra e água.

No eixo X a tendência de dispersão do diagrama indica uma menor distribuição e alongamento, a mancha mais intensa de pixels ao centro da dispersão nas respostas entre 0.15 e 0.20, representam variados tipos de vegetação, e os maiores valores de reflectância a 30% (0.30) expressa diretamente a resposta do conjunto de pixels puros de solo exposto.

Vale ressaltar que a densidade e a textura das cores no diagrama indicam também a intensidade da mistura espectral entre os componentes puros considerados. Segundo Shimabukuro e Ponzoni (2017) existe uma relação determinante entre o número de componentes puros e a definição da quantidade de vértices que o diagrama de dispersão apresenta. Deste modo, no caso de duas bandas espectrais teremos a figura geométrica próxima a um triângulo. Os componentes ou pixels puros na mistura sempre serão aqueles que as respostas espectrais estão mais próximas dos vértices da figura gerada (SHIMABUKURO; PONZONI, 2017).

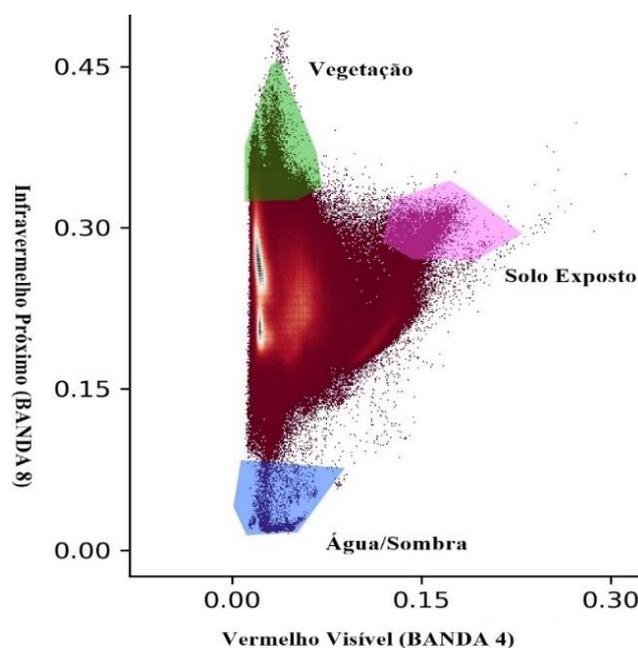
## Resultados

Os resultados obtidos fornecem um conjunto interessante de amostras para análise do comportamento ambiental de alvos naturais. As amostras de componentes puros de vegetação, solo exposto e água/sombra são produtos que podem orientar demais técnicas de análise digital de recursos ambientais.

O primeiro resultado refere-se aos dados obtidos pela seleção de componentes (pixels) puros no diagrama de dispersão entre as bandas do vermelho visível (Banda 4) e infravermelho próximo (Banda 8) no dia 11 de abril de 2018. O comportamento espectral dos três alvos escolhidos pode ser compreendido pela textura e intensidade das cores e pela distribuição ou espalhamento dos pixels do diagrama.

As maiores assinaturas espectrais da vegetação são sentidas no infravermelho devido à alta reflectância, em contrapartida, as maiores respostas da ausência de vegetação e do solo exposto são registradas com maior intensidade no vermelho visível, sempre com respostas entre 0.15 ou acima, sendo que a radiação incidente na vegetação em sua grande maioria é absorvida pelos elementos fotossintetizantes das folhas.

A figura 4 representa como foi realizada a delimitação geral das amostras dos componentes puros avaliados, tendo como entendimento o comportamento de cada alvo segundo a literatura apresentada ao longo deste trabalho.



**Figura 4:** Diagrama de dispersão e posição dos pixels-puros do início do período seco (2018).

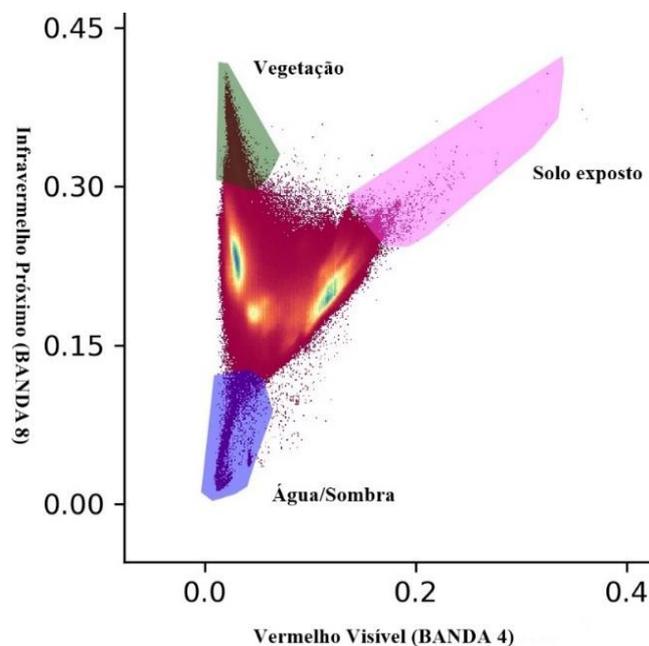
Elaborado pelo Autor.

Os resultados obtidos na seleção de componentes do final do período seco como comparativo ao período anterior são interessantes. O segundo resultado aborda a análise do comportamento dos componentes puros no diagrama de dispersão entre as bandas do vermelho visível (Banda 4) e infravermelho próximo (Banda 8) de 8 de setembro de 2018.

Como já foi mencionado, o comportamento espectral dos três alvos escolhidos pode ser compreendido pelo posicionamento dos pixels na dispersão, as assinaturas espectrais mais concisas para vegetação, solo exposto e água novamente compõem as extremidades ou vértices do diagrama.

Esta data foi considerada por representar um dos últimos dias daquele ano com estiagem na região. Estudando e identificando o comportamento destes elementos é perceptível a tendência de respostas mais agudas ou intensas para a vegetação e para o solo exposto se comparado a data anterior. Nota-se que no final do período seco a vegetação apresentou respostas mais homogêneas e menos dispersas, enquanto o solo exposto indicou a presença de pixels isolados com altas repostas (0.4) nas duas bandas do diagrama.

A figura 5 demonstra a tendência do diagrama de dispersão e a delimitação geral das amostras dos componentes puros avaliados, evidenciando a presença de três manchas no interior do diagrama que indicam algumas texturas e respostas mais comuns e com maior mistura espectral entre as classes de pastagens, silvicultura e vegetação nativa.



**Figura 5:** Diagrama de dispersão e posição dos pixels-puros do final do período seco (2018).

Elaborado pelo Autor.

Na primeira data a representação digital da imagem com pixels de maiores respostas dos três componentes puros determinados, apresentaram respostas mais dispersas na análise da dispersão do que em relação ao comportamento destes mesmos componentes em outra data do mesmo ano. Com base no conceito de que cada pixel apresenta uma resposta segundo as características dos componentes presentes naquele elemento de imagem. Propomos a interpretação dos resultados obtidos considerando na análise as condições de proporção, forma, textura e cor desses componentes na área de estudo.

Desta forma, fica estabelecida em ambas as imagens e amostras selecionadas, a relação de predomínio de formações vegetais verdes saudias e alguns trechos de solo exposto e pequenas manchas de água, elementos estes que apresentam certas variações nas suas características.

As misturas mais intensas neste estudo podem ocorrer principalmente na componente vegetação, devido as variantes físicas e ambientais, por exemplo, a presença de nebulosidade. A vegetação mostrou-se uma componente complexa para submissão à análise e ao processo de interpretação e combinação linear de espectros puros, pois, a vegetação por si mesma possui relativa variação entre espécies e dentro da própria espécie de cada indivíduo vegetal.

De modo geral, observando as possibilidades de interpretação desta componente em específico, fica claro a influência que a escassez hídrica e a estiagem em meses com baixíssimas taxas de pluviosidade impõem as formas vegetais menos desenvolvidas e em espécies de pequeno porte como as gramíneas destinadas ao pastoreio.

A tabela 2 apresenta a relação de amostras de componentes puros encontrados na identificação e seleção de *Endmembers* do diagrama de dispersão. A quantidade de elementos de resolução (pixels de 10m X 10m) amostrados, e o quantitativo de resposta sentida pelo sensor nas bandas consideradas, servem exatamente como amostras de elementos amplamente comuns neste tipo de sistema ambiental e representativos das características da região em que estão inseridos.

**Tabela X:** Características da seleção de componentes puros nas datas e no local de estudo.

Endmembers	Qtd	Banda 4 (nm*)	Banda 8 (nm*)
Vegetação (Abr/2018)	2.625	0.018 – 0.03	0.32 – 0.45
Solo exposto (Abr/2018)	391	0.12 – 0.18	0.26 – 0.32
Água/Sombra (Abr/2018)	103	0.02 – 0.04	0.015 – 0.03
Vegetação (Set/2018)	772	0.02 – 0.038	0.32 – 0.38
Solo exposto (Set/2018)	385	0.14 – 0.18	0.24 – 0.3
Água/Sombra (Set/2018)	560	0.01 – 0.04	0.01 – 0.04

Elaborado pelo Autor

\*Faixa de resposta média aproximada. (Valores de reflectância)

A descrição do comportamento dos três componentes puros analisados, é parte da correlação entre as informações que as amostras podem fornecer na interpretação da evolução e das mudanças na paisagem, nos recursos ambientais e no seu manejo.

No início do período seco a vegetação ainda conserva um ciclo hídrico que não se encerra imediatamente com o início da estiagem. Além disto, os diferentes tipos de vegetação respondem de modos e intensidades diferentes, conforme suas características internas e fatores externos.

O componente solo exposto, representa nas duas imagens o manejo de áreas recém-colhidas ou recém-plantadas de determinadas culturas agrícolas, por exemplo, a silvicultura. Estas áreas representam também possíveis pastagens desgastadas ou com impactos ambientais (pisoteio, erosões e compactação). Estes componentes geralmente aparecem nas imagens de satélite com valores de cinza muito próximos ao branco (0), no entanto, as características e os constituintes dos diferentes solos influenciam também na oscilação destes registros

O último componente são as pequenas manchas de água representadas por açudes, represas e pela própria drenagem. Possuem valores de cinza e respostas tradicionais sempre próximas a 0 (alta absorção) fora da faixa do visível, os pixels com presença de corpos d'água e sombras seja por interferência de nuvens ou pela geometria dos objetos próximos e do terreno, se assemelham muito e suas respostas são agrupadas.

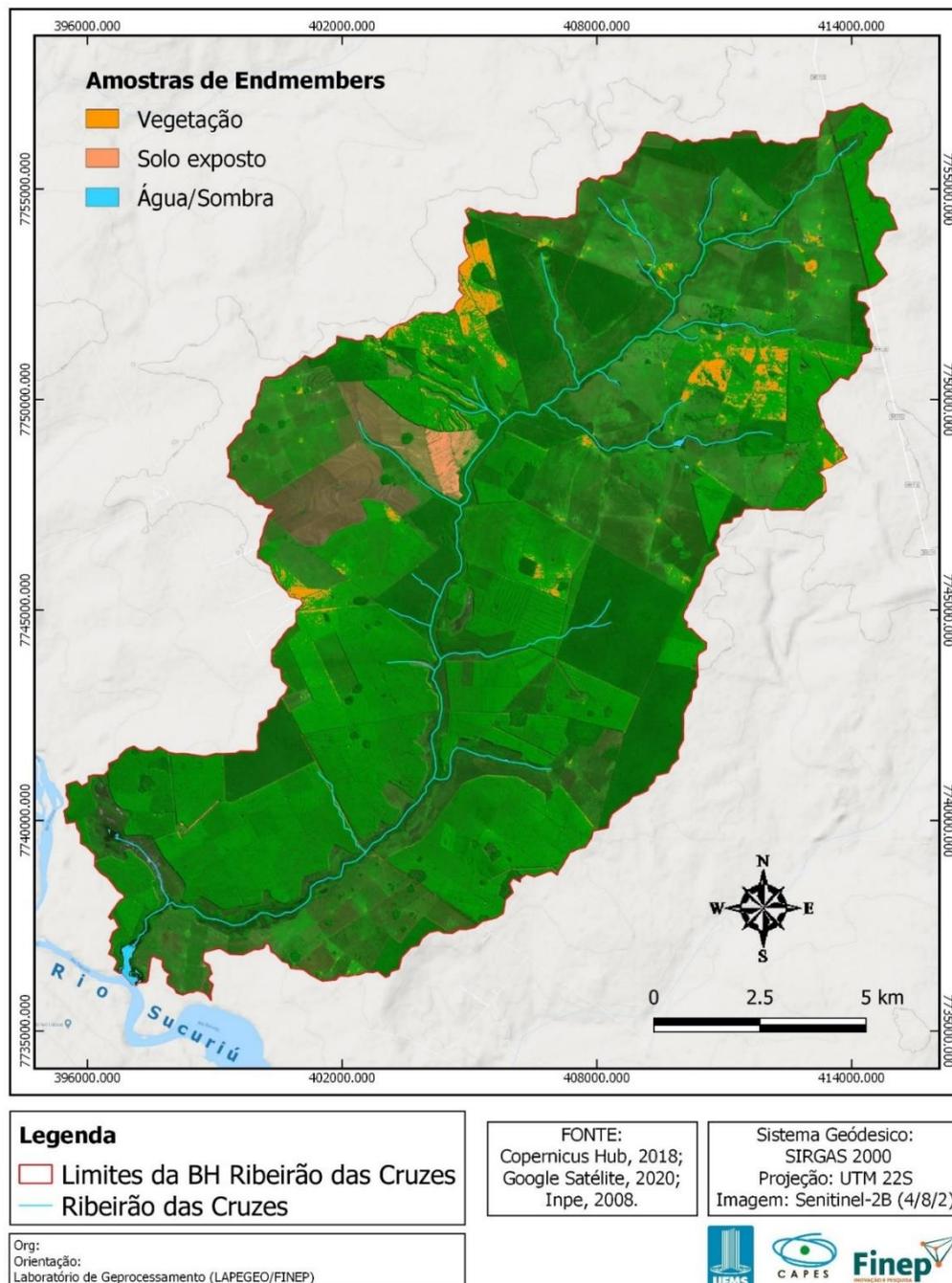
No início do período seco com boa umidade e volume de água ainda presente no sistema, alguns componentes puros de vegetação foram relativamente distribuídos em diferentes formações vegetais nativas e agrícolas. No final do período seco a quantidade de áreas compostas por água e sombra indicaram relativo aumento. Estas mudanças e a dinâmica proporcionada pelas diferenças nos períodos, podem ser analisadas de modo geral nas próximas figuras.

A figura 6 apresenta alguns exemplos de componentes puros encontrados na imagem através da metodologia de seleção no cruzamento de dispersão entre bandas, a imagem da esquerda corresponde a ao levantamento do mês de abril e a direita a do mês de setembro.



**Figura 6:** Exemplos de componentes de vegetação e água (esq.) e solo exposto e sombra (dir.).

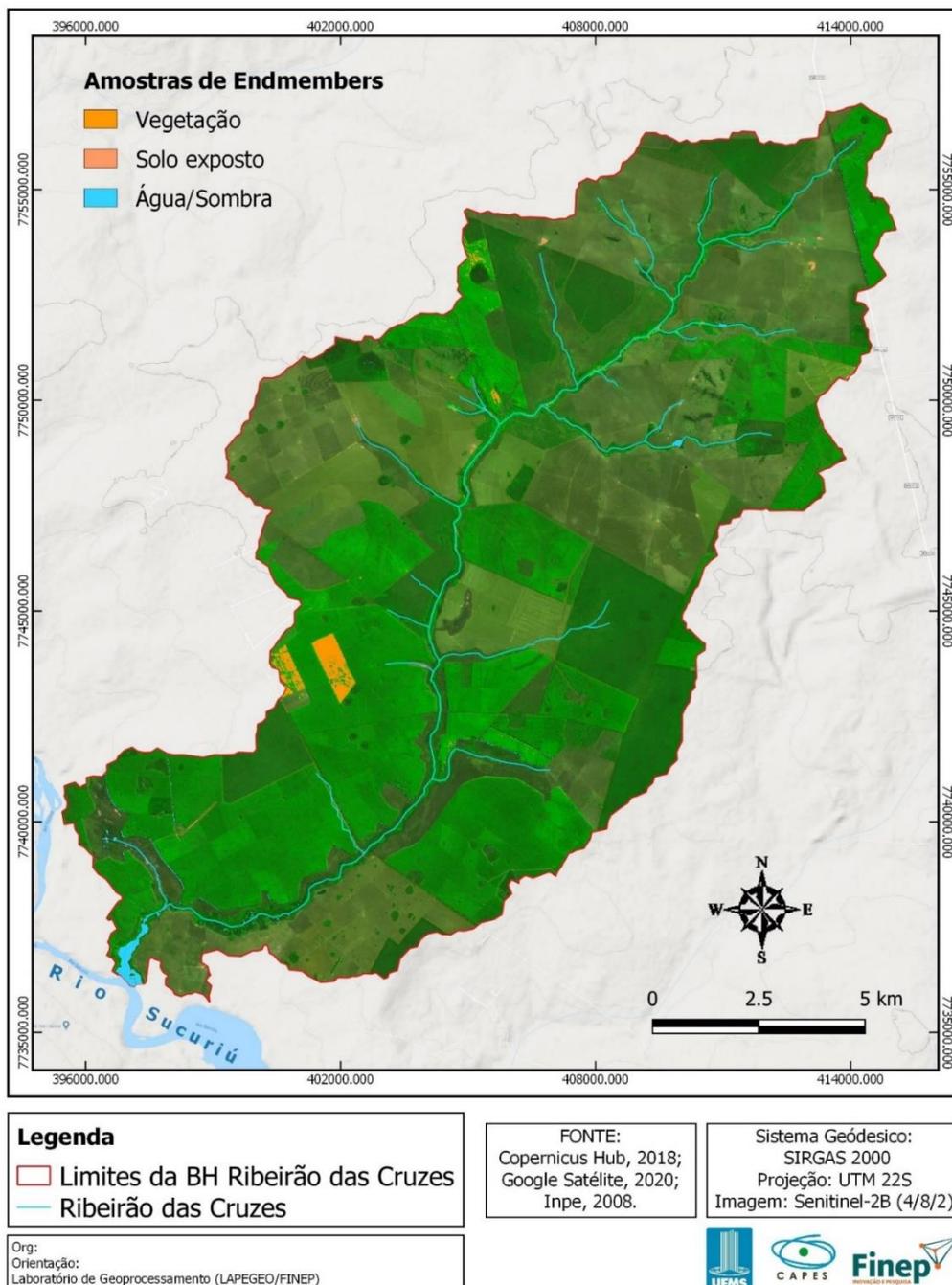
A figura 7 representa a posição e distribuição dos pixels selecionados na dispersão para cada um dos componentes puros (vegetação, solo, água/sombra) na BHRC em abril de 2018. A representação dos dados relacionados aos componentes puros de vegetação, foram amostrados em um tom de laranja, as áreas de solo exposto em tom próximo ao lilás e os pixels com água e sombra na cor azul.



**Figura 7:** Seleção/posição dos pixels puros de vegetação, solo exposto e água/sombra (Abr/2018).  
Elaborado pelo Autor.

A figura 8 caracteriza a amostragem dos *Endmembers* selecionados na dispersão para cada um dos componentes puros (vegetação, solo, água/sombra) na BHRC em setembro de 2018. Detalhe para

a grande diferenciação entre as formações relacionadas as pastagens e as demais formas vegetais mais desenvolvidas e mais adaptadas.



**Figura 8:** Seleção/posição dos pixels puros de vegetação, solo exposto e água/sombra (Set/2018).  
Elaborado pelo Autor.

## Conclusões e discussão

Considerando toda a análise feita neste estudo, podemos determinar que a discussão central se apoiou em elementos teóricos da análise ambiental de bacias hidrográficas, apoiada nos geossistemas e nos preceitos metodológicos do sensoriamento remoto e do processamento digital de imagens.

A construção metodológica dos resultados obtidos, atribui-se as características e tendências do processo de interação entre a radiação eletromagnética e a superfície terrestre. Esta análise ocorreu por meio da interpretação visual do comportamento de importantes elementos que compõem a estrutura e a dinâmica da paisagem na bacia hidrográfica do Ribeirão das Cruzes.

O objetivo traçado consistiu na identificação e seleção de atributos específicos das imagens de satélite, em dois períodos de sazonalidade diferentes ao longo de um ano. O resultado produzido foi eficaz, sendo utilizado posteriormente na validação de amostras, em processos de segmentação e classificação de usos e ocupação da terra e como carta ou imagem de referência para interpretação de outras técnicas de sensoriamento, com objetivo de extração de informações espaciais e ambientais do recorte.

A utilização da metodologia aplicada neste trabalho pode contribuir na identificação e coleta de atributos do ambiente presentes nas imagens orbitais. Esses elementos são registrados conforme suas condições internas e externas de comportamento e de interação no processo de imageamento, e com a aplicação das técnicas adequadas pode-se extrair e revelar dados específicos que a imagem em estado bruto não apresenta.

Deste modo, os procedimentos de coleta e tratamento dos produtos de satélite e a utilização integrada de técnicas de sensoriamento remoto e SIG para a interpretação desse tipo de informação de dispersão, permite diagnosticar com maior dinâmica e intensidade, as mudanças e as transformações que o sistema ambiental e os recursos naturais sofrem ao longo de um período considerado.

Concluimos este estudo, reafirmando a necessidade de ampliação das metodologias associadas ao sensoriamento remoto e as geotecnologias para análise de componentes naturais dinâmicos dos sistemas ambientais. Haja vista que estes elementos do ambiente possuem relações e interações entre si, e estas trocas mútuas causam impactos e derivações em diferentes níveis.

### **Agradecimentos**

Colaboração da Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal do Ensino Superior (CAPES) nº do processo 88887.635600/2021-00, Fundação de Apoio ao Desenvolvimento Ensino, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso do Sul (FUNDECT) e apoio do Programa de Pós-graduação em Geografia (PPGEO) da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (CPTL/UFMS).

### **Referências**

BERTALANFFY, L. von. *General system theory: foundations, development, applications*. New York: G. Braziller, 1968.

CHRISTOFOLETTI, A. **Análise de sistemas em geografia: introdução**. Editora Hucitec, Editora da Universidade de São Paulo, 1979.

CHRISTOFOLETTI, A. **A morfologia de bacias de drenagem**. Notícias Geomorfológicas, Campinas, v.18, n.36, p.130-2, 1978.

CHRISTOFOLETTI, A.; PEREZ FILHO, A. Estudos sobre a forma de bacias hidrográficas. **Boletim de Geografia Teórica**, v. 5, n. 9, p. 83-92, 1975.

DEMATTÊ, J. M et al. Uso de imagens de satélite na discriminação de solos desenvolvidos de basalto e arenito na região de Paraguaçu Paulista. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 7, p. 697-706, 2005.

EPIPHANIO, J. C. N et al. Comportamento espectral de solos do Estado de São Paulo. **São José dos Campos: INPE**, p. 131, 1992.

GUIMARAES, J. C. S.; SANTORI, A. R.; MIRANDOLA-GARCIA, P. H. Geotecnologias Aplicadas ao Uso e Cobertura da Terra na Bacia Hidrográfica Ribeirão Das Cruzes (BHRC)-Três Lagoas/MS. In: XVI FÓRUM AMBIENTAL DA ALTA PAULISTA, 2020. ANAIS DO FÓRUM AMBIENTAL DA ALTA PAULISTA. Tupã: ANAP, 2020. v. 16.

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W.; CHIPMAN, J. W. Concepts and foundations of remote sensing. **Remote Sensing and Image Interpretation; Lillesand, T., Kiefer, R., Chipman, J., Eds**, p. 1-57, 1987.

MIRANDOLA, P. H. Discussão teórica dos métodos e técnicas para estudos em bacias hidrográficas. **Ciência Geográfica**, Bauru, 20, n. 1, p. 44-57, jan/dez. 2016.

MOREIRA, M.A. Fundamentos de Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação. 2ª ed. Viçosa, UFV, 2001.

NOVO, E. M. L. M.; PONZONI, F. J. Introdução ao sensoriamento remoto. **Instituto Nacional**, 2001.

PIROLI, E. L. Introdução ao geoprocessamento. **Ourinhos: Unesp/Campus Experimental de Ourinhos**, 2010.

PONZONI, F. J.; DISPERATI, A. A. Aplicação do modelo SAIL no estudo e reflectância de dosséis de mudas de *Eucalyptus sp.* e de *Aspidosperma sp.* **Floresta**, v. 21, n. 1/2, 1991.

PONZONI, F. J.; REZENDE, A. C. P. Caracterização espectral de estágios sucessionais de vegetação secundária arbórea em Altamira (PA), através de dados orbitais. **Revista Árvore**, v. 28, n. 4, p. 535-545, 2004.

SHIMABUKURO, Y. E.; NOVO, E. M. L. M.; PONZONI, F. J. Índice de vegetação e modelo linear de mistura espectral no monitoramento da região do Pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, n. 13, p. 1729-1737, 1998.

SHIMABUKURO, Y. E.; PONZONI, F. J. **Mistura Espectral: modelo linear e aplicações**. Oficina de Textos, 2017.

SHIMABUKURO, Y. E.; SMITH, J. The least-squares mixing models to generate fraction images derived from remote sensing multispectral data. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote sensing**, v. 29, n. 1, p. 16-20, 1991.

SHEPHERD, K. D.; WALSH, M. G. **Sensing soil quality: the evidence from Africa**. International Centre for Research in Agroforestry, 2000.

ZANZARINI, F. V et al. Correlação espacial do índice de vegetação (NDVI) de imagem Landsat/ETM+ com atributos do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 6, p. 608-614, 2013.