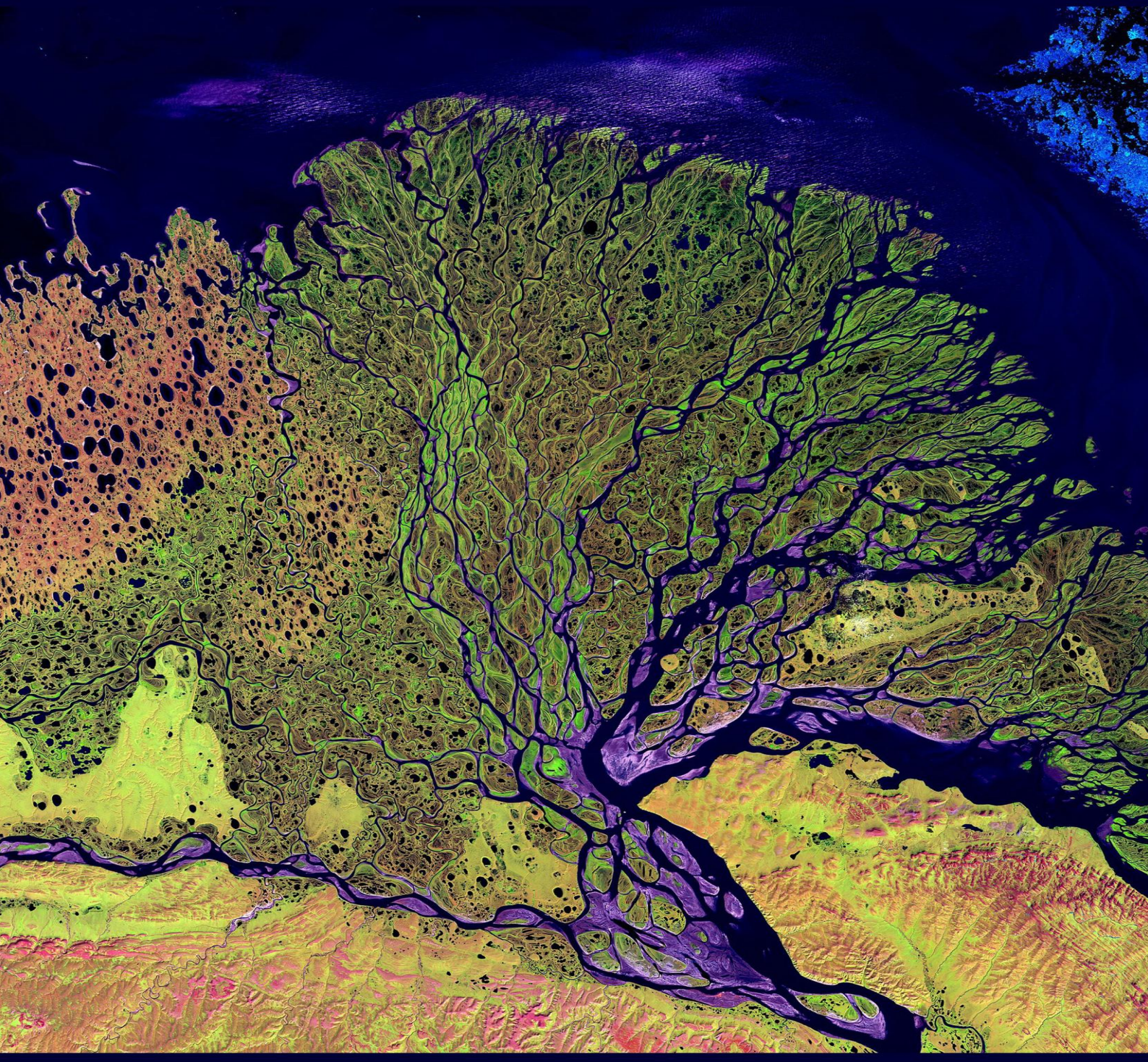
MÉRIDA
PUBLISHERS

GEOGRAFIA POR SENSORIAMENTO REMOTO



Joceli Augusto Gross

Geografia por sensoriamento remoto

Joceli Augusto Gross (Ed.)

Canoas

2021

MÉRIDA PUBLISHERS

Geografia por sensoriamento remoto
© 2021 Mérida Publishers
https://doi.org/10.4322/mp.978-65-991393-8-3

Editor
Joceli Augusto Gross

Adaptação da capa e desenho gráfico
Reynaldo Miquel

Foto da capa
pixabay.com

Canoas - RS - Brasil
contact@meridapublishers.com
www.meridapublishers.com

Todos os direitos autorais pertencem a Mérida Publishers. A reprodução total o parcial dos trabalhos publicados, é permitida desde que sejam atribuídos créditos aos autores.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

G878g Gross, Joceli Augusto.
Geografia por sensoriamento remoto [livro eletrônico] / Joceli Augusto Gross. – Canoas, RS: Mérida Publishers, 2021.

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia
ISBN 978-65-991393-8-3

1. Sistemas de informação geográfica. 2. Sensoriamento remoto. I. Título.

CDD 910.285

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

Prefácio

A Geografia estuda os fenômenos que ocorrem na superfície da Terra, sejam eles naturais, econômicos, sociais ou culturais, além de suas inter-relações, entendendo-se aqui, o termo “fenômenos”, como os fatos ou eventos que podem ser descritos ou explicados cientificamente. Neste contexto, o Sensoriamento Remoto auxilia como um meio para a obtenção de dados e informações.

Os dados de Sensoriamento Remoto permitem uma visão sinótica de alvos espacialmente significativos na superfície da Terra e a análise espacial dos mesmos em diferentes escalas, entendendo-se aqui, o termo “alvos”, como os objetos ou fenômenos em estudo na superfície da Terra. Neste sentido, grandes áreas da superfície da Terra podem ser mapeadas e analisadas com relação aos elementos que as compõe, a exemplo, das águas amazônicas e da vegetação da caatinga brasileiras.

A visão sinótica pode ser obtida em diferentes épocas ou períodos dos anos, permitindo análises temporais dos fenômenos que ocorrem na superfície terrestre, como, por exemplo, a evolução das áreas urbanas. Essas análises temporais podem ser realizadas em diferentes regiões do espectro eletromagnético, permitindo a obtenção de dados e informações relacionadas aos estados físico, químico ou biológico dos alvos em estudo, como, por exemplo, o desenvolvimento fenológico de culturas agrícolas.

Os experimentos radiométricos controlados em nível de laboratório e os espectros de reflectância coletados em campo com a utilização de espectrorradiômetros fornecem informações relevantes no que se refere à interação energia matéria em variados comprimentos de onda e regiões do espectro eletromagnético, permitindo uma melhor interpretação dos dados de Sensoriamento Remoto obtidos a partir de sensores instalados em plataformas orbitais, como, por exemplo, as variações da reflectância das águas em função de seus componentes opticamente ativos. Além disso, possibilitam a verificação da acurácia dos dados coletados por sensores remotos orbitais e as pesquisas acerca das técnicas de sensoriamento remoto para a estimativa remota de variáveis associadas aos diferentes elementos que compõe a superfície da Terra, como, por exemplo, a clorofila-a fitoplanctônica.

No ambiente escolar, pesquisas mostram o potencial dos dados de sensores remotos como meio para o ensino de Geografia nos níveis fundamental e médio. Em sala de aula, a decodificação das informações contidas nas variações em níveis de cinza das distintas faixas espectrais das imagens de satélite é passível de ser realizada, o que, aliás, se trata da tarefa do geógrafo, a qual, porém, deve ser precedida da aquisição de conhecimentos relacionados à interação energia matéria nos variados comprimentos de onda do espectro eletromagnético.

Os dados e informações sobre os elementos que compõe a superfície da Terra, obtidos a partir de imagens de satélite ou mesmo a partir de experimentos radiométricos, mostram o estreito relacionamento entre a Geografia e o Sensoriamento Remoto. Neste contexto, o livro Geografia por Sensoriamento Remoto, expõe em seus oito capítulos, pesquisas em Geografia e demais disciplinas das ciências que discutiram o Sensoriamento Remoto para o ensino de Geografia no âmbito escolar ou que utilizaram dados e técnicas de sensoriamento Remoto para a aquisição de informações em estudos relacionados a fenômenos que ocorrem na superfície da Terra.

Dr. Joceli Augusto Gross

Apresentação de autores

Alex Mota dos Santos
Professor Doutor do Curso de Engenharia de Transportes, Universidade Federal de Goiás, Brasil.

André Luiz da Conceição
Professor Doutor do Departamento de Geografia e Planejamento Ambiental, Universidade Estadual Paulista – UNESP Júlio de Mesquita Filho, Brasil.

Camila Souza dos Anjos Lacerda
Professora Doutora do Departamento de Agrimensura e Cartografia, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas – Campus Inconfidentes, Brasil.

Carolina Gil Garcia
Professora Doutora do Departamento de Meio Ambiente, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas – Campus Inconfidentes, Brasil.

Cayo Guimarães Machado
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas – Campus Inconfidentes, Brasil.

Cibele Stefanno Saldanha
Programa de Pós Graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Maria/UFSM, Brasil.

Débora Paula Simões
Departamento de Agrimensura e Cartografia, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas – Campus Inconfidentes, Brasil.

Elizabeth Maria Feitosa da Rocha de Souza
Professora Doutora do Departamento de Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil.

Fabrizia Gioppo Nunes
Professora Doutora Instituto de Estudos Socioambientais, Universidade Federal de Goiás, Brasil.

Flávio Wachholz
Professor Doutor da Escola Normal Superior, Universidade do Estado do Amazonas, Brasil.

Gustavo Rodrigues Toniolo
Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil.

Haillany Silva de Souza
Departamento de Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil.

Joceli Augusto Gross
Departamento de Geografia, Universidade Federal de Santa Maria, Brasil.

Marcia Elena de Mello Cardias
Programa de Pós Graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Maria/UFSM, Brasil.

Mauro Kumpfer Werlang
Professor Doutor no Programa de Pós Graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Maria/UFSM, Brasil.

Renata Souza
Departamento de Geografia, Universidade Federal do Amazonas, Brasil.

Rodrigo Lima Santos
Instituto de Estudos Socioambientais, Universidade Federal de Goiás, Brasil.

Rogério Ribeiro Marinho
Professor Doutor do Departamento de Geografia, Universidade Federal do Amazonas, Brasil.

Sherlyê Francisco de Carvalho
Departamento de Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil.

Tuane Telles Rodrigues
Programa de Pós Graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Maria/UFSM, Brasil.

William Gaida
Departamento de Geografia, Universidade Federal de Santa Maria, Brasil.

Índice

CAPÍTULO 1.....8

Sensoriamento remoto aplicado ao estudo de densidade demográfica

Alex Mota dos Santos, Fabrizia Gioppo Nunes, Rodrigo Lima Santos

CAPÍTULO 2.....23

Análise da evolução do desmatamento na região amazônica através de imagens de satélite

Cayo Guimarães Machado, Camila Souza dos Anjos Lacerda, Carolina Gil Garcia, Débora Paula Simões

CAPÍTULO 3.....34

Monitoramento do sedimento suspenso no Lago Catalão (Iranduba, AM) com dados Landsat-8

Rogério Ribeiro Marinho, Flávio Wachholz, Renata Souza

CAPÍTULO 4.....45

Desempenho de algoritmos de correção atmosférica sobre dados de reflectância aplicados ao monitoramento remoto da qualidade das águas continentais

William Gaida, Joceli Augusto Gross, Gustavo Rodrigues Toniolo

CAPÍTULO 5.....58

Geotecnologias aplicadas: relato de disciplina eletiva desenvolvida na educação básica

André Luiz da Conceição

CAPÍTULO 6.....71

Mapeamento e análise espacial de dados com suporte de *plataformas web – alternativas para a pesquisa e o ensino remoto na área de geotecnologias*

Haillany Silva de Souza, Sherlyê Francisco de Carvalho, Elizabeth Maria Feitosa da Rocha de Souza

CAPÍTULO 7.....88

Aplicabilidades do sensoriamento remoto no ensino de geografia

Cibele Stefanno Saldanha, Marcia Elena de Mello Cardias, Mauro Kumpfer Werlang

CAPÍTULO 8.....103

O lugar do sensoriamento remoto no ensino de geografia frente à Base Nacional Comum Curricular – BNCC

Cibele Stefanno Saldanha, Tuane Telles Rodrigues, Mauro Kumpfer Werlang

CAPÍTULO 1

Sensoriamento remoto aplicado ao estudo de densidade demográfica

Alex Mota dos Santos, Fabrizia Gioppo Nunes, Rodrigo Lima Santos

https://doi.org/10.4322/mp.978-65-991393-8-3.c1

Resumo
O mapeamento de densidade demográfica é recorrente nas análises geográficas, suas aplicações são variadas e representa a relação do número de habitantes por uma determinada área, que geralmente poder ser: um país, estado, município, bairro, setor censitário, dentre outras. Assim, a densidade demográfica é critério fundamental para a compreensão da dinâmica populacional, sedo um índice adotado por diversos países em diferentes continentes. Contudo, o Método Coroplético, que é clássico e de uso recorrente na espacialização de densidade demográfica revela que a população está distribuída homogeneamente em cada unidade de área, mesmo quando partes da região é, na realidade, desabitada. Desse modo, esse capítulo apresenta o Método Dasimétrico, que é uma alternativa para estimar a localização mais realista da ocupação humana para o cálculo de densidade demográfica, dentro da unidade de área a ser adotada. Para tanto, emprega-se o processamento de imagens de sensoriamento remoto orbital em ambientes de sistemas de informação geográfica. Os resultados indicam as áreas construídas, onde se localizam os habitats urbanos, enquanto “principal tarefa geográfica”. Além disso, contribui para pensar o urbano na sua dimensão sócio-espacial, como o modo pelo qual a reprodução do espaço se realiza na contemporaneidade, como realidade e como possibilidade. Assim, quando identificadas áreas densamente povoadas é possível observar impactos sociais, ambientais e econômicos, especialmente com maiores riscos de degradação ambiental, criminalidade e sobrecarga da infraestrura viária. Por fim, sob a perspectiva do método, a experiência tem revelado resultados de densidades demográficas mais realísticas com tendência de aumento do teor de seus valores nas cidades brasileiras.

Palavras-chave: dasimetria, geografia urbana, processamento digital de imagem, urbanização.

1. Introdução

O mapeamento de densidade demográfica é recorrente nas análises geográficas, suas aplicações são variadas e representa a relação do número de habitantes por uma determinada área, que geralmente poder ser: um país, estado, município, bairro, setor censitário, dentre outras. Uma das primeiras representações de densidade demográfica, foi feita pelo Método Coroplético, que pode ser observada no mapa de Dupin, ainda em 1826 [1].

A importância do mapeamento de densidade demográfica está relacionada ao fato de que é necessário determinar a representação precisa da população total e da distribuição de subpopulações específicas para áreas urbanas [2]. As representações dessa natureza são importantes nos estudos da geografia urbana, em setores

Joceli Augusto Gross (Ed.) © 2021 Mérida Publishers CC-BY 4.0

direcionados a: saúde pública, saneamento, moradias, mobilidade urbana, crimes e ambiental. Além disso, para [3], muitos tipos de análises de política urbana, particularmente aquelas relacionadas à exposição a perigos ou acessibilidade a recursos, dependem de dados da distribuição espacial da população, de forma exata e precisa, embora esses dados nem sempre estejam disponíveis.

Na ciência geográfica, existe uma tradição antiga relativa aos estudos urbanos, vários destes lançando as bases para o pensamento urbano brasileiro [4-12]. Tais alicerces, possibilitaram o avanço e ampliação das bases teórico-metodológicas do conhecimento urbano.

Entretanto, foi somente a partir do início do século XXI, que vários trabalhos começaram a se preocupar em agregar novas ferramentas aos estudos urbanos, especialmente aquelas provenientes do avanço das técnicas de sensoriamento remoto [13-21]. Alguns dos fatores responsáveis por esse avanço são: (i) a disponibilidade de dados em quantidade e qualidade de forma gratuita; (ii) a ampliação das resoluções, espectrais, espaciais e temporais; (iii) o acesso à Sistemas de Informação Geográfica - SIG *open source* e; (iv) a evolução dos algoritmos de processamento de dados.

Essas possibilidades, abrem amplos caminhos para a realização de mapeamentos sistemáticos das áreas urbanas brasileiras, em especial aquelas mais recentemente constituídas como capitais estaduais planejadas e que passaram por processos recentes de expansão. Assim, amplia-se o foco em diferentes problemáticas e mesmo aos estudos de modelagem urbana, que visem a projeção de cenários futuros onde o fator densidade demográfica é importante [22-26].

Nesse sentido, o Método Coroplético, que é clássico e de uso recorrente na espacialização da densidade demográfica revela que a população está distribuída homogeneamente por toda a área, mesmo quando partes da região é, na realidade, desabitada. Por outro lado, os estudos sobre mapeamentos de densidade através do Método Dasimétrico estão se tornando cada vez mais recorrentes, em várias partes do mundo [2, 3, 27, 28]. Desse modo, esse capítulo esmera em apresentar o Método Dasimétrico, que é uma alternativa para estimar a localização mais realista da ocupação humana para o cálculo de densidade demográfica, dentro da unidade de área a ser adotada.

De modo geral, os autores que aplicaram este método são enfáticos ao afirmarem que, pelo Método Dasimétrico, os resultados de densidades demográficas são mais realistas e com tendência de aumento do teor de seus valores. Segundo Mennis [29], o Método Dasimétrico envolve a desagregação dos dados populacionais, codificados em forma de mapa coroplético, usando um conjunto de dados geográficos complementares, a exemplo, das imagens de satélite.

Desta forma, as imagens de sensoriamento remoto, sejam orbitais, suborbitais ou terrestres, adequadamente processadas, oferecem recursos tecnológicos para desagregação de áreas habitadas em áreas urbanas. Isso ocorre, pois, dependendo da resolução espacial, que indica o detalhamento dos alvos na imagem, os produtos de sensoriamento remoto permitem identificar com maior precisão as áreas habitadas dentro de uma cidade. Aplicações semelhantes foram apresentadas por [30-32], o que permitiu aos autores deste capítulo, o acúmulo de experiências de aplicações dessa metodologia.

Mesmo assim, e apesar de seu potencial, observa-se que ainda são poucas as cidades analisadas por esse método. Diante de tal constatação, o objetivo desse capítulo é apresentar um roteiro técnico-metodológico de aplicação do Método

Dasimétrico, para o cálculo de densidade demográfica, dentro da unidade de área a ser adotada, que nesse estudo foi a cidade de Palmas, capital do estado do Tocantins.

2. Material e Métodos

Como área de estudo para a aplicação da análise da densidade demográfica foram selecionados os setores censitários da cidade de Palmas, capital do estado de Tocantins (TO), situada na porção centro norte do Brasil (Figura 01). Considerada como a maior cidade de TO, em termos de urbanização e em número de habitantes, Palmas, segundo o último censo demográfico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística [33], possuía uma população de 228.332 habitantes (hab.). População esta, distribuída por uma área de 2.227,45 km^2 que lhe conferia uma densidade demográfica de 102,90 hab./km².

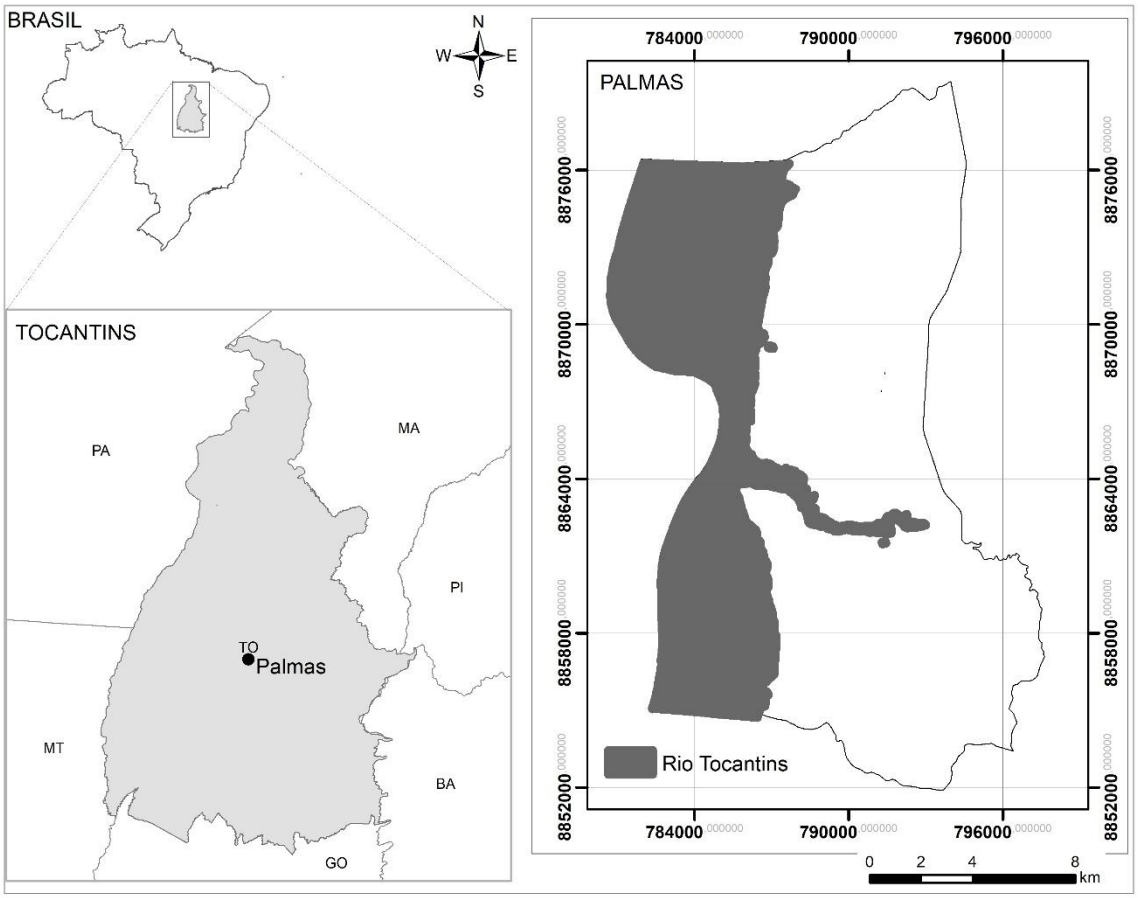


Figura 1. Área de estudo, a cidade de Palmas, Tocantins. Fonte: os autores.

Do total de sua população 221.742 pessoas residiam na área urbana e somente 6.590 na área rural. De acordo ainda com os dados do [34], a população estimada, para o ano de 2020, é de 306.296 habitantes. A cidade de Palmas possui a segunda maior taxa de crescimento demográfico de capitais brasileiras, da ordem de 2,40%, bem acima da média nacional que foi de 0,77%. A cidade recebe pessoas de praticamente todos os estados, com destaque para seus estados vizinhos, especialmente dos estados do Maranhão, Pará e Piauí.

Idealizada arquitetonicamente sob o modelo do urbanismo moderno e contemporâneo seu sítio urbano foi inserido entre as encostas da Serra do Lajeado e a margem direita do rio Tocantins. Porém, segundo Bessa e Oliveira [35] a cidade vem cedendo espaço

a um aspecto antagônico “de uma urbanização determinada e planejada às imprevisibilidades do mundo real”. Imprevisibilidades estas, originadas especialmente pelas arbitrariedades do poder público e pelos interesses dos agentes do mercado imobiliário, que extrapolou o que havia sido projetado inicialmente.

2.1. Procedimentos metodológicos

A metodologia envolveu a manipulação de duas imagens de sensoriamento remoto. Ambas correspondentes às imagens orbitais do satélite China-Brazil Earth Resources Satellite (CBERS-2B), provenientes do site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e, referentes ao ano de 2010. A primeira corresponde a Câmera Multiespectral CCD, de resolução espacial de 20 metros e a segunda, a Câmera Pancromática HRC, de alta resolução espacial de 2,7 metros. A utilização das imagens obtidas por sensores de câmeras diferentes teve como intuito a aplicação da técnica de fusão. Tal técnica permitiu a obtenção de uma imagem sintética multiespectral com alta resolução espacial, ou seja, de uma imagem colorida com resolução espacial melhorada. De acordo com Leonerdi *et al.* [36] as técnicas de fusão de imagens possibilitam integrar a melhor resolução espacial da banda pancromática com a melhor resolução espectral das demais bandas, resultando em uma imagem colorida que reúne ambas as características.

Para tanto utilizou-se o Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas (SPRING), versão 5.4.3, que é um programa de Sistema de Informações Geográficas (SIG) e de Processamento Digital de Imagens (PDI), desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

As imagens obtidas, sem custos, precisaram ser submetidas ao processamento digital de imagens, que pode ser dividida em cinco etapas, resumidas no fluxograma da Figura 2. A importância dessa metodologia, e de suas etapas, advém do fato de que com as imagens coloridas eleva-se o contraste de cores para discernimento dos alvos urbanos.

A **primeira etapa** é destinada à obtenção das imagens, com data de passagem definida em função do último censo demográfico brasileiro, que foi no ano de 2010. Desse modo, como referido, adquiriu-se as imagens do CBERS-2B, sensores CCD e HRC, de 26 de junho de 2010 e, conforme, características descritas na Tabela 1.

Tabela 1. Dados orbitais utilizados na análise.

Satélite CBERS 2B	Bandas	Resolução espacial	Órbitas/Ponto
CCD	2, 3 e 4	20 metros	159_111 e **159_112**
HRC	1	2,5 metros	159_C_111_5 e 159_C_112_1

A imagem do sensor HRC foi registrada no Modo Tela, do SPRING, de acordo com a imagem do sensor CCD. Nesse modo, o analista associa a imagem a ser registrada, no caso a HRC com a imagem georreferenciada de referência, no caso a CCD. De modo geral, segundo a ajuda do SPRING, o registro estabelece uma relação entre coordenadas de imagem e coordenadas geográficas.

Isso será sempre necessário no processo de fusão de imagens desses dois tipos sensores, pois as mesmas não se sobrepõem, totalmente, na mesma área geográfica. Entretanto, para um bom resultado da fusão de imagens, é necessário que a faixa espectral da banda pancromática e das bandas multiespectrais tenham uma ampla área de interseção entre si.

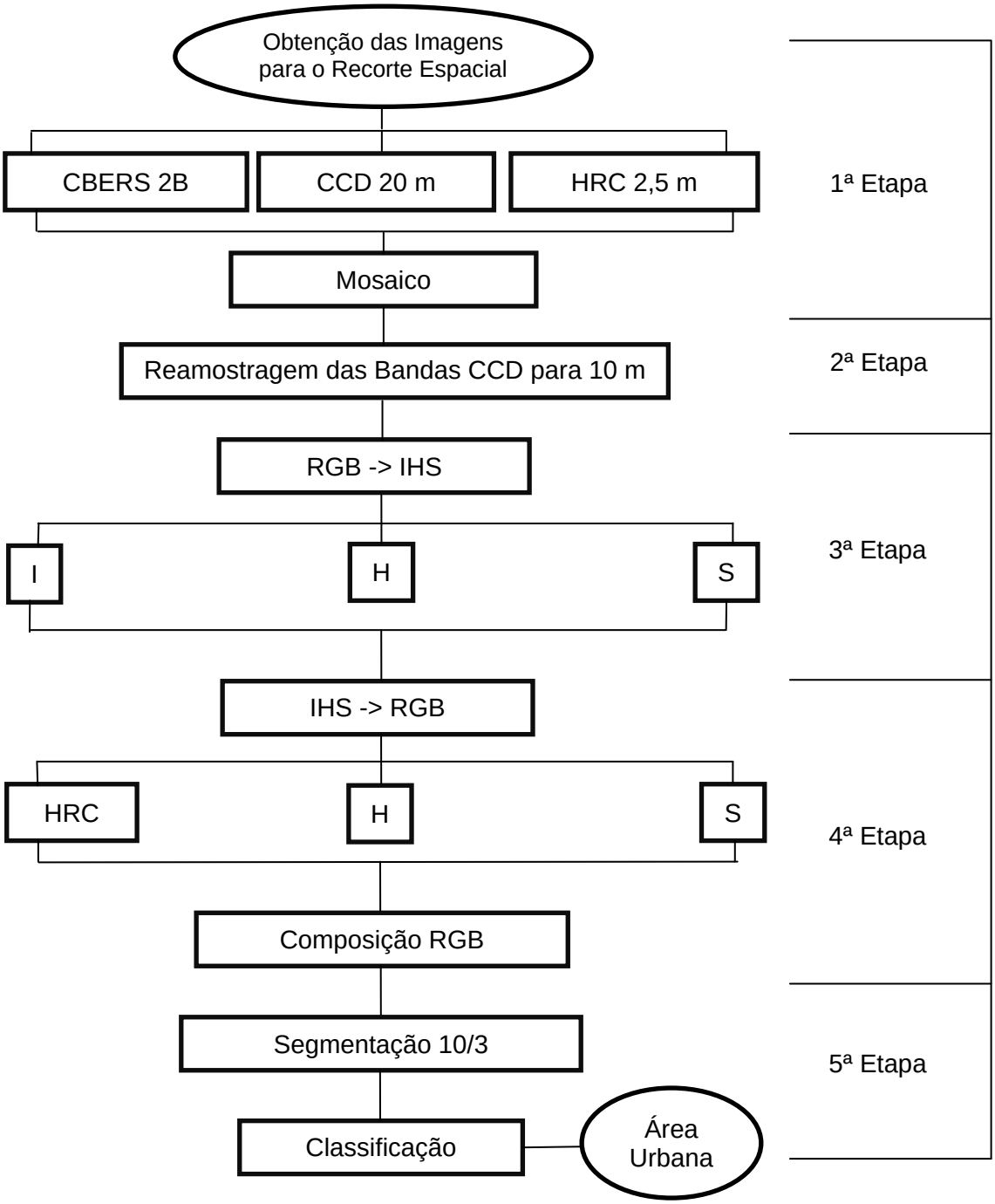


Figura 2. Fluxograma da metodologia do processamento digital de imagem.

Além do exposto, como a cidade de Palmas encontra-se em duas cenas (órbitas/ponto), foi necessária a realização do mosaico das mesmas. O mosaico de imagens serve para juntar ou unir, em um só arquivo, duas cenas ou mais, adjacentes. Na **segunda etapa** é necessária a reamostragem da imagem de maior resolução espacial, para evitar distorções, devido a grande diferença desta característica das imagens do sensor CCD em relação as do sensor HRC. Nessa aplicação, as bandas do sensor CCD foram reamostradas para 10 metros. Nessa técnica o analista cria os Planos de Informação (PI) ou camadas, atribuir a eles o valor de resolução de 10 metros. Na sequência importa para esse PI as imagens do sensor CCD.

Na **terceira etapa** foi aplicado a transformação IHS (Intensity-Hue-Saturation), como uma das possibilidades de fusão de imagens. De forma geral, a fusão IHS busca o melhoramento da resolução espacial de imagem, por meio da integração da composição RGB à informação espacial da banda pancromática. A fusão, procedimento utilizado nessa análise é aplicada para melhorar a resolução espacial e isso influencia no detalhamento dos alvos na imagem [37].

Deste modo, o método IHS transforma uma imagem de três bandas de baixa resolução, como componentes de saturação vermelho (R), verde (G) e azul (B) para intensidade (I), matiz (H) e saturação (S), em que I se refere ao brilho total da imagem; H ao dominante ou médio comprimento de onda da luz que contribui para a cor e; S para a pureza da cor [38]. Após esse procedimento, realiza-se o processo inverso, IHS para RGB.

Assim, na **Quarta etapa** o componente de intensidade é substituído por uma imagem de alta resolução espacial [39]. O resultado desse processo é a associação das cores das imagens multiespectrais à banda de alta resolução espacial, criando-se um novo conjunto de três bandas que podem ser utilizadas no processo de mapeamento de uso e da cobertura da terra. Ainda nessa etapa foi elaborado a composição de imagens, nesse caso R (Banda 2), G (Banda3) e B (Banda 4).

Na **quinta e última etapa**, realizou-se a classificação pelo método supervisionado por região, para discriminação da área urbana, ou seja, àquela onde as pessoas realmente vivem. Na classificação por região é necessária a segmentação de imagens. Assim, através de nossas experiências de classificação de imagens em áreas urbanas, via ferramentais do Spring, adotou-se o ISOSEG como o classificador a ser utilizado. O classificador ISOSEG é um algoritmo de agrupamento de dados não-supervisionado, aplicado sobre o conjunto de regiões, que por sua vez são caracterizadas por seus atributos estatísticos de média, matriz de covariância, e também pela área [40]. Após a classificação realizou-se a função de “Mapeamento para Classes Temáticas”. Nessa função, o analista pode converter a imagem classificada numa “imagem temática”. A “imagem temática” pode ser convertida em vetores.

Os vetores, como arquivo de saída da classificação pode ser filtrado pelo campo da tipologia “urbano”, da tabela de atributos do mapa de uso e cobertura da terra. Por fim, os vetores de saída devem ser editados, de modo a excluir áreas como shoppings, supermercados, hospitais, universidades, dentre outras, que apesar de serem áreas urbanas, não são utilizadas como habitações.

A partir da filtragem dos vetores das áreas onde as pessoas realmente residem, avançou-se para a estruturação do mapa de densidade demográfica pelo Método Dasimétrico. Desse modo, produziu a intersecção entre a área urbana e os polígonos dos setores censitários, conforme descrito por [31]. Na sequência, pode-se calcular as áreas da classe urbano em cada setor censitário e aplicar a Equação 1 para cálculo da densidade demográfica.

$$Dd = Pt/Asc \qquad \text{(Equação1)}$$

Em que,
Dd = Densidade demográfica
Pt = População total
Asc = área total do setor censitário

Neste trabalho, para efeitos de comparação, elaborou-se também o mapa de densidade demográfica da cidade de Palmas, pelo Método Coroplético, conforme indicações de [31]. Ambos, os mapas, foram elaborados sob regras da Semiologia Gráfica, conforme a metodologia apresentada por [41], para facilitação da leitura dos mapas.

3. Resultados e Discussão

O principal resultado da análise coloca em evidência a aplicação do sensoriamento remoto à um dos aspectos mais recorrentes, da análise geográfica, em estudos urbanos, a densidade demográfica. Desse modo, acredita-se que, sem as atuais tecnologias de processamento de imagens de sensoriamento remoto, seria inexequível a aplicação do método aqui apresentado.

De modo geral, os resultados revelaram que as áreas construídas, onde se localizam os habitats urbanos, encontravam-se dispersas na paisagem urbana de Palmas, para o período em análise. Com efeito, poucos eram os setores censitários, realmente ocupados por habitações. Esse dado revela como ocorria e ainda ocorre a reprodução do espaço na contemporaneidade, como realidade e como possibilidade.

Em Palmas, assim como em outras cidades brasileiras, esta característica está relacionada ao fenômeno da especulação imobiliária. Segundo Campos Filho [42], em termos gerais, a especulação imobiliária “é a forma pela qual os proprietários de terra recebem uma renda transferida dos outros setores produtivos da economia, especialmente através de investimentos públicos na infra-estrutura e serviços urbanos[...]”, o que valoriza economicamente os espaços urbanos. No caso de Palmas, a especulação imobiliária ocorre, de acordo com [43], devido a um longo período de instabilidade econômica nacional, em que o investimento em terra se tornou uma segurança contra a descapitalização. Assim, as pessoas investiram em lotes, mas não os ocupavam de fato 3). Como reflexo e ainda segundo [43] “a capital tocantinense apresenta hoje um dos maiores índices de áreas não ocupadas, se comparada às demais capitais brasileiras, sobretudo em sua área central”. Isso foi identificado no ano de 2020 (Figura 3).

Figura 3. Quadra 703 Sul, desabitada. Fonte: *Imagem Google Earth Pró*, ano de 2020.

Sob a perspectiva do Método Dasimétrico, essa aplicação revelou resultados de densidades demográficas mais realísticas com tendência de aumento do teor de seus valores, conforme já revelado por [30-32]. O detalhamento dos alvos nas imagens processadas pelo método de fusão foi maior, o que contribuiu para a melhor precisão dos resultados.

Como referido, para efeito de comparação, a Figura 4 apresenta a densidade demográfica pelo Método Coroplético. Assim, como já esperado observou-se que a densidade mapeada deu “[...] a impressão de que a população está distribuída homogeneamente em cada unidade de área, no caso os setores censitários, mesmo quando partes da região são, na realidade, desabitadas” [31].

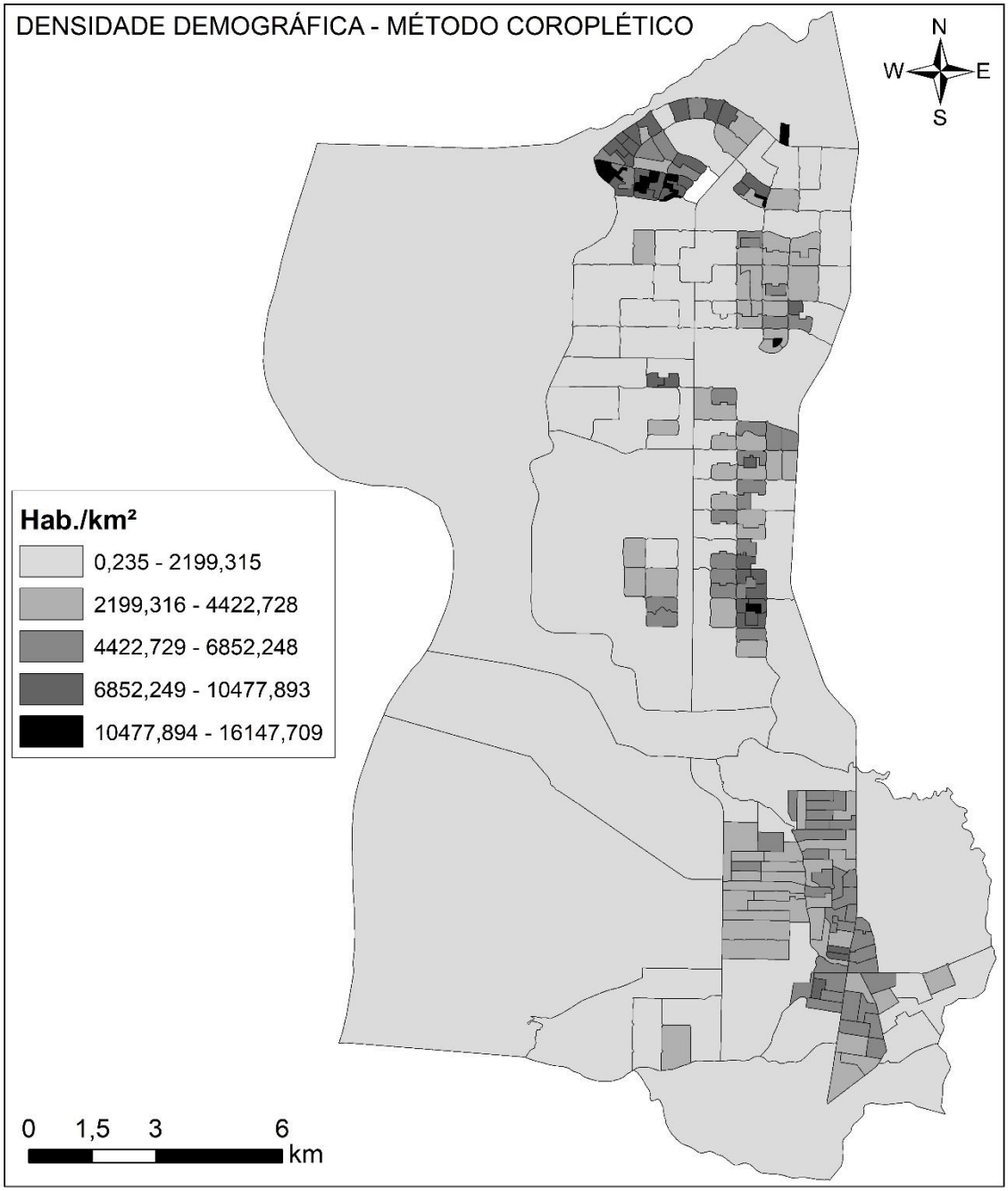


Figura 4. Densidade demográfica pelo Método Coroplético.

Para a cidade de Palmas, essa análise é importante, pois é sabido da existência da extensa área de alagamento resultante do barramento das águas do Rio Tocantins. Fato que pode ser visualizado no sentido norte e sul, do lado esquerdo da Figura 4 (comparar com Figura 1), que ocupa 30,61% da área total da cidade e que devia possuir valor igual a zero de densidade demográfica. Além disso, a cidade de Palmas

possuí muitas áreas verdes especiais como: parques urbanos e Áreas de Preservação Ambiental – APA.

A Figura 5 revela a densidade demográfica pelo Método Dasimétrico. Assim, como pode ser observado, as áreas desocupadas dentro dos setores censitários não foram contabilizadas (áreas vazias) na análise, o que resultou no aumento dos valores da densidade demográfica das áreas ocupadas. Apesar disso, o que existe de comum entre os dois mapeamentos é o fato da ocupação dispersa ou fragmentada na paisagem da cidade de Palmas. Nesse sentido, [43] esclarece que o projeto inédito de planejamento da cidade de Palmas, mesmo que sob a perspectiva inovadora, com domínio de sua ocupação, não evitou a especulação imobiliária sem limites na cidade. O resultado de toda esta falta de relação entre o planejado e o executado foi a exclusão social [43].

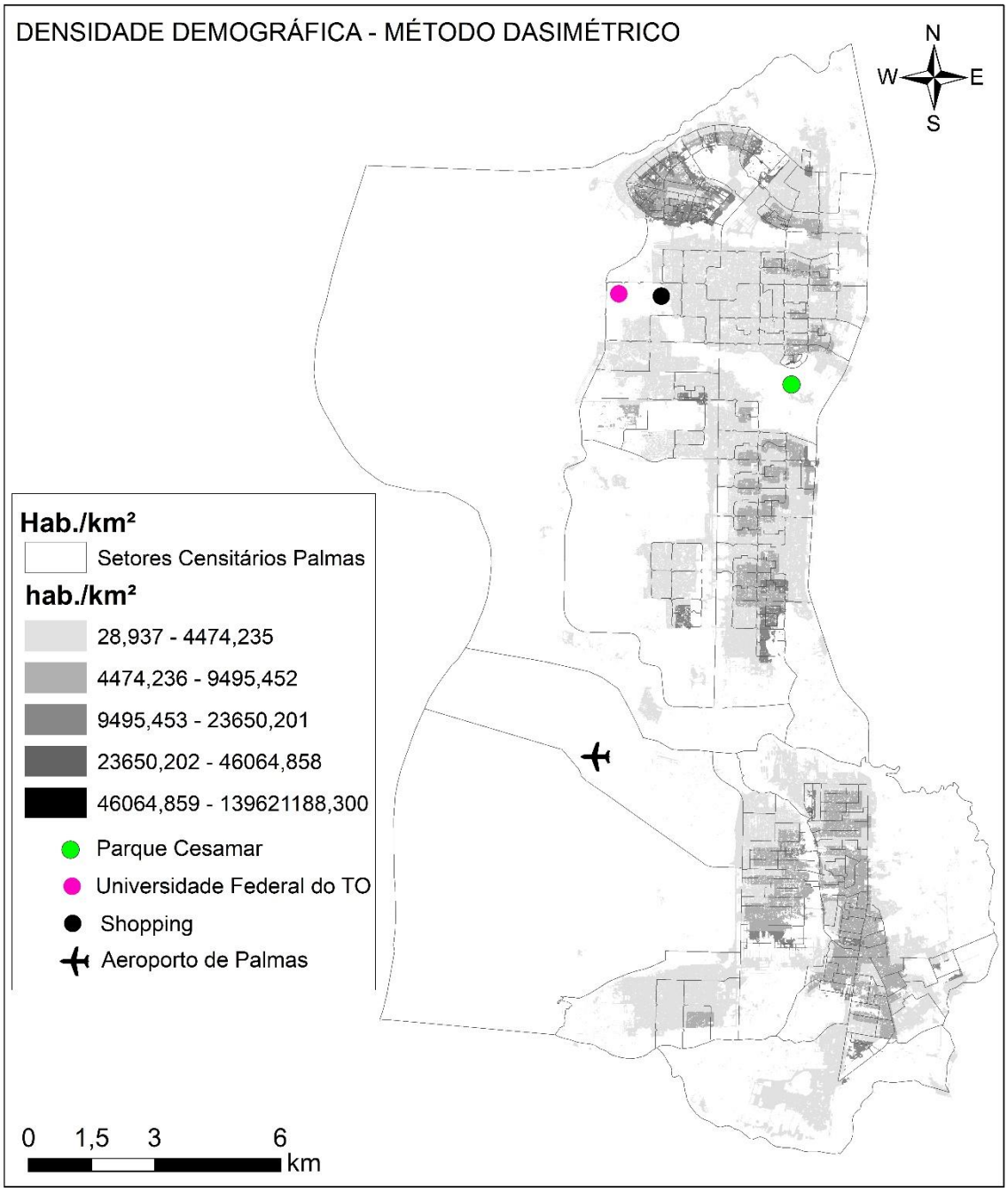


Figura 5. Densidade demográfica pelo Método Dasimétrico.

Além do exposto, verificou-se que as maiores densidades ocorrem na porção norte, conhecida como Plano Diretor Norte e na porção central, nos arredores de áreas de lazer, como o Parque Cesamar. Nessa área identifica-se a maior verticalização da cidade, com presença de edifícios residenciais.

De modo geral, os mapas de densidade demográfica são úteis para estudos em geografia. Serve ao planejamento, ordenamento e reordenamento territorial, e as pesquisas sobre a relação entre superfícies impermeáveis e número de habitantes [44]. Além disso, a análise de densidade demográfica é processo básico no planejamento de transportes, pois fornece dados do provável quantitativo de passageiros [45]. Os adensamentos populacionais geram diferentes padrões de viagens, e sua análise pode ser aplicada também aos estudos de danos causados por desastres naturais, tais como terremotos [45], dentre outros.

Uma comparação mais detalhada está apresentada na Figura 6 (A e B). Na Figura 6A é apresentada a densidade pelo Método Dasimétrico, em que o número de habitantes de 1.120 habitantes foi dividido pela área urbana de 0,10 km² o que resultou em densidade de 11.178 hab./km². A Figura 6B apresenta os mesmos 1.120 habitantes, contudo, numa área de 0,29 km², o que resultou em densidade de 3.813 hab./km².

Figura 6. Densidade demográfica pelo Método Dasimétrico (5A) e pelo Método Coroplético (5B). Fonte: os autores.

Nesse sentido, foi possível constar que a área ocupada por construções, consideradas para o cálculo da densidade por Dasimetria foi de 63,57 km², ou seja, 22,15% da área da cidade de Palmas. Pelo Método Coroplético, a área considerada foi a área total da cidade, que é de 286,96 km². Mesmo com o refinamento da área calculada, acredita-se que esse valor seja elevado, pois pequenas empresas podem ser incorporadas erroneamente como áreas habitadas. Essa restrição é considerada normal, já que, por sensoriamento remoto é inviável a distinção da destinação de um imóvel.

Além dos resultados, dessa análise, Santos *et al*. [31] revelaram que os resultados do cálculo de densidade demográfica estão diretamente relacionados ao tipo de imagem utilizada. Nesse sentido, concluíram que o mapeamento, a partir de fotografias aéreas, revelou áreas urbanas com maior detalhe, e, portanto, densidades demográficas mais realísticas. Soma-se as fotografias aéreas as imagens obtidas por Veículos Aéreos Não Tribulados (VANTs). Apesar dessa possibilidade, fotografias aéreas e imagens de VANTs são mais caras e exigem maior esforço computacional.

Ademais, uma das principais limitações e que compromete a atualização dos estudos de densidade demográfica, por qualquer método a ser utilizado, diz respeito ao fato de que essas análises dependem de dados do censo. No contexto atual, tem-se

observado que o Brasil enfrenta dificuldades de realizar os trabalhos de recenseamento, referente ao ano de 2020. Este já deveria estar pronto, ou em fase de finalização, porém teve suas atividades comprometidas por decisões políticas e pela pandemia do novo coronavírus (SARS-CoV-2).

4. Conclusão

As ações mais relevantes, em resposta ao objetivo estabelecido, foram: a) o alto potencial da aplicação do sensoriamento remoto a um dos aspectos mais recorrentes de análise na Geografia, a densidade demográfica, para estudos urbanos e; b) o detalhamento da análise em escala intraurbana na cidade de Palmas. Os resultados corroboraram para uma melhor compreensão da ocupação na cidade, revelando o processo de espraiamento urbano, presente em muitas cidades brasileiras. Portanto, a metodologia pode ser replicada para outras cidades, sem restrição de área e quantidade de habitantes, de modo a oferecer elementos para os estudos em escalas de detalhe.

Apesar do foco na análise do padrão de ocupação da cidade de Palmas, através da análise intraurbana, os mapeamentos de densidade demográfica podem ser aplicados também aos estudos de planejamento de infraestrutura (escolas, transporte público, pavimentação). Além disso, podem ser aplicados aos estudos de avaliação de impactos ambientais, sociais e econômicos.

Para finalizar pode-se pensar os resultados deste trabalho no âmbito das políticas públicas brasileiras, tendo como foco o órgão responsável pela coleta, análise e publicação dos resultados dos levantamentos censitários brasileiros, o IBGE. Assim, sugere-se que sejam desvinculadas as operações de coleta (setores censitários) e disponibilização dos dados. Essa última deve compor os resultados por meio de uma máscara de uso urbano com cobertura nacional. Tal máscara contendo todas as áreas urbanas brasileiras seria submetida ao processo de recorte obedecendo aos limites de cada setor censitário. Desse modo, os vetores recebem dados coletados vinculados agora a uma extensão territorial que obedece aos limites de coleta, mas despreza áreas não habitadas de fato. Em princípio, acredita-se que essa proposta é viável, apenas considerando a área urbana, no entanto, procedimentos em escala nacional, para separar áreas comerciais de residenciais, ainda precisam ser melhor investigados.

5. Recomendação aos leitores

Adicionalmente os autores recomendam os vídeos intitulados “Mapa Dasimétrico – Dasymetric Mapping” e “Mapa de Densidade Demográfica pelo Método Coroplético” disponíveis no Canal do YouTube® Geotecnologias na Rede, para aplicação da metodologia descrita nesse capítulo. O Canal do YouTube® Geotecnologias na Rede é uma iniciativa de um Projeto de Extensão da Universidade Federal de Goiás.

6. Referências

[1] Martinelli M., Graça, A. J. S. Cartografia Temática. Rev. Bras. Cartogr. [Internet]. 1 [citado 29º de novembro de 2020]; 67(4):913-28. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/49128>. Acesso em: 01 de mar. 2021.

[2] Maantay J. A.; Maroko, Andrew R.; Herrmann, C. Mapping Population Distribution in the Urban Environment: The Cadastral-based Expert Dasymetric System (CEDS).

Cartography and Geographic Information Science 2007; 34(2): 77-102. https://doi.org/10.1559/152304007781002190.

[3] Mennis J. Generating surface models of population using dasymetric mapping. The Professional Geographer 2003; 55(1): 31-42. https://doi.org/10.1111/0033-0124.10042.

[4] Monbeig P. Textos clássicos: o estudo geográfico das cidades. Cidades 2004; 1(2): 277-314. Disponível em: <https://revista.fct.unesp.br/index.php/revistacidades/article/download/481/511>. Acesso em: 09 de mar. 2021.

[5] Lefebvre H. O direito à cidade. 5ª ed. São Paulo: Centauro Editora; 2008. 143 p. Disponível em: <http://www.arquicast.com/?feed-stats-url=aHR0cHM6Ly9tb25vc2tvcC5vcmcvaW1hZ2VzL2YvZmMvTGVmZWJ2cmVfSGVucmlfT19kaXJlaXRvX2FfY2lkYWRlLnBkZg%3D%3D&feed-stats-url-post-id=208>. Acesso em: 09 de mar. 2021.

[6] Castells M. A questão urbana. Rio de Janeiro: Paz e Terra; 1983. 602 p.

[7] Sposito M. E. Capitalismo e Urbanização. São Paulo: Contexto; 1991.

[8] Carlos A.F.A. A cidade. São Paulo: Contexto; 1992.

[9] Corrêa R.L. O espaço urbano. São Paulo: Ática; 1989.

[10] Corrêa R.L. A rede urbana. São Paulo: Ática; 1989.

[11] Santos M. A urbanização brasileira. São Paulo: Hucitec; 1993.

[12] Santos M. Por uma economia política da cidade. São Paulo: Hucitec/EDUC; 1994.

[13] Pereira G.C., Silva B.C.N. Geoprocessamento e urbanismo. In.: Gerardi L.H. de O., Mendes I.A. (org.). Teoria, técnica, espaço e atividades. Temas de geografia contemporânea. Rio Claro: UNESP, AGTEO, 2001, p. 97-137.

[14] Moura A.C.M. Geoprocessamento na gestão e planejamento urbano. Belo Horizonte: Ed. Da autora; 2003.

[15] Moura A.C.M. Geoprocessamento na gestão e planejamento urbano. 3ª ed. Rio de Janeiro: Interciência; 2014.

[16] Leite M.E., Rosa R. Geografia e Geotecnologias no estudo urbano. Caminhos de Geografia 2006; 17(17): 180 – 186.

[17] Almeida, C. M. Aplicação dos sistemas de sensoriamento remoto por imagens e o planejamento urbano regional. arq.urb 2010; 3: 98-123. Disponível em: <https://revistaarqurb.com.br/arqurb/article/view/120>. Acesso em: 09 de mar. 2021.

[18] Filho J.A. de M., Silva J.X. da. Geoprocessamento aplicado à segurança e à qualidade de vida na Região da Tijuca (Rio de Janeiro). In.: Silva J.X. da, Zaidan R.T. (org.) Geoprocessamento & meio ambiente. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011.

[19] Martins M.H., Morato R.G., Kawakubo F.S. Mapeamento de Superfícies Impermeáveis Utilizando Ortofotos, Imagens de Satélite e Regressão Linear. Revista

do Departamento de Geografia 2018; 35: 91-101. https://doi.org/10.11606/rdg.v35i0.131542.

[20] Portis G.T., Santos A.M. dos., Nunes F.G. Análise espaço temporal da alteração do uso do solo sob influência de um polo gerador de viagens em Goiânia, GO, Brasil. Ambiente construído 2020; 20(3): 513:525. https://doi.org/10.1590/s1678-86212020000300442.

[21] Santos R.L. Nunes F.G. Mapeamento da expansão urbana e dos vetores de crescimento no município de Imperatriz – MA. Revista Espaço e Geografia 2020; 23(1): 209:234. Disponível em: http://www.lsie.unb.br/espacoegeografia/index.php/espacoegeografia/article/view/698 Acesso em: 09 de mar. 2021.

[22] Batty M., Couclelis H., Eichen M. Urban systems as cellular automata. Environment and Planning B: Planning and Design 1997; 24: 159–164. https://doi.org/10.1068/b240159.

[23] Silva E.A. Cenários da Expansão Urbana na Área Metropolitana de Lisboa. Revista de Estudos Regionais 2002; (5):23-41. Disponível em: <https://www.ine.pt/ngt_server/attachfileu.jsp?look_parentBoui=107014&att_display=n&att_download=y>. Acesso em: 09 de mar. 2021.

[24] Almeida C.M., Monteiro A.M.V., Camara G. Compêndio de curso sobre Modelos de Dinâmica Urbana: Conceitos, Derivação de Relações, Calibração, Exemplos; oferecido durante o XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Belo Horizonte - MG. 2003. (Desenvolvimento de material didático ou instrucional - Compêndio de curso).

[25] Costa C.W., Dupas F.A., Cespedes J.G., Silva L.F. Monitoramento da expansão urbana, cenários futuros de crescimento populacional e o consumo de recursos hídricos no município de São Carlos, SP. São Paulo, UNESP, Geociências 2013; 32(1):63-80. Disponível em: <http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/GEOSP/article/view/7265>. Acesso em: 09 de mar. 2021.

[26] Massabki J.A.R., Peixoto A.S.P., Kaiser I.M., Manzato G.G. Modelagem dos padrões da expansão urbana da Região Metropolitana de São Paulo baseada em Autômatos Celulares. Urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana 2017; 9:362 – 371. https://doi.org/10.1590/2175-3369.009.supl1.ao08.

[27] Holt J.B., Lo C.P., Hodler T.W. Dasymetric estimation of population density and areal interpolation of census data. Cartography and Geographic Information Science 2004; 31:103-21. https://doi.org/10.1559/1523040041649407.

[28] Bielecka E. A dasymetric population density map of Poland. In: Proceedings of the 22nd International Cartographic Conference, A Coruna, Spain. 2005, July 9-15. Disponível em: <https://www.cartesia.org/geodoc/icc2005/pdf/oral/TEMA5/Session%209/ELZBIETA%20BIELECKA.pdf>. Acesso em: 15 de mar. 2021.

[29] Mennis J. Dasymetric Mapping for Estimating Population in Small Areas. Geography Compass, 2009, 3: 727–745. Disponível em: https://doi.org/10.1111/j.1749-8198.2009.00220.x. Acesso em: 13 de maio 2016.

[30] Lopes J.M.A., Santos A.M. Metodologia para Estruturação de Mapa Dasimétrico: Análise de densidade demográfica do Censo de 2010 para cidade de Ji-Paraná (RO). In: I Encontro Nacional de Geografia. Colonização, Território e Meio Ambiente em Rondônia, 2013.

[31] Santos A.M., Homes D.C.S.C., Ramos H.F. Densidade demográfica: um estudo comparativo de duas metodologias a partir de imagens orbital e suborbital na cidade de Aparecida de Goiânia/Goiás. Ateliê Geográfico 2018; 12(1): 175-200. https://doi.org/10.5216/ag.v12i1.45968.

[32] Ramos H.F., Santos A.M., Nunes F.G. Dasimetria aplicada à análise espacial da ocupação humana na cidade de Acreúna – Goiás. XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Anais. João Pessoa-PB, Brasil, 25 a 29 de abril de 2015, INPE. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2015/files/p0805.pdf>. Acesso em: 11 de jan. 2016.

[33] IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Demográfico ano 2010. Disponível em: <http://censo2010.ibge.gov.br/> Acesso em: 17 de nov. 2020.

[34] IBGE Cidades. <https://cidades.ibge.gov.br/> Acesso em 17 de nov. 2020.

[35] Bessa K., Oliveira C.F.P. Ordem e deserdem no processo de implantação de Palmas: a capital projetada do Tocantins. Geousp – Espaço e Tempo (Online) 2017; 21(2): 497-517. https://doi.org/10.11606/issn.2179-0892.geousp.2017.117161.

[36] Leonerdi F., Oliveira C.G., Fonseca L.M.G., Almeida C.M. Fusão de Imagens CBERS 2B: CCD-HRC. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR); 25-30 Abril 2009; Natal, Brasil: INPE, 2009. p. 6951-6958.

[37] Colditz R., Wehrmann T., Bachmann M., Steinnocher K., Schmidt M., Strunz G, Dech S. Influence of image fusion approaches on classification accuracy: a case study. International Journal of Remote Sensing 2007; 27(15): 3311-3335. https://doi.org/10.1080/01431160600649254.

[38] Ehlers M., Klonus S., Astrand P.J, Rosso P. Multi-sensor image fusion for pansharpening in remote sensing. International Journal for Image and Data Fusion 2010; 1(1): 25–45. https://doi.org/10.1080/19479830903561985.

[39] Abdikan S., Sanli F.B. Comparison of different fusion algorithms in urban and agricultural areas using sar (palsar and radarsat) and optical (spot) images. Boletim de Ciências Geodésicas 2012; 18(4): 509-531. https://doi.org/10.1590/S1982-21702012000400001.

[40] Camara G., Souza R.C.M., Freitas U.M., Garrido J. Spring: Integrating remote sensingand GIS by object-oriented data modelling. Computers & Graphics 1996; 20(3): 395-403. https://doi.org/10.1016/0097-8493(96)00008-8.

[41] Menezes P.M.L., Fernandes M.C. Roteiro de Cartografia. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

[42] Campos Filho, C. M. Cidades brasileiras: seu controle ou o caos. 4 ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

[43] Brito E.P. Planejamento, especulação imobiliária e ocupação fragmentada em Palmas. Caminhos de Geografia Uberlândia 2010; 11(34): 94-104. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/16161>. Acesso em: 09 de mar. 2021.

[44] Azar D., Graesser J., Engstrom R., Comenetz J., Leddy Jr R. M., Schechtman N.G.; Andrews T. Spatial refinement of census population distribution using remotely sensed estimates of impervious surfaces in Haiti. International Journal of Remote Sensing 2010; 31(21): 5635–5655. https://doi.org/10.1080/01431161.2010.496799.

[45] Su H., Wei H., Zhao J. Density effect and optimum density of the urban population in China. Urban Studies 2016; 54(7):1-18. https://doi.org/10.1177/0042098015624839.

Autores

Alex Mota dos Santos[1,*], Fabrizia Gioppo Nunes[2], Rodrigo Lima Santos[2]

1. Curso de Engenharia de Transportes, Universidade Federal de Goiás, Rua Mucuri, Área III, 74.968-755, Aparecida de Goiânia, Brasil.
2. Instituto de Estudos Socioambientais, Universidade Federal de Goiás, Avenida Esperança s/n, Campus Samambaia, 74.690-900, Goiânia, Brasil.

* Autor para correspondência: alex.geotecnologias@gmail.com

CAPÍTULO 2

Análise da evolução do desmatamento na região amazônica através de imagens de satélite

Cayo Guimarães Machado, Camila Souza dos Anjos Lacerda, Carolina Gil Garcia, Débora Paula Simões

https://doi.org/10.4322/mp.978-65-991393-8-3.c2

Resumo
Com o crescente avanço da agricultura e pecuária, o desmatamento está se tornando comum, configurando-se em um dos graves processos de degradação florestal. O mapeamento das informações espaciais sobre a cobertura vegetal é um recurso muito utilizado para evidenciar os padrões de uso e ocupações destes espaços, referente à evolução da paisagem no tempo e no espaço. Neste estudo, utilizaram-se técnicas de sensoriamento remoto e detecção de mudanças em imagens, com o objetivo de realizar a análise multitemporal do desmatamento ambiental no município de Monte Negro, em Rondônia, entre os anos de 2013 e 2019. As imagens foram adquiridas pelo catálogo de imagens do USGS (United States Geological Survey) e do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), e foram obtidas pelo sensor OLI do satélite LandSat-8. Realizado o processamento das imagens, executou-se a classificação das mesmas com base nas classes majoritárias, disponibilizadas pelo Mapbiomas Brasil: Floresta, Formação natural não floresta, Agropecuária, Área não vegetada e Corpo d'água. No período em análise, observou-se que 9% da área total do município sofreu desflorestamento. 92,64% do desflorestamento total do município foram através da transição de florestas para agropecuária. Além disso, a classificação do ano de 2013 da área estudada apresentou uma exatidão global de 72,9% de um total avaliado de 701 pontos gerados aleatoriamente sobre a área de estudo, comparados ao mapa de referência do Mapbiomas. O trabalho limitou-se a realizar a validação somente do ano de 2013, pois os dados de 2019 não foram disponibilizados pelo Mapbiomas até a finalização deste trabalho.

Palavras-chave: desflorestamento, detecção de mudanças, geoprocessamento, Mapbiomas, sensoriamento remoto.

1. Introdução

Em 1953, foi criada a Amazônia Legal Brasileira, definida como o território federal que abrange grandes áreas de matas de transição e de cerrado, fora do domínio equatorial amazônico. Sua criação atende a necessidade do governo em planejar e promover o desenvolvimento ordenado da região, de acordo com a Superintendência de Desenvolvimento da Amazônia – SUDAM [1]. A região da Amazônia Legal tem sofrido um intenso processo de desmatamento ambiental, ligado principalmente à atividade pecuária, a agricultura em larga escala e a agricultura de corte e queima. As atividades humanas realizadas no território sobre a substituição da cobertura vegetal têm se demonstrado um problema que causa preocupação na sociedade [2]. Com isso, o desflorestamento na Amazônia tem aumentado a demanda de mapeamento como

Joceli Augusto Gross (Ed.) © 2021 Mérida Publishers CC-BY 4.0

forma de monitoramento do bioma, tornando-se indispensável a utilização de técnicas como o sensoriamento remoto e o geoprocessamento. No contexto da geração de mapeamentos sistemáticos acompanhados de estimativas periódicas da taxa de desmatamento na Amazônia brasileira, o trabalho de maior alcance vem sendo desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) desde 1988, a partir da análise das imagens do satélite norte americano Landsat ou similares, como forma de combater o desmatamento e a degradação ambiental [3]. Atualmente, com a união da disponibilidade das imagens de sensores orbitais de domínio público e a possibilidade de processamento desses dados em nuvens de computadores, foi possível o surgimento de novos projetos de mapeamento do uso e cobertura do solo e de monitoramento do desmatamento ambiental em escala regional e global. Nesse contexto, surgiram plataformas como o Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo do Brasil (MapBiomas), o Projeto de Monitoramento do Desmatamento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite (PRODES), o Sistema de Alerta de Desmatamento (SAD), o Sistema de Detecção de Desmatamento em Tempo Real (DETER), que visam quantificar anualmente o desmatamento e as mudanças no uso e ocupação do solo do bioma Amazônia e de outros biomas.

Diante das preocupações com desmatamento, em especial na Amazônia Legal, e do potencial das técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto no levantamento de dados nesse contexto, o presente estudo visa utilizar de tais técnicas para avaliar a evolução do desmatamento ambiental entre os anos de 2013 e 2019, delimitada a um município do estado de Rondônia: município de Monte Negro.

2. Material e Métodos

Inicialmente, foi caracterizada a área de estudo do presente trabalho, que compreende o município de Monte Negro, localizado na Unidade Federativa de Rondônia. Ele possui uma extensão territorial de aproximadamente 1.931 km², e está situado entre as coordenadas geográficas de 10º 02’ 2,94” S e 10º 29’ 33,25” S de latitude e 63º 06’ 48,34” O e 63º 35’ 48,02” O de longitude de Greenwich. A área do estudo é parte integrante da Amazônia Legal Brasileira, portanto, o bioma do município é Amazônia [4]. A Figura 1 demonstra todos os processos realizados através de um fluxograma, associando cada etapa realizada com os softwares trabalhados.

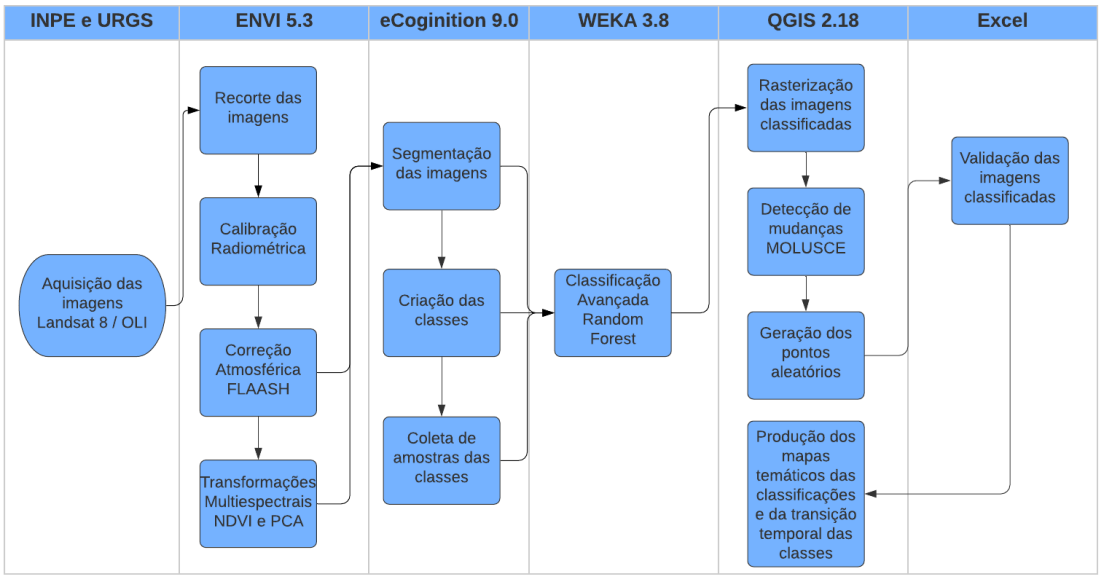


Figura 1. Fluxograma dos processos realizados na metodologia.

Definida então a área de estudo, iniciou-se a aquisição das imagens, através dos mecanismos de pesquisa on-line como Earth Explorer (USGS, 2019) e a Divisão de Geração de Imagens (INPE, 2019), na qual para este trabalho, foi estabelecido o ano inicial e final da análise temporal. A disponibilização das imagens referentes ao sensor OLI do satélite Landsat-8, iniciou em fevereiro de 2013, portanto, a imagem mais antiga da análise é do ano de 2013. Já a imagem mais recente da análise, disponibilizada pelo mesmo sensor e satélite (OLI/Landsat-8), submete-se ao ano de 2019. A época definida para a realização deste estudo foi o mês de julho, escolhido por ser um período com menor índice pluviométrico. As imagens OLI/Landsat-8 possuem uma resolução espacial 30 metros para as bandas multiespectrais e 15 metros para a banda pancromática, contendo um total de 9 bandas espectrais, das quais 2 dessas não foram utilizadas no presente estudo (Pancromática e Cirrus).

Com as imagens já adquiridas, iniciou-se o processo de recorte das imagens. Este recorte baseou-se no arquivo vetorial (polígono) disponibilizado pelo IBGE, do limite do município de Monte Negro, utilizando a ferramenta de recorte disponibilizada pelo software ENVI 5.3. Em seguida, foram realizados os pré-processamentos das imagens, como calibração radiométrica, a correção atmosférica e as transformações multiespectrais NDVI e PCA. Iniciando pela calibração radiométrica, a qual serve para calibrar e/ou converter os dados registrados pelos sensores em quantidades físicas passíveis de serem correlacionadas a parâmetros biofísicos ou geofísicos de objetos, foram aplicadas as configurações de calibração baseadas na correção atmosférica FLAASH, empregando seguintes parâmetros: os números digitais serão convertidos em radiância de acordo com o padrão do FLAASH, o entrelaçamento das bandas é do tipo BIL, os dados de saída são do tipo ponto flutuante, e o fator de escala de 0,1. Finalizado o processo de calibração radiométrica, é gerada uma imagem radiância na qual se percebe visualmente que o nível de iluminação foi melhorado, sendo possível distinguir os objetos de maneira mais fácil. Após esse procedimento realizado para as duas imagens, elas estão aptas para a realização da correção atmosférica. O procedimento de correção atmosférica neste trabalho, como foi citado, utilizou à ferramenta do modelo FLAASH do software ENVI 5.3, onde os valores físicos de radiância serão convertidos para reflectância de superfície, baseando-se nos parâmetros inseridos no processo de calibração radiométrica. Essa ferramenta de correção atmosférica requer alguns parâmetros referentes ao sensor utilizado e a geolocalização da cena, como: altitude do sensor, altitude média do terreno imageado, coordenadas do centro da cena, tamanho do pixel e data e hora do voo. Além disso, a ferramenta FLAASH necessita de informações sobre o modelo atmosférico da área em estudo, como a época (mês) e latitude de captura da cena, que está relacionado ao vapor d'água contido na atmosfera local, e o modelo aerossol, representado em áreas que não são fortemente afetadas por fontes urbanas ou industriais. Por utilizar imagens referentes ao mesmo mês de julho (época), e por ter uma latitude média de 10°S (geolocalização), o modelo escolhido foi o Tropical, conforme o guia do software. Por fim, resultou-se em novas imagens com valores de reflectância de superfície, a qual será utilizada para futuros processos. A seguir, foram realizadas as transformações multiespectrais com a finalidade de realçar as características dos alvos, permitindo separar melhor os elementos presentes na imagem. O procedimento para extração das Componentes Principais, do inglês *Principal Component Analysis* (PCA), e do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada, do inglês *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) das imagens foi realizado também no software ENVI 5.3. Primeiramente, realizou-se a transformação multiespectral das Componentes Principais nas duas imagens (2013 e 2019), na qual se inserem as imagens obtidas da correção atmosférica, resultando em 2 novas cenas. Após as PCAs, iniciou-se o procedimento de extração do índice de vegetação, utilizando a ferramenta de transformação multiespectral NDVI, onde se inseriram as imagens resultantes da correção atmosférica. O Índice de Vegetação por Diferença

Normalizada (NDVI) [5] (Equação 1), que visa realçar diferenças espectrais entre a vegetação e outros alvos, utilizando a razão entre as bandas do NIR (Infravermelho Próximo) e Red (Vermelho).

$$\mathrm{NDVI} = \frac{(\mathrm{NIR}-\mathrm{Red})}{(\mathrm{NIR}+\mathrm{Red})} \qquad \text{(Equação 1)}$$

Inicialmente, deve-se selecionar o sensor utilizado na captura das cenas e o número da posição das bandas do vermelho e do infravermelho próximo, resultando em uma imagem com a vegetação realçada em relação a outros objetos. Em posse das imagens já calibradas e corrigidas, e com suas respectivas transformações multiespectrais contendo informações necessárias sobre a vegetação, deu-se início a segmentação das imagens, que tem por objetivo agrupar os pixels contíguos que contenham a mesma resposta espectral do objeto ao sensor. Utilizando–se do software eCognition para segmentar e coletar as amostras de treinamento das classes, foram aplicados dois algoritmos para realização das segmentações, sendo eles por multirresolução e por diferença espectral. Primeiramente, foi utilizado o algoritmo de multirresolução para a geração dos segmentos. Neste algoritmo, definiu-se um peso para os critérios de homogeneidade dos pixels contíguos, sendo eles forma e compacidade, em que foi definido o peso de 0,2 para forma e 0,7 para compacidade. Após esse procedimento, definiu-se como 50 o valor do parâmetro de escala das regiões homogêneas, resultando um elevado número de segmentos gerados. Posteriormente, no algoritmo de diferença espectral, utilizado para auxiliar a união dos segmentos contíguos que possuem resposta espectral semelhante, definiu-se que as camadas do Coastal Aerosol, PCA 5 e PCA 6 teriam peso 0,5, a camada PCA 7 teria peso 0 e as demais camadas (Blue, Green, Red, NIR, SWIR 1, SWIR 2, PCA 1, PCA 2, PCA 3, PCA 4 e NDVI) teriam peso 1. Logo, o parâmetro de máxima diferença espectral foi definido em 100, resultando em um menor número de segmentos gerados, observando-se que o número de segmentos gerados pelo algoritmo de multirresolução foi relativamente grande. Os features relacionados para a extração de atributos referente a cada segmento foram:

- Mediana da moda do NDVI e PCA1;
- Média das bandas Red, Blue, Green, NIR e PCAs;
- Nome das classes;
- Brilho;
- Máxima diferença espectral;

Após segmentar as imagens, iniciou-se o processo de criação das classes que foram utilizadas nas classificações. As classes adotadas tiveram como base as descrições de classes da área de estudo no Mapbiomas. De acordo com a legenda da plataforma on-line, as classes são subdivididas em 3 níveis e biomas. Para este trabalho, utilizaram-se somente as classes majoritárias do Mapbiomas, sendo estas: Floresta, Formação natural não florestal, Agropecuária, Área não vegetada e Corpo d'água. Essas amostras de treinamento das classes foram coletadas observando o mapa de referência através do Mapbiomas, aplicando o layer ESRI World Imagery, que utiliza imagens do Landsat-8 fusionadas, ou seja, com a resolução espacial melhorada para 15 metros. Finalizada a coleta de amostras das classes para as duas cenas, extraíram-se os atributos citados acima para as duas imagens juntamente com as amostras coletadas. Por fim, geraram-se dois arquivos no formato shapefile, dois arquivos no formato CSV e dois arquivos pertencentes ao shapefile no formato DBF, referentes a cada imagem. Um dos arquivos contém apenas as amostras de treinamento coletadas, e o outro contém todos os segmentos da imagem. Os arquivos

CSV (As tabelas de atributos das camadas de nuvens de pontos geradas) foram utilizados posteriormente no WEKA 3.8 para a realização da classificação, por ser o arquivo de entrada do software, onde será posteriormente transformado no formato ARFF para correlação. A classificação avançada das imagens foi através do software WEKA 3.8, que tem como objetivo proceder à análise computacional e estatística dos dados fornecidos recorrendo a técnicas de mineração de dados. Os arquivos das amostras de treinamento foram correlacionados com os arquivos contendo todos os segmentos, empregando o classificador supervisionado avançado Random Forest, e também foi aplicado na metodologia de classificação da plataforma Mapbiomas. A finalização do processo de classificação ocorreu no software Quantum GIS 2.18 (QGIS 2.18) através da substituição dos dados obtidos pela classificação no WEKA 3.8, gerados a partir da segmentação. Em seguida, os arquivos vetorizados gerados pela segmentação foram rasterizados e, definindo uma escala de cores baseadas nas cores impostas pela plataforma Mapbiomas, facilitando assim a interpretação visual das imagens geradas. Ainda no software QGIS 2.18, a detecção de mudanças ocorridas na cobertura e uso do solo foi através da utilização do *plugin MOLUSCE*, no qual somente é disponibilizado para esta versão. Para isso, foi necessária a rasterização desses arquivos para a utilização. Este complemento tem por objetivo a avaliação de mudanças no uso e cobertura do solo, análise das variações do uso e ocupação do solo em áreas urbanas, bem como em aplicações e projetos de tendência florestal [6]. Definidas como inicial a cena referente ao ano de 2013 e a final referente ao ano de 2019 sobre a mesma projeção cartográfica, o *MOLUSCE* elabora primeiramente as tabelas alfanuméricas para posterior geração do mapa de mudanças da cobertura do solo, obtendo melhor interpretação visual, sendo possível a comparação entre os resultados. Com o mapa de transição gerado, calcularam-se as áreas de transição entre as classes e quais áreas não sofreram mudanças, através da ferramenta *r.report,* do *QGIS 2.18 with GRASS,* onde se calcula a área de cada classe definida no mapa. Na plataforma do Mapbiomas, as transições são separadas por classes. A classe que representada pela cor vermelha apresenta as transições de cobertura florestal ou áreas naturais não florestais para agropecuária ou áreas não vegetadas. Já a classe que representada na cor cinza expressa áreas sem transição ou transições que envolvem áreas não observadas ou transições entre as classes majoritárias do Mapbiomas. A fim de comparação entre os mapas de uso do solo gerados e os disponibilizados pela plataforma Mapbiomas, executou-se a validação das classificações. A validação foi realizada apenas para a época inicial do estudo (2013), pois a plataforma Mapbiomas ainda não havia disponibilizado a imagem classificada referente ao ano de 2019, para a validação desta. A aquisição do mapa de referência foi realizada por meio da plataforma *Google Earth Engine.* Executando o script disponibilizado pelo Mapbiomas para acesso das coleções da plataforma, definiram-se assim alguns parâmetros a respeito da área de estudo, como o bioma (Amazônia), a Unidade da Federação (Rondônia), o município (Monte Negro), o tipo de dado (cobertura do solo) e por fim o ano do mapa (2013). Após adquirir o mapa referência classificado, gerou-se uma camada contendo uma nuvem de pontos aleatórios sobre a mesma extensão das camadas, que devem pertencer à mesma projeção cartográfica. Utilizou-se a ferramenta vetorial “Unir pontos pelos atributos”, do *QGIS 2.18*, para associar a localização dos pontos gerados com as classes do mapa de referência e do mapa classificado. Para o *shapefile* de pontos gerados aleatoriamente, realizou-se o cruzamento espacial entre a localização dos pontos e os dados do mapa de referência e da respectiva classificação, gerando uma coluna da tabela de atributos do *shapefile* de pontos aleatórios associada ao nome da classe daquele ponto na referência, e outra coluna ao nome da classe do mesmo ponto na classificação. A partir desta planilha, gerou-se uma matriz de confusão, através da qual foram calculados a exatidão global, o índice Kappa, e as acurácias do produtor e usuário para cada classe. Por fim, concluídos todos os procedimentos, foram gerados os mapas de uso do solo e mapa de transição, utilizando–se do Compositor de

Impressão do *QGIS 2.18*, onde se produziram todos os elementos de mapa possíveis para melhor interpretação visual.

3. Resultados e Discussão

Como resultado, obteve-se dois mapas temáticos para as cenas 2013 e 2019 a partir da classificação supervisionada utilizando o classificador avançado *Random Forest.* Desta forma, foi possível quantificar as áreas desmatadas durante o intervalo temporal em estudo e validar a classificação realizada. As Figuras 2 e 3 representam o mapa do município de Monte Negro classificado para o ano de 2013 e 2019, respectivamente.

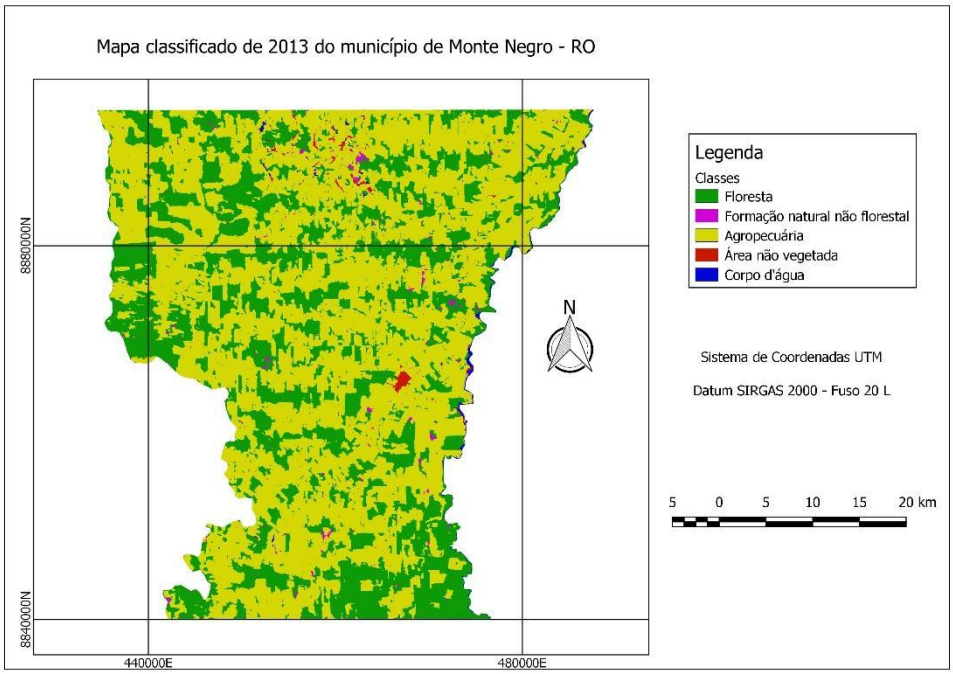


Figura 2. Mapa do município de Monte Negro classificado do ano de 2013.

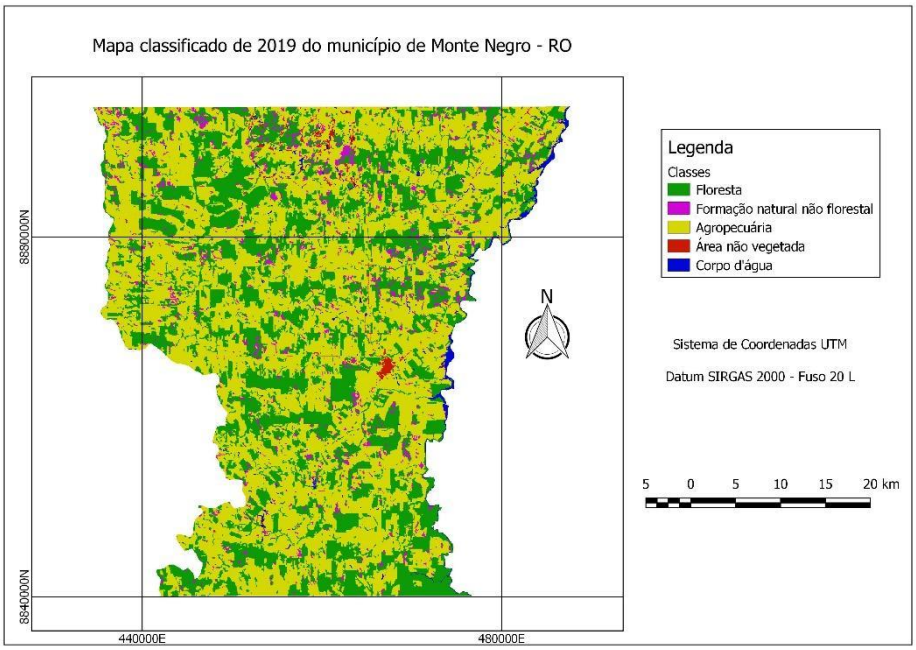


Figura 3. Mapa do município de Monte Negro classificado do ano de 2019.

A partir dos resultados das classificações e das quantificações das áreas referentes a cada classe, foram obtidos os valores comparativos das áreas de cada classe através do *plugin MOLUSCE.* A Tabela 1 apresenta a quantificação dessas áreas e a diferença entre elas referente à época inicial do estudo (2013) até a época final do estudo (2019).

Tabela 1. Comparação temporal das mudanças de classes.

Classes	2013 (ha)	2019 (ha)	Δ (ha)	2013 (%)	2019 (%)	Δ (%)
Agropecuária	110.511,760	114.935,610	4.423,85	57,238	59,530	2,291
Floresta	76.214,620	66.827,390	-9.387,23	39,474	34,612	-4,862
Formação natural não florestal	3.079,800	7.696,980	4.617,18	1,595	3,987	2,391
Corpo d'água	1.641,140	2.185,490	544,35	0,850	1,132	0,282
Área não vegetada	1.625,830	1.427,680	-198,15	0,842	0,739	-0,103
Área Total	193.073,15	193.073,15	0,00	100	100	0,000

De acordo com a Tabela 1, foram gerados os valores referentes às áreas de cada classe em relação aos anos de 2013 e 2019 e também as variações entre os períodos. Estes valores foram disponibilizados tanto em grandeza métrica, quanto em porcentagem. Observa-se que a maior área contida no município, com quase 60% de ocupação, refere-se à classe agropecuária, cujo valor foi aumentado na comparação temporal em 3,84%, equivalente a 4.423 hectares. Enquanto a classe floresta teve uma redução de área equivalente a 12,31%, equivalente a 9.387 hectares. Além de apresentar as quantificações de cada classe, o *MOLUSCE* disponibilizou-se também uma matriz de transição das áreas em porcentagem de pixels, no qual foi convertida para hectares para maior compreensão. Essa matriz, apresentada na Tabela 2 apresenta as áreas das classes, em hectares, que sofreram transições e que se mantiveram na mesma classe, sendo possível realizar a quantificação da área desmatada, baseando-se na metodologia da plataforma Mapbiomas. Essas áreas foram calculadas através da ferramenta *r.report* do QGIS 2.18.

Tabela 2. Matriz de transição dos pixels entre as classes no intervalo temporal em estudo.

		2019 (ha)					Área Total (2013)
	CLASSES	Floresta	Agropecuária	Formação não florestal	Área não vegetada	Corpo d'água	
20	Floresta	56.297,67	16.064,90	3.431,32	41,37	409,46	76.244,72

13 (ha)	Agropecuária	9.483,16	96.887,71	2.794,49	694,30	628,90	110.488,56
	Formação não florestal	950,11	748,24	1.347,82	2,53	34,31	3.083,01
	Área não vegetada	22,56	830,42	21,53	608,65	143,19	1.626,35
	Corpo d'água	78,00	405,65	108,12	79,28	971,33	1.642,38
Área Total (2019)		66.831,50	114.936,92	7.703,28	1.426,13	2.187,19	193.085,02

Após a obtenção desses resultados, gerou-se o mapa de transição da cobertura do solo entre as imagens. A Figura 4 apresenta o mapa das mudanças ocorridas na cobertura do solo, gerado a partir das classificações realizadas nas imagens de cada época através do *plugin MOLUSCE*.

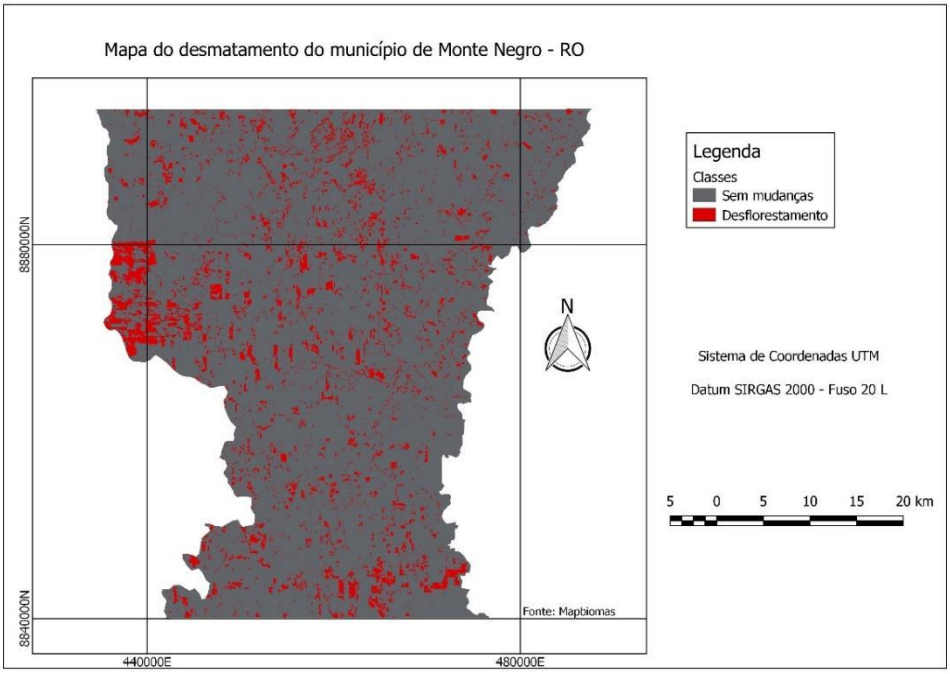


Figura 4. Mapa do desflorestamento ocorrido sobre a área de estudo.

De acordo com a Figura 4, a definição das cores e as transições entre as classes que compõem a quantificação do desflorestamento, basearam-se em relação à plataforma do Mapbiomas. A cor vermelha representa as áreas desmatadas entre os anos de 2013 e 2019 acumulados, enquanto a cor cinza refere-se às áreas que não sofreram transições relacionadas ao desmatamento. A partir do mapa de transição, quantificaram-se as áreas em transição através do *plugin r.report*, organizando esses valores em tabelas e gerando gráficos para melhor análise dos dados. As transições consideradas como desmatamento, são das classes Floresta ou Formação natural não florestal, para as classes Agropecuária ou Área não vegetada. A Tabela 3 demonstra os valores das áreas desmatadas, das áreas que não sofreram transição de classes, e a área total do município, calculadas através do *r.report.*

Tabela 3. Quantificação da área desmatada, área sem mudança e área total do município.

Classificação	Área (ha)	Área (%)
Área sem mudanças	175.714,21	91,00
Área desmatada	17.370,81	9,00
Área Total	193.085,02	100

De acordo com a Tabela 3, a área que permaneceu inalterada equivale a 91,00% (175.714,21 ha) da área total do local de estudo, sendo então área desmatada cerca de 9,00% (17.370,81 ha) da área total. A partir da geração da nuvem de pontos aleatórios, no qual foram gerados 701 pontos sobre a área de estudo para a validação da cena classificada de 2013 em relação ao mapa de referência obtido pelo Mapbiomas, foi possível gerar a matriz de confusão e calcular o percentual de pontos corretamente classificados. Como resultado, a validação da classificação dos dados, utilizando o classificador *Random Forest,* foi realizada nos mapas referentes ao ano de 2013 e apresentou uma Exatidão Global de 72,90%. Também foi possível calcular os índices de exatidão para cada classe conforme apresentado na Tabela 4.

Tabela 4. Índices da avaliação da exatidão.

Avaliação da Exatidão	Exatidão do Produtor da classe	Erro de omissão da classe	Exatidão do Usuário da classe	Erro de inclusão da classe
Floresta	73,80%	26,20%	58,89%	41,11%
Formação natural não florestal	80,00%	20,00%	44,44%	55,56%
Agropecuária	72,53%	27,47%	85,27%	14,73%
Área não vegetada	50,00%	50,00%	33,33%	66,67%
Corpo d'água	83,33%	16,67%	55,56%	44,44%

Os dados da Tabela 4 mostram que a Exatidão do Produtor teve uma representatividade média de 72%, o que significa que as amostras coletadas sobre a base de referência do Mapbiomas tiveram uma alta eficácia. A classe Corpo d'água foi a que obteve o maior valor de Exatidão do Produtor, correspondendo a 83,33%. Na Exatidão do Usuário as classes tiveram uma representatividade média de 55,5%, o que significa que a maior parte das amostras coletadas foi classificada corretamente. A classe Agropecuária foi a que obteve o maior valor de Exatidão do Usuário, correspondendo a 85,27%. Comparando os coeficientes de concordância, a classe Agropecuária foi a que obteve um maior índice de avaliação de exatidão.

4. Conclusão

Com o uso do geoprocessamento e de imagens orbitais de domínio público, notam-se as mudanças ocorridas na cobertura do solo, de forma confiável e satisfatória. Ao longo do período de avaliação (2013-2019), constatou-se que 9% da área total do

município de Monte Negro – RO foi desmatada. Nesse processo, averiguou-se, principalmente, a conversão de floresta em agropecuária. Isso significa que houve um aumento da prática pecuarista, interferindo na biodiversidade da região.

Observa-se que a maior transição ocorrida em relação às áreas originais foi na classe floresta, correspondendo a 92,48% (16.064,90 ha) do desmatamento total ocorrido sobre a área de estudo. É importante destacar que o presente trabalhou realizou a análise para uma única data de 2013, e desta maneira já era esperada certa variação entre o produto gerado e o disponibilizado pelo Mapbiomas. A classificação na área estudada apresentou uma Exatidão Global superior a 70%, o que indica um bom desempenho do classificador quando comparado ao mapa de referência. Essa análise só foi possível para o ano de 2013, visto que o Mapbiomas ainda não disponibilizou o mapa de 2019. De acordo com o estudo realizado e os resultados obtidos, através do geoprocessamento e de técnicas de sensoriamento remoto, foi possível quantificar a área desmatada no município de Monte Negro, em Rondônia, entre os anos de 2013 e 2019. Como sugestão para trabalhos futuros, a classificação gerada para o ano de 2019 poderá ser comparada com a base de dados do Mapbiomas a ser disponibilizada, ou ainda, ter o período de análise estendida de 1985 a 2018, épocas que o Mapbiomas possui uma base de dados.

6. Referências

[1] Brasil. Lei Complementar nº 124, de 3 de janeiro de 2007. Institui, na forma do art. 43 da Constituição Federal, a Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia – SUDAM; estabelece sua composição, natureza jurídica, objetivos, área de competência e instrumentos de ação; e dá outras providências, 2007. Disponível em: <https://bit.ly/2NmbUqb>. Acesso em: 03 de mar. 2020.

[2] Araujo L.C.L., Souza J.J., Morais V.M.C., Souza A.A.A., Oliveira R.R.S., Gomes A. R., Narvaes I.S., Adami M. Avaliação das alterações na cobertura florestal utilizando dados de projetos de monitoramento do desmatamento da Amazônia e verificação em campo: estudo de caso para o trecho Belém a Rurópolis - PA. Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Santos, Abril 2019. ISSN 978-85-17-00097-3. Disponível em: <https://bit.ly/376JlEt>. Acesso em: 07 de mar. 2020.

[3] Maurano L.E.P., Escada M.I.S. Comparação dos dados produzidos pelo PRODES versus dados do Mapbiomas para o bioma Amazônia. Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Santos, p. 735, abr. 2019. Disponível em <https://bit.ly/2OvEmqn>. Acesso em: 03 de mar. 2020.

[4] Projeto Radambrasil. Folha SC. 20 Porto Velho: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra, Rio de Janeiro, v. 16, 2003. ISSN 2401003900. Disponível em: <https://bit.ly/2LFwDF2>. Acesso em: 11 de fev. 2020.

[5] Rouse J.W., Jr. Haas R.H., Schell J.A., Deering D.W. Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium. Volume 1: Technical Presentations, section A. Greenbel, Maryland, USA., 1973. Disponível em: <https://bit.ly/3cXFH3s>. Acesso em: 05 de mar. 2020.

[6] Holler W.A., Rosot M.A.D., Franciscon L., Garrastazú M.C., Oliveira Y.M.M., Maran J.C. Como proceder na detecção de mudanças de uso e cobertura da terra. EMBRAPA, Colombo, Outubro 2018. ISSN 1980-3982. Disponível em: <https://bit.ly/3rD6JkC>. Acesso em: 11 de fev. 2020.

Autores

Cayo Guimarães Machado[1,*], Camila Souza dos Anjos Lacerda[2], Carolina Gil Garcia[3], Débora Paula Simões[2]

1. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas – Campus Inconfidentes, Praça Tiradentes, 416 – Centro, 37576-000, Inconfidentes, Brasil.
2. Departamento de Agrimensura e Cartografia, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas – Campus Inconfidentes, Praça Tiradentes, 416 – Centro, 37576-000, Inconfidentes, Brasil.
3. Departamento de Meio Ambiente, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas – Campus Inconfidentes, Praça Tiradentes, 416 – Centro, 37576-000, Inconfidentes, Brasil.

* Autor para correspondência: cayoeacif@gmail.com

CAPÍTULO 3

Monitoramento do sedimento suspenso no Lago Catalão (Iranduba, AM) com dados Landsat-8

Rogério Ribeiro Marinho, Flávio Wachholz, Renata Souza

https://doi.org/10.4322/mp.978-65-991393-8-3.c3

Resumo
A região de confluência entre o rio Negro e Solimões é uma extensa área de mistura de águas que possuem diferenças significativas de suas características físicas e químicas, principalmente quanto ao transporte de sedimentos suspensos. A dinâmica fluvial nesta planície de inundação é controlada pelo rio Solimões, que ocasiona significativas mudanças na paisagem, principalmente pela entrada de sedimentos suspensos em lagos conectados ao sistema fluvial. Este trabalho teve como objetivo analisar a variação espacial e temporal do sedimento suspenso no Lago Catalão (ilha da Xiborena). Dados de reflectância da banda do vermelho do sensor OLI, satélite Landsat-8, foram utilizados para estimar a concentração de sedimento suspenso (CSS). A variabilidade anual da CSS nesta área de estudo é controlada principalmente pelo regime hidrológico dos rios Solimões e Negro. Estimativas da CSS com imagens do Landsat-8 indica uma concentração média anual de 12,04 mg L^{-1} ±35%, com menor concentração no período de enchente (8,20 mg L^{-1}) e maior durante a cheia (15,09 mg L^{-1}). Entre os meses de agosto a novembro (vazante e seca) ocorre a menor disponibilidade de imagens para o período analisado (2013-2020) devido à cobertura de nuvens na região e a resolução temporal do sensor OLI (16 dias). Por fim, este trabalho realiza uma discussão a respeito do uso de sensores ópticos para o monitoramento da paisagem fluvial da região de confluência dos rios Negro e Solimões.

Palavras-chave: bacia amazônica, comportamento espectral da água, planície de inundação, transporte de sedimento suspenso.

1. Introdução

A bacia amazônica possui uma densa rede de drenagem e uma vasta planície de inundação, com complexos hidrossistemas que desempenham um importante papel na regulagem do ciclo hidrológico, em processos biogeoquímicos e na manutenção de paisagens. Estas planícies possuem sua dinâmica de inundação controlada pelo pulso de inundação [1], cuja variabilidade natural do nível d'água pode chegar a 18 metros nos rios da região [2,3].

Atualmente o monitoramento hidrológico e sedimentológico nos principais hidrossistemas na Amazônia são realizados por meio de observações pontuais em estações hidrométricas, localizadas principalmente nos grandes rios. Nos últimos anos dados coletados por plataformas orbitais de sensoriamento remoto contribuíram significativamente para ampliar a aquisição de dados em diferentes ambientes

Joceli Augusto Gross (Ed.) © 2021 Mérida Publishers CC-BY 4.0

brasileiros pobremente monitorados, possibilitando com isso análises detalhadas de lagos localizados na planície de inundação do rio Amazonas [4].

Embora exista uma considerável quantidade de estudos sobre a geomorfologia e a paisagem fluvial na bacia Amazônica, pesquisas realizadas nos últimos anos não tiveram como foco os lagos na região de confluência dos rios Negro e Solimões, uma extensa área com mistura de águas de dois grandes rios, que possuem diferenças significativas das características hidráulicas [5–7], na qualidade da água [8,9] e de grande importância para a população ribeirinha [10,11]. O rio Negro, com baixo pH e águas escuras, drenam principalmente terrenos antigos dos escudos das Guianas, enquanto que o rio Solimões, com águas brancas, transporta sedimentos suspensos oriundos da cordilheira dos Andes, com concentrações cerca de 30 vezes maior que o rio Negro [12]. Desta forma, as águas do Lago Catalão correspondem a uma mistura destes dois grandes rios fisicamente e quimicamente distintos [13].

O estudo de sedimentos suspensos na bacia amazônica é essencial para o entendimento da paisagem fluvial e sua relação com a gênese, morfodinâmica e ciclagem biogeoquímica de sistemas lacustres sob influência de grandes rios, bem como, para avaliação e mitigação de impactos de eventos climáticos extremos ou oriundos de atividades antrópicas que afetam a qualidade e disponibilidade de água [14]. Assim, análises geográficas deste tipo de paisagem em suas componentes espaciais e temporais, com uso de dados de campo e de sensoriamento remoto contribuem para o entendimento do intercâmbio de águas nestes hidrossistemas e como a população ribeirinha produz seu espaço geográfico. Além do mais, dados de sensoriamento remoto podem fornecer uma visão sinótica, aquisição em diferentes períodos do ano para subsidiar análise do funcionamento e transformações que um sistema aquático está sujeito [15].

Apesar da maior disponibilidade de dados de sensoriamento remoto, poucos estudos sobre o transporte de sedimento suspenso foram desenvolvidos em lagos sob influência dos rios Negro e Solimões, situação que contribui no baixo conhecimento da variabilidade espaço-temporal da qualidade da água nesta paisagem. Neste contexto, este trabalho tem como objetivo analisar a variação espaço-temporal do sedimento suspenso no Lago Catalão (ilha da Xiborena), região da confluência dos rios Negro e Solimões, por meio de dados dos sensores OLI (Landsat-8).

Os resultados apresentados neste trabalho buscam contribuir para a caracterização da dinâmica da paisagem em um lago com grande importância socioambiental da região do encontro das águas, visto a dependência da população local de atividades de pesca e turismo [11], piscicultura [16] e pelo fato deste lago ser considerado um importante berçário para espécies de peixes oriundos do rio Solimões [17,18].

2. Material e Métodos

2.1. Área de estudo

O Lago Catalão localiza-se na ilha Xiborena, que por sua vez está localizada na margem direita do rio Negro e é parcialmente conectado ao rio Solimões (Figura 1). Esta área pertence ao município de Iranduba, porém seu acesso é realizado principalmente pelo Porto da Ceasa, em Manaus, estado do Amazonas. Na localidade denominada “Boca do Catalão” existe um assentamento de 110 casas flutuantes e uma população estimada de 350 habitantes [16] em 90 famílias distribuídas ao longo de canais (localmente conhecido como *paranás*) que conectam o lago ao rio Negro [11].

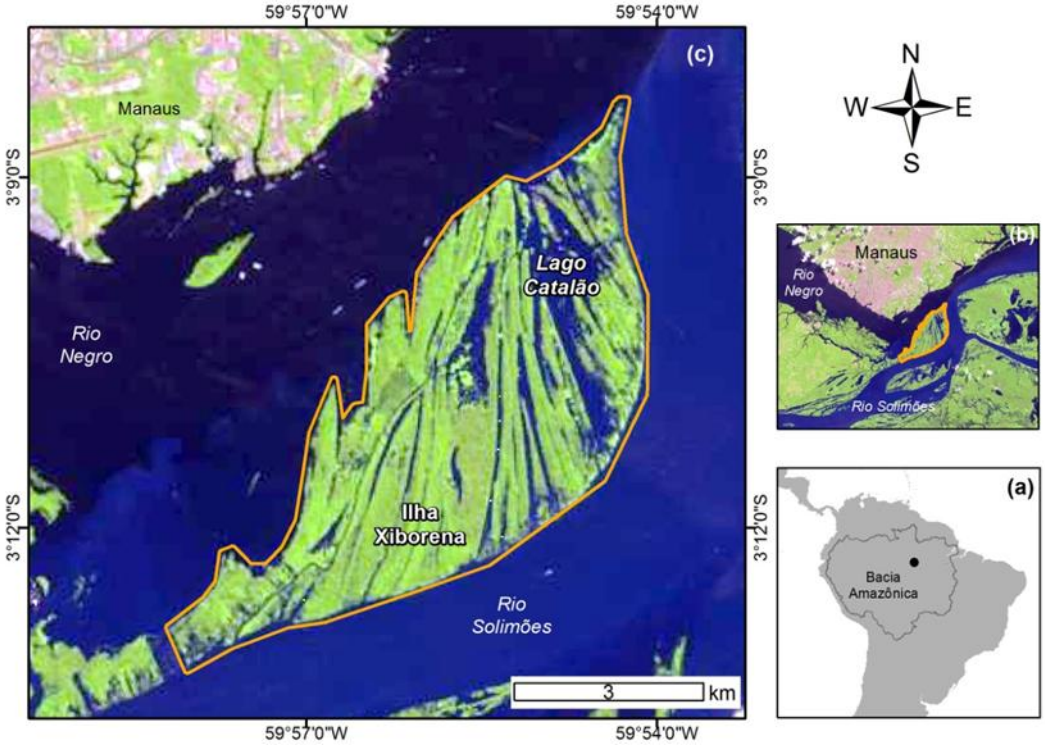


Figura 1. Localização da área de estudo. (a) Bacia Amazônica. (b) Confluência dos rios Negro e Solimões. (c) Lago Catalão (ilha Xiborena). Imagem RGB (6-5-4) do sensor OLI/Landsat-8 adquirida em 27/05/2017.

Este lago recebe águas de ambos os rios Negro e Solimões e é considerado um lago de águas mistas, ou seja, brancas e pretas [19]. A área do Lago Catalão aumenta e diminui de tamanho de acordo com o nível dos rios adjacentes, conectando-se normalmente ao rio Solimões através de um curto canal, após os primeiros meses de enchente e raramente perde sua conexão com o rio Negro. Em períodos de secas intensas, o lago se resume em uma pequena área denominada “poção” permanecendo conectado com o rio Negro [17].

A principal classificação empregada para descrever os tipos de água na Amazônia foi proposta por Harald Sioli na década de 1950 [20] com base nas propriedades ópticas aparentes [21] e suas relações com a biogeoquímica. As águas brancas possuem alta quantidade de sedimento inorgânico suspenso e são oriundas principalmente dos Andes, enquanto que as águas pretas possuem como principal característica a baixa concentração de sedimento inorgânico suspenso e elevada carga de matéria orgânica dissolvida. Já as águas claras apresentam maior transparência em relação às anteriores, porém com maior produtividade primária do fitoplâncton [22].

A Figura 2 apresenta espectros representativos da reflectância de sensoriamento remoto da água na área de estudo, onde se destaca as variações na forma e magnitude dos espectros coletados no Lago Catalão (Espectro 2) e na área sobre influência dos rios Negro (Espectro 3) e Solimões (Espectro 1). De forma geral, o sedimento suspenso do rio Solimões ocasiona maior energia refletida em relação aos espectros da reflectância da água sob influência do rio Negro. Devido à presença da matéria orgânica dissolvida na água do rio Negro os lagos e canais nesta região apresentam baixa energia refletida. Porém, destaca-se que em ambos os espectros o pico de reflectância ocorre na região espectral do vermelho (690 nm).

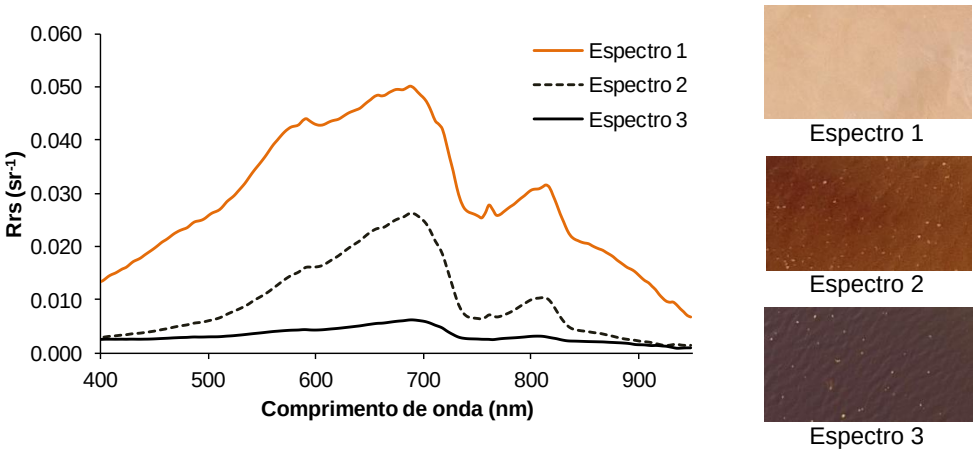


Figura 2. Comportamento espectral da reflectância de sensoriamento remoto (R_{rs}) da superfície d'água na região do Lago Catalão. Dados de abril de 2018.

O Lago Catalão possui área de aproximadamente 1,54 km^2, apresenta formato alongado (largura máxima de 1,5 km e comprimento máximo de 4,5 km) e um tempo médio de residência da água estimado em 148 dias [23]. Segundo Brito et al. [13] a água neste lago possui pouca oxigenação (2,4 mg L^{-1}), baixo pH (variando de 6 a 7) e condutividade elétrica variando de 22 a 82 (µs cm^{-1}), com as características físicas e químicas da água sob maior influência do rio Solimões durante o período de cheia.
A precipitação média anual na área de estudo é da ordem de 2280 mm por ano, com o período chuvoso ocorrendo entre dezembro e abril e o mês menos chuvoso em agosto. O regime hidrológico anual apresenta um comportamento regular, com cheia em junho-julho, vazante de agosto a setembro, seca entre outubro-novembro e período de enchente de dezembro a maio, apresentando variabilidade média anual do nível d'água de aproximadamente 10 metros [3].

2.2. Material e Métodos

A Figura 3 apresenta o fluxograma metodológico deste estudo. Foram utilizados dados de reflectância de sensoriamento remoto (R_{rs}) e da concentração de sedimentos suspensos (CSS) para estimar sua dinâmica temporal e espacial no Lago Catalão através de imagens do sensor OLI (satélite Landsat-8). Os dados de R_{rs} e CSS foram coletados em lagos e canais do baixo rio Negro e na região de confluência com o rio Solimões entre 2016 e 2020 em diferentes períodos hidrológicos.

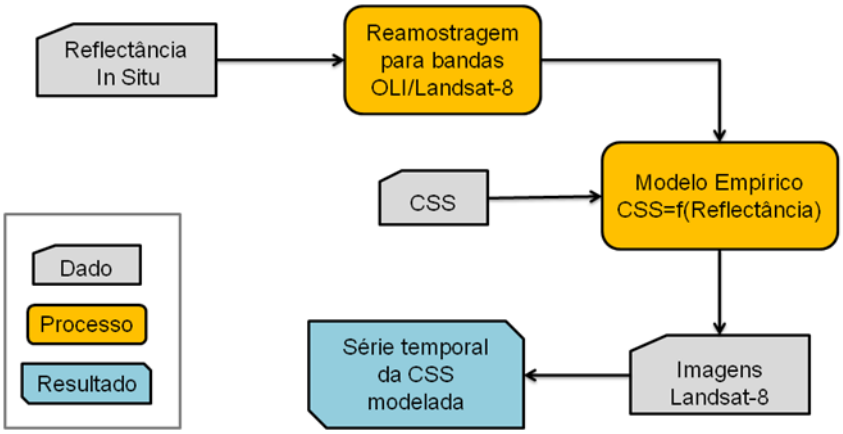


Figura 3. Fluxograma das etapas de processamento e análise de dados de sensoriamento remoto para estimar a concentração do sedimento suspenso.

A reflectância de sensoriamento remoto (R_{rs}) foi obtida *in situ* com o uso de três radiômetros TriOs/RAMSES que operam no intervalo de 350-950 nm do espectro eletromagnético. A configuração geométrica para coleta dos dados radiométricos seguiu o protocolo de Mobley [24], com ângulo de visada de 40° e azimute de 135° em relação ao Sol. A R_{rs} para cada comprimento de onda (λ) foi determinada a partir da equação 1:

$$R_{rs}(\lambda) = \frac{L_t(\lambda) - \rho . L_{sky}(\lambda)}{E_s(\lambda)} \quad \text{(Equação 1)}$$

onde E_s é a irradiância incidente na superfície da água em 90°, Lt é a radiância ascendente da superfície da água em 40º *off-nadir*, L_{sky} é a radiância proveniente do céu em 40º, ρ é um fator multiplicativo tabelado.

Para simular a reflectância medida pelos sistemas orbitais os espectros coletados *in situ* foram reamostrados para bandas do OLI/Landsat-8 utilizando a função de resposta espectral relativa deste sensor. A concentração de sedimentos suspensos (CSS, em mg L^{-1}) foi determinada seguindo o protocolo do Observatório HYBAM [25] na qual as amostras de água coletadas em superfície foram filtradas em membranas de acetato de celulose de 0,45 µm de porosidade e pesadas em balanças analíticas.

Este estudo utilizou a modelagem empírica baseada na análise de regressão para estimar a CSS em função da R_{rs}. Esta abordagem foi utilizada pelo fato que a área de estudo possui valores da concentração de sedimentos suspensos que variam de baixa a moderada, ou seja, CSS menor que 50 mg L^{-1}. Assim, com base em estudos anteriores [8,21,26,27] foi ajustado um modelo linear de estimativa da CSS a partir da banda do vermelho do sensor OLI (Banda 4). A Figura 4 apresenta o modelo empírico aplicados nas imagens de satélites e as estatísticas de validação.

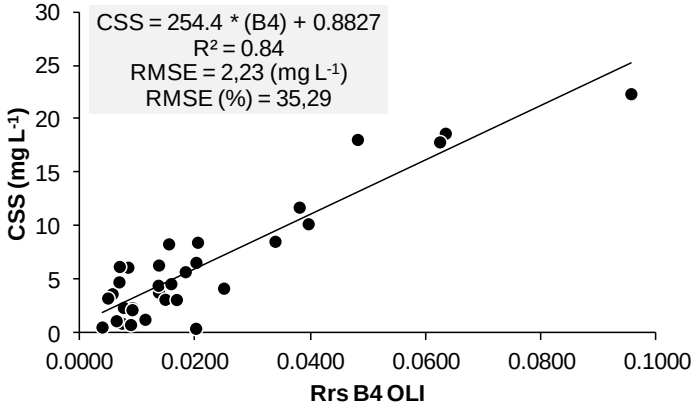


Figura 4. Modelo empírico preditivos da CSS a partir da Rrs simuladas para a banda do vermelho do sensor OLI/Landsat-8 (Rrs B4 OLI com fator de escala 0,0001).

Para a análise da dinâmica temporal e espacial do sedimento suspenso no Lago Catalão foi utilizada o acervo de dados de reflectância da superfície do satélite Landsat-8 (2013-2020) disponível pelo USGS. Os dados de reflectância de superfície nas imagens do OLI/Landsat-8 foram processados e extraídos através da plataforma Google Earth Engine [28].

3. Resultados e Discussão

O acervo de imagens do sensor OLI/Landsat-8 analisado neste estudo corresponde a um conjunto de 83 imagens adquiridas entre abril de 2013 e dezembro de 2020. A partir deste conjunto de dados foi possível estimar uma CSS média no Lago Catalão de 12,04 mg L^{-1} com máximo de 31,82 mg L^{-1} em abril de 2020 e mínimo de 1,62 mg L^{-1} na imagem de abril de 2018. Entre os meses de dezembro e abril (enchente) a CSS média estimada foi de 8,20 mg L^{-1} (n = 28) enquanto na cheia, vazante e seca a CSS média foi de 15,09 (n = 23); 12,36 (n = 16) e 14,06 (n = 16) mg L-1, respectivamente (Figura 5).

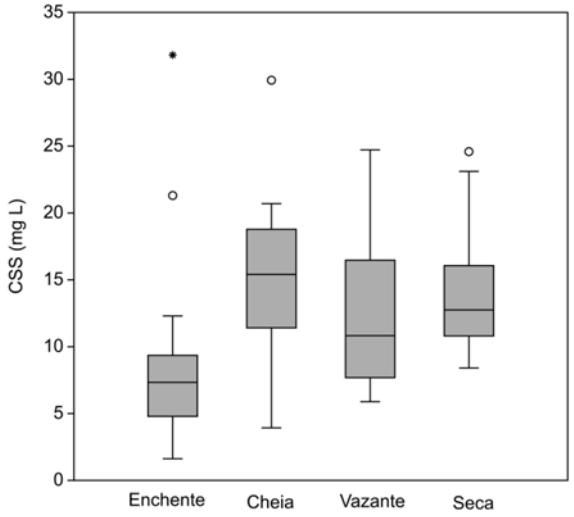


Figura 5. Concentração do sedimento suspenso (CSS) no Lago Catalão em diferentes períodos hidrológicos estimados com base nos dados OLI/Landsat-8.

O rio Solimões em Manacapuru 90 km a jusante da área de estudo possui CSS média anual da ordem de 133 mg L^{-1} [29], enquanto que o rio Negro próximo de sua foz apresenta uma CSS média anual inferior a 5 mg L^{-1} [30]. Neste estudo, a CSS média estimada para o Lago Catalão com as imagens Landsat-8 foi 2,5 vezes menor em comparação aos dados apresentados por Brito et al. [13] (~30,9 mg L^{-1}). No entanto, os dados destes autores foram coletados entre novembro de 2004 e agosto de 2005, ou seja, em um ano com seca extrema na bacia, o que pode ter contribuído para a maior concentração de sedimento suspenso observado. Assim, em baixa profundidade o lago está sujeito a ressuspensão do sedimento, que podem ser associadas às atividades antrópicas.

A concentração média anual de sedimentos suspensos do Lago Catalão (12,04 mg L^{-1}) ficou próxima da estimativa realizada com dados MODIS no estudo de Fassoni-Andrade e Paiva [31], os quais classificou este lago como um ambiente de moderada concentração de sedimento suspenso na superfície d'água (com CSS variando anualmente de 10 a 35 mg L^{-1}).

A série histórica da CSS estimada no período de abril de 2013 e dezembro de 2020 é apresentada na Figura 6. De forma geral os picos de CSS que ocorrem próximo do período de cheia são relacionados ao aporte de sedimentos suspensos oriundos do rio Solimões. Já os picos de CSS durante a vazante podem ser relacionados ao período que o Lago Catalão reduz área, a profundidade e o volume de água, o que pode contribuir para que o sedimento suspenso fique mais concentrado.

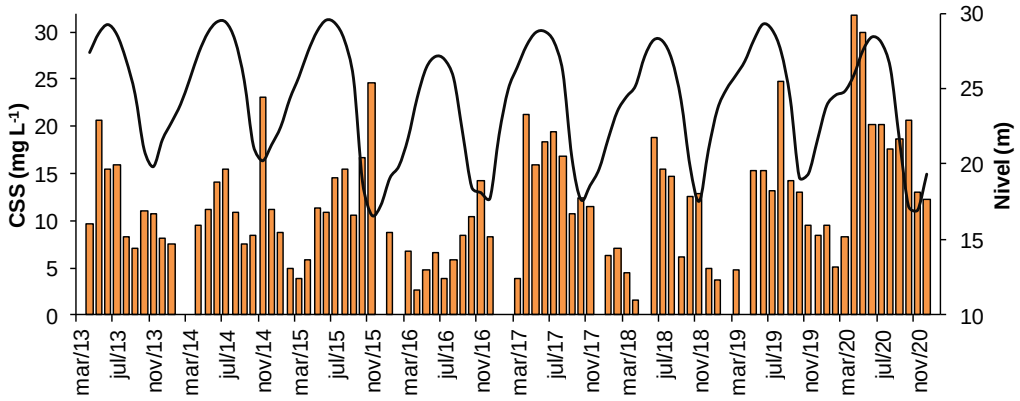


Figura 6. Série temporal da CSS derivadas a partir de imagens Landsat-8 (barras) no Lago Catalão e a variabilidade do nível do rio Negro em Manaus (linha).

Entre o período de transição da enchente (abril) e o final da cheia (julho) o fluxo de água do rio Solimões extravasa os canais que conectam os lagos e inunda toda a planície, em um processo que intensifica a circulação de água e nutrientes nos lagos, que por sua vez contribui para aumento da CSS. A Figura 7 mostra a dinâmica espaço-temporal do sedimento suspenso sobre a ilha Xiborena e no Lago Catalão entre maio de 2017 e março de 2018. O Lago Catalão recebe grande quantidade de águas de ambos os rios, sendo a influência do rio Negro maior no período de enchente em virtude da menor CSS mapeada na imagem OLI/Landsat-8 de março de 2018 (Figura 7c).

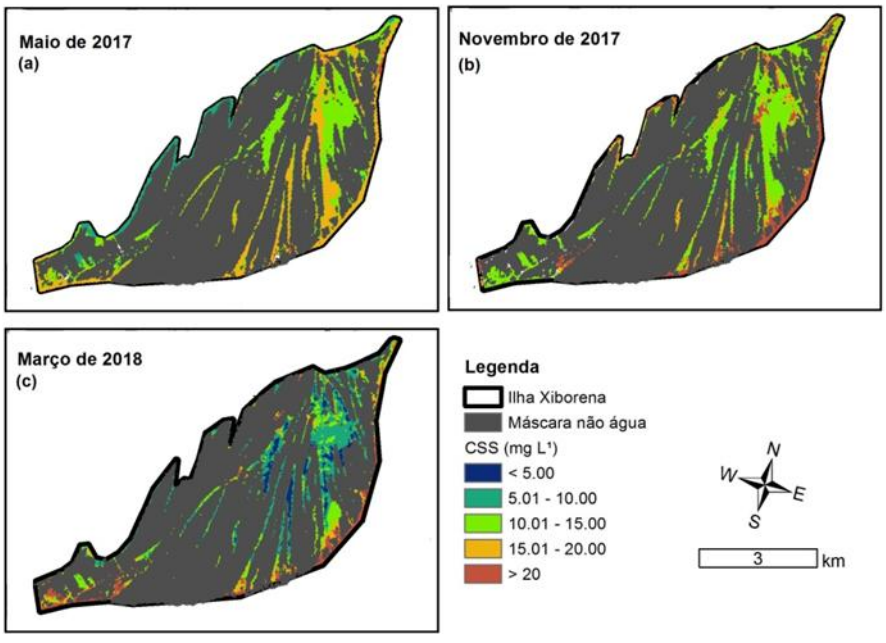


Figura 7. Distribuição espacial da CSS sobre a ilha Xiborena e o Lago Catalão durante a cheia (a) e seca (b) de 2017 e a enchente de 2018 (c).

A região central do Lago Catalão possui uma área inferior a 01 km^2, tamanho que dificulta o uso de sensores orbitais de revisita diária e de baixa resolução espacial, como o MODIS (Satélites Terra e Aqua) e o OLCI (Sentinel-3). Com uma resolução espacial de 30 metros o sensor OLI/Landsat-8 consegue detectar tanto a área do Lago

Catalão como os estreitos canais que o conecta aos rios Negro e Solimões. Por outro lado, com uma resolução temporal de 16 dias este sensor possui capacidade de coletar de 22 a 23 imagens por ano, que por sua vez, podem apresentar elevada cobertura de nuvens, principalmente entre os meses de dezembro e abril (período chuvoso). Estas limitações em relação às resoluções temporais e espaciais do OLI/Landsat-8 podem ser superadas com o uso combinado de sensores orbitais com bandas espectrais semelhantes, como por exemplo, as constelações de satélites Sentinel-2 e os CubeSats Planet, aumentando assim capacidade de monitoramento do local [32].

4. Conclusão

Este trabalho demonstrou através de um conjunto de imagens do sensor OLI/Landsat-8 a dinâmica espaço-temporal do sedimento suspenso no Lago Catalão, um lago de águas mistas localizado na região de confluência entre os rios Negro e Solimões. O sedimento suspenso no Lago Catalão apresenta um regime com menor concentração no período de enchente do rio Negro, comportamento semelhante aos observados nos lagos da planície do rio Solimões e Amazonas, onde o pico de entrada da carga suspensa ocorre próximo do pico de cheia do rio.

Dados de sensoriamento são importantes ferramentas para a análise e compressão de fenômenos geográficos em sistemas aquáticos localizados na bacia Amazônica, como a troca de sedimentos entre o rio e planície. Desta forma, os resultados apresentados neste estudo, em conjunto com trabalhos já realizados, podem servir na avaliação de como a população ribeirinha produz o espaço geográfico no Lago Catalão, bem como identificar impactos oriundos de eventos climáticos extremos, como as grandes secas de 2005 e 2010 e as cheias de 2009 e 2012.

Por fim, o uso de imagens do satélite Landsat-8 contribuiu para entender como a paisagem deste lago muda ao longo de um ano hidrológico alterando sua geomorfologia e qualidade da água utilizada pela população ribeirinha. No entanto, mais estudos sobre este sistema aquático são necessários, principalmente com aplicações de sensores de maior resolução temporal e espacial, especialmente na aquisição de dados durante o período chuvoso, bem como na avaliação da influência da atmosfera e da reflexão especular da água (*sunglint*) sobre as imagens Landsat-8.

5. Referências

[1] Junk W., Bayley P., Sparks R. The Flood Pulse Concept in River-Floodplain Systems. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 1989; 106. Disponível em: <https://www.waterboards.ca.gov/waterrights//water_issues/programs/bay_delta/docs/cmnt081712/sldmwa/junketal1989.pdf>. Acesso em: 09 de mar. 2021.

[2] Filizola N.P., Guyot J.L., Molinier M., Guimarães V. Caracterização hidrológica da Bacia Amazônica. In Rivas A., Freitas C.E. de C., (eds). Amazônia uma perspectiva interdisciplinar. EDUA: Manaus; 2002.

[3] Bittencourt M.M., Amadio S.A. Proposta para identificação rápida dos períodos hidrológicos em áreas de várzea do rio Solimões-Amazonas nas proximidades de Manaus. Acta Amazonica 2007; 37(2): 303–308. https://doi.org/10.1590/s0044-59672007000200019.

[4] Barbosa C.C.F., Novo E.M.L.M., Martins V.S. Introdução ao sensoriamento remoto de sistemas aquáticos: princípios e aplicações; 1a Edição. Instituto Nacional de

Pesquisas Espaciais: São José dos Campos; 2019. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/labisa/livro/>. Acesso em 10/03/2021.

[5] Gualtieri C., Ianniruberto M., Filizola N., Santos R., Endreny T. Hydraulic complexity at a large river confluence in the Amazon basin. Ecohydrology 2017; 10(7): e1863. <https://doi.org/10.1002/eco.1863>.

[6] Laraque A., Guyot J.L., Filizola N. Mixing processes in the Amazon River at the confluences of the Negro and Solimões Rivers, Encontro das Águas, Manaus, Brazil. Hydrological Processes 2009; 23(22): 3131–3140. <https://doi.org/10.1002/hyp.7388>.

[7] Filizola N.P., Spínola N., Arruda W., Seyler F., Calmant S., Da Silva J. The Rio Negro and Rio Solimões confluence point – hydrometric observations during the 2006/2007 cycle. In River, Coastal and Estuarine Morphodynamics; Taylor & Francis Group: Santa Fe, 2009; p. 1003–1006.

[8] Marinho T., Filizola N., Martinez J.M., Armijos E., Nascimento A. Suspended Sediment Variability at the Solimões and Negro Confluence between May 2013 and February 2014. Geosciences 2018; 8(7):265. https://doi.org/10.3390/geosciences8070265.

[9] Moreira-Turcq P.F., Seyler P., Guyot J.L., Etcheber H. Characteristics of organic matter in the mixing zone of the Rio Negro and Rio Solimões of the Amazon River. Hydrological Processes 2003; 17(7): 1393–1404. https://doi.org/10.1002/hyp.1291.

[10] Sternberg H.O.R. A Água e o Homem na Várzea do Careiro; Museu Paraense Emílio Goeldi: Belém, 1998.

[11] Ramos M.F.L., Wachholz F., Silva Neto J.C.A. Qualidade dos recursos hídricos na comunidade flutuante lago do Catalão, Iranduba -AM. Caminhos de Geografia 2020; 21(73): 98–115. https://doi.org/10.14393/RCG217347290.

[12] Allard T., Ponthieu M., Weber T., Filizola N., Guyot J.L., Benedetti M. Nature and properties of suspended solids in the Amazon Basin. Bulletin de la Societe Geologique de France 2002; 173(1): 67–75. https://doi.org/10.2113/173.1.67.

[13] Brito J.G. de, Alves L.F., Espirito Santo H.M.V. Seasonal and spatial variations in limnological conditions of a floodplain lake (lake Catalão) connected to both the Solimões and Negro Rivers, Central Amazonia. Acta Amazonica 2014; 44(1): 121–133. http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672014000100012.

[14] Latrubesse E.M. Amazon lakes. In: Bengtsson L., Herschy R.W., Fairbridge R.W. (eds) Encyclopedia of Lakes and Reservoirs. Encyclopedia of Earth Sciences Series. Springer: Dordrecht; 2012. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4410-6_36.

[15] Novo E.M.L.M., Barbosa C., Freitas R.M. de. Sistemas Aquáticos Continentais. In: O sensor Modis e suas aplicações ambientais no Brasil; Rudorfff, B.F.T., Shimabukuro, Y.E., Ceballos, J.C., Eds.; Editora Parênteses: São José dos Campos, 2007; p. 265–275.

[16] Pinheiro L., Cardoso A.C. A comunidade flutuante Lago Catalão–Iranduba AM: Um tecido urbano sobre as águas. Revista de Morfologia Urbana 2019; 7(2): e00114–e00114. https://doi.org/10.47235/rmu.v7i2.114.

[17] Leite R.G., Silva J.V.V. da, Freitas C.E. Abundância e distribuição das larvas de

peixes no Lago Catalão e no encontro dos rios Solimões e Negro, Amazonas, Brasil. Acta Amazonica 2006; 36(4): 557–562. https://doi.org/10.1590/S0044-59672006000400018.

[18] Röpke C.P., Amadio S.A., Winemiller K.O., Zuanon J. Seasonal dynamics of the fish assemblage in a floodplain lake at the confluence of the Negro and Amazon Rivers. Journal of Fish Biolology 2016; 89(1): 194–212. https://doi.org/10.1111/jfb.12791.

[19] Almeida F.F. de, Melo S. Considerações limnológicas sobre um lago da planície de inundação amazônica (lago Catalão – Estado do Amazonas, Brasil). Acta Scientiarum Biological Sciences 2009; 31(4): 387-395. https://doi.org/10.4025/actascibiolsci.v31i4.4641.

[20] Sioli H. The Amazon and its main affluents: Hydrography, morphology of the river courses, and river types. In: Sioli H. (ed) Amazon Limnology and landscape ecology of mighty tropical river and its basins. Springer Netherlands: Dordrecht; 1984, p. 127–165. https://doi.org/10.1007/978-94-009-6542-3.

[21] Martinez J.M., Espinoza-Villar R., Armijos E., Silva Moreira L. The optical properties of river and floodplain waters in the Amazon River Basin: Implications for satellite-based measurements of suspended particulate matter. Journal of Geophysical Research: Earth Surface 2015; 120(7): 1274–1287. https://doi.org/10.1002/2014JF003404.

[22] Lobo J.F.L. Aplicações do sensoriamento remoto em águas continentais: estudos de caso. In: Barbosa C.C.F., Novo E.M.L.M., Martins V.S. (eds) Introdução ao sensoriamento remoto de sistemas aquáticos princípios e aplicações. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais: São José dos Campos; 2019, p. 136–152.

[23] Messager M.L., Lehner B., Grill G., Nedeva I., Schmitt O. Estimating the volume and age of water stored in global lakes using a geo-statistical approach. Nature Communications 2016; 7: 13603. https://doi.org/10.1038/ncomms13603.

[24] Mobley C.D. Estimation of the remote-sensing reflectance from above-surface measurements. Applied Optics 1999; 38(36): 7442-7455. https://doi.org/10.1364/AO.38.007442.

[25] HYBAM. Observation Service SO HYBAM. Disponível em: <http://www.ore-hybam.org >. Acesso em 29/12/2018.

[26] Chelotti, G.B.; Martinez, J.M.; Roig, H.L.; Olivietti, D. Space-Temporal analysis of suspended sediment in low concentration reservoir by remote sensing. Brazilian Journal of Water Resources 2019; 24(17): 1–15. https://doi.org/10.1590/2318-0331.241920180061.

[27] Marinho R.R. Integração de dados de campo e sensoriamento remoto no estudo do fluxo de água e matéria no Arquipélago de Anavilhanas, Rio Negro – Amazonas, Brasil. Tese de Doutorado. Manaus: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia; 2019.

[28] USGS Landsat 8 Surface Reflectance Tier 1. Disonível em: <https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/LANDSAT_LC08_C01_T1_SR>. Acesso em 04 de jan. 2021.

[29] Espinoza-Villar R., Martinez J.-M., Armijos E., Espinoza J.-C., Filizola N., Dos Santos A., Willems B., Fraizy P., Santini W., Vauchel P. Spatio-temporal monitoring of suspended sediments in the Solimões River (2000–2014). Comptes Rendus Geoscience 2018; 350(1-2): 4–12. https://doi.org/10.1016/j.crte.2017.05.001.

[30] Marinho R.R., Filizola Junior N.P., Cremon É.H. Analysis of Suspended Sediment in the Anavilhanas Archipelago, Rio Negro, Amazon Basin. Water 2020; 12(4): 1073. https://doi.org/10.3390/w12041073.

[31] Fassoni-Andrade A.C., Paiva R.C.D. de. Mapping spatial-temporal sediment dynamics of river-floodplains in the Amazon. Remote Sensing of Environment 2019; 221: 94–107. https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.10.038.

[32] Maciel D., Novo E., Carvalho L.S. de, Barbosa C., Júnior R.F., Lobo F. de L. Retrieving Total and Inorganic Suspended Sediments in Amazon Floodplain Lakes: A Multisensor Approach. Remote Sensing. 2019, 11(15): 1744. https://doi.org/10.3390/rs11151744.

6. Agradecimentos

Agradecemos o apoio da Universidade Federal do Amazonas (UFAM) pelo apoio ao projeto de iniciação cientifica (PIB-E/0055/2020). Este trabalho é uma contribuição ao projeto “BASNE - Balanço de Água e Sedimentos no baixo curso do Rio Negro" desenvolvido por pesquisadores do grupo de Pesquisa Hidrossistemas e o Homem na Amazônia (H2A/UFAM) com apoio da Fundação de Amparo a Pesquisas do Estado do Amazonas (FAPEAM).

Autores

Rogério Ribeiro Marinho[1,*], Flávio Wachholz[2], Renata Souza[1]

1. Departamento de Geografia, Universidade Federal do Amazonas, Ave. General Rodrigo Otávio Jordão Ramos 6200, Campus Universitário, Coroado I, Manaus CEP 69077-000, Brasil.
2. Escola Normal Superior, Universidade do Estado do Amazonas, Avenida Djalma Batista 2470, Chapada 69050-010 - Manaus, AM - Brasil.

* Autor para correspondência: rogeo@ufam.edu.br

CAPÍTULO 4

Desempenho de algoritmos de correção atmosférica sobre dados de reflectância aplicados ao monitoramento remoto da qualidade das águas continentais

William Gaida, Joceli Augusto Gross, Gustavo Rodrigues Toniolo

https://doi.org/10.4322/mp.978-65-991393-8-3.c4

Resumo
O uso de imagens de sensores orbitais representa uma alternativa viável para o monitoramento de recursos hídricos. No entanto, o desempenho da aplicação de dados obtidos por meio de técnicas de sensoriamento remoto depende do conhecimento de suas limitações e possíveis erros associados aos dados, como os efeitos atmosféricos, que correspondem a uma das maiores fontes de incerteza das medições extraídas de dados de sensoriamento remoto, sendo fundamental sua correção para a obtenção de medidas radiométricas representativas das características espectrais dos alvos analisados. Este estudo tem como objetivo avaliar o desempenho de algoritmos de correção atmosférica aplicados a imagens para estimar a refletância da superfície da água. O estudo foi realizado em um compartimento aquático localizado na margem esquerda do reservatório de Itaipu. Quatro campanhas de campo foram conduzidas para aquisição de medidas de refletância de superfície da água em treze estações amostrais. Uma série temporal de imagens do sistema sensor *Operational Land Imager* coincidentes com as datas das campanhas de campo foi adquirida, sendo estas processadas a partir da aplicação dos algoritmos de correção atmosférica LaSRC, FLAASH, iCOR e QUAC. O desempenho dos diferentes algoritmos foi avaliado utilizando como referência as medidas radiométricas obtidas *in situ*, sem a influência de efeitos atmosféricos. Todos os algoritmos tiveram melhor desempenho em relação à reflectância de referência nos dados da banda do vermelho do sensor OLI (banda OLI B4), o que indica que os dados desta banda se mostraram menos influenciados pelos efeitos atmosféricos.

Palavras-chave: ambientes aquáticos, efeitos atmosféricos, Landsat-8, sensoriamento remoto.

1. Introdução

O sensoriamento remoto é a principal fonte de informação espacial sobre a cobertura e a constituição da superfície terrestre [1]. Nas últimas décadas, o uso desta geotecnologia consolidou-se como uma alternativa eficaz aos métodos tradicionais de monitoramento de ambientes aquáticos baseados em amostragem pontual *in situ* [2]. Neste aspecto, as imagens da série de satélites Landsat têm sido extensamente utilizadas em estudos com as mais diversas abordagens sobre mapeamento e monitoramento de ambientes aquáticos [3]. Características como a resolução espacial nominal de 30 metros e radiométrica de 16 *bits* permitem a aplicação de imagens do sistema sensor multiespectral *Operational Land Imager* (OLI), a bordo do satélite Landsat-8, no estudo de superfícies aquáticas continentais [4].

Joceli Augusto Gross (Ed.) © 2021 Mérida Publishers CC-BY 4.0

Embora os dados adquiridos por meio de técnicas de sensoriamento remoto representem um enorme potencial como ferramenta no auxílio ao monitoramento de recursos hídricos continentais, sua eficiência é dependente do conhecimento de suas limitações e erros acoplados ao sinal detectado pelo sistema sensor. Neste sentido, os efeitos atmosféricos, decorrentes da interação da radiação eletromagnética proveniente do Sol com os componentes atmosféricos opticamente ativos, como partículas e moléculas gasosas, representam uma das fontes de incerteza radiométrica mais significativa ao aspecto de qualidade dos dados de sensoriamento remoto em aplicações com foco nas propriedades físicas, químicas e biológicas dos alvos [5, 6]. Sobre superfícies aquáticas estes efeitos são mais agravados devido à baixa reflectância característica da água, o que faz com que a maior parte da radiância detectada pelos sensores corresponda a efeitos de espalhamento atmosférico [7].

A correção dos efeitos atmosféricos em imagens de sensores orbitais consiste em uma etapa fundamental para o desenvolvimento de análises quantitativas precisas a partir de medidas de reflectância de superfície [8]. A correção atmosférica consiste na remoção dos efeitos de atenuação da radiação eletromagnética, causados pelos constituintes atmosféricos opticamente ativos, como a dispersão molecular causada por aerossóis e a absorção provocada pelas moléculas de vapor de água, ozônio, oxigênio e dióxido de carbono [9].

Tendo em vista a necessidade da correção destes efeitos, diversos métodos têm sido propostos a partir da aplicação de diferentes abordagens [10]. Desta forma, os métodos de correção atmosférica podem ser divididos em três categorias principais: métodos absolutos, fundamentados em princípios físicos que utilizam códigos de transferência radiativa para a determinação da influência dos componentes atmosféricos na radiância detectada por um sistema sensor; métodos relativos, que estimam a contribuição dos efeitos atmosféricos por meio de informações obtidas a partir dos metadados e/ou reflectância de alvos da própria imagem; e métodos híbridos que possuem versões simplificadas dos códigos de transferência radiativa e realizam a aquisição das informações necessárias a partir da própria imagem [11-13].

Diversos estudos, como os realizados por Bonansea *et al*. [14], Bernardo *et al*. [15] e Martins *et al*. [16] têm sido conduzidos com o objetivo de avaliar o desempenho de diversos algoritmos para a correção atmosférica de imagens de sensoriamento remoto. No entanto, estes estudos não são conclusivos a respeito de qual modelo detém, de forma definitiva, o melhor desempenho, devido à incerteza associada à interação entre a composição atmosférica e a composição da água. A correção efetiva dos efeitos atmosféricos sobre superfícies aquáticas continentais mostra-se uma tarefa desafiadora, devido a fatores como a continentalidade atmosférica e as particularidades características de cada ambiente aquático [7]. Desta forma, a necessidade da realização de avaliações prévias deve ser considerada, principalmente, em estudos sobre áreas com resposta espectral complexa como reservatórios artificiais.

Neste sentido, o presente estudo tem como objetivo avaliar o desempenho de diferentes algoritmos de correção atmosférica sobre medidas de reflectância detectadas pelo sistema sensor OLI, aplicadas ao monitoramento da qualidade de águas continentais.

2. Material e Métodos

2.1. Área de estudo

Este estudo foi conduzido em um compartimento do Reservatório de Itaipu formado pela foz do Rio São Francisco Verdadeiro. Está localizado no Sul da linha do equador entre as coordenadas S24˚38'43" e S24˚43'24" e se estende de Oeste a Leste entre W54˚09'35" e

W54˚19'03". É delimitado ao Norte pelo município de Pato Bragado, ao Sul pelo município Entre Rios do Oeste, a Leste pelos municípios de Marechal Cândido Rondom e Cascavel e a Oeste pelo corpo principal do lago Itaipu (Figura 1).

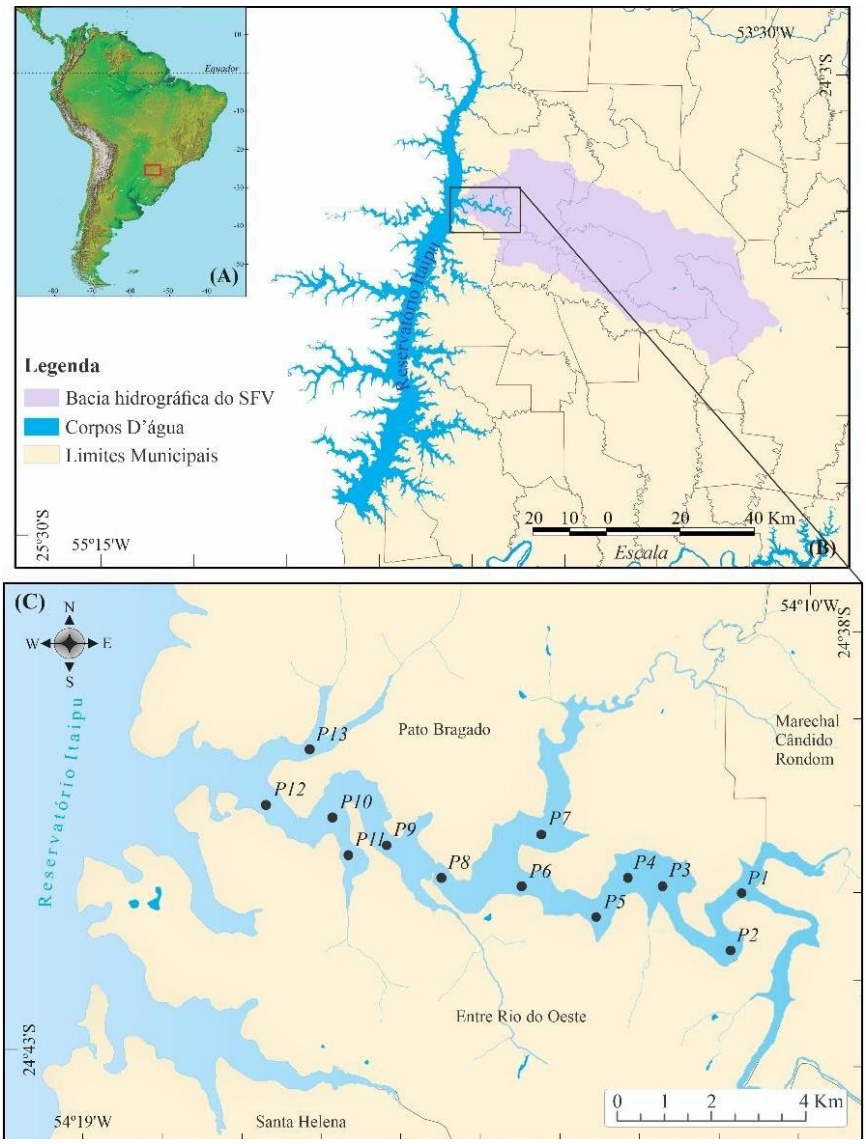


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo, (A) na América do Sul, (B) no reservatório de Itaipu e (C) localização das estações amostrais utilizadas para a aquisição dos dados de campo.

A área compreendida pela lâmina de água do compartimento do Rio São Francisco Verdadeiro é de aproximadamente 21,5 km², sendo sua nascente localizada na área urbana do município de Cascavel. Suas águas são fortemente caracterizadas pela influência de sua bacia hidrográfica, que drena uma área de aproximadamente 2.219,11 km², sendo a maior bacia tributária da margem esquerda do Reservatório de Itaipu.

2.2. Aquisição e processamento de imagens de sensoriamento remoto

De forma paralela à realização das campanhas de campo, duas séries de imagens Landsat-8/OLI foram adquiridas nos níveis de processamento L1TP (com processamentos de calibração radiométrica, correção geométrica e valores de pixel

em números digitais) e L2 (com correção dos efeitos atmosféricos). A primeira série multitemporal de imagens foi adquirida a partir do repositório de dados *Earth Explorer*, mantido pela *United States Geological Survey* (USGS), enquanto que a segunda foi adquirida por meio do serviço de distribuição sob demanda de imagens com correção atmosférica processada pelo algoritmo *Landsat Surface Reflectance Code* (LaSRC) [17], disponível a partir do repositório *EROS Science Processing Architecture* (ESPA). Este algoritmo foi desenvolvido para otimizar o processo de distribuição de imagens do sensor OLI em nível de processamento L2, com calibração radiométrica e correção dos efeitos atmosféricos. Este algoritmo, fundamentado em princípios físicos, utiliza um código de transferência radiativa desenvolvido especialmente para as características espectrais e radiométricas do sensor OLI [17].

A série de imagens adquiridas em nível de processamento L2 não foram aplicadas rotinas de processamento, uma vez que os valores dos pixels já são disponibilizados em medidas de reflectância de superfície. Para a série em nível de processamento L1TP foram aplicados procedimentos de correção atmosférica com uso dos algoritmos *Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Hypercubes* (FLAASH) [18], *Image CORrection for atmospheric effects* (iCOR) [19] e *QUick Atmospheric Correction code* (QUAC) [20]. O FLAASH caracteriza-se como um algoritmo de correção atmosférica fundamentado em princípios físicos, que utiliza o código de transferência radiativa *MODerate-resolution atmospheric TRANsmission 4* (MODTRAN4) [21] para modelar a propagação da radiação eletromagnética pela atmosfera terrestre. Enquanto que o iCOR consiste em um algoritmo híbrido que utiliza o método *Look-up table* para a estimativa dos efeitos atmosféricos por meio de consulta em tabelas de parâmetros atmosféricos calculados por meio do código de transferência radiativa MODTRAN5 [22]. O QUAC consiste em um algoritmo empírico que utiliza informações obtidas a partir das medidas de reflectância de topo da atmosfera em diferentes comprimentos de onda dos alvos da imagem para a estimativa dos efeitos atmosféricos associados às medidas de reflectância de topo da atmosfera [20].

Para as aplicações dos algoritmos FLAASH e iCOR fez-se necessária a aquisição de parâmetros atmosféricos do local e data de cada uma das imagens avaliadas, obtidos a partir do repositório de dados espaciais Giovanni da NASA, disponível em: <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>. Foram adquiridas medidas de profundidade óptica de aerossol, coeficiente de Ångström e espessura de coluna de vapor de água. Estas medidas foram obtidas de forma indireta por meio das medidas de reflectância espectral das bandas do sensor *MODerate-resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS), a bordo do satélite Terra, sendo disponibilizadas a partir dos produtos *MOD04 MODIS/Terra level-2 Atmospheric Aerosol Product [23] e MOD05_L2 - MODIS/Terra Total Precipitable Water Vapor 5-Min L2 Swath 1km and 5km* [24].

As medidas de profundidade óptica de aerossol e coeficiente de Ångström foram utilizadas no cálculo do coeficiente de turbidez atmosférica, obtido por meio da Equação 1 [25].

$$\beta = \tau_{a(\lambda)}\lambda^{\alpha} \qquad \text{(Equação 1)}$$

Onde: β é o coeficiente de turbidez, τa (λ) é a profundidade óptica de aerossol no comprimento de onda de 550 nanômetros, λ é o comprimento de onda em micrômetros e α é a medida do expoente de Ångström.

O valor do coeficiente de turbidez atmosférica obtido foi utilizado para o cálculo da visibilidade inicial média, utilizada na recuperação das medidas de aerossol e correção

dos efeitos de espalhamento atmosférico. A visibilidade inicial para a área da imagem foi calculada por meio da Equação 2.

$$V = (-15)\frac{\log\left(\frac{\beta}{0{,}613}\right)^2}{2} \quad \text{(Equação 2)}$$

A partir do valor médio de visibilidade inicial calculado para cada imagem e as medidas de profundidade óptica de aerossol foi calculada também a altura de escala do aerossol. Este parâmetro é utilizado pelo algoritmo FLAASH para a correção dos efeitos de adjacência espectral a partir do cálculo da reflectância espalhada de regiões adjacentes, sendo obtido por meio da Equação 3 [26].

$$Z_a = \frac{\tau_{a(\lambda)}}{\frac{3{,}912}{V} - \beta} \quad \text{(Equação 3)}$$

Os parâmetros utilizados para a correção atmosférica no algoritmo FLAASH são representados na Tabela 1. Além destes parâmetros também foram definidos o modelo de aerossol como rural e modelo atmosférico MODTRAN como de média latitude de verão (*Mid-Latitude Summer* – MLS), calibrado a partir do valor médio de espessura de coluna de vapor de água para cada uma das imagens avaliadas.

Tabela 1. Parâmetros utilizados na correção atmosférica das imagens pelo algoritmo FLAASH.

Data	h (km)*	τ_a (0,55 µm)	A	β	V (km)	Z_a (km)	CO_2 (ppm)**
08/06/2016	0,312	0,017	1,557	0,007	67,737	0,288	390
11/08/2016	0,312	0,029	1,500	0,012	59,217	0,427	390
11/06/2017	0,312	0,010	1,500	0,004	75,188	0,188	390
13/07/2017	0,312	0,049	1,500	0,020	51,350	0,623	390

*h representa a altitude média da área abrangida nas imagens.
**Medidas de dióxido de carbono atmosférico padrão do modelo MODTRAN.

Para a aplicação do algoritmo iCOR na correção atmosférica das imagens Landsat-8/OLI fez-se necessária a aquisição de medidas de espessura óptica de aerossol e espessura de coluna de vapor de água para cada uma das datas das imagens, como mostrado na Tabela 2. Estes parâmetros atmosféricos foram obtidos juntamente com os parâmetros necessários para o processamento pelo algoritmo FLAASH.

Tabela 2. Parâmetros utilizados na correção atmosférica das imagens pelo algoritmo iCOR.

Data	τ_a (0,55 µm)	Coluna de vapor de água (g/cm²)
08/06/2016	0,017	0,923
11/08/2016	0,029	0,869
11/06/2017	0,010	0,93
13/07/2017	0,049	1,855

A aplicação da correção atmosférica pelo algoritmo QUAC foi realizada no módulo *Atmospheric Correction* do *software* de processamento de imagens *ENvironment for Visualizing Images* (ENVI) versão 5.3 [27], sendo selecionados os parâmetros para o sensor OLI. Como este algoritmo procede a correção dos efeitos atmosféricos a partir da recuperação de informações sobre a reflectância de alvos na própria imagem, não foi necessária a aquisição de parâmetros atmosféricos provenientes de fontes externas.

2.3. Aquisição de medidas de reflectância de referência

Para a realização do estudo fez-se necessária à coleta de amostras de espectros de reflectância de referência (Figura 2). Para isso, quatro campanhas de campo foram realizadas nas datas de 08 de junho e 11 de agosto de 2016, e 11 de junho e 13 julho de 2017. As coletas foram realizadas em treze estações amostrais, distribuídas ao longo do compartimento aquático do Rio São Francisco Verdadeiro. A localização e distribuição espacial das referidas estações (Figura 1) teve como critério uma avaliação prévia das características espectrais da água ao longo do setor em estudo por meio de uma série temporal de imagens Landsat-8/OLI dos anos de 2015 e 2016.

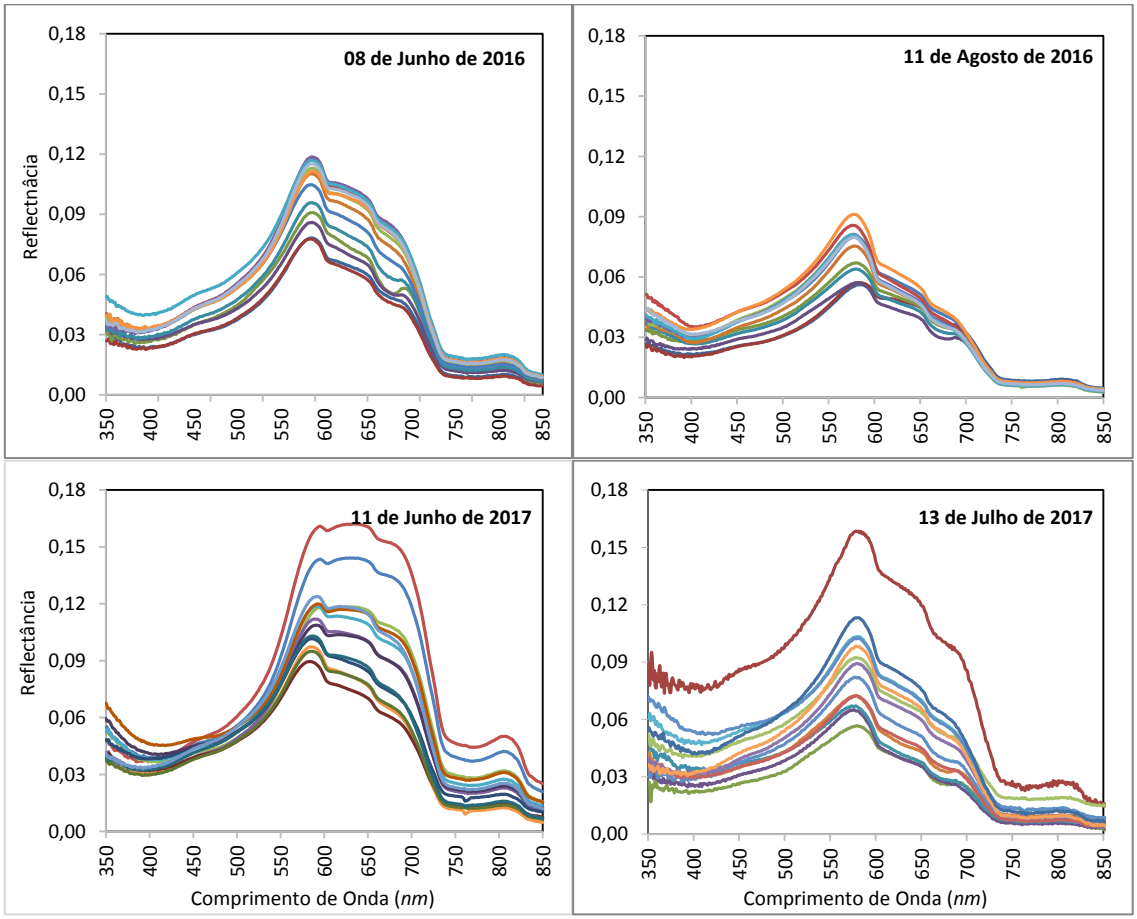


Figura 2. Espectros de reflectância obtidos durante as campanhas de campo.

A realização das campanhas de campo foi definida de modo a coincidir com as datas de imageamento da área de estudo pelo sensor OLI, de modo a evitar erros por defasagem temporal entre os dados, considerando os critérios de ausência de nebulosidade e baixa velocidade do vento. Esta última condição é descrita por Jensen (2007) como uma forma de reduzir o efeito de reflexão especular causada pela agitação da superfície da água, que prejudica a obtenção de medidas de reflectância representativas.

Para a coleta dos espectros de reflectância foi utilizado um espectrorradiômetro *FieldSpec 3,* que opera entre os comprimentos de onda de 350 a 2.500 nanômetros (nm). O aparelho foi calibrado antes de cada aquisição por meio de uma placa de referência *Spectralon*, sendo posicionado a um ângulo zenital de 45° e azimutal de 90° em relação a posição solar, a uma distância de 30 centímetros sobre a superfície da água, de modo a minimizar o efeito de reflexão especular, conforme protocolo descrito em Steffen [28]. Não foram realizadas medidas de fluxo radiante, sendo obtidas medidas de fator de reflectância bidirecional.

As medidas radiométricas obtidas foram utilizadas para a simulação da resposta do sensor OLI, conforme descrito por Mascarenhas et al. [29] e Lopes et al. [30]. Devido à proximidade com a superfície da água no momento da aquisição, estas medidas podem ser consideradas, de forma teórica, como livres da influência de efeitos atmosféricos, sendo definidas neste trabalho como padrão de referência para os valores de reflectância de superfície, as quais foram comparadas com os dados de reflectância obtidos a partir da aplicação dos algoritmos de correção atmosférica em imagens do Sensor OLI (Landsat-8).

2.4. Avaliação e tratamento estatístico dos dados

Após a aplicação dos processamentos de correção dos efeitos atmosféricos foram obtidas medidas de reflectância de superfície para cada uma das treze estações amostrais nas quatro datas avaliadas. Para este procedimento foram utilizados quatro arquivos em formato vetorial contendo as localizações pontuais de cada estação amostral obtidas por meio de GPS durante a realização de cada campanha de campo. A partir do pixel correspondente a localização de cada estação amostral em cada uma das quatro datas avaliadas foram adquiridas medidas de reflectância das bandas do azul (OLI2, 0,450 - 0,515 nm), verde (OLI3, 0,525 – 0,600 nm), vermelho (OLI4, 0,630 – 0,680 nm) e infravermelho próximo (OLI5, 0,845 – 0,885 nm. Estas bandas foram escolhidas por serem afetadas pelos componentes opticamente ativos das águas do Caso 2, caracterizadas pela presença de outras substâncias ou partículas além do fitoplâncton (Ex.: Gordon et al. [31]), sendo este o caso das águas do reservatório de Itaipu. O desempenho da aplicação dos algoritmos de correção atmosférica foi avaliado por meio de análise de regressão simples, considerando ajuste linear entre as medidas de reflectância obtidas pela aplicação dos algoritmos LaSRC, FLAASH, iCOR e QUAC e as medidas de reflectância de referência obtidas a partir de simulação da resposta do sensor OLI sobre os dados de reflectância coletados em campo. Além disso, foram aplicadas a análise de variância ANOVA e o teste de Tukey. Destaca-se que os dados das diferentes datas de campanhas de campo foram analisados conjuntamente.

3. Resultados e Discussão

A análise de variância ANOVA (Tabela 3) mostrou que ocorre pelo menos um algoritmo de correção atmosférica que gerou dados distintos da reflectância de referência. Neste sentido, a hipótese de igualdade entre os dados de reflectância de referência e dos algoritmos foi rejeitada para $\alpha = 0,05$ e com $F_{Crítico} < F_{Calculado}$.

Tabela 3. ANOVA fator único. $\alpha = 0,05$.

Bandas OLI	*F calculado*	*valor-P*	*F crítico*
OLI 2	60,698	0,0000	2,408
OLI 3	16,031	0,0000	2,408
OLI 4	2,474	0,0450	2,408
OLI 5	21,776	0,0000	2,408

Considerando o Teste Tukey (Tabela 4), para os dados da banda OLI B2 (faixa do azul) temos a hipótese de igualdade aceita entre os dados de reflectância de Referência/QUAC e iCOR/LaSRC. Para a banda OLI B3 (faixa do verde) a igualdade entre os dados ocorreu para FLAASH/QUAC, LaSRC/QUAC, LaSRC/FLAASH e iCOR/LaSRC. Na banda OLI B4 (faixa do vermelho) a hipótese de igualdade entre os dados pode ser aceita em todos os casos, apesar de a ANOVA ter identificado diferença em pelo menos um dos grupos de dados avaliados. Para os dados da banda OLI B5 (faixa do infravermelho próximo), a hipótese de igualdade entre os dados ocorreu entre FLAASH/Referência, LaSRC/Referência, iCOR/Referência, LaSRC/FLAASH, iCOR/FLAASH e iCOR/LaSRC.

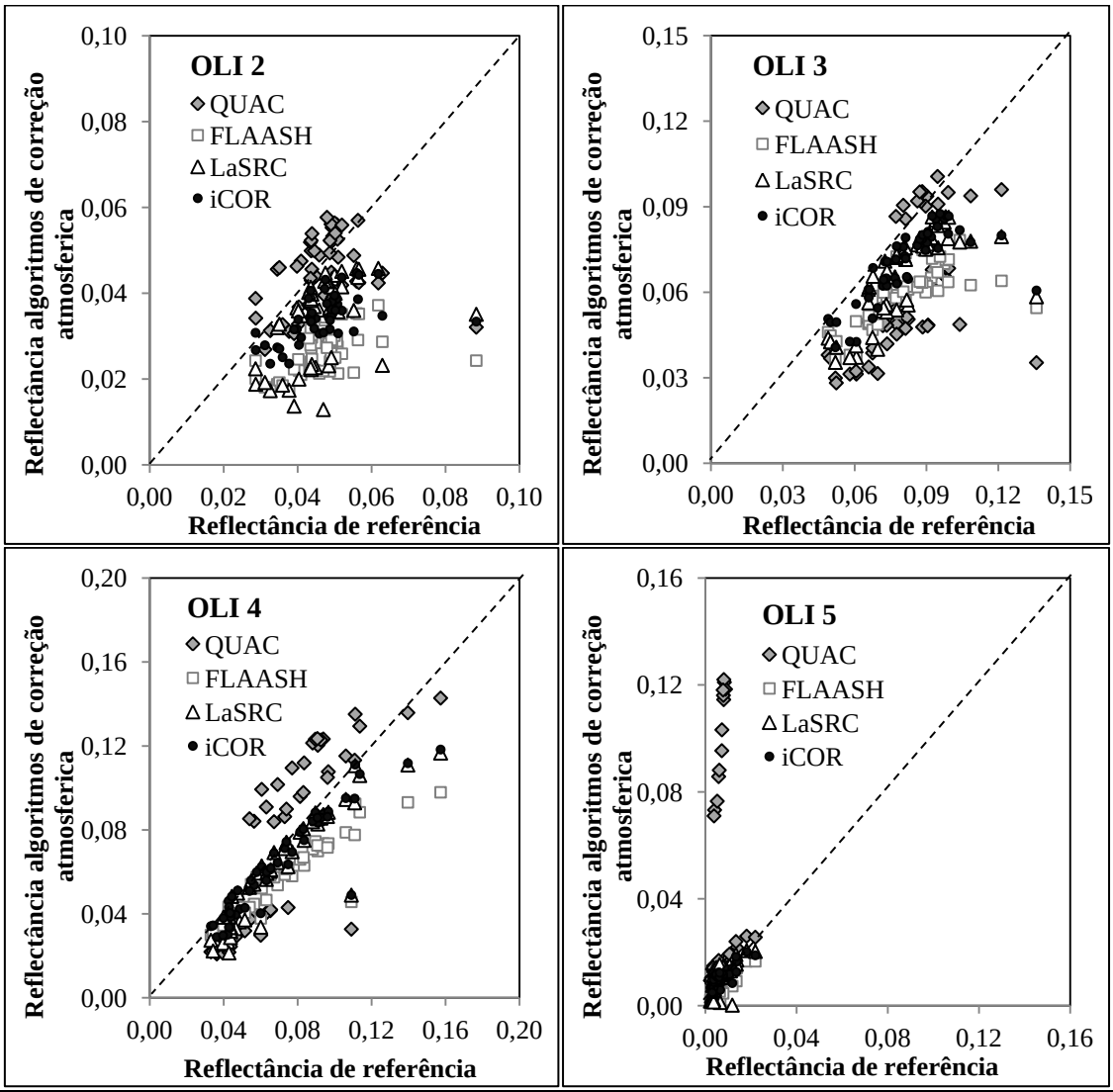
Para os demais casos, além daqueles especificados no parágrafo anterior, o Teste Tukey identificou diferenças entre os dados. Neste sentido, deve ser destacado que nenhum dos algoritmos de correção atmosférica corrigiu a reflectância, permitindo a aceitação da hipótese de igualdade em relação aos dados de reflectância de referência em todas as bandas OLI. Porém, considerando apenas os dados dos algoritmos entre si, a hipótese de igualdade pode ser aceita entre iCOR/LaSRC em todas as bandas do sensor OLI, indicando que a correção atmosférica destes dois algoritmos resultou em medidas de reflectância semelhantes, porém distintas da reflectância de referência em determinados casos. Deve ser lembrado que o algoritmo LaSRC foi desenvolvido como padrão para a correção atmosférica das imagens do sensor OLI, então de acordo com os resultados do presente trabalho (especificamente o Teste Tukey) a escolha do algoritmo iCOR, para correção atmosférica, não resultará em diferenças significativas daqueles dados já constados nas imagens originais, o que merece maiores avaliações.

Tabela 4. Resultados obtidos a partir da aplicação do Teste Tukey. As células em cor cinza indicam diferenças entre os dados.

Bandas OLI	Reflectância / Reflectância	QUAC	FLAASH	LaSRC	iCOR
OLI B2	Referência	0,9098	0,000	0,000	0,000
	QUAC		0,000	0,000	0,000
	FLAASH			0,000	0,000
	LaSRC				0,9984
OLI B3	Referência	0,0000	0,0000	0,0000	0,0017
	QUAC		0,9997	0,1735	0,0093
	FLAASH			0,2514	0,0170
	LaSRC				0,8264
OLI B4	Referência	1,0000	0,0587	0,4978	0,7394
	QUAC		0,0500	0,4599	0,7037
	FLAASH			0,8224	0,5965
	LaSRC				0,9956
OLI B5	Referência	0,0000	0,9994	0,8752	0,8571
	QUAC		0,0000	0,0000	0,0000
	FLAASH			0,9510	0,9404
	LaSRC				1

As associações entre os dados de reflectância de referência e dos algoritmos de correção atmosférica mostraram que estes, subestimaram os dados na maioria dos casos, principalmente para os dados das bandas OLI B2 (faixa do azul) e OLI B3 (faixa do verde), conforme Figura 3. Para estas bandas, os coeficientes de determinação (R^2) alcançaram um máximo de $R^2 = 0,545$, sendo este referente aos dados do algoritmo iCOR em associação aos dados de reflectância de referência.

Por outro lado, para os dados das bandas OLI B4 (faixa do vermelho) e OLI B5 (faixa do infravermelho próximo), os coeficientes de determinação foram mais expressivos, principalmente nos dados da banda OLI B4, com o menor $R^2 = 0,697$, verificado para os dados de algoritmo QUAC em associação com os dados de reflectância de referência e o maior $R^2 = 0,861$ para o algoritmo iCOR em associação a reflectância de referência. Para os dados da banda OLI B5 os algoritmos tiveram desempenho inferior àqueles verificados para os dados da banda OLI B4, principalmente considerando os dados de reflectância expressivos calculados pelo algoritmo de correção atmosférica QUAC como pode ser verificado na Figura 3.



	OLI B2		OLI B3	
QUAC	$R^2 = 0,067$	RMSE = 0,0110	$R^2 = 0,322$	RMSE = 0,0290
FLAASH	$R^2 = 0,241$	RMSE = 0,0223	$R^2 = 0,448$	RMSE = 0,0251
LaSRC	$R^2 = 0,211$	RMSE = 0,0161	$R^2 = 0,539$	RMSE = 0,0193
iCOR	$R^2 = 0,290$	RMSE = 0,0145	$R^2 = 0,545$	RMSE = 0,0166
	OLI B4		**OLI B5**	
QUAC	$R^2 = 0,697$	RMSE = 0,0239	$R^2 = 0,014$	RMSE = 0,0480
FLAASH	$R^2 = 0,850$	RMSE = 0,0199	$R^2 = 0,613$	RMSE = 0,0027
LaSRC	$R^2 = 0,844$	RMSE = 0,0142	$R^2 = 0,444$	RMSE = 0,0053
iCOR	$R^2 = 0,861$	RMSE = 0,0126	$R^2 = 0,649$	RMSE = 0,0042

Figura 3. Regressões simples entre os dados de reflectância de referência e os calculados pelos algorítmos de correção atmosférica, além da Raiz do Erro Médio Quadrático (RMSE).

De maneira geral todos os algoritmos tiveram melhor desempenho em relação aos dados de reflectância de referência da banda OLI B4, ou seja, na faixa do vermelho do espectro eletromagnético. Além disso, todos os algoritmos retornaram reflectâncias semelhantes entre si nos dados desta mesma banda do sensor OLI (Tabela 2). Porém, como mencionado anteriormente nenhum dos algoritmos avaliados corrigiu ou estimou valores de reflectância iguais ou semelhantes aos de referência em todas as bandas OLI (Tabela 2).

Segundo Martins *et al*. [16] a intensidade dos efeitos atmosféricos varia com as bandas espectrais, geometrias de aquisição e iluminação, tipos e concentração dos constituintes atmosféricos. Além disso, os autores ressaltaram que os resultados da correção atmosférica são sensíveis às interações superfície atmosfera caso a caso o que pode favorecer a erros, considerando uma mesma abordagem e que não existe consenso sobre qual o algoritmo a ser utilizado. Neste contexto, especificado por Martins *et al*. [16] podemos presumir que a intensidade dos efeitos atmosféricos foi menor para a banda OLI B4, na qual obteve-se no presente trabalho os melhores resultados dos algoritmos de correção atmosférica em relação aos dados de referência.

4. Considerações finais

Todos os algoritmos tiveram melhor desempenho em relação à reflectância de referência nos dados da banda do vermelho do sensor OLI (banda OLI B4). Nesta mesma banda, também foi verificado que todos os algoritmos de correção atmosférica calcularam reflectâncias semelhantes entre si. Esses resultados sugerem que os dados da banda OLI B4 podem ser menos afetados pelos efeitos atmosféricos, o que requer maiores avaliações. Neste sentido, este trabalho terá continuidade, visando novas avaliações com outros algoritmos de correção atmosférica, paralelamente aos avaliados no presente trabalho.

Deve ser mencionado que os dados dos algoritmos LaSRC e iCOR foram semelhantes em todas as bandas do sensor OLI, o que sugere que o algoritmo iCOR, ao ser utilizado para correção atmosférica sobre imagens do sensor OLI, as quais tem o algoritmo LaSRC como padrão para correção atmosférica, não resultará em diferenças significativas daqueles dados já constados nas imagens. Esse aspecto indica outra avaliação a ser realizada para verificar se os resultados aqui obtidos são constantes ou semelhantes em outras condições atmosféricas.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem a equipe da Itaipu Binacional pelo desenvolvimento do Projeto “Utilização de sensores remotos para avaliar o índice de estado trófico da água, em uma área piloto na margem esquerda do reservatório de Itaipu” e pela aquisição e disponibilidade dos dados coletados em campo avaliados neste estudo.

6. Referências

[1] Schmidt K. S., Skidmore A. K. Spectral discrimination of vegetation types in a coastal wetland. Remote Sensing of Environment 2003; 85:92-108. https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00196-7.

[2] Matthews M. W. A current review of empirical procedures of remote sensing in inland and near-coastal transitional waters. International Journal of Remote Sensing 2011; 32:6855–6899. https://doi.org/10.1080/01431161.2010.512947.

[3] Guo M., Li, J., Sheng C., Xu J., Wu L. A review of wetland remote sensing. Sensors 2017; 17. https://doi.org/10.3390/s17040777.

[4] Irons J. R., Dwyer J. L., Barsi J. A. The next Landsat satellite: the Landsat data continuity mission. Remote Sensing of Environment 122 (2012): 11-21. https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.08.026.

[5] De Keukelaere L., Sterckx S., Adriaensen S., Knaeps E., Reusen I., Giardino C., Bresciani M., Hunter P., Neil C., Van Der Zande D., Vaiciute D. Atmospheric correction of Landsat-8/OLI and Sentinel-2/MSI data using iCOR algorithm: validation for coastal and inland waters. European Journal of Remote Sensing 2018; 51:525-542. https://doi.org/10.1080/22797254.2018.1457937.

[6] Sola I., García-Martín A., Sandonís-Pozo L., Álvarez-Mozos J., Pérez-Cabello F., González-Audícana M., Llovería R. M. Assessment of atmospheric correction methods for Sentinel-2 images in Mediterranean landscapes. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 2018; 73:63-76. https://doi.org/10.1016/j.jag.2018.05.020.

[7] Palmer S. C. J., Kutser T., Hunter P. D. Remote sensing of inland waters: challenges, process and future directions. Remote Sensing of Environment 2015; 157:1-8. https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.09.021.

[8] Vermote E. F., Kotchenova S. Atmospheric correction for the monitoring of land surfaces. Journal of Geophysical Research 2008; 113. https://doi.org/10.1029/2007JD009662.

[9] Gao B. C., Montes M. J., Davis C. O., Goetz A. F. H. Atmospheric correction algorithms for hyperspectral remote sensing data of land and ocean. International Journal of Remote Sensing 2009; 113:17–24. https://doi.org/10.1016/j.rse.2007.12.015.

[10] Doxani G., Vermote E., Roger J. C., Gascon F., Adriaensen S., Frantz D., Hagolle O., Hollstein A., Kirches G., Li F., Louis J., Mangin A., Pahlevan N., Pflug B., Vanhellemont Q. Atmospheric correction inter-comparison exercise. Remote Sensing 2018; 10:352. https://doi.org/10.3390/rs10020352.

[11] Lantzanakis G., Mitraka Z.; Chrysoulakis N. Comparison of physically and image based atmospheric correction methods for Sentinel-2 satellite imagery. In: Karacostas T. S., Bais A. F., Nastos P. T. (eds). Perspectives on atmospheric sciences. Springer International Publishing: 2017, p. 255-261. Basel, Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-319-35095-0.

[12] Moses W. J., Sterckx, S., Montes M. J., De Keukelaere L., knaeps E. Atmospheric correction for inland waters. In: Mishra D. R., Ogashawara I., Gitelson A. A. Bio-optical modeling and remote sensing of inland waters. Elsevier: 2017, p. 69-100. Amsterdam, Netherlands.

[13] Gaida W., Breunig F. M., Galvão L. S., Ponzoni F. J. Correção atmosférica em sensoriamento remoto: uma revisão. Revista Brasileira de Geografia Física 2020; 13:229-248. https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.1.p229-248.

[14] Bonansea M., Ledesma C., Rodríguez C., Pinotti L., Antunes M. H. Effects of atmospheric correction of Landsat imagery on lake water clarity assessment. Advances in Space Research 2015; 56:2345–2355. https://doi.org/10.1016/j.asr.2015.09.018.

[15] Bernardo N., Watanabe F., Rodrigues T., Alcântara E. Atmospheric correction issues for retrieving total suspended matter concentrations in inland waters using OLI/Landsat-8 image. Advances in Space Research 2017; 59:2335-2348. https://doi.org/10.1016/j.asr.2017.02.017.

[16] Martins V. S., Barbosa C. C. F., Carvalho L. A. S., Jorge D. S. F., Lobo F. L., Novo E. M. L. M. Assessment of atmospheric correction methods for Sentinel-2 MSI images applied to amazon floodplain lakes. Remote Sensing 2017; 9. https://doi.org/10.3390/rs9040322.

[17] Vermote E., Justice C., Claverie M., Franch, B. Preliminary analysis of the performance of the Landsat-8/OLI land surface reflectance product. Remote Sensing of Environment 2016; 185:46-56. https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.04.008.

[18] Cooley T., Anderson G. P., Felde G. W., Hoke M. L., Ratkowski A. J., Chetwynd J. H., Gardner J. A., Adler-Golden S. M., Matthew M. W., Berk A., Bernstein L. S., Acharya P. K., Miller D., Lewis P. FLAASH a MODTRAN4-based atmospheric correction algorithm its application and validation. In: Proceedings of the IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium; 24-28 June 2002; Toronto. New York: IEEE Publications; 2002. p. 1414-1418.

[19] Vlaams Instituut voor Technologisch Onderzoek (VITO). iCOR plugin for SNAP toolbox: software user manual. Mol: VITO Remote Sensing Unit, 2017. 20 p.

[20] Bernstein L. S., Jin X., Gregor B., Adler-Golden S. Quick Atmospheric Correction Code: algorithm description and recent upgrades. Optical Engineering 2012; 51:111719. https://doi.org/10.1117/1.OE.51.11.111719.

[21] Berk A., Adler-Golden S. M., Ratkowski A. J., Felde G. W., Anderson G. P., Hoke M. L., Cooley T., Chetwynd J. H., Gardner J. A., Matthew M. W., Bernstein L. S., Acharya P. K., Miller D., Lewis P. Exploiting MODTRAN radiation transport for atmospheric correction: the FLAASH algorithm. In: Proceedings of the Fifth International Conference on Information Fusion; 8-11 July 2002; Annapolis. Sunnyvale: International Society of Information Fusion, 2002. p. 798-803.

[22] Berk A., Anderson G. P., Acharya P. K., Shettle E. P. MODTRAN 5.2.0.0 user's manual. Burlington: Spectral Sciences Inc.; 2008. 98 p.

[23] Levy R. C., Mattoo S., Munchak L. A., Remer L. A., Sayer A. M., Hsu N. C. The collection 6 MODIS aerossol products over land and ocean. Atmospheric Measurement Techniques Discussions 2013; 6:159-259. https://doi.org/10.5194/amt-6-2989-2013.

[24] Gao B. MODIS Atmosphere L2 Water Vapor Product. NASA MODIS Adaptative Processing System, Goddard Space Flight Center, 2015. http://dx.doi.org/10.5067/MODIS/MOD05_L2.006.

[25] Ångström A. On the atmospheric transmission of sun radiation and in dust in the air. Geografiska Annaler 1929; 11:156-166. https://doi.org/10.2307/519399.

[26] Wong M. S., Nichol J. E., Lee K. H. Modeling of aerosol vertical profiles using GIS and remote sensing. Sensors 2009; 9:4380–4389. https://doi.org/10.3390/s90604380.

[27] Harris. ENVI version 5.3. Melbourne: Harris Geospatial Solutions, 2017.

[28] Steffen C. A. Técnicas radiométricas com o SpectronSE-590. In: Anais do VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto; 14-19 abril 1996; Salvador. São José dos Campos: INPE; 1996. p. 969-975.

[29] Mascarenhas N. D. A., Banon G. J. F., Fonseca L. M. G. Simulation of a panchromatic band by spectral linear combination of multispectral bands. In: Proceedings of IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS); 3-6 June 1991; Espoo. New York: IEEE; 1991. p. 321-324.

[30] Lopes F. B., Novo E. M. L. M., Barbosa C. C. F., Andrade E. M., Ferreira R. D. Simulation of spectral bands of the MERIS sensor to estimate chlorophyll-a concentrations in a reservoir of the semi-arid region. Revista Agroambiente 2016; 10:96-106. http://dx.doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v10i2.3482.

[31] Gordon H. R., Brown O. B., Evans R. H., Brown J. W., Smith R. C., Smith K. S., Baker K. S., Clark D. K. A semianalytical radiance model of ocean color. Journal of Geophysical Research 1988; 93:10909-10924. https://doi.org/10.1029/JD093iD09p10909.

Autores

William Gaida[1,*], Joceli Augusto Gross[1], Gustavo Rodrigues Toniolo[2]

1. Departamento de Geografia, Universidade Federal de Santa Maria, Av. Roraima, 97105-900, Santa Maria, Brasil.
2. Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av. Bento Gonçalves, código postal, 91501-970, Porto Alegre, Brasil.

* Autor para correspondência: ufsm.william@gmail.com

CAPÍTULO 5

Geotecnologias aplicadas: relato de disciplina eletiva desenvolvida na educação básica

André Luiz da Conceição

https://doi.org/10.4322/mp.978-65-991393-8-3.c5

Resumo
Atualmente o Brasil passa por um período de transição curricular na educação básica, fato que impõe desafios e oportunidades às disciplinas escolares e instituições de ensino. A possibilidade de escolha, por parte dos estudantes do ensino médio, e de seus itinerários formativos deu margem para o surgimento de disciplinas eletivas. Nesse sentido, o objetivo desse artigo é relatar o desenvolvimento da disciplina eletiva de Geotecnologias Aplicadas durante o segundo semestre de 2019, em três colégios particulares, sendo dois localizados em São Paulo-SP e outro em Jundiaí-SP. A disciplina foi ofertada na estrutura metodológica de uma sequência didática de aprendizagem com oito encontros presenciais quinzenais, o que representou 16 aulas de 50 minutos cada. Os resultados obtidos foram agrupados em três categorias de análise, correspondentes às produções cartográficas criadas pelos educandos, mediante a utilização de *softwares* de geoprocessamento; às exposições orais de projetos que analisaram as transformações espaciais e temporais de regiões do espaço urbano dos municípios de localização dos colégios; e à autoavaliação respondida pelos alunos, alcançando valor de 86% de menções satisfatórias em relação aos conteúdos aprendidos na disciplina, complementada com relatos descritivos dos discentes destacando aspectos como a possibilidade de maior aprendizado em relação às tecnologias geoespaciais para a realização de estudos socioeconômicos e ambientais. De maneira geral, é possível concluir que a realização dessa disciplina eletiva trouxe resultados positivos no âmbito da educação geográfica, representando um exemplo adequado de prática de ensino diferenciado, contextualizado, crítico e significativo para os estudantes do ensino médio.

Palavras-chave: educação básica, ensino de geografia, geoprocessamento, geotecnologias aplicadas, linguagem cartográfica, resolução de problemas urbanos.

1. Introdução

A reformulação do currículo da Educação Básica brasileira promovida pela Base Nacional Comum Curricular – BNCC, associada aos principais desafios que envolvem o ensino de geotecnologias no Brasil, representam os dois pilares teóricos desse trabalho, auxiliando inclusive, na compreensão dos motivos que levaram ao oferecimento de uma disciplina eletiva para estudantes do ensino médio.

Em discussão mais intensa desde 2015, por meio da criação da Comissão de Especialistas para a Elaboração da Proposta, a BNCC passou por um período de publicação de versões e discussões junto ao público de interesse, culminando na homologação em 2017, da versão voltada para as etapas da educação infantil e

Joceli Augusto Gross (Ed.) © 2021 Mérida Publishers CC-BY 4.0

ensino fundamental, mediante a Portaria nº. 1.570, de 20 de dezembro [1, 2]. Em 2018, foi apresentada à sociedade a versão da BNCC voltada à etapa do ensino médio, acompanhada pela criação de um programa de incentivo à sua implementação, o ProBNCC, instituído pela Portaria nº. 331, de 05 de abril [3].

Nesse contexto de mudança de currículo escolar cria-se a expectativa em torno das possíveis novidades e melhorias que isso possa proporcionar à educação brasileira. Entretanto, a reforma do ensino médio no âmbito da BNCC, compõe um velho discurso apresentado como algo novo, tendo como exemplo a centralidade em torno de um ensino por competências, retomando uma fala comum aos documentos e políticas curriculares do final da década de 1990 [4].

Nessa linha de raciocínio, um currículo pautado por competências, será incapaz de prover acesso ao conhecimento, sobretudo aquele inerente às diferentes disciplinas curriculares, vistas como constituintes de conjuntos de conceitos, sendo estes, por sua vez, os principais responsáveis pelo desenvolvimento intelectual dos estudantes [5, 6].

Considerando a importância de um ensino centrado em conceitos, vale destacar que a noção de geotecnologias presente na BNCC [7], corresponde muito mais a um meio do que a um fim, ou seja, representa uma estratégia para atingir um objetivo maior. Nesse caso, fica clara a necessidade dos estudantes dominarem a linguagem das geotecnologias para o desenvolvimento do pensamento espacial e para a resolução de problemas que envolvem informações geográficas, sendo algo muito específico da disciplina de Geografia, por mais que exista a possibilidade de interconexões com outras disciplinas escolares e áreas do conhecimento.

As geotecnologias também podem ser consideradas uma ferramenta para alcançar determinadas metas, tais como o desenvolvimento de pesquisas, as ações de planejamento e os processos de gestão e manejo que envolvem a estrutura do espaço geográfico. Neste caso, as geotecnologias são entendidas como as novas tecnologias inerentes ao campo das geociências e outras ciências correlatas [8].

Atualmente, as geotecnologias possuem uma aplicação que vai muito além da sala de aula na educação básica. As tecnologias de informação geográfica, ou seja, as geotecnologias, possuem funções e aplicações cada vez mais amplas e crescendo em quantidade, diversidade e complexidade, com destaque para os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) como “[...] ferramentas centrais para a gestão do território e de todas as atividades como uma componente espacial” [9].

Além disso, vale ressaltar que nos últimos anos, as geotecnologias estão cada vez mais acessíveis às pessoas [10], dando a possibilidade para que os internautas construam seus próprios mapas (individual ou coletivamente) de maneira contínua, misturando diferentes linguagens e incorporando relações subjetivas das pessoas com os lugares, no que pode ser chamado de “prática cartográfica da cultura digital”. Em complemento, vale lembrar que a informática democratizou a cartografia, tornando-a cada vez mais interativa, fato que reforça a importância da escola e, especialmente da Geografia escolar, na consolidação do conhecimento sobre cartografia durante a educação básica, de maneira a conduzir os estudantes a dominarem esse tipo de linguagem para que possam ter a autonomia suficiente para ler, interpretar e até mesmo produzir suas próprias representações cartográficas mediante o uso das geotecnologias [11].

Diante dessa contextualização apresentada anteriormente que envolve as incertezas da mudança de um currículo escolar, somado aos obstáculos atuais do ensino de aspectos relacionados às geotecnologias na educação geográfica da formação

educacional básica, surgiu a possibilidade dos estudantes do ensino médio de uma rede de ensino filantrópica com unidades em São Paulo-SP e Jundiaí-SP, cursarem uma disciplina eletiva sobre geotecnologias aplicadas à dinâmica espacial das transformações do espaço urbano. Sendo assim, o objetivo principal desse artigo consiste em apresentar, de maneira crítica e contextualizada, um breve relato dos principais desafios e oportunidades que surgiram com o desenvolvimento dessa disciplina eletiva em âmbito escolar.

2. Material e Métodos

2.1. Contextualização

A disciplina eletiva em questão foi intitulada de Geotecnologias Aplicadas e foi ofertada aos educandos da 1ª e 2ª séries do ensino médio da rede de ensino conhecida como Colégios Vicentinos, com três colégios particulares no município de São Paulo (J.R. Passalacqua, São Vicente de Paulo – Penha e Santo Antonio de Lisboa) e outras duas unidades em Jundiaí (São Vicente de Paulo e Francisco Telles), município localizado a cerca de 60 km da capital paulista.

Considerando que uma das escolas de Jundiaí (Francisco Telles) não possui ensino médio e em uma das unidades educacionais de São Paulo (São Vicente de Paulo – Penha) não houve compatibilidade de horários, a disciplina ocorreu, de fato, em três das cinco escolas da rede de ensino, totalizando um público-alvo de 28 estudantes, sendo sete do J.R. Passalacqua, nove do Santo Antonio de Lisboa e 12 do São Vicente de Paulo, em Jundiaí.

Na condição de disciplina eletiva, ficou à cargo dos alunos, caso tivessem interesse, de se inscreverem para participar das aulas que ocorreram no contraturno, ou seja, no período da tarde, com encontros que variaram em média a cada 15 dias, com duração de duas aulas de 50 minutos cada, ao longo do segundo semestre de 2019.

Vale lembrar que a BNCC, por meio da lei federal nº. 13.415, de 16 de fevereiro de 2017 [12], dá a possibilidade das redes e instituições de ensino, de acordo com a relevância para o contexto local, organizar e oferecer diferentes arranjos curriculares, considerando o currículo básico do ensino médio e os itinerários formativos, divididos em cinco áreas do conhecimento (Linguagens e suas tecnologias, Matemática e suas tecnologias, Ciências da natureza e suas tecnologias, Ciências humanas e sociais aplicadas e Formação técnica e profissional).

Na prática, não existe uma clareza na BNCC em relação ao oferecimento dessas disciplinas eletivas, ficando a cargo da unidade escolar, conforme seus interesses e de seu público-alvo, se organizarem para viabilizar essas aulas. Entre 2018 e 2020, muitas escolas utilizaram essa flexibilidade curricular para o desenvolvimento de projetos-piloto como uma estratégia preparatória para seus catálogos de itinerários formativos, a serem implantados a partir de 2021. Por exemplo, em um desses projetos escolares, são apresentados os resultados de disciplina eletiva desenvolvida em uma escola estadual no município de São Carlos-SP, integrando as áreas de Ciências humanas e sociais aplicadas com a de Linguagens e suas tecnologias, com o objetivo de conduzir os estudantes do ensino fundamental a ampliarem sua interação com a música, oportunizando, dessa forma, estímulos e incentivos à criatividade [13].

Em outro exemplo, são relatados os principais desafios e resultados do desenvolvimento de uma disciplina eletiva, no primeiro semestre de 2018, sobre matemática financeira em escola da rede estadual de ensino do município de Campos Belos-GO, que integrou disciplinas como Matemática, História e Sociologia e teve

como um dos principais objetivos fomentar a cultura da educação financeira na formação escolar e cidadã [14].

Entre erros e acertos, as instituições e redes de ensino do país se organizaram para testar e analisar suas possibilidades em termos de itinerários formativos a serem oferecidos a partir do momento em que a BNCC se tornasse obrigatória. Nesse contexto, as disciplinas eletivas representam uma estratégia interessante para avaliar, por exemplo, o nível de aceitação por parte dos estudantes em relação à determinadas temáticas desenvolvidas ou às metodologias de ensino adotadas nessas aulas.

O oferecimento de disciplina eletiva ou aulas específicas no campo das geotecnologias possui como um dos maiores desafios a existência e a disponibilização de uma infraestrutura adequada, de maneira que os estudantes possam ter acesso à computadores ou notebooks e seus respectivos programas de geoprocessamento. Nesse sentido, não é comum encontrar cursos dessa natureza, sobretudo direcionados para os alunos do ensino médio.

De certa forma, isso mostra um pouco da dimensão dos desafios iniciais que recaíram sobre a estruturação e oferecimento de uma disciplina eletiva centrada em geotecnologias, incluindo um público-alvo diversificado de três colégios diferentes, localizados em dois municípios paulistas. Ou seja, havia a questão da infraestrutura, da tecnologia, do conteúdo em si e da logística de deslocamento entre os colégios.

2.2. Expectativas

Mesmo diante de todos os obstáculos anteriormente descritos, a disciplina eletiva foi apresentada aos estudantes no final do primeiro semestre de 2019 e ofertada entre os meses de agosto e dezembro do mesmo ano, buscando alcançar os seguintes objetivos específicos: (a) apresentar as possibilidades e oportunidades no campo das geotecnologias; (b) utilizar as geotecnologias como ferramenta de estudo interdisciplinar das relações entre sociedade e ambiente; (c) refletir sobre questões socioeconômicas e ambientais atuais em diferentes escalas temporais e espaciais; (d) dominar a linguagem de leitura, interpretação e produção de representações cartográficas.

2.3. Desenvolvimento

A viabilização da disciplina eletiva foi mediante a elaboração de uma sequência didática de aprendizagem estruturada em oito encontros presenciais, totalizando 16 aulas em cada um dos três colégios diretamente envolvidos.

Por sequência didática entende-se como um planejamento de atividades diversificadas de cunho pedagógico, com o objetivo de levar os educandos a refletir sobre um ou mais temas inerentes a uma disciplina escolar. Vale ressaltar que vários estudos foram desenvolvidos no Brasil nos últimos anos envolvendo sequências didáticas, em diferentes disciplinas e segmentos escolares [15]. Por exemplo, em um desses estudos foi utilizada a sequência didática no ensino de Geografia, levando os alunos do ensino médio de instituições estaduais de Minas Gerais, a refletir e registrar textualmente sobre fatos geográficos relevantes no contexto nacional e internacional, representados em charges [16].

Em termos de conteúdos trabalhados durante as aulas da eletiva de Geotecnologias, foi estruturada uma ementa que contemplou aspectos introdutórios da evolução, desafios e oportunidades das geotecnologias no Brasil e no mundo, associado à

utilização de *softwares* de geoprocessamento, tais como o QGIS e o Google Earth Pro. Também foi desenvolvido junto aos estudantes as habilidades de elaboração de representações cartográficas e a investigação científica de problemas urbanos reais e atuais. Na Figura 1, a seguir, pode-se observar uma das aulas em que os discentes tiveram a oportunidade de praticar a técnica de elaboração de mapas utilizando o *software* QGIS.

Figura 1. Estudantes do colégio J.R. Passalacqua em uma das aulas da disciplina eletiva de Geotecnologias. Fonte: Conceição (2019).

Além da abordagem do conteúdo, ao longo das 16 aulas também foram destinados alguns encontros para que os alunos fizessem as avaliações da disciplina, tal como a apresentação de um trabalho em grupo para uma banca de professores e à resposta de uma autoavaliação.

3. Resultados e Discussão

Os resultados aqui apresentados podem ser agrupados em três categorias, tais como as representações cartográficas criadas pelos estudantes, individual ou coletivamente, durante as aulas; a das apresentações de projeto por meio de seminários; e a autoavaliação que os educandos fizeram em relação ao desempenho individual e o aprendizado que tiveram na disciplina eletiva.

3.1. Representações cartográficas

Um dos propósitos e, ao mesmo tempo, diferenciais da disciplina eletiva de Geotecnologias Aplicadas foi a dinâmica de realização de aulas predominantemente práticas, onde os alunos, desde o primeiro encontro, tiveram a oportunidade de interagir com os *softwares* de geoprocessamento e elaborar suas próprias

representações cartográficas. A Figura 2, a seguir, mostra uma das produções feitas pelos discentes durante as aulas.

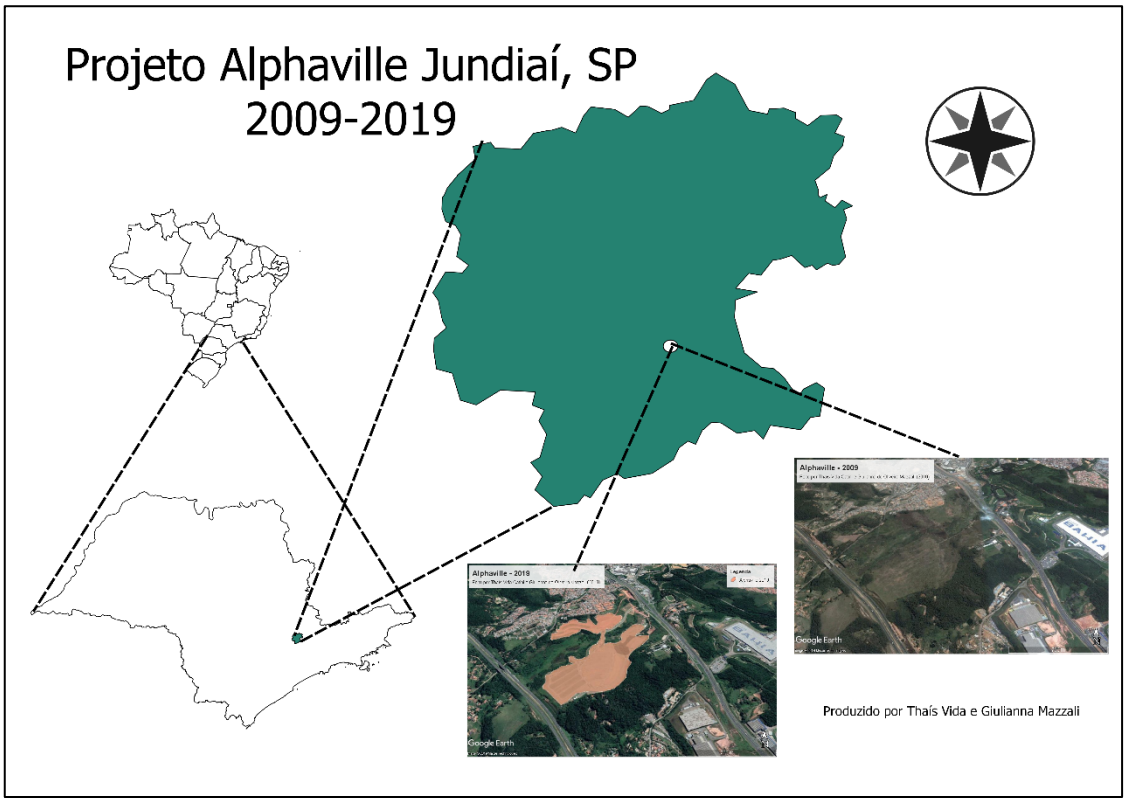


Figura 2. Exemplo de produção cartográfica feita por alunas do colégio São Vicente de Paulo, em Jundiaí-SP. Fonte: Vida; Mazzali (2019).

Essa produção (Figura 2), que inclui uma composição com mapas e imagens de satélite, foi o resultado de um projeto que os estudantes tiveram que desenvolver a partir da segunda metade do período de oferecimento da disciplina e teve como objetivo mapear e analisar as transformações espaciais e temporais em determinadas localidades do espaço urbano dos municípios onde os colégios estão situados.

Para os estudantes do colégio de Jundiaí, o desafio foi analisar a construção de um condomínio residencial de alto padrão em um dos eixos atuais de crescimento urbano do município. No caso do colégio J.R. Passalacqua, os alunos foram desafiados a analisar as mudanças ocorridas com a construção de um loteamento residencial no distrito de Parelheiros, localizado na zona Sul do município de São Paulo (Figura 3). Por fim, os discentes do colégio Santo Antonio de Lisboa analisaram as transformações socioeconômicas e ambientais promovidas no bairro de Artur Alvim, na zona Leste da capital paulista, após a construção da Neo Química Arena (Figura 4).

O elemento comum aos três projetos escolares foi o estudo da cidade, entendido como metodologia do ensino de Geografia capaz de desenvolver no estudante, entre outros aspectos, a formação de uma cidadania consciente, participativa e democrática, tendo como referência básica a realidade mais imediata dos alunos, o que justifica a escolha de localidades e regiões de estudo nos respectivos municípios dos colégios [17].

Em complemento, o desenvolvimento desses projetos escolares possibilitou aos estudantes ampliar seu domínio da linguagem cartográfica por meio da metodologia do "aluno mapeador", em que a vivência das funções cartográficas possibilita a aprendizagem de conceitos e noções para entender o que são objetos presentes no espaço, levando ao desenvolvimento das habilidades e o conhecimento em potencial de ler e entender o mundo [18].

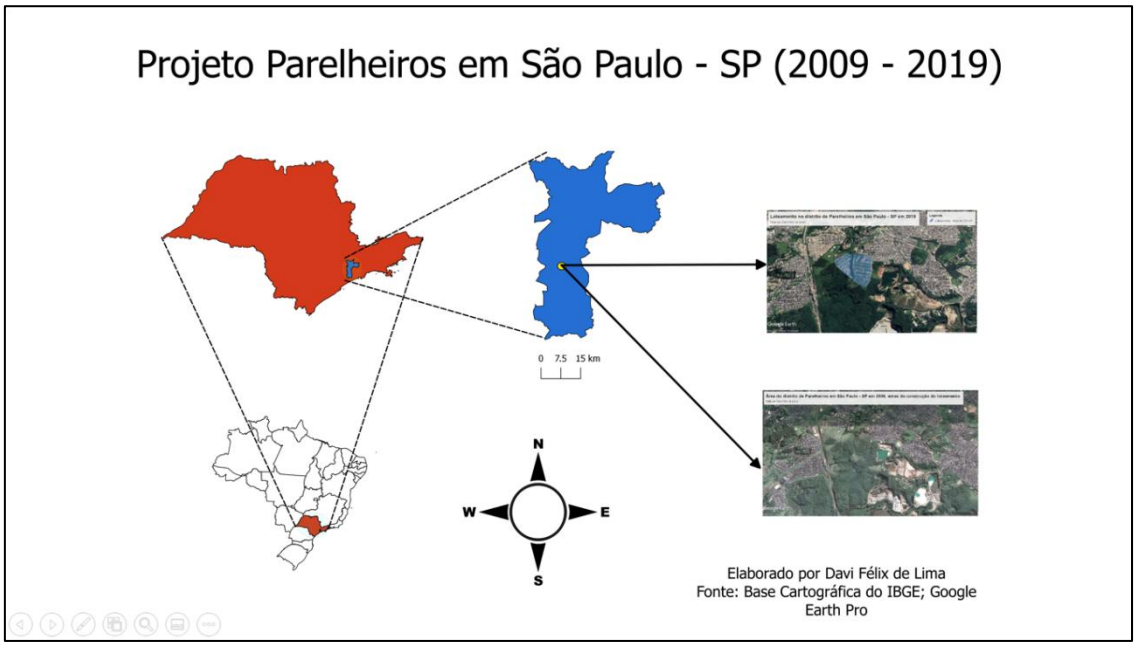


Figura 3. Exemplo de produção cartográfica feita por aluno do colégio J.R. Passalacqua, em São Paulo-SP. Fonte: Lima (2019).

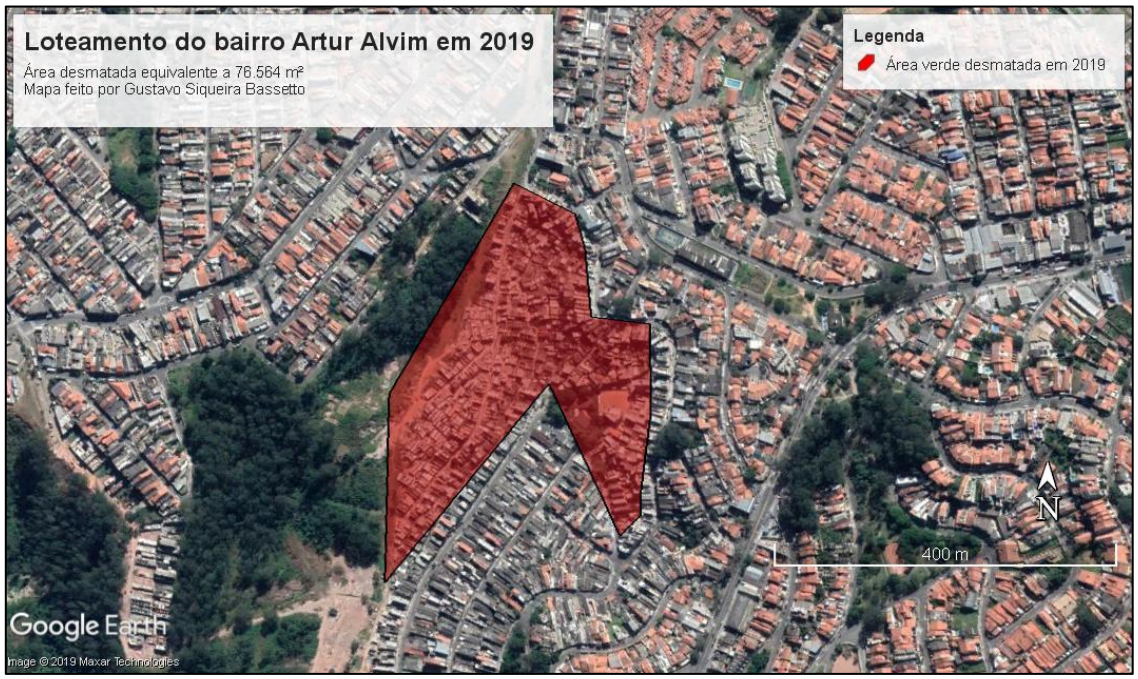


Figura 4. Exemplo de produção cartográfica feita por aluno do colégio Santo Antonio de Lisboa, em São Paulo-SP. Fonte: Bassetto (2019).

3.2. Seminários

Nesse momento da disciplina eletiva, os estudantes, organizados em grupos de dois à três integrantes cada, tiveram o espaço necessário para apresentar seus projetos e respectivas produções cartográficas sobre a localidade e região urbana de estudo. Para avaliar os trabalhos, foi formada uma banca composta por ao menos dois docentes dos próprios colégios. Na Figura 5, a seguir, consta o momento de uma dessas apresentações.

Figura 5. Apresentação do projeto final da disciplina eletiva de Geotecnologias Aplicadas no colégio J.R. Passalacqua, em São Paulo-SP.

Para otimizar os seminários e não deixá-los repetitivos, foi feita uma organização de maneira que cada grupo analisasse e expusesse apenas parte do projeto escolar desenvolvido. Por exemplo, o primeiro grupo abordou sobre a metodologia de elaboração das representações cartográficas, já o segundo grupo focou nas características da localização e perfil socioeconômico da área de estudo, enquanto o terceiro grupo, compartilhou sobre as principais transformações e impactos socioeconômicos e ambientais na área estudada. Dessa forma, criou-se um ambiente bastante propício para as trocas de informações entre os envolvidos sobre questões importantes e complexas da sociedade contemporânea.

No ensino de Geografia, tratar de questões complexas no mundo contemporâneo requer procedimentos metodológicos que possam levar os estudantes a compreender melhor o contexto em que está inserido, desenvolvendo determinados conteúdos procedimentais, tais como a busca por explicações, a realização de pesquisas e a articulação de argumentações [19].

3.3. Autoavaliação

Essa foi a oportunidade que os educandos tiveram para refletir sobre o aprendizado e o nível de satisfação obtido na disciplina eletiva. Nesse sentido, foi solicitado aos alunos que atribuíssem uma menção para o desempenho individual no desenvolvimento das atividades relacionadas à disciplina de Geotecnologias Aplicadas. A Figura 6, a seguir, expõe os resultados obtidos a partir do ponto de vista dos discentes que responderam ao questionamento.

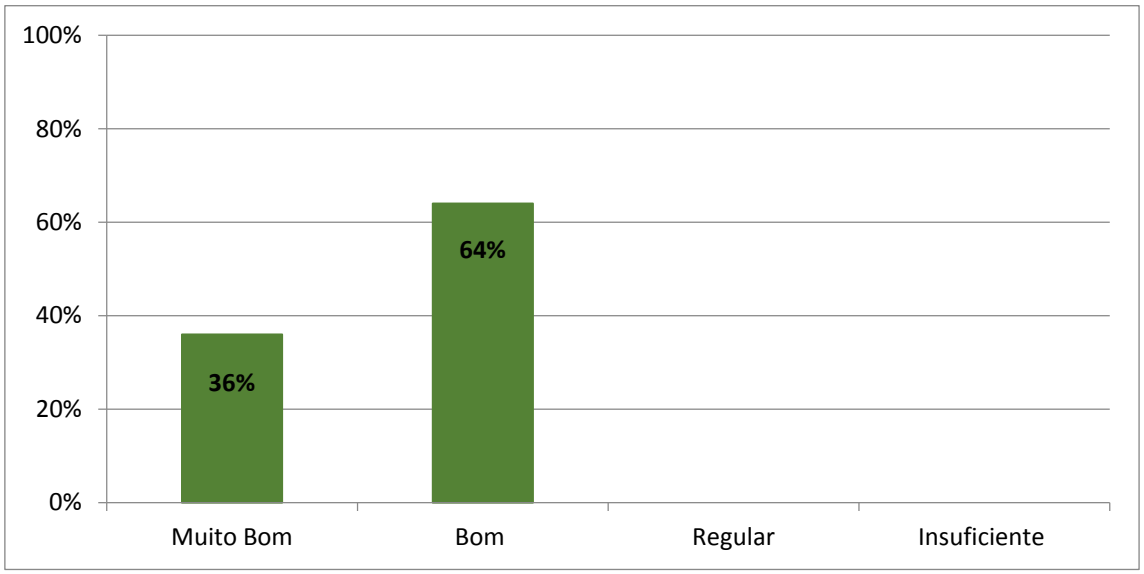


Figura 6. Menções dadas pelos próprios estudantes ao desempenho individual no desenvolvimento da disciplina eletiva.

É notável que os alunos tiveram uma percepção de avaliação bastante satisfatória em relação ao desempenho individual durante o período de oferecimento da disciplina eletiva de Geotecnologias Aplicadas. Reforça esse dado o relato apresentado na sequência:

> *"Por mais que eu tenha dificuldade ao lidar com computadores, fiz um grande esforço para obter o máximo possível de aprendizado e realizar todas as atividades."* (Estudante G. V. G. do colégio São Vicente de Paulo, 2019).

Conforme pontuado anteriormente, a dificuldade com a tecnologia foi uma das colocações mais recorrentes feitas pelos alunos para justificar um rendimento não tão bom ou satisfatório como se poderia imaginar. Sendo assim, a disciplina eletiva também contribuiu, direta e indiretamente para a incorporação das Tecnologias de Informação e Comunicação – TIC aos processos de ensino e aprendizagem. O público-alvo da educação básica, ou seja, as crianças e os adolescentes, estão cada vez mais conectados às tecnologias digitais, representando uma geração que estabelece novas relações com o conhecimento, fato que, de certa forma, pressiona a escola para que também se modifique diante dessas recentes transformações tecnológicas [20].

Outro aspecto que os estudantes tiveram a oportunidade de avaliar foram os conteúdos aprendidos na disciplina eletiva. A Figura 7, na sequência, sintetiza esses dados.

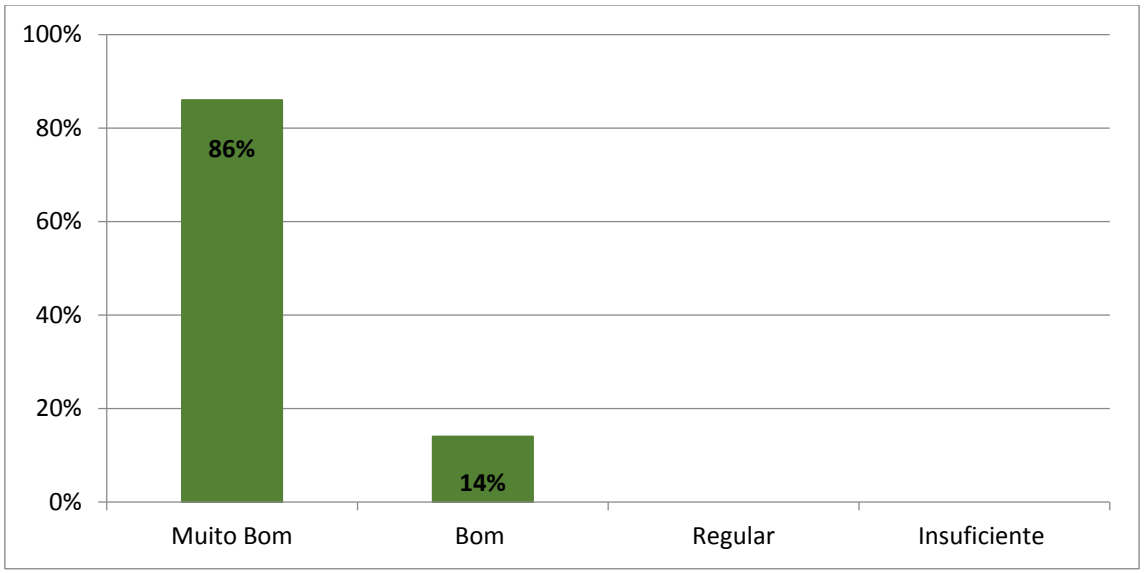


Figura 7. Menções atribuídas pelos estudantes aos conteúdos aprendidos na disciplina eletiva.

Em geral, percebe-se que a avaliação dos educandos em relação aos conteúdos aprendidos na eletiva foi extremamente positiva, visto o elevado percentual de menções classificadas como “Muito bom”. Corrobora isso, o seguinte relato feito por uma cursista da disciplina:

> *“Com a eletiva aprendi conteúdos que eu jamais pensei que um dia fosse aprender. Saber mexer direitinho nos aplicativos como o Google Earth Pro e o QGIS possibilitou que eu compreendesse o quão importante a Geotecnologia pode ser no nosso dia a dia, já que ela amplia nossa visão de mundo, sobre a realidade ao nosso redor.”* (Estudante A. J. O. M., do colégio J.R. Passalacqua, em São Paulo-SP).

Novamente a tecnologia, em especial a geotecnologia, é citada nesse e em outros relatos feitos pelos discentes como um novo e interessante aprendizado em seus processos de formação escolar. Nesse sentido, a evolução dos recursos tecnológicos aplicada ao contexto educacional pode proporcionar aos alunos uma formação mais abrangente, que aliada ao domínio e correta utilização pelos docentes dessas tecnologias, tende a contribuir para a construção conjunta e significativa do conhecimento. Além disso, nessa linha de pensamento, os estudantes podem enriquecer seus cotidianos e ficarem mais estimulados pela disciplina e seus respectivos conteúdos, contribuindo para a materialização de um processo mais amplo de transposição de currículos escolares tradicionais [21].

Em outro ponto da autoavaliação, foi perguntado aos estudantes sobre o maior aprendizado que obtiveram com o desenvolvimento das atividades propostas na disciplina. No relato destacado a seguir, consta uma importante reflexão feita por uma das estudantes:

> *“Eu diria que o maior* [aprendizado] *antecede a questão dos softwares e da tecnologia, mas foi aprender a olhar para as situações com um olhar crítico e entender que a tecnologia de nada vale se não for para gerar conforto e vida ao ser humano*

> *ao invés de tirar os direitos básicos deste".* (E. A., estudante do colégio J.R. Passalacqua, em São Paulo-SP).

Na perspectiva da aluna é possível notar sua compreensão das geotecnologias como um conjunto de ferramentas que permite ampliar sua visão de mundo. Dessa forma, atinge-se uma das principais contribuições que o ensino de Geografia pode proporcionar no contexto da educação básica, ou seja, o de levar o aluno a compreender o lugar em que vive e nele atuar, preferencialmente numa abordagem crítico-reflexiva da sociedade [22].

4. Conclusão

A realização da disciplina eletiva de Geotecnologias Aplicadas foi bastante satisfatória como uma prática de ensino de Geografia, sendo muito bem avaliada quali e quantitativamente pelos estudantes. Além disso, conseguiu contemplar todas as expectativas inicialmente traçadas, visto que apresentou aos alunos da educação básica, algumas possibilidades de aplicações fazendo uso de geotecnologias, sobretudo na análise espaço-temporal de questões complexas que envolvem as relações socioeconômicas e ambientais entre sociedade e ambiente em contexto urbano. Por fim, a eletiva também auxiliou na consolidação do domínio da capacidade dos alunos de leitura, interpretação e produção de representações cartográficas, fato que aproxima esses educandos das TICs.

Vale destacar que a maior dificuldade encontrada para o desenvolvimento da disciplina foi a logística de deslocamento entre três colégios situados em municípios diferentes. Isso impôs o trânsito constante dos notebooks utilizados durante as aulas. Salas fixas de informática em cada colégio com boa oferta de notebooks e/ou computadores bem equipados reduziria esse obstáculo. Entretanto, é necessário destacar que esse pequeno problema não interferiu na dinâmica das aulas ou nos conteúdos trabalhados.

Como sugestão para futuros projetos escolares que possam ter o presente trabalho como referência, fica a recomendação, caso seja possível e de acordo com a realidade local, de ampliar o número de aulas e torná-las menos espaçadas no calendário escolar, pois ficou nítido que, em situações de encontros quinzenais, os estudantes demoravam mais para retomar os conteúdos da aula anterior o que reduzia o tempo dedicado para interagir com os *softwares* de geoprocessamento e a elaboração das representações cartográficas.

De qualquer forma, apesar de algumas poucas dificuldades encontradas, é inegável que os resultados foram positivos, representando um exemplo de metodologia da educação geográfica em contexto do ensino básico, capaz de levar a um processo de aprendizagem significativo, criativo, crítico, contextualizado e alinhado com as principais diretrizes curriculares nacionais.

5. Referências

[1] Brasil – Ministério da Educação. Portaria nº 592, de 17 de janeiro de 2015. Institui a Comissão de Especialistas para a Elaboração de Proposta da Base Nacional Comum Curricular [documento da internet]. Brasília; 2015 [acesso em 28 dez 2020]. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/docman/setembro-2015-pdf/21361-port-592-bnc-21-set-2015-pdf>. Acesso em: 09 de mar. 2021.

[2] Brasil – Ministério da Educação. Portaria nº 1.570, de 20 de dezembro de 2017 [documento da internet]. Brasília, 2017 [acesso em 28 dez 2020]. Disponível em:

<http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/historico/PORTARIA1570DE22DEDEZEMBRODE2017.pdf>. Acesso em: 09 de mar. 2021.

[3] Brasil – Ministério da Educação. Portaria nº 331, de 05 de abril de 2018. Institui o programa de Apoio à Implementação da Base Nacional Comum Curricular – ProBNCC e estabelece diretrizes, parâmetros e critérios para sua implementação [documento da internet]. Brasília, 2018 [acesso em 28 dez 2020]. Disponível em: <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/historico/PORTARIA331DE5DEABRILDE2018.pdf>. Acesso em: 09 de mar. 2021.

[4] Silva M.R. A BNCC da reforma do Ensino Médio: o resgate de um empoeirado discurso. Educação em Revista 2018; 34: e214130. http://dx.doi.org/10.1590/0102-4698214130.

[5] Young M.F.D. O futuro da educação em uma sociedade do conhecimento: o argumento radical em defesa de um currículo centrado em disciplinas. Revista Brasileira de Educação 2011; 16(48): 609-623. https://doi.org/10.1590/S1413-24782011000300005.

[6] Young M.F.D. Teoria do currículo: o que é e por que é importante. Cadernos de Pesquisa 2014; 44(151): 190-202. https://doi.org/10.1590/198053142851.

[7] Brasil – Ministério da Educação. Base Nacional Comum Curricular: Educação é a Base. Brasília: MEC; 2018. 600 p. <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal_site.pdf>. Acesso em: 09 de mar. 2021.

[8] Fitz P.R. Geoprocessamento sem complicação. São Paulo: Oficina de Textos; 2008. 160 p.

[9] Cosme A. Projetos em Sistemas de Informação Geográfica. Lisboa: Lidel; 2012. 366 p.

[10] Canto T.S., Almeida R.D. Mapas feitos por não cartógrafos e a prática cartográfica no ciberespaço. In.: Almeida, R. D. (org.). Novos rumos da cartografia escolar. São Paulo: Contexto; 2019, 147-162 p.

[11] Ramos C.S. Visualização cartográfica e cartografia multimídia: conceitos e tecnologias. São Paulo: Editora UNESP; 2005. 179 p.

[12] Brasil – Ministério da Educação. Lei nº 13.415, de 16 de fevereiro de 2017 [documento da internet]. Brasília, 2017. [acesso em 29 dez 2020]. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/lei/l13415.htm>. Acesso em: 09 de mar. 2021.

[13] Araújo A.R.I., Lourenço D.M.S., Franchini G.E., Rossales L. Música na escola: um relato de experiência. Cadernos da Pedagogia 2020; 28(14). <http://www.cadernosdapedagogia.ufscar.br/index.php/cp/article/view/1389/531>. Acesso em 09/03/2021.

[14] Silva G.F., Souza K.C.O., Costa E.A. A matemática financeira para além da escola. Colloquium Humanarum 2020; 17(1): 155-166. https://doi.org/10.5747/ch.2020.v17.h465.

[15] Mesquita E.M., Leão C.M.E., Souza D.F.B.G. As sequências didáticas como um procedimento de ensino para o gênero artigo de opinião. Revista de Letras 2016; 18(22): 55-74. <https://revistas.utfpr.edu.br/rl/article/download/2911/3157>. Acesso em 09/03/2021.

[16] Mendes F.F. Ensino de geografia: limites e possibilidades na utilização de charges. Revista Eletrônica Geoaraguaia 2012; 2(1): 86-100. <http://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/geo/article/view/4808/3218>. Acesso em: 29 de dez. 2020.

[17] Cavalcanti L.S. Ensino de Geografia e diversidade: construção de conhecimentos geográficos escolares e atribuição de significados pelos diversos sujeitos do processo de ensino. In.: Castellar S. (org.). Educação geográfica: teorias e práticas docentes. São Paulo: Contexto; 2017. p. 66-78.

[18] Passini E.Y. Alfabetização cartográfica e a aprendizagem de geografia. São Paulo: Cortez; 2012. 215 p.

[19] Pontuschka N.N., Paganelli T.I., Cacete N.H. Para ensinar e aprender Geografia. São Paulo: Cortez; 2009. 383 p.

[20] Bacich L., Tanzi Neto A., Trevisani F.M. Ensino Híbrido: personalização e tecnologia na educação. Porto Alegre: Penso; 2015. 270 p.

[21] Santos M.F.P., Pinto M.V.M., Galdino V.H. O Facebook no ensino de Geografia: desafios e possibilidades. In.: Sacramento A.C.R., Antunes C.F., Santana Filho M.M. (orgs.). Ensino de Geografia: produção do espaço e processos formativos. Consequência: Rio de Janeiro; 2015. 392 p.

[22] Silva A.C.P., Rodrigues R.C.A., Andrade M.A.A., Villela T. Espaço e cidadania: uma importante relação dos lugares com o saber. In.: Silva A.C.P., Rodrigues R.C.A., Andrade M.A.A., Villela T. Educação geográfica em foco: temas e metodologias para o ensino básico. Rio de Janeiro: Lamparina; 2014.

6. Agradecimentos

Pela oportunidade de oferecimento e desenvolvimento dessa disciplina escolar, fica o agradecimento especial à Direção, à Orientação Pedagógica e Educacional dos Colégios Vicentinos, bem como a equipe de informática das unidades escolares quanto à assistência técnica em relação aos notebooks e *softwares* de geoprocessamento.

Autores

André Luiz da Conceição

Departamento de Geografia e Planejamento Ambiental, Universidade Estadual Paulista – UNESP Júlio de Mesquita Filho, Avenida 24-A, 1515, Rio Claro - SP, Brasil.

* Autor para correspondência: andre.l.conceicao@unesp.br

CAPÍTULO 6

Mapeamento e análise espacial de dados com suporte de *plataformas web – alternativas para a pesquisa e o ensino remoto na área de geotecnologias*

Haillany Silva de Souza, Sherlyê Francisco de Carvalho, Elizabeth Maria Feitosa da Rocha de Souza

https://doi.org/10.4322/mp.978-65-991393-8-3.c6

Resumo
A discussão sobre soluções complementares e/ou alternativas para o ensino e a pesquisa utilizando plataformas web cresceu após o surgimento da pandemia da COVID19. Tendo em vista a mudança emergencial para a modalidade de acesso remoto em diferentes instâncias acadêmicas e administrativas, no Brasil e no Mundo, os especialistas precisaram buscar soluções para a continuidade de pesquisas acadêmicas, do ensino e das demais atividades em curso nas escolas, universidades e centros de pesquisa. Diante desse contexto, esse capítulo de livro pretende apresentar alguns exemplos de plataformas, e em especial aquelas que utilizam modelos de análise espacial para um grande volume de dados (como a plataforma Google Earth Engine), que configuram os modelos chamados "*Big Data" e Cloud Computing.* A análise do espaço, e das ações de agentes transformadores deste espaço, deve acompanhar a evolução tecnológica que se apresenta, sobretudo na área de geoinformação. A abordagem tradicional, que se baseia no uso de ferramentas desktop, vem sendo gradualmente complementada com o uso de plataformas web, seja para um simples armazenamento de dados ou mesmo para o processamento com o uso de ferramentas de análise espacial. Nesse contexto, a computação em nuvem, se apresenta como um modelo atual para a geração de mapeamentos, configurando um novo paradigma para a construção de aplicações em geoprocessamento especialmente na modalidade remota. Dessa forma, o presente trabalho aponta algumas plataformas de computação na nuvem e mapeamento web como importantes mecanismos de fomento às demandas da área de Geografia. A presente pesquisa agradece o apoio e financiamento da FAPERJ por meio do Edital JCE - 2018 - Jovem cientista do Estado

Palavras-chave: big data; clouding computing; geoinformação; plataformas web.

1. Introdução

As transformações tecnológicas que o mundo vem sofrendo foram impulsionadas pelas mudanças ocasionadas pela pandemia de Covid-19, que demandaram alternativas para a continuidade de pesquisas e o ensino na modalidade remota. Desta forma, as plataformas web se mostram bastante favoráveis como potenciais ferramentas de estudo, visto que elas permitem a integração e a análise de dados frente ao isolamento que a pandemia nos exige. A modalidade tradicional e uso das plataformas de SIG (Sistemas de Informação Geográfica) usam softwares com

Joceli Augusto Gross (Ed.) © 2021 Mérida Publishers CC-BY 4.0

capacidade para armazenar, processar, analisar e representar as informações sobre determinado espaço geográfico, integrando dados em redes físicas ou desktops. Com o crescente volume de dados produzidos pelas instituições e usuários em todo o mundo, associado ao aumento da capacidade de processamento pelos hardwares, observa-se o uso de dados em plataformas WEB e com dados na nuvem, se destacando de forma marcante. Nessa circunstância, as plataformas web se apresentam ricas em possibilidades, visto que além de complementar às plataformas tradicionais, a única ação necessária para fazer uso das mesmas é o acesso estável à internet. A adoção dessas plataformas web para a análise e integração de dados espaciais permitem, via acesso remoto, a continuidade das pesquisas acadêmicas, do ensino e das demais atividades em curso por escolas, universidades e centros de pesquisas em todo o mundo. Dentre as vantagens pode-se citar ainda a integração de pessoas e pesquisas, a divulgação acelerada de resultados de pesquisas entre outras vantagens. Outro grande atrativo para o seu uso, é que estas plataformas utilizam modelos de análise espacial que possuem capacidade para processar um grande volume de dados, cujos modelos são popularmente conhecidos como *Big Data e Cloud Computing.*

Segundo Amaral [1], *Big Data* é o fenômeno em que dados são produzidos em vários formatos e armazenamento por uma grande quantidade de dispositivos e equipamentos. Essa evolução tecnológica se deu pelo barateamento dos insumos de tecnologia, memórias, unidades de armazenamento, bem como desenvolvimentos e melhorias em miniaturização, capacidade de processamento.

A computação em nuvem por sua vez ou *Cloud Computing*, surge como um novo paradigma que apresenta a computação como um serviço de utilidade, apresentando vantagens como: o fornecimento rápido e flexível de poder computacional; a capacidade de computação combinada para melhor utilizar e compartilhar recursos; o acesso de banda larga para comunicação rápida; o acesso sob demanda para a computação como um serviço utilitário; não há a necessidade de pagar uma grande quantidade de custos iniciais como recursos de computação tradicionais. Para Amaral [1], a arquitetura orientada a serviços é adotada na computação em nuvem e permite "tudo como serviço", incluindo as mais conhecidas infraestruturas como: O serviço (IaaS), a plataforma como serviço (PaaS) e o software como serviço (SaaS). Recentemente observa-se ainda o crescimento do Banco de dados como serviço (DBaaS ou DaaS), e da rede como serviço (NaaS). O *Big Data* traz inúmeros desafios, mas em conjunto com *Cloud Computing* tentam encontrar maneiras de minimizar as dificuldades de se trabalhar com grande velocidade e volume de dados e vem provando ser uma solução eficiente para análise, processamento e armazenamento desses dados.

A Figura 1 destaca a perspectiva de integração de dados e circulação de informações produzidas no âmbito do Big Data e Cloud Computing. Segundo Yang *et al*. [2] o Cloud Computing surge como um novo paradigma para fornecer computação como um serviço utilitário para atender às diferentes necessidades de processamento com a) serviços sob demanda, b) recursos agrupados, c) elasticidade, d) acesso de banda larga e e) serviços medidos. A utilidade de fornecer capacidade de computação promove uma solução potencial para a transformação dos 4 Vs do Big Data no 5º (valor).

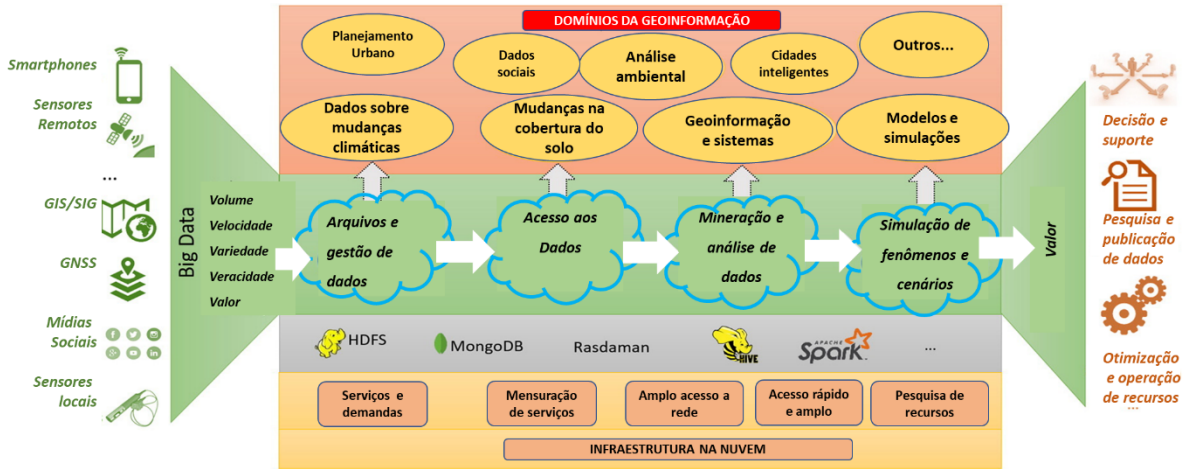


Figura 1. *Cloud Computing* fornece suporte crítico para o processamento de *Big Data* para endereçar os 4Vs para obter valor para melhor suporte de decisão, pesquisa e operações para vários domínios geoespaciais. (Tradução livre). Fonte: adaptado de Yang *et al*. [2].

Essa combinação de *Big Data* e *Cloud Computing* permite a geração de análises com softwares sem a necessidade de instalação local e baixo custo. O potencial de hardware para o processamento dos dados também não é uma preocupação elementar nessa infraestrutura, uma vez que o processamento ocorre na nuvem. Outras vantagens podem ser mencionadas:

- não é preciso pagar por uma licença de software (quando há gasto com aplicativos, geralmente é apenas pelo tempo de uso);
- não há necessidade de atualizar os softwares manualmente ou comprar uma versão mais nova;
- não há necessidade de hardware e sistema operacional mais atualizados;
- compartilhamento facilitado pela nuvem;
- diminuição da necessidade de manutenção;
- dados que podem ser acessados de qualquer lugar com acesso à internet;

Já entre as desvantagens, a principal está ligada ao acesso à internet, caso o acesso seja perdido, o usuário está incapacitado de continuar com sua atividade; bem como se a internet não estiver boa e for preciso velocidade no processamento, isso pode ser prejudicado; como todos os serviços, ele tem um preço; e por último a segurança na nuvem que pode ser prejudicada por inúmeros fatores, entre eles o acesso aos usuários e suas permissões, isso se dá porque os dados ficam *online* todo o tempo.
No presente capítulo de livro objetiva apresentar as plataformas de mapeamento e análise de dados espaciais em ambiente web, destacando vantagens e características potenciais para o uso em pesquisas e ensino remoto pela Geografia, frente às necessidades atuais de distanciamento social.

2. Materiais e Métodos

A metodologia deste capítulo se baseia em apresentar uma breve e objetiva revisão teórica sobre conceitos chaves e em seguida, destacar as plataformas web de análise e mapeamento espacial de dados, destacando características: vantagens e potencialidades.

3. Resultados e Reflexões

3.1. Falando sobre *Big Data* e *Cloud Computer*...

É perceptível o crescente volume de dados que a sociedade atual gera e disponibiliza a cada segundo. Viana [3] nos aponta que “apesar da humanidade produzir e disseminar informação muito antes das tecnologias atuais surgirem, é a partir da Máquina de Turing, (*vale dizer, os computadores, desenvolvida pelo professor de matemática teórica e aplicada Alan Turing durante a Segunda Guerra Mundial (1936), hoje reconhecido como o pai da Ciência da Computação*), que se iniciam as primeiras preocupações com os dados, seu armazenamento, sua quantidade, seu processamento e a exploração destes”.

Segundo Yang *et al*. [2] existe atualmente o aumento da produção de dados, nunca se gerou tantos dados como agora principalmente por causa da internet, a sociedade cria a todo momento dados em redes sociais ou aplicativos, isso gerou um crescimento do número das plataformas de computação em nuvem para facilitar o uso desse grande volume e velocidade de dados.

Yang *et al*. [2] aponta que “o Big Data surge com novas oportunidades de pesquisa, desenvolvimento, inovação e negócios. Caracteriza-se pelos chamados quatro Vs: volume, velocidade, e variedade e pode trazer valor significativo por meio do processamento de Big Data. A transformação dos 4 Vs do Big Data no 5º (valor) é um grande desafio para a capacidade de processamento.” Não existe uma única definição para o conceito de *Big Data* mas todos giram em torno dos 5V’s: Volume; Velocidade; Variedade; Veracidade; e Valor. Além disso, geralmente as soluções que são produzidas a partir desse conceito, normalmente englobam a complexidade, natureza e crescimento dos dados.

A computação em nuvens se apresenta como a evolução do uso de dados, por usuários de forma simultânea, por meio de dispositivos conectados à internet. Nesse caso não é necessário instalar qualquer aplicativo, pois a execução dos aplicativos e armazenamento de dados é de responsabilidade de quem oferta o serviço [4].

Os modelos de serviços definidos pelo NIST (*National Institute of Standards and Technology*) são: Software as a Service (SaaS), Platform as a Service (Paas) e Infrastructure as a Service (IaaS) (Figura 2). Existem vários outros modelos mencionados na literatura, mas os principais e mais usados são os citados pelo NIST.

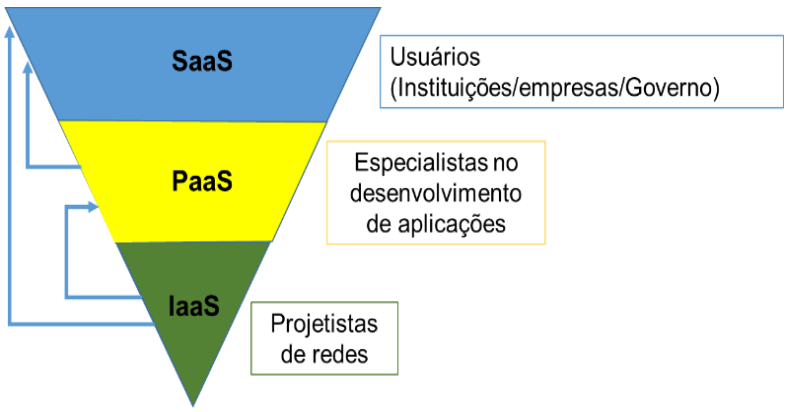


Figura 2. Modelos de serviços na nuvem. Fonte: elaborado pelo autor baseado em Medeiros [5].

Segundo Medeiros [5] “O modelo Software as a Service (SaaS) é usado em aplicações com acesso simultâneo por várias pessoas ao mesmo tempo, ou seja, é um modelo de computação em nuvem que é oferecido em forma de serviço, no qual se paga pela hospedagem de softwares que irão rodar remotamente, como por exemplo, o Dropbox e o Google Apps.” É possível acessar as aplicações sem a necessidade de instalação de aplicativos. Essa configuração é uma forma de processamento alternativo ao processamento local. Essa camada de aplicações é a que agrega muito mais instituições e usuários, fornecendo serviços e produtos de apoio para análise de dados. Os usuários não são especialistas e não detém conhecimento técnico sobre programação ou manipulação de dados.

O modelo *Platform as a Service* (PaaS) fornece uma plataforma de softwares onde os usuários podem testar ou desenvolver aplicações de interesse. Para Rountree e Castrillo [6] trata-se de uma plataforma utilizada para o desenvolvimento. Dependendo do provedor, a plataforma pode ser completa incluindo um servidor Web e bibliotecas de desenvolvimento. O *Windows Azure* e o *Google App Engine* e o *Cloud Foundry* (Livre) são os principais representantes. Os especialistas nesse grupo agregam os profissionais dedicados ao desenvolvimento de aplicações para análise e tratamento de dados. O conhecimento exigido para a atuação nessa hierarquia exige um aprofundamento, (no caso de dados espaciais e mapeamento), sobre cartografia, geoinformação e linguagem de programação.

E finalmente, segundo Medeiros [5] o *Infrastructure as a Service* (IaaS) “limita-se ao fornecimento de Infraestrutura para seus usuários, com a finalidade de dar maior liberdade através da Virtualização. Os usuários têm pleno controle sobre suas máquinas virtuais, armazenamento e aplicativos instalados, como, por exemplo, a Amazon Web services.” Esse grupo de especialistas integra os especialistas em rede e Tecnologia da Informação – TI.

Em resumo o mapeamento de dados na nuvem se divide em 3 categorias: 1. **IaaS** (Infraestrutura como serviço); 2. **PaaS** (Plataforma como Serviço); 3. **SaaS** (Software as a Service), por exemplo, o CARTO. Especificamente na terceira estrutura, em função da natureza dos dados e geoinformação, muitas vezes há a necessidade de adequações. Então nesse caso é comum detectar que o Software as a Service (SaaS) suporta outros três modelos de serviço: **GaaS** (SIG como serviço); **AaaS** (Aplicações como Serviço); e **IaaS** (Imagens como Serviço) como consta na Figura 3.

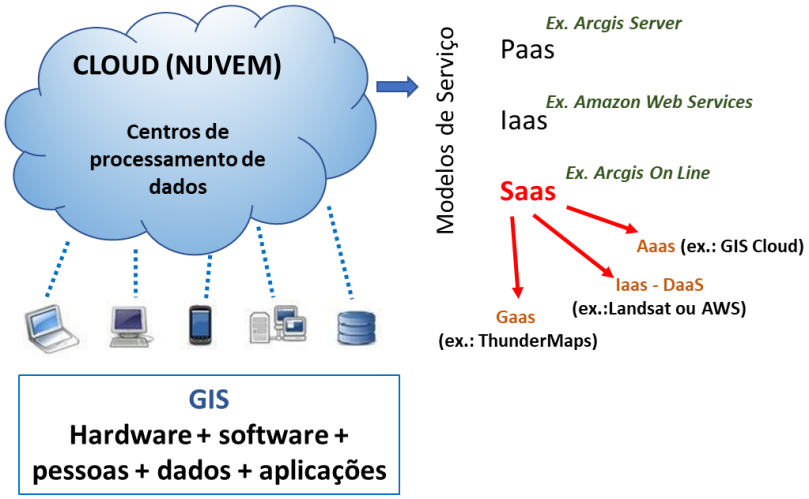


Figura 3. Modelos de serviços na nuvem para dados GIS. Fontes: Imagem obtida em https://www.gislounge.com/ e http://mappinggis.com/2017/01/10-aplicaciones-gis-en-la-nube-para-publicar-mapas-en-la-web/ [7].

3.2. Falando sobre mapeamento e GIS WEB, WEBGIS, GIS na Nuvem ou GIS Cloud.

A área de geoinformação, tradicionalmente utiliza ferramentas desktop, mas devido às limitações como dificuldade de compartilhamento e acesso, cada vez mais se observa o uso de plataformas web para processamento ou armazenamento de dados. O mapeamento de dados na web é uma alternativa crescente e cada vez mais presente nas atividades da sociedade. Observa-se com relativa frequência mapas sobre trânsito em tempo real, chuvas em tempo real, acompanhamento de deslocamentos para pedidos de comida *delivery*, ocorrências médicas e mais atualmente volume de vacinação em massa, em virtude da pandemia da Covid19. Há uma corrida para liderar e apontar os melhores caminhos, plataformas e sistemas. No entanto, há ainda uma necessidade de ampliar o entendimento sobre como funcionam essas plataformas e quais as possibilidades de análise.

O termo WebSIG considera as aplicações que compartilham e integram dados espaciais para os usuários interessados por meio de um navegador na Web, apenas com a disponibilização de um browser de internet, sem que haja a necessidade de instalação de qualquer software. O conceito de "GIS na nuvem ou GIS Cloud" da mesma forma, refere-se ao uso de serviços e aplicativos GIS na Internet, com acesso de usuários a partir de um navegador da Web sem instalar qualquer software no computador utilizado. Essa ferramenta permite usar os aplicativos GIS na nuvem para publicação de mapas, dados e análises na web.

Observa-se uma melhoria no desenvolvimento dos aplicativos na nuvem para dados espaciais em função da melhoria na análise, edição e visualização de resultados. Com isso observa-se o potencial de uso em diversos setores e uma importante alternativa ao SIG de desktop tradicional.

Diante do exposto é importante observar e considerar pontos chaves para a análise dessas plataformas tais como: custos, características gerais e básicas, principais funcionalidades, popularidade, possibilidades de visualização dos dados e desempenho geral das plataformas. Tendo em vista esses critérios de análise foram avaliadas as seguintes plataformas: **ArcGIS Online, Carto, Mango Map, Mapbox, Gis Cloud e Google Earth Engine.** Essas plataformas são opções importantes para facilitar ou complementar o ensino e a pesquisa na modalidade remota, que é um desafio enfrentado por pesquisadores e docentes durante o curso da pandemia de COVID19.

3.3. Apresentação geral das plataformas para a geração de mapas na web

3.3.1. ArcGIS Online

O ArcGIS Online é uma plataforma web que faz parte da Esri e permite conectar pessoas, locais e dados utilizando mapas interativos. Trata-se de um serviço na nuvem da Esri com muitas funcionalidades e ferramentas de análise intuitivas que se conectam a outras plataformas de dados, ou mesmo aplicativos variados. O ArcGIS online pode ter um *update* para uma interface com mais recursos se houver um investimento financeiro.

Seu Software é baseado na nuvem, tem serviço (SaaS), com isso o ArcGis Online pode ser empregado em qualquer lugar, em qualquer instante. A Figura 4 destaca a janela inicial da plataforma e a Figura 5 a estrutura base de funcionamento

.

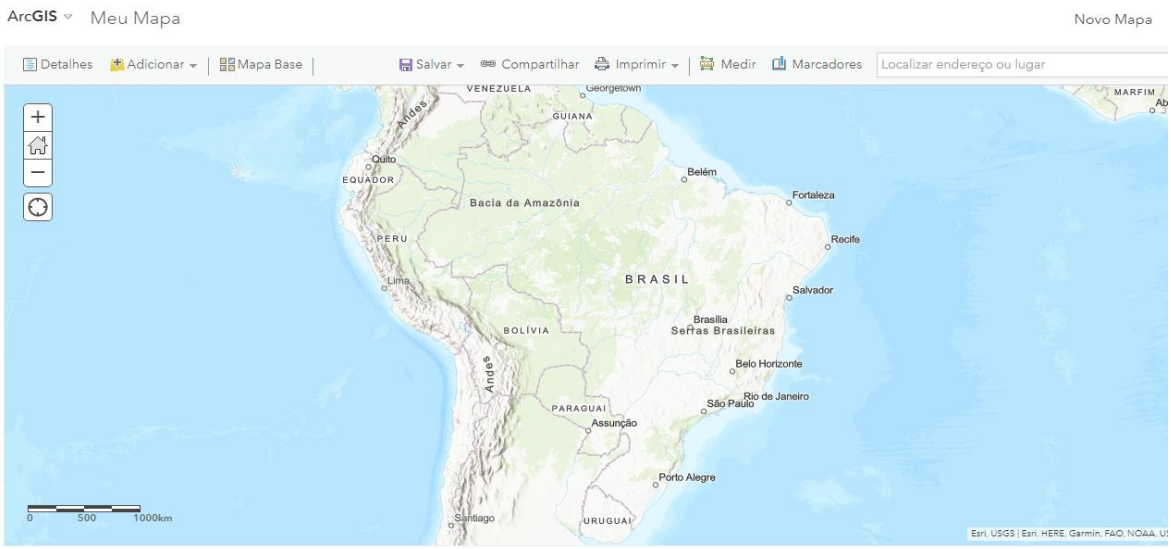


Figura 4. Janela inicial do ArcGis Online.

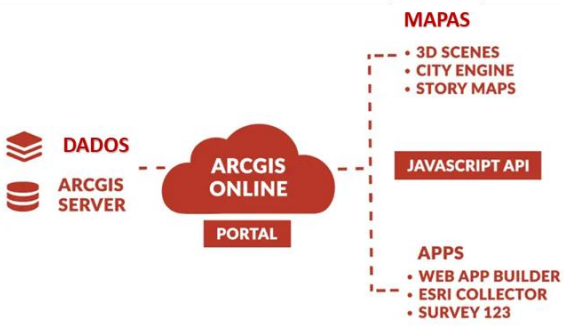


Figura 5. Estrutura de funcionamento do ArcGis Online.
Fonte: https://gisgeography.com/web-mapping/ [8]

3.3.2. Carto

Os serviços de Web Postgres + PostGIS são os alicerces da plataforma Carto, o que permite controlar um banco de dados por meio de gerenciamento direto. Essas ferramentas são boas pois permitem ao usuário trabalhar e utilizar a plataforma sem a necessidade de configurações, backups ou atualizações rotineiras. É uma ferramenta robusta pensada para usuários com algum conhecimento de programação, porém aqueles interessados em adotar seu uso, mas que não tenham conhecimento de programação, podem se beneficiar de algumas funcionalidades já implementadas. A Figura 6 destaca um exemplo de aplicação do Carto e a Figura 7 sua estrutura de funcionamento.

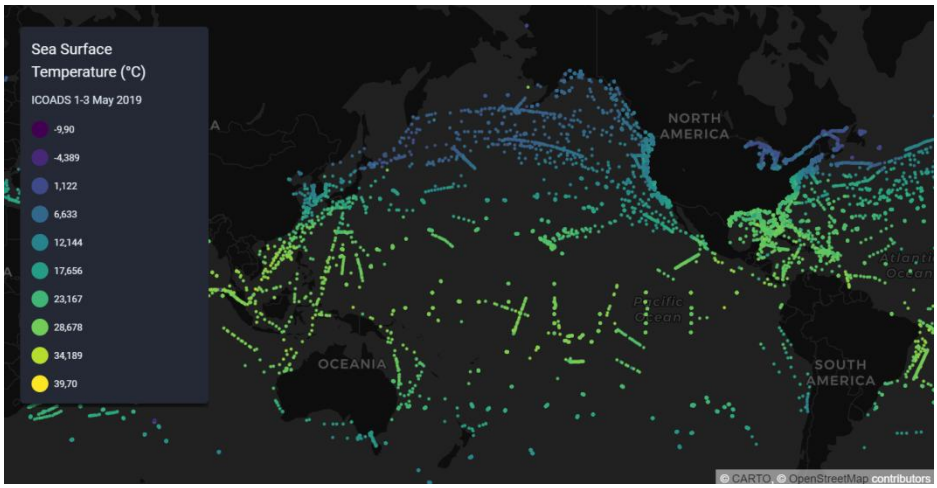


Figura 6. Plataforma Carto e um exemplo de mapeamento da temperatura superficial dos oceanos em maio de 2019 (elaboração do autor utilizando a plataforma).

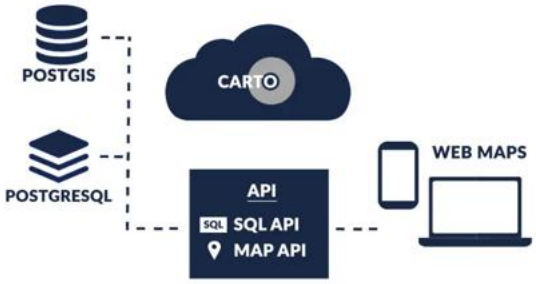


Figura 7. Estrutura de funcionamento do Carto.
Fonte: https://gisgeography.com/web-mapping/ [8].

3.3.3. Mapbox

Mapbox foi pensado para uso por programadores, como o Carto, no entanto, da mesma forma, há muitas aplicações implementadas para uso por não especialistas em programação. Uma das vantagens é a ótima interface visual de acessos aos dados. Trabalha com bibliotecas JavaScript e muitos plug-ins para estender as funcionalidades. A Figura 8 destaca um exemplo de aplicação do Mapbox.

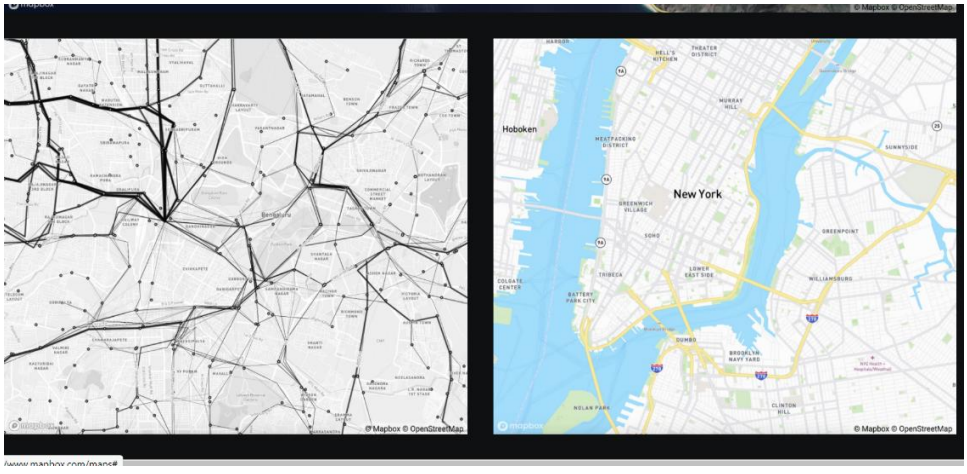


Figura 8. Plataforma Mapbox e possíveis aplicações (elaboração do autor utilizando a plataforma).

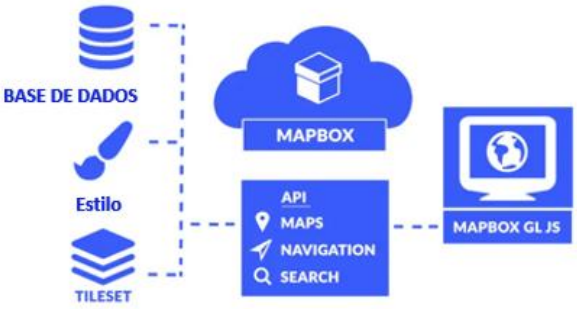


Figura 9. Estrutura de funcionamento do Mapbox.
Fonte: https://gisgeography.com/web-mapping/ [8].

3.3.4. Mango Map

De todas as plataformas mencionadas até aqui a Mango Map possui a mais fácil interface para a publicação de dados. Há uma baixa complexidade o que facilita o acesso por qualquer usuário. Não há a necessidade de programar para começar a utilizar a plataforma.

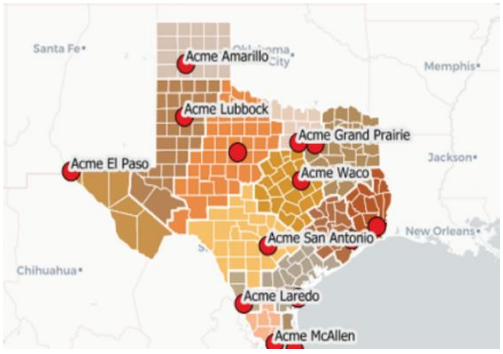


Figura 10. Mango Map ferramenta (elaboração do autor utilizando a plataforma).

Figura 11. - Estrutura de funcionamento do Mango Map.
Fonte: https://gisgeography.com/web-mapping/ [8].

3.3.5. GIS Cloud

Segundo Kholoshyn *et al*. [9] as principais vantagens do GIS Cloud são: acesso ininterrupto às informações desde que esteja em qualquer computador conectado a internet; não há necessidade de instalar um pacote GIS em seu computador; armazenamento de dados pessoais na nuvem: pacotes de mapas, camadas, dados tabulares (atributos); acesso aos recursos espaciais preparado e publicado por outros

usuários (vários mapas, desde físicos e geográficos até econômicos e políticos, imagens de satélite, mapas históricos, mapas interativos, entre outros); possibilidade de criação de mapas interativos, bem como criação baseada na web aplicativos baseados em modelos pré-fabricados sem o uso de ferramentas de programação; facilidade de cooperação integrada entre os usuários dentro de uma organização educacional.

Figura 12. GIS Cloud ferramenta (elaboração do autor utilizando a plataforma).

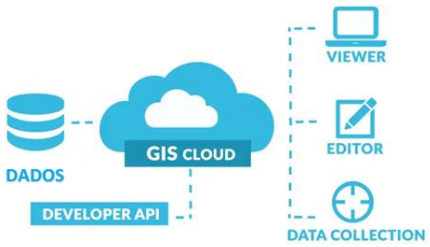


Figura 13. Estrutura de funcionamento do GIS Cloud
Fonte: https://gisgeography.com/web-mapping/ [8].

3.3.6. Google Earth Engine

O Google Earth Engine (GEE) é uma plataforma para análise científica e visualização de conjuntos de dados geoespaciais para uso acadêmico, empresarial, governamental e sem fins lucrativos. A plataforma hospeda imagens de satélite e as armazena em um arquivo de dados público que inclui imagens históricas da Terra, uma sequência temporal de mais de 40 anos de imagens, coletadas e disponibilizadas diariamente, para mineração de dados em escala global. O catálogo de dados é combinado com poder de computação escalonável apoiado pelos centros de dados do Google e interfaces de programação de aplicações que permitem implementar perfeitamente seus fluxos de trabalho geoespaciais existentes, permitindo análise e visualização de grandes áreas. A Figura 14 destaca as plataformas do Google Earth Engine.

Figura 14. Plataformas de processamento de dados GEE (elaboração do autor utilizando a plataforma).

Vasconcelos [10] relata que a ideia de criar uma ferramenta gratuita com o potencial do GEE surgiu em 2008, quando a Google esteve no Brasil para lançar um projeto. Observou-se então que existia uma necessidade de criar esse tipo de plataforma, após muitas reuniões no Brasil e nos Estados Unidos, envolvendo os esforços de vários pesquisadores, em 2009 durante a Convenção do Clima em Copenhague, foi apresentada uma versão beta do que hoje é o Google Earth Engine.

Sobre a plataforma GEE conseguimos encontrar no próprio site as seguintes informações: é uma plataforma de computação que permite aos usuários executar análises geoespaciais na infraestrutura do Google. O usuário precisa ter uma conta no Google para fazer login e ter acesso ao Earth Engine. Existem várias maneiras de interagir com a plataforma. O Editor de código do Earth Engine é um IDE (ambiente de desenvolvimento integrado) baseado na web para a API (interface de programação de aplicações) JavaScript do Earth Engine. Os recursos do Editor de código são projetados para tornar rápido e fácil o desenvolvimento de fluxos de trabalho geoespaciais complexos. O Explorer é um aplicativo da web leve para explorar nosso catálogo de dados e executar análises simples, para quem não é desenvolvedor. Ele permite que qualquer pessoa visualize os dados do catálogo público de dados. Os usuários conectados ao Google Earth Engine podem importar dados, executar análises simples, salvar e exportar os resultados. As bibliotecas encontradas na plataforma fornecem conjuntos de funções Python e JavaScript em torno da interface de programação de aplicações da web [11].

Segundo Gorelick *et al*. [11] entre os conjuntos de dados disponíveis estão todo o catálogo Landsat EROS (USGS/NASA), vários conjuntos de dados MODIS, Sentinel-1, NAIP, dados de precipitação, dados de temperatura da superfície do mar, dados climáticos CHIRPS e dados de elevação. Os usuários também podem fazer upload de

seus próprios dados para análise no Earth Engine, com controle total sobre o acesso, o GEE permite que você envie seus próprios dados raster e vetoriais (por exemplo, arquivos GeoTIFF ou Shapes) para análise. Além da possibilidade de compartilhar e publicar os resultados e scripts de análise diretamente com outros usuários ou simplesmente fazer o download e compartilhar como faria com qualquer outro dado.

Um estudo recente, Amani *et al*. [12], que visa explorar de forma abrangente diferentes aspectos da plataforma e várias aplicações do GEE, incluindo seus conjuntos de dados, funções, vantagens e limitações, constatou que a plataforma do Google Earth Engine tem sido utilizado para uma grande variedade de aplicações, como planejamento urbano, classificação de uso e cobertura da terra, hidrologia, agricultura, vegetação, análises climáticas e processamento de imagens, além disso confirmou um grande aumento no volume de publicações nos últimos anos e há a expectativa que a plataforma seja cada vez mais utilizada para resolver desafios de processamento de *Big Data*.

O Google Earth Engine é uma poderosa plataforma com diversos recursos e qualidades, porém também possui suas limitações tanto na infraestrutura de nuvem, como em API, dados e funções.

O primeiro ponto de destaque serão as restrições, afinal são relativamente pequenas, mas é muito importante o usuário estar ciente delas: mesmo os dados sendo privados na conta do usuário, eles são armazenados nos servidores de uma empresa; a análise de imagens é restrita às ferramentas da API; alguns métodos de pré-processamento como correção atmosférica não são implementados; a classificação de imagens pode ser melhorada pela análise de imagens baseada em objetos, o algoritmo de segmentação para esse fim não é eficiente; ao longo do processo se precisar baixar dados para análise posterior pode haver demora pelo tamanho do mapa ou limitações da internet; poucos algoritmos de classificação e regressão, como CART, RF e SVM; limitações das aplicações de SAR por motivo de incompatibilidade com a infraestrutura; limitações com relação ao uso de algoritmos complexos de aprendizado de máquina; número limitado de recursos ou amostras de treinamento nos métodos de classificação.

As vantagens do GEE são incontáveis, entre elas existem as já descritas vantagens da Computação em Nuvem, como não precisar baixar e gerenciar dados localmente; com as operações sendo realizadas em paralelo nas CPUs e GPUs do Google, podendo processar, no caso específico do Earth Engine, petabytes de dados de sensoriamento remoto em grandes escalas geográficas e em longas coberturas temporais, além da possibilidade de fazer upload e compartilhar seus próprios conjuntos de dados; existem também recursos de filtragem e classificação rápidos permitindo que os usuários selecionem seus dados desejados entre milhões de imagens com base em várias especificações espaço-temporais.

GEE é combinado com uma poderosa interface de programação baseada na web. Os usuários acessam facilmente os dados de sensoriamento remoto arquivados por meio da API (interface de programação de aplicações) JavaScript e Python e cada uma delas tem as suas facilidades. O conceito simples de usar essas duas APIs permite que os usuários se concentrem na lógica da seleção de dados e no fluxo de trabalho programável, um editor de código online também está disponível para escrever scripts, depurá-los e ver os resultados logo após a compilação. A biblioteca do Google Earth Engine também é uma de suas vantagens, existe nela inúmeras funções e algoritmos como de processamento de imagem e vetorial, aprendizado de máquina, análise geométrica que permite o usuário elaborar seu projeto, além de alguns tutoriais de códigos e métodos de importação e exportação de dados facilitados pelo GEE.

Outra vantagem diz respeito aos dados, um vasto conjunto de dados de sensoriamento remoto, meteorológico, geofísico, incluindo os mais de 40 anos de imagens Landsat, muito importante para análise temporal. Existem os dados e metadados originais na plataforma, mas as resoluções são gerenciadas por ela para ser eficiente em vários níveis de zoom. Existem dados pré-processados e dados brutos, bem como produtos derivados, índices espectrais populares (por exemplo, NDVI) já estão calculados. Além de todos esses pontos positivos expostos até aqui, na página inicial, o usuário consegue ter acesso a estudos de caso mundialmente famosos e ver do que essa ferramenta é capaz.

Para exemplificar as inúmeras funcionalidades da plataforma, na Figura 15 podemos ver uma classificação, onde a seleção das amostras (pelo usuário) feita em uma imagem da própria base de dados e utilizando um algoritmo (CART) foi feita quase instantaneamente.

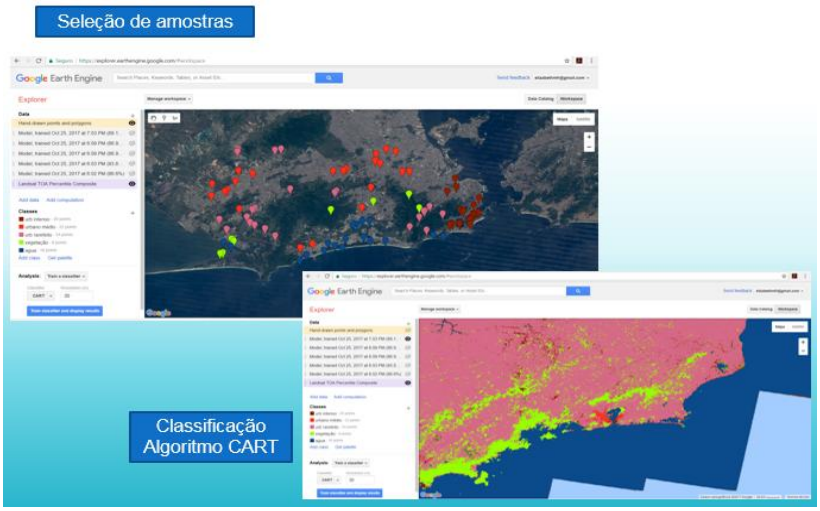


Figura 15. Classificação simples feita no GEE (elaboração do autor utilizando a plataforma).

3.5. Potenciais e usos para pesquisa e ensino

É importante destacar os potenciais usos das plataformas nas pesquisas e no ensino remoto da Geografia.

3.5.1. Potenciais ações e usos das plataformas de mapeamento WEB

A Tabela 1 destaca os principais potenciais de uso das plataformas apresentadas, ressaltando o nível de dificuldade para acesso e uso dos dados. Foram classificadas em 3 níveis de dificuldade (baixa, média e alta) com possibilidade de uso em atividades de pesquisa e ensino.

Como principais desafios e perspectivas para o uso dessas plataformas pode-se citar: o pouco conhecimento sobre o acesso e uso as versões; a delimitação dos melhores insumos (imagens, dados e modelos) para obtenção de informação relevante para Geografia; e o preparo e formação de futuros geógrafos com conhecimento suficiente para a implementação de ferramentas de análise e o custo de acesso ao potencial completo dessas ferramentas.

Tabela 1. Potencial de uso e níveis de dificuldade das plataformas WEB.

AÇÕES	ARCGIS ON LINE	CARTO	MAP BOX	MANGO MAP	GIS CLOUD
Criação e edição de dados					
Publicação de mapas e dados					
Ferramentas para Análise Espacial					
Introdução de dados externos					

Baixo Médio Alto

3.5.2. Google Earth Engine

A Tabela 2 destaca os principais potenciais de uso do GEE ressaltando as temáticas beneficiadas e insumos.

Para o completo entendimento sobre a manipulação da plataforma *Google Engine Explorer* recomenda-se a leitura dos manuais disponíveis no *website* da *Google*. Do conjunto de ferramentas pré-definidas e disponíveis cabe destacar: o conjunto de imagens DMSP-OLS *Nighttime Lights Time Series Version* 4, os mosaicos anuais do Landsat TOA Percentile Composite; a ferramenta para classificação e seleção de amostras Hand-drawn points and polygons e os modelos de relevo SRTM Digital Elevation Data com resolução de 30m.

O conjunto de imagens DMSP-OLS *Nighttime Lights Time Series Version 4* representa uma série histórica de imagens noturnas que mensura a cada ano, a quantidade e intensidade de luz emitida durante a noite no globo terrestre. As imagens de satélite possuem uma resolução espacial de 900 m² e possibilitam uma série de análises espaciais sobre os vetores de expansão urbana. Pode-se trabalhar com a delimitação de áreas urbanas, monitoramento e expansão e ainda aspectos particulares como a questão energética e política.

Os mosaicos anuais do Landsat TOA Percentile Composite em conjunto com a ferramenta para classificação e seleção de amostras Hand-drawn points and polygons pode permitir a execução de várias classificações de uso e cobertura do solo.

Também estão disponíveis dados de relevo, sensores com aplicação para análise climática (dados do satélite NOAA), e outros com maior resolução espacial (imagens do satélite Sentinel).

Como principais desafios e perspectivas pode-se citar: a criação de métodos visando o monitoramento de desmatamento em tempo real de forma automática; a delimitação dos melhores insumos (imagens e modelos) para obtenção de informação relevante para Geografia; e o preparo e formação de futuros geógrafos com conhecimento suficiente para a implementação de ferramentas de análise. É importante destacar dentre as iniciativas nacionais com o uso da plataforma Google Earth Engine, a construção do portal MapBiomas. Trata-se de um projeto que visa produzir mapas anuais da cobertura e uso do solo no Brasil, desde 1985 até os dias atuais. Os mapas irão disponibilizar informações e estatísticas sobre a cobertura e uso do solo para cada

ano, em diversas escalas (município, estado, bioma), e também as transições de um ano para o outro. A partir dos mapas produzidos será possível identificar as transformações do uso da terra em áreas com floresta, pastagens, agricultura, reflorestamento e áreas urbanas, dentre outros temas, em todo o território nacional.

Tabela 2. Potencial de uso do GEE e temáticas para a Geografia.

Temáticas de estudo (Geografia)	Descrição da aplicação	Uso de imagens DMSP-OLS Nighttime Lights Time Series Version 4	Landsat TOA Percentile Composite	Hand-drawn points and polygons	Sentinel-2: MultiSpectral Instrument (MSI), Level-1C	MODIS 1-Year NBAR Mosaic	NOAA CDR AVHRR Normalized Difference Vegetation Index Version 4	Mangrove Forests of the World (2000)	WorldPop project population data: Estimated residential population per 100x100m grid square	SLGA: Soil and Landscape Grid of Australia (Soil Attributes)
	Geografia Urbana e População									
	Geografia Agrária									
	Geografia Regional									
	Geografia Política e Econômica									
	Geografia Fisica									
	Geologia, Geomorfologia									
	Pedologia e Recursos Hídricos									
	Climatologia e Biogeografia									
Processo de Globalização e a constituição da rede global de cidades	Delimitação e monitoramento									
O processo de urbanização e recorte espacial	Delimitação e monitoramento									
Organização do espaço interno das cidades e segregação social urbana	Delimitação e análise espacial									
mobilidade urbana	Definição de fluxos/Rede									
Vulnerabilidade e risco ambiental	Criação de indicadores									
Planejamento e Gestão	dentificação e mensuração de áreas									
Geomorfologia: Processos exógenos e endógenos, formas de relevo e/ou pedologia	Delimitação e análise espacial									
As dimensões espaciais do poder; Poder, Território e Territorialidade; Limites e fronteiras	Reconhecimento de padrão espacial									
A produção e consumo do espaço	Reconhecimento de padrão espacial									

4. Conclusão

Com as mudanças que estão acontecendo nos últimos tempos, a busca por novas demandas tecnológicas devido a forçada adaptação ao meio online, remoto e digital por ocorrência da pandemia de Covid-19, fica notável a necessidade dos profissionais por demandas de ferramentas inovadoras e de como usá-las, o desafio é entender

como elas podem ser aplicadas ou quais seus potenciais, tendo em vista as diferentes nuances dos contextos sociais e econômicos.

Considerando o cenário ideal para um professor em que todos os alunos têm acesso a um computador com internet, pode-se dizer que nesse contexto, com a nova realidade, as plataformas se mostram úteis no que se refere a ensino a distância. Elas são intuitivas para alguém que está familiarizado com os softwares desktops utilizados tradicionalmente, em relação os dados, os usuários podem utilizar os que são disponibilizados pelas plataformas (ArcGIS Online e GEE tem uma base de dados própria, o que garante que que análises sejam feitas sem importar nenhum dado de outras fontes se não houver necessidade), mas se forem dados importados são facilmente incorporados por elas, ambas as plataformas tem facilidade no acesso e são grátis, compartilhar dados com outros usuários também não é difícil.

Todas as plataformas contam com mapas interativos, funções, aplicações, e opções de compartilhamento e pode-se afirmar que essas plataformas podem contribuir para democratização do acesso e propagação desses conhecimentos no período da pandemia da covid-19.

5. Referências

[1] Amaral F. Introdução à ciência de dados: mineração de dados e big data. 1ª ed Rio de Janeiro: Alta Books Editora; 2016. 320 p.

[2] Yang C., Yu M., Hu F., Jiang Y., Li Y. Utilizing Cloud Computing to address big geospatial data challenges. Computers, Environment and Urban Systems 2016; 61(B): 120:128. https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2016.10.010.

[3] Viana J.M.A. Representação colaborativa de dados científicos: estudo na rede de repositórios de dados científicos do estado de São Paulo. Dissertação de Mestrado. São Paulo: Universidade Federal de São Paulo; 2020.

[4] Fenilli A.T.R., Marchi K.R.C. Computação em nuvem: um futuro presente. Paranavaí, 2011. Disponível em: <https://docplayer.com.br/642983-Computacao-em-nuvem-um-futuro-presente.html>. Acesso em: 15 de mar. 2021.

[5] Medeiros M.C.P. Análise da implantação de computação em nuvem: estudo de caso na Alfa Informática.net – Caicó. Currais Novos. Trabalho de Conclusão de Curso. Caicó: Universidade Federal do Rio Grande do Norte; 2015.

[6] Rountree D., Castrillo I. The Basics of Cloud Computing: Understanding the Fundamentals of Cloud Computing in Theory and Practice. Elsevier; 2013. https://doi.org/10.1016/C2012-0-02521-5.

[7] GIS Lounge e MappingGIS. https://www.gislounge.com/ e http://mappinggis.com/2017/01/10-aplicaciones-gis-en-la-nube-para-publicar-mapas-en-la-web/. Acesso em: 01 de nov. 2020.

[8] GISGeography. https://gisgeography.com/web-mapping/. Acesso em: 01 de fev. 2021.

[9] Kholoshyn I.V., Bondarenko O.V., Hanchuk O.V., Shmeltser E.O. Cloud ArcGIS Online as an innovative tool for developing geoinformation competence with future geography teachers Ucrânia, 2019. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/1909.04388> Acesso em: 15 de mar. 2021.

[10] Vasconcelos Y. Colaboração do céu. Revista Pesquisa FAPESP 230**.** São Paulo. p64-69. Abril. 2015. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2015/04/064-069_Google-Engine_230.pdf>. Acesso em: 15 de mar. 2021.

[11] Gorelick N., Hancher M., Dixon M., Ilyushchenko S., Thau D., Moore R. Google Earth Engine: análise geoespacial em escala planetária para todos. Sensoriamento Remoto do Meio Ambiente <https://earthengine.google.com/>.

[12] Amani M., Ghorbanian A., Ahmadi S.A., Kakooei M., Moghimi A., Mohamm S. Google Earth Engine Cloud Computing Platform for Remote Sensing Big Data Applications: A Comprehensive Review. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing 2020; 13:5326-5350. https://doi.org/10.1109/JSTARS.2020.3021052.

Autores

Haillany Silva de Souza, Sherlyê Francisco de Carvalho, Elizabeth Maria Feitosa da Rocha de Souza*

Departamento de Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rua Athos da Silveira Ramos 274 – CCMN – Bloco I Sala 12, Rio de Janeiro, Brasil.

* Autor para correspondência: elizabethmfr@gmail.com

CAPÍTULO 7

Aplicabilidades do sensoriamento remoto no ensino de geografia

Cibele Stefanno Saldanha, Marcia Elena de Mello Cardias, Mauro Kumpfer Werlang

https://doi.org/10.4322/mp.978-65-991393-8-3.c7

Resumo
A terminologia sensoriamento está frequentemente correlacionada ao processo de aquisição de dados ou informações sobre algo, um objeto ou entidade. O termo remoto por sua vez, transmite a ideia de algo feito à distância, sem que haja contato direto com o objeto. As constantes transformações tecnológicas impõem aos educadores novos ritmos e perspectivas na forma de ensinar e aprender. Assim é necessário que o educador se mantenha em permanente estado de aprendizagem e adaptações. Na educação, a utilização de geotecnologias auxilia os educandos a participarem e construírem seus conhecimentos. Dessa forma, desenvolve-se neles o senso reflexivo e crítico, pois estudarão sobre o contexto no qual estão inseridos na sociedade. O uso das geotecnologias provenientes do sensoriamento remoto, quando utilizadas como recursos didáticos em salas de aula, apresentam contribuições significativas para o processo de ensino e aprendizagem. Ao partir do pressuposto da conjectura de que, embora o uso de imagens de satélites e fotografias aéreas sejam frequentemente utilizadas pelos meios de comunicações e, que essas ilustram e exemplificam diversos conteúdos, são raros os educadores que exploram todo o potencial do sensoriamento remoto e suas atribuições. Nesse sentido, suscita-se como problema a falta de aptidão e despreparo por parte de alguns educadores acerca da utilização e dos meios de ensinar o sensoriamento remoto. Diante do exposto têm-se como objetivo apresentar as diversas aplicabilidades e práticas cotidianas do sensoriamento remoto no âmbito escolar. Para isso, busca-se apresentar os meios e técnicas que foram eficazes na utilização do sensoriamento remoto em sala de aula. Para tal fim, foi realizado um levantamento bibliográfico de trabalhos que abordam os distintos gêneros de aplicações e benefícios que a técnica produziu e, portanto, sugere-se ser explorada pelos educadores em sala de aula. Mediante as investigações propostas nesta pesquisa, conclui-se que as imagens aéreas colaborem de forma significativa no processo de ensino e aprendizagem, desta forma, é indispensável que os educadores estejam capacitados e entusiasmados para desenvolver um bom trabalho, com o apoio das geotecnologias.

Palavras-chave: geografia escolar, geotecnologias; imagens de satélites.

1. Introdução

O avanço tecnológico especialmente no que tange o campo da informação e da comunicação tem provocado grandes impulsos no que diz respeito as transformações sociais, transformações que ocorrem cada vez mais rápidas. O resultado que esses avanços trazem estão relacionados ao aumento da capacidade de observação do espaço inserido em diversas escalas o que possibilita o monitoramento das

Joceli Augusto Gross (Ed.) © 2021 Mérida Publishers CC-BY 4.0

modificações na superficie terrestre. Na educação as transformações não ocorrem na mesma intensidade da tecnología gerando assim distancias a serem recuperadas ao ensinar. A informática está cada dia mais presente na sala de aula, através de suas diversas plataformas que permitem o aprimoramento no processo de ensino e aprendizagem. Com isso ela é percebida pelos professores como um poderoso instrumento facilitador no ensino.

A Geografia compreende o sensoriamento remoto como uma tecnología que permite o desenvolvimento de estudos mais criteriosos e detalhados sobre a superficie terrestre. Conforme afirma Carvalho [1] a utilização de imagens de satélites e fotografías aéreas na educação básica configuram avanços consideráveis no que refere-se a qualidade de ensino principalmente na Geografia, através desta ferramenta é possível verificar a capacidade de dinamismo dos estudos e percepção do espaço geográfico, pois através deste é plausível sanar problemas que ocorrem no ensino da Geografia. Neste contexto, o cenário atual e as transformações tecnológicas colocam os professores em condições de aprimoramento em seus métodos de ensino e aprendizagem.

Este estudo justifica-se pela necessidade de difundir as imagens de satélites em sala de aula e atender as orientações que estão dispostas na Base Nacional Comum Curricular (BNCC), muitos livros didáticos ilustram e exemplificam diversos conteúdos curriculares através das imagens de satélite, entretanto, este recurso didático ainda é pouco explorado pelos educadores na escola. Segundo Kramer *et al*. [2] o uso de técnicas avançadas para a visualização do espaço geográfico, como imagens de satélites e fotografias aéreas, proporcionam uma nova forma de vislumbrar e compreender o espaço e, desta forma, é possível trabalhar diversos conteúdos como: geomorfologia, recursos hídricos, áreas urbanas, climatología, ensino de cartografia, vegetação dentre outros.

O presente estudo tem como objetivo expor a todos educadores as diversas aplicabilidades e práticas cotidianas do sensoriamento remoto no âmbito escolar, apontando os beneficios desta técnica no ensino quando bem utilizadas, sendo esta é acessível para qualquer professor que deseja desenvolver este trabalho. Para tal, busca-se difundir os meios e técnicas que foram eficazes na utilização do sensoriamento remoto em sala de aula, como sugestão de trabalhos que podem ser adaptados de acordo com a realidade de cada escola. Para tal fim, a metodología realizada foi investigativa através do levantamento bibliográfico de trabalhos que abordam os distintos gêneros de aplicações e benefícios que a técnica produziu, e portanto sugere-se ser explorada pelos educadores em sala de aula.

De acordo com Kramer *et al*. [2] há uma grande necessidade de utilizar-se a técnica de sensoriamento remoto nas escolas. Portanto, é preciso que os professores venham a trabalhar com conteúdos e recursos didáticos que qualifiquem os alunos para a vida na sociedade moderna e tecnológica. Nesse sentido, tanto a Lei 9394/96 de Diretrizes e Bases da Educação como os Parâmetros Curriculares Nacionais – PCNs propõem a inserção de novas tecnologias no processo ensino e aprendizagem. Segundo o MEC [3] considera que os novos Parâmetros Curriculares Nacionais reforçam a importância do uso do sensoriamento remoto como recurso educacional, sobretudo pela possibilidade de se extraírem informações espaciais.

2. Desenvolvimento

2.1. Referencial Teórico

2.1.1. O uso das geotecnologias

Segundo a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) é oportuno a utilização das Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC). Elas são instrumentos de mediação aliados do professor no proceso de ensino e aprendizagem nas escolas. Os professores em especial devem contribuir para que o estudante aprenda a obter, transmitir, analisar e selecionar informações [3] proporcionando um papel ativo ao estudante.

Para Masseto [4] as novas tecnologías apresentam-se com um instrumento que vem para colaborar no desenvolvimento da aprendizagem. Entretanto não é a tecnología que irá resolver ou solucionar o problema educacional do Brasil, contudo ela é uma ferramenta que poderá colaborar efetivamente se forem utilizadas adequadamente, para o desenvolvimento educacional de nossos estudantes.

De acordo com Lima [5], as TICs não combinam com velhos hábitos, entretanto é necessário o uso fundamentado nas perspectivas construtivistas ou sociointeracionistas. Desta forma, busca-se uma aprendizagem ativa, na qual o aluno interaja com os recursos tecnológicos, mas que, além disso, seja um aluno crítico capaz de construir conceitos e compartilhar conhecimentos com seus colegas, através do diálogo.

Os recursos tecnológicos de forma geral, associados ao ensino não possuem a finalidade de reproduzir conteúdos ou técnicas, mas de proporcionar a realização de aulas mais criativas, motivadoras. Esta dinâmica envolve os alunos para as novas descobertas e aprendizagens [6]. Segundo Masseto [4], através das TICs é possível formar um ambiente reflexivo e investigativo, tornando as aulas mais interativas e desafiadoras

As geotecnologias são reconhecidas por fazer parte do geoprocessamento, ou seja, fazem parte de um conjunto de técnicas na qual são coletadas, processadas, analisadas e colocadas à disposição como referência geográfica. A geotecnologia é o conceito desenvolvido através das tecnologias de informação, e é utilizada pela geografia, cartografia, topografia entre outras ciências que contemplam o estudo geográfico. Desta forma, as geoinformações são aquisições de materiais que farão parte de análise ou processamento, que nesta área, é chamada de informações georeferenciadas, com dados mais precisos e imagens em tempo real.

O uso das geotecnologias pode ser entendido como as novas tecnologias ligadas às geociências as quais trazem avanços significativos no desenvolvimento de pesquisas, em ações de planejamento, em processos de gestão e manejo e, em tantos outros aspectos relacionados à estrutura do espaço geográfico. Essas considerações tornam-se importantes à medida que profissionais das mais diversas áreas atuam diretamente com as questões espaciais. Entretanto, a interatividade necessária para que se possa trabalhar o meio ambiente como um todo, de forma interdisciplinar, torna necessária uma busca por ferramentas e técnicas qualificadas para sua concretização. A inserção de profissionais de diferentes áreas do conhecimento, torna-se essencial para um bom resultado dos trabalhos desenvolvidos [7].

O Sistema de Informação Geográfica (SIG), é utilizado no planejamento e execução de estudos e atividades fundamentais na geografia, tendo a função de captura, armazenamento, visualização, manipulação, interpretação e exportação de dados geográficos a fim de viabilizar a correta gestão dos recursos naturais. Para as geotecnologias, ter seu aproveitamento efetivo é fundamental obter boas fontes de dados, assim como um bom entendimento do problema que será desenvolvido, de forma a conceber análises que forneçam resultados mais expressivos. Além disso, é imprescindível haver o domínio acerca da informática, sensoriamento remoto,

geomática e geografia. O avanço tecnológico proporciona a integração de dados em um ambiente computadorizado intitulado como Sistema de Informação Geográfica, que propicia a reprodução de feições e fenômenos terrestres. Além disso, é possível analisar e interpretar um objetivo específico utilizando as infinidades de dados dos sensores remotos, bases cartográficas e diversos softwares [8].

2.1.2. O Ensino em geografia

Atualmente a geografia enfrenta inúmeros desafios, esses, são distintos e muito mais complexos dos que já se apresentaram durante a sua extensa trajetória. A indagação que vem sendo discutida nas últimas décadas é sabermos se ela está em condições de responder a esses desafios. Além disso, a geografia é uma das ciencias determinantes capazes de apontar o rumo que a humanidade está caminhando para o seu crescimento, pois, “pensando criticamente a prática de hoje ou de ontem que se pode melhorar a próxima prática” [9].

As inter-relações que ocorrem entre a educação, escola e sociedade tornam-se objetos de transformação contínua, que influenciam o modelo educacional vigente, e a relação escola/sociedade. Desta forma, o professor representa a peça chave de todo processo, sendo mediador entre o conhecimento e o ser humano, assim como na contribuição da formação de valores morais e éticos. Para Pontuschka *et al*. [10] a geografia, como disciplina escolar, tem seu papel fundamentado na contribuição para alunos e profesores, com o objetivo de enriquecer suas representações sociais e seu conhecimento sobre as múltiplas dimensões da realidade social, natural e, seu processo contínuo nas transformações na paisagem. Sobretudo, no atual momento que é denominado “mundialização da economía”.

Segundo Cavalcanti [11], o ensino escolar tornou-se um processo formado por componentes fundamentais e entre eles destaca-se os objetivos, os conteúdos e os métodos. Além disso, um dos maiores objetivos da escola, assim como o da geografia, é formar valores, ou seja, respeito ao próximo, respeito às diferenças, combate as desigualdade e às injustiças sociais. Cavalcanti [11] afirma ainda, que o ensino da geografia possui a finalidade de ação e transformação, de trabalhar o aluno juntamente com suas referências adquiridas na escola através das suas vivencias e sistematizá-las em contato com a sociedade e com o cotidiano para assim criar o pensar geográfico que leve em consideração as análises da natureza com a sociedade, como estas se relacionam e quais as dinâmicas resultantes deste processo.

O ensino de geografia pode levar os alunos a assimilação de forma ampla e vislumbrar a realidade do espaço vivido. Entretanto, é preciso que os alunos adquiram conhecimentos, dominem categorias, conceitos e procedimentos básicos com os quais este campo de conhecimento opera e constitui suas teorias e explicações, de modo a compreender as relações socioculturais e o funcionamento da natureza às quais historicamente pertence, além de conhecer e saber utilizar a forma singular no pensar geográfico sobre a realidade, ou seja, o conhecimento geográfico de fato [11].

Segundo os Parâmetros Curriculares Nacionais a geografia é a ciencia que possui um tratamento específico como área, uma vez que oferece instrumentos essenciais para compreensão e intervenção na realidade social. Por intermédio dela se pode entender como diferentes sociedades interagem no espaço geográfico com a natureza na construção deste espaço, e as singularidades do lugar em que vivemos, o que o diferencia e o aproxima de outros lugares e, assim, que estabelecemos com ele [12].

Para Santos [13] a problematização dos conteúdos é a palavra chave do pensar geográfico, quando o objetivo for a compreensão da realidade de forma ampla. A realidade deve ser problematizada a partir das vivências dos alunos, na busca da formulação de hipóteses que expliquem as relações e transformações da sociedade. Apartir dessa concepção conclui-se que o nível global e o nível local do acontecer são conjuntamente essenciais ao entendimento do mundo e do lugar. Mas o acontecer local é referido ao acontecer global.

2.1.3. O Sensoriamento remoto na educação

Atualmente as escolas estão relacionadas com a necessidade de acompanhar a evolução decorrente da introdução das tecnologias na sociedade. Do contrário, em vez de relacionar-se com o mundo em que vivemos, a escola tenderá a distanciar-se dele e poderá mesmo constituir um obstáculo ao desenvolvimento exigido por um meio em constante evolução [14]. Neste contexto, as geotecnologias se fundamentam como ferramentas imprescindíveis no proceso de ensino e aprendizagem em sala de aula.

Segundo Ferreira e Cunha [15], a informática está cada dia mais inserida nas escolas, seja pela internet, multimídia, seja pela utilização de novas tecnologias. Essas consistem no aproveitamento do processo da aprendizagem e, tem sido indicada como uma ferramenta fundamental e facilitadora do trabalho dos professores, em especial dos professores de Geografia. Neste sentido, o uso da Informática vem contribuindo com os professores na tarefa de transmitir o conhecimento e adquirir novas formas de ensinar cada vez mais criativas e dinâmicas, auxiliando novas descobertas e investigações [16].

O sensoriamento remoto tem potencial para ser um instrumento de grande importância para a aprendizagem ao utilizar as tecnologias dentro dos aspectos educacionais. Neste sentido, torna-se ferramenta imprescindível nas aulas de geografia para que os alunos possam conhecer adequadamente o local em que ele está inserido, isto é a sua casa, rua, cidade e estado. Desta forma, utilizar as tecnologías nas escolas facilita a compreensão do espaço geográfico e das relações físicas e socioeconômicas. Entretanto, faltam materiais didáticos sobre esta temática abordada no que diz respeito as geotecnologias, especialmente no que tange ao sensoriamento remoto na educação básica. É evidente a necessidade de disponibilizar material didático neste ramo científico para uma melhor compreensão da geografia [17].

Florenzano [17] afirma ainda que, a aplicação do sensoriamento remoto e do sistema de informações geográficas (SIG) intensificou-se nas últimas décadas, voltada as análises ambientais e urbanas, se tornando um método frequente em diversas áreas de pesquisas. Em conformidade, com Santos [18] a técnica de sensoriamento remoto propicia a leitura integrada do espaço geográfico, uma vez que sendo utilizado nos conteúdos de geografia e aplicado como recurso didático pedagógico para a compreensão do processo de uso e ocupação dos espaços, favorece a compreensão e o entendimento das inter-relações entre as questões sociais, econômicas, políticas e culturais, as quais configuram e constroem o espaço, salientando o avanço na repercussão em diferentes períodos. Proporciona o desenvolvimento de trabalhos de campo com o uso de mapas, fotos aéreas e imagens de satélite aspirando a compreensão das questões ambientais e sócio ambientais em diversas escalas.

A Lei de Diretrizes de Bases da Educação – LDB e os Parâmetros Curriculares Nacionais – PCNs fortalecem a relevância das novas tecnologias, a exemplo do sensoriamento remoto, sendo essas um recurso educacional que está a disposição dos professores. As imagens obtidas pelos sensores remotos destacam-se pela possibilidade de extrair informações

multidisciplinares, pois nela consta dados, em uma única imagem, que podem ser empregados com diversas finalidades.

O sensoriamento remoto no ensino em geografia é utilizado a partir da análise e interpretação de imagens na qual podem ser trabalhados os seguintes conceitos: o espaço geográfico, o lugar, a localização, a interação entre o homem e o meio, a paisagem e o território, além de abrir possibilidades de realizar trabalhos em diferentes escalas. Conforme Vilhena *et al*.[19], os sensores remotos são excelentes ferramentas com alta potencialidade para serem utilizados como recurso didático no ensino em geografía. Destaca-se que esta ferramenta auxilia o professor a aproximar a realidade local e espacial. Para Santos [20] o sensoriamento remoto dispõe de diversas vantagens quando utilizado em sala de aula, pela sua abrangência espacial na qual garante a compreensão dos alunos do local abordado através das imagens, trazendo o espaço vivido mais próximo deles. Segundo Borges [21] ao empregar as imagens com ênfase nos aspectos temporais é possível analisar as transformações do espaço de forma investigativa e crítica. Através dos produtos dos sensores remotos (imagens de satélites) há oferta de uma gama de variáveis a serem estudadas.

3. Metodologia

O presente estudo é de cunho investigativo e bibliográfico. Para isso, foi proposto um levantamento bibliográfico de metodologias já desenvolvidas em outros trabalhos. Possui o propósito de sugerir práticas e aplicabilidades do sensoriamento remoto no ensino da geografia, visando facilitar o trabalho do professor de geografia quando da abordagem de conteúdos em sala de aula.

Desta forma, a primeira ação foi acessar os projetos sugeridos pelo Instituto Nacional de Pesquisa e Espaciais. A segunda pretendeu abordar a questão do lugar vinculado ao espaço geográfico. A terceira procurou demonstrar como o sensoriamento remoto pode auxiliar no ensino da disciplina de geografia. A quarta esteve relacionada a sugestão de desenvolvimento de atividades com imagens de satélites e, a quinta esteve vinculada às questões ambientais. O quadro 1 ilustra essas etapas metodológicas.

Quadro 1. Descrição das ações metodológicas.

METODOLOGIAS	DESCRIÇÃO
1- Projetos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais/INPE	Nesta ação metodológica o professor deve acessar ao *site* criado pelo INPE, que possui o projeto EducaSere. Este projeto é composto por várias ferramentas que podem auxiliar os alunos em sala de aula.
2- Estudo do lugar	Esta ação metodológica propõe etapas de ensino: Primeiramente inicia com os mapas mentais, através dos desenhos, posteriormente serão apresentadas imagens de satélites.
3- Sensoriamento Remoto no ensino de geomorfologia	Esta atividade está vinculada com o ensino de geomorfologia. A plataforma utilizada será o *Google Earth.*

4- Imagens de satélites	Para realizar esta atividade deve selecionar imagens de satélites proveniente do programa Google Earth das proximidades da escola, com a finalidade de familiarizar os educandos com o espaço vivido.
5- Metodologia vinculada a questões ambientais	Para realizar esta ação metodológica é necessário selecionar imagens de satélites de locais identificados como áreas de risco.

Cabe salientar que as ações metodológicas que foram indicadas no quadro 1, apresentam-se como propósito de sugerir práticas e aplicabilidades do sensoriamento remoto no ensino da geografia, no intuito de apenas facilitar o trabalho do professor de geografia quando da abordagem de diferentes conteúdos em sala de aula.

4. Resultados

4.1. Projetos do Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais

A aplicação dos dados do sensoriamento remoto no ensino de geografia ainda é recente. Entretanto tem gerado experiências com muito êxito. Neste sentido, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), possui projetos ligados a Divisão de Sensoriamento Remoto – DSR. Um deles é chamado de Programa Educa SeRe. Este programa foi criado pelo INPE em 1998 e tem como objetivo principal o desenvolvimento de material didático. Usa dados de sensoriamento remoto e técnicas de geoprocessamento para ensinar geografia e ciências naturais no ensino fundamental e médio. Esta metodologia está adaptada por Sausen e Coelho [22].

Os objetivos do Programa Educa SeRe é disponibilizar, com baixo custo para a comunidade em geral, dados de sensoriamento remoto dedicado à área de recursos naturais e difundir o uso de dados de sensoriamento remoto como recurso didático, nas disciplinas de ciência e geografia, tornando acessível os materiais didáticos para o ensino de sensoriamento remoto e de recursos naturais. Este projeto apresenta ferramentas que podem auxiliar no desenvolvimento das atividades. Está fragmentado em segmentos como: *Home*; Apresentação do projeto; Cartas e imagens das cidades brasileiras; Mosaicos; Cursos; Sala de aula; Eventos; Apostilas; *Downloads*; *Links*; Notícias; Tutoriais; EducARTE e Atlas. A figura 1 ilustra o mosaico produzido pelo programa EducaSere.

O Mosaico do Vale do Paraíba, Litoral Norte e Serra da Mantiqueira, possui a escala 1:350.00 e foi gerado a partir de duas imagens LANDSAT/TM, passagens de 26 de julho e 20 de agosto de 1997, órbita 21, pontos 75 e 76, publicado em parceria com o Jornal Vale Paraibano de São José dos Campos, na edição do dia 21 de agosto de 1999, em toda a região abrangida pelo Jornal Vale paraibano. Mais tarde foi impresso na forma de poster e amplamente distribuído na Bienal de Arquitetura realizada em São Paulo, neste mesmo ano, e para toda a rede de ensino de São José dos Campos. As figuras 2 e 3 representam exemplos de Carta Imagem que também são confeccionadas através do *site* do projeto Educa SeRe.

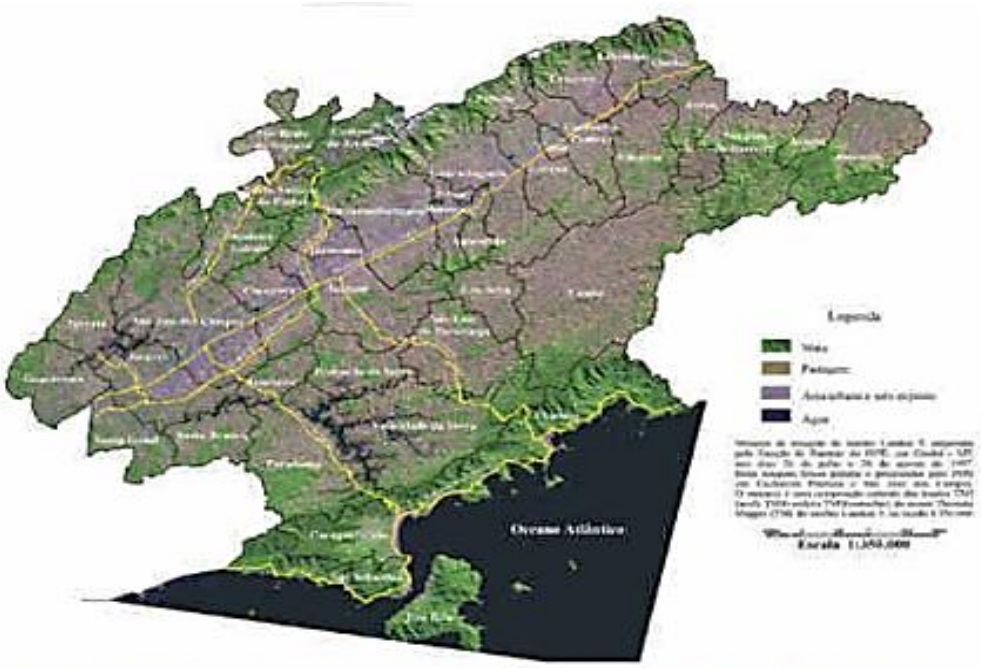


Figura 1. Mosaico do Vale do Paraíba, produzido pelo programa EducaSere. Fonte: http://www3.inpe.br/unidades/cep/atividadescep/educasere/index.htm. Acesso em 12/12/2020.

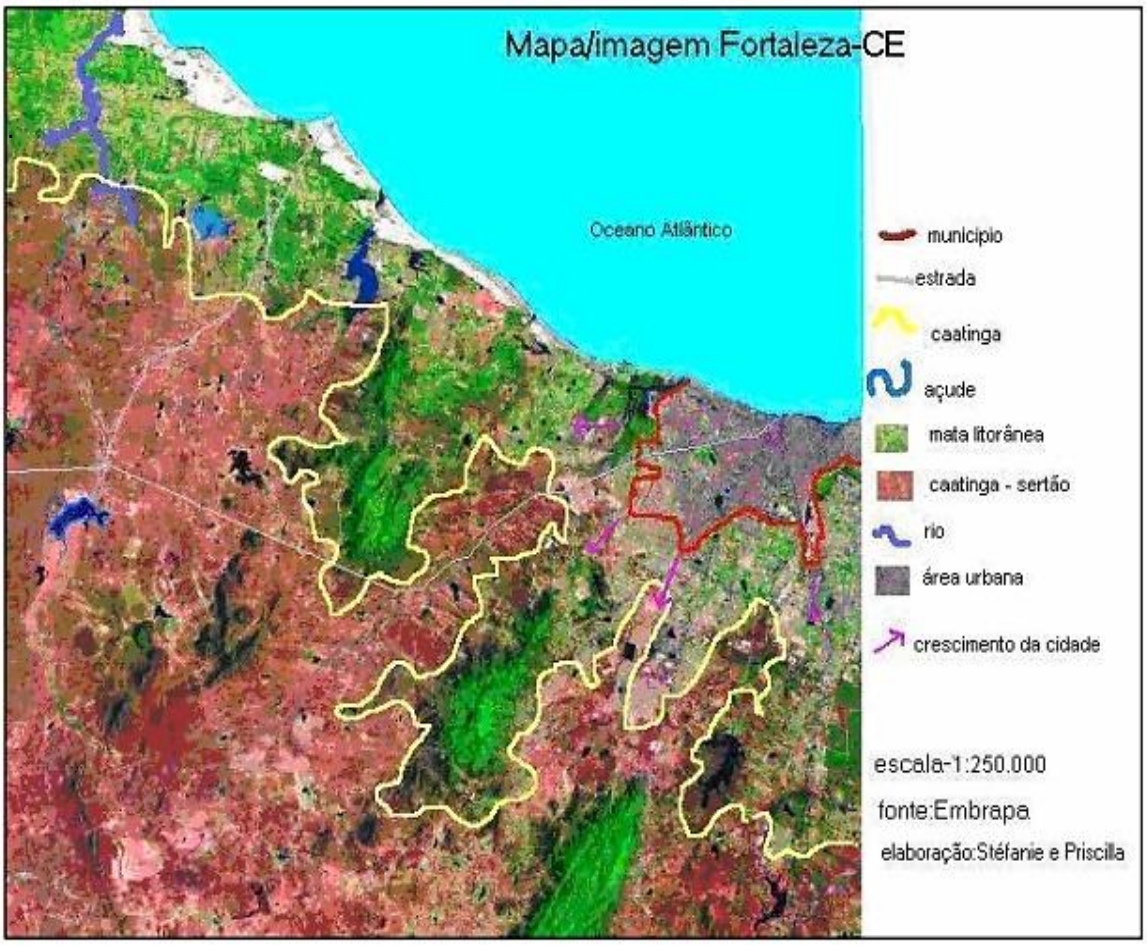


Figura 2. Carta imagem de Fortaleza/CE. Fonte: Sausen e Coelho [22].

De acordo com Sausen e Coelho [22] entende-se por carta “imagem referenciada a partir de pontos identificáveis e com coordenadas conhecidas, superposta por reticulado da projeção, podendo conter simbologia e toponímia.” A partir desta definição é possível infe rir que o georreferenciamento de uma imagen, expresso na forma de coordenadas geográficas, já define uma carta imagem. Indicações adicionais poderão compor as variaveis qualitativas que venham servir para colocar em evidências informações que se julguem necessárias. A indicação de nomes de lugares também podem servir como auxiliares na localização de elementos através de sua posição em relação ás coordenadas.

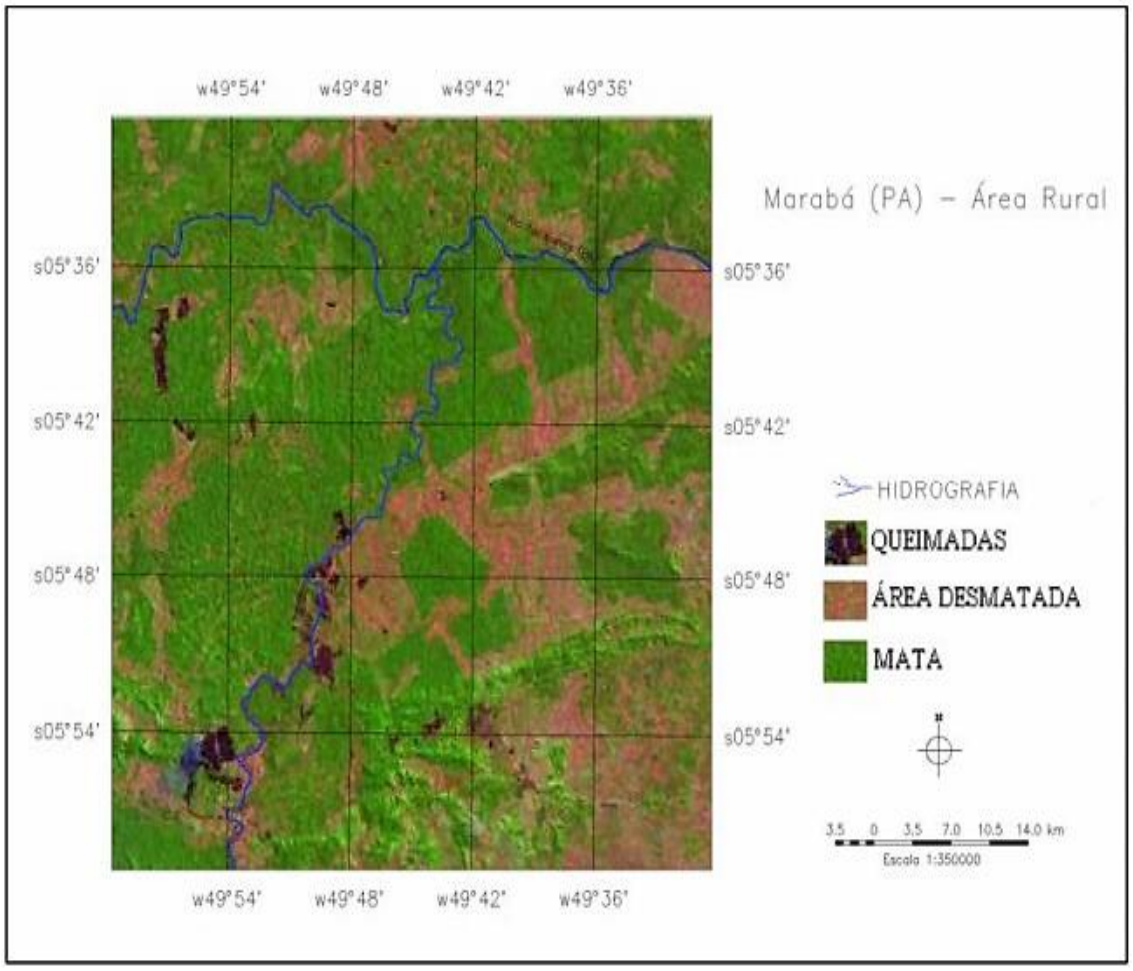


Figura 3. Carta Imagem Região Amazônica Fonte: Sausen e Coelho [22].

Na carta imagem da figura 3 é possível observar detalhes da Região Amazônica, tais como desmatamento devido a expansão agropecuária e as manchas escuras denunciando as queimadas da região. Estas são amostras das ferramentas e possibilidades que o projeto apresenta. Se possível for, esta atividade deve ser realizada no laboratório de informática da escola. Este projeto iniciou em 1998, e as primeiras cartas foram apresentadas no IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, realizado em Santos, SP, em setembro de 1998. Foram feitas 3 mil cópias, em parceria com a SELPER e distribuídas durante o Simpósio e posteriormente para todos os interessados em vários estados brasileiros e para o exterior.

4.2. Estudo do lugar

Esta atividade de ação metodológica está adaptada de Santos e Filho [23]. Nela é proposta uma sequência didática para o estudo da “categoria lugar”, onde o professor

de geografia pode inicialmente trabalhar com mapas mentais, conforme ilustrado na figura 4, e percepção ambiental por meio dos desenhos. Com eles é possível compreender como os alunos se enxergam no espaço geográfico e conseguem distinguir as rugosidades dos elementos que compõe o espaço geográfico. Possivelmente os alunos irão traçar o caminho de casa até a escola, destacando todos os elementos que encontrarem no caminho, como por exemplo igreja, supermercados, parques, árvores, moradias e, em alguns casos o relevo, entre outros varios elementos.

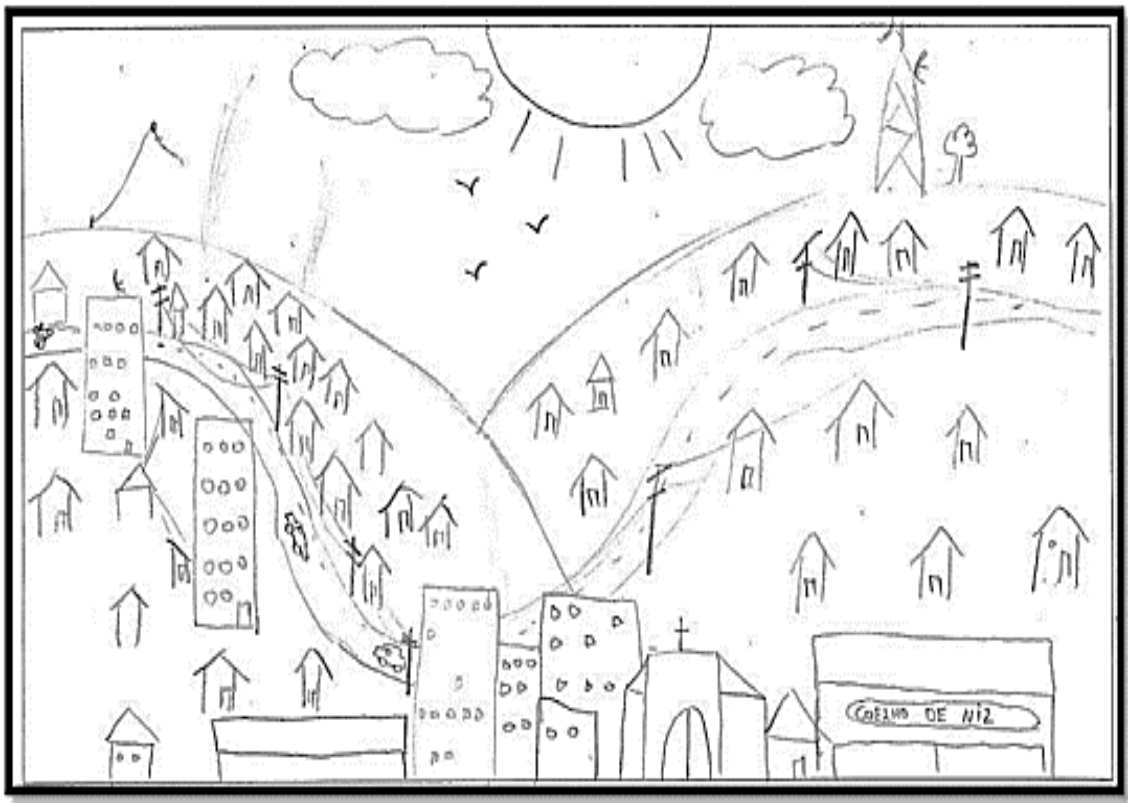


Figura 4. Exemplo de mapa mental comumente realizado pelos alunos. Fonte: Archela [24].

Após a finalização da atividade de execução dos desenhos, é sugerido que o professor avance para uma segunda etapa, na qual irá realizar a exposição de imagens de satélites da escola e das proximidades dela. Através desta prática será possivel que os alunos tenham uma boa ideia do espaço em que estão inseridos, pois os detalhes do local podem ser vistos como um todo e não separadamente. Assim, dessa forma, o espaço vivido torna-se mais fácilmente compreensível.

Conforme afirma Archela [24] os mapas mentais são imagens espaciais que as pessoas têm de lugares conhecidos, direta ou indiretamente. Portanto, essas representações espaciais mentais podem ser, por exemplo, do espaço vivido ou de acontecimentos sociais.

4.3. Sensoriamento remoto no ensino de geomorfologia

A presente ação metodológica está adaptada de Pereira e Silva [25]. Esta proposta de atividade está vinculada com o ensino de geomorfologia nas aulas de geografia na educação básica. Inicialmente sugere-se que o professor faça uma explanação acerca dos principais conceitos da geomorfología e feições do relevo, com o intuito dos

educandos assimilarem a parte prática da atividade. A plataforma utilizada pode ser o *Google Earth*. A atividade deve ser executada no laboratório de informática da escola.

O professor pode inicialmente trabalhar com imagens de satélites exibindo as feições do relevo do municipio com objetivo de familiarização de interpretação da paisagem. Isso se constitui em uma maneira de aproximar a vida cotidiana dos alunos com a complexidade das formas do relevo. Após esta etapa, se pode explorar outras regiões do estado ou até mesmo de diversos lugares do país solicitando que façam comparações em relação as diferenças e/ou diferenças observadas no relevo dos diferentes lugares. Para finalizar a atividade, o professor pode também disponibilizar um roteiro de questões no intuito de contemplar o olhar do aluno, o grau de aceitação da atividade, e avaliar a aprendizagem. A sugestão é de que estas atividades sejam realizadas apartir do 5° ano, conforme está indicado pela Base Nacional Comum Curricular- BNCC. O quadro 2 ilustra algumas sugestões dos possíveis questionamentos que podem ser aplicados.

Quadro 2. Sugestões de possíveis questões a serem trabalhadas.

- Você já sabia o que é o Sensoriamento Remoto?
- Antes da atividade você teve contato com o *Google Earth*?
- De que forma você acha que as imagens de satélites contribuiram para a compreensão do conteúdo?
- Por que você considera importante estudar a geomorfologia por meio das imagens de satélites?
- Gostou da atividade? Gostaria de que acontecesse com mais frequência?

4.4. Metodologia com o uso de imagens de satélites

Esta metodología está adaptada de Bonini [26]. Nela, o professor de geografia pode selecionar imagens de satélites do bairro onde a escola está localizada, uma vez que é um lugar que os alunos já conhecem e assim terão facilidade em desenvolver o trabalho. As imagens podem ser obtidas a partir do programa Google Earth, e, sugere-se que elas sejam selecionadas em um intervalo de pelo menos dez anos.

Inicialmente o professor pode apresentar a atividade e sugerir aos alunos que realizem uma análise das imagens, anotem as observações e alterações na paisagem ao longo dos anos, indicando quais processos colaboraram para essas mudanças bem como quais contribuem efetivamente para a melhoria do ambiente em que vivem. Ao desenvolver esta atividade os alunos estarão sendo instigados a pensar de forma crítica em relação as mudanças que ocorreram ao longo dos anos e pensar em ações que podem ser desenvolvidas para o planejamento da ocupação do espaço. Desta forma, refletindo sobre a influência humana nas transformações da paisagem, os

alunos percebem-se como integrantes, atores e agentes transformadores do espaço geográfico.

Através do desenvolvimento das atividades, os alunos serão estimulados a refletir sobre alguns tópicos como, por exemplo, degradação ambiental, mudanças na paisagem, desmatamento e invasão humana em áreas de vegetação. Os alunos podem anotar as modificações observadas nas imagens e como é uma atividade que pode ser facilmente desenvolvida na sala de aula, torna-se acessível a profesores e alunos e pode ser muito eficaz na aprendizagem.

4.5. Metodologia vinculada a questões ambientais

Esta metodología, adapatada de Vilhena et al. [27], sugere o estudo da ocupação desordenada em lugares inadequados para habitação humana. Essa inadequação se torna um local de área de risco para diversos eventos geomorfológicos. O risco não está associado apenas à prejuízos materiais, mas também danos sociais e ambientais, podendo ser clasificado em diferentes escalas e proporções. Neste sentido, este problema não é apenas de cunho ambiental, mas também está relacionado a geografia humana vinculado aos conceitos urbanos.

Através do estudo da ocupação desordenada em lugares inadequados para habitação humana, o professor de geografia consegue desenvolver, como estratégia de ensino, diversos conteúdos ambientais e humanos, instigando a criticidades dos alunos e, também, preparando-os para realizarem a leitura completa do espaço geográfico e suas transformações por meio da interpretação das imagens de satélites. Sugere-se então, que o professor pode definir a área de estudo e o local pode ser uma área considerada de risco. A partir da definição do local, pode-se selecionar registros aéreos do local em períodos diferentes. Recomenda-se o intervalo entre duas décadas para que as transformações na paisagem sejam bem visíveis.

Aconselha-se que o professor escolha um local onde existam fenômenos como, por exemplo, escorregamentos pois desta forma ele poderá abordar conteúdos como solos, rochas e vegetação. Estes eventos costumam ocorrer em terrenos inclinados, denominados de encostas das quais foram retiradas a cobertura vegetal original. Neste sentido, as imagens também podem auxiliar no ensino de climatología, pois no Brasil predomina um clima tropical, onde ocorrem grandes volumes pluviométricos com períodos de chuvas abundantes.

5. Conclusão

O presente estudo buscou realizar um levantamento de metodologias de possível aplicação pelo professor de geografia no nível de ensino básico, utilizando a técnica do sensoriamento remoto como recurso didático. Confirma-se a hipótese de que apesar das imagens de satélites e imagens aéreas serem cotidianamente utilizadas, estas já consolidaram seu espaço nos atlas, livros didáticos, filmes e mídias em geral. Entretanto, quando se refere ao ensino, o uso do sensoriamento remoto, como técnica, ainda é explorado de forma insuficiente como recurso didático.

Observa-se que as imagens aéreas colaboram no processo de ensino e aprendizagem, entretanto é imprescindível que os professores estejam capacitados e preparados para desenvolver um bom trabalho, utilizando-se como apoio, as geotecnologias. Neste sentido, torna-se necessário que haja investimentos em cursos de capacitação e formação continuada para os professores, voltados ao ensino das tecnologias.

Compreende-se que existem diversas metodologias que garantem a participação ativa dos alunos no processo da construção do saber. Desta forma, os alunos não exercem o papel de receptores como sugere a tendência pedagógica tradicional que por muitos anos foi tida como a única e absoluta forma de ensinar. Ao longo das décadas os conceitos da educação foram evoluindo ancorados na forma de ensinar aprender e, hoje sabe-se que a educação construtivista, aliada à aprendizagem significativa é muito positiva na construção do saber.

A maneira de conduzir as aulas de geografia pode estar fundamentada como um momento de satisfação e qualidade na aprendizagem do aluno. Desta forma, os professores podem buscar novas estratégias para deixar as aulas dinâmicas, tornando a aprendizagem construtiva e, nesse sentido, o sensoriamento remoto, tem sido aliado no ensino da geografia nos mais diversos conteúdos e viabilizado o construtivismo em sala de aula. Os documentos como Base Nacional Comum Curricular (BNCC) e os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs) destacam a importância da geografia apropriar-se das geotecnologias afim de obter resultados atrativos para os estudantes, tornando aprendizagem prazerosa.

6. Referências

[1] Carvalho V.M.S.G. de. Sensoriamento Remoto no ensino básico da geografia: definindo novas estratégias. Tese de Doutorado. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro; 2006.

[2] Kramer G, Maass P.A, Filho W.P. O uso do Sensoriamento Remoto como recurso didático para o ensino da Geografia no sexto ano do Ensino Fundamental. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 2429-2435. Disponível em: <http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr%4080/2008/11.17.18.35/doc/2429-2435.pdf>. Acesso em: 12 de nov. 2020.

[3] BRASIL. Ministério da Educação. Base Nacional Comum Curricular: proposta preliminar. 2. ed. Brasília: MEC, 2016. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=78231-anexo-texto-bncc-reexportado-pdf-1&category_slug=dezembro-2017-pdf&Itemid=30192>. Acesso em: 15 de nov. 2020.

[4] Masseto M.T. Mediação Pedagógica e Tecnologias de Informação e Comunicação. In: Moran J.M., Masetto M.T., Behrens M.A. (Org.). Novas tecnologias e mediação pedagógica. 21a Ed. Campinas (SP): Papirus, 2013.

[5] Lima J.V.de, Singo F., Canto Filho A., Müller T., Silva F. (Org.). Objetos de aprendizagem multimodais: projetos e aplicações. Barcelona (Espanha): Editorial UOC, 2014.

[6] Tajra S.F. Informática na educação: novas ferramentas pedagógicas para o professor na atualidade. 9. ed., rev., atual. e ampl. São Paulo (SP): Érica, 2012.

[7] Fitz P.R. Geoprocessamento sem complicação - São Paulo, SP: Oficina de Textos, 2008.

[8] Mendonça R.A.M., Bernasconi P., Santos R., Scaranello M. Uso das Geotecnologias para Gestão Ambiental: Experiências na Amazônia Meridional 2011. Disponível em: https://www.icv.org.br/drop/wp-content/uploads/2013/08/uso-das-geocnologias-para-gest%C3%A3o-ambiental.pdf. Acesso em: 18 de dez. 2020.

[9] Freire P. Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática educativa. 8. Ed. São Paulo: Paz e Terra, 1996.

[10] Pontuschka N.N., Paganelli T.I., Cacete N.H. Para ensinar e aprender Geografia. 3ª ed. São Paulo: Cortez, 2009. Disponível em: <http://www.educadores.diaadia.pr.gov.br/arquivos/File/deb_nre/ensinar_aprender_geografia.pdf>. Acesso em: 22 de dez. 2020.

[11] Cavalcanti L. de S. Geografia e prática de ensino. Goiânia: Alternativa, 2002. Disponível em: <http://www.apegeo.com.br/encontro2016/wp-content/uploads/2016/06/ANAIS_IV_EREG_2014.pdf>. Acesso em 22 de dez. 2020.

[12] BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. Parâmetros curriculares nacionais. Brasília, 2007. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/setec/arquivos/pdf/BasesLegais.pdf>. Acesso em: 25 de dez. 2020.

[13] Santos M. A Natureza do Espaço: Técnica e Tempo, Razão e Emoção. 4. ed. 2. reimpr. - São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2006.

[14] Oliveira de M.C. de S.R.M. Os globos virtuais no ensino da Geografia: - a noção de espaço em alunos do 3º Ciclo do Ensino Básico. Dissertação de mestrado. Universidade de Aveiro. Portugal; 2010.

[15] Ferreira D.M, Cunha F.S. da. Modelagem digital no ensino de geografia. Revista Homem, Espaço e Tempo, out, 2010.

[16] Facincani C. A utilização do Google Earth na disciplina de Geografia. Monografia do Curso de Especialização em Informática na Educação – Modalidade a Distância – Instituto de Computação da Universidade Federal de Mato Grosso. 2011. Disponível em: <https://silo.tips/download/a-utilizaao-do-google-earth-na-disciplina-de-geografia>. Acesso em: 02 de jan. 2021.

[17] Florenzano T.G., Imagens de satélites para os estudos ambientais. São Paulo: Oficina de Textos, 2002. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5692586/mod_resource/content/2/Imagens%20de%20sate%CC%81lite%20para%20estudos%20ambientais.pdf>. Acesso em: 05 de jan. 2021.

[18] Santos V.M.N. Escola, cidadania e novas tecnologias: o Sensoriamento Remoto no ensino. São Paulo: Ed. Paulinas, 2002.

[19] Vilhena D. da C., Tavares Júnior S.S., Besserra Neta L.C. O Sensoriamento Remoto como recurso didático no ensino de Geografia. Revista Geonorte, Edição Especial 1: Geografia Física 2012; 3(5): 1624-1635. Disponível em: <https://www.periodicos.ufam.edu.br/index.php/revistageonorte/article/view/2218/2093>. Acesso em: 10 de jan. 2021.

[20] Santos V.M.N. O uso escolar das imagens de satélites: socialização da ciência e tecnologia espacial. In: Penteado H.D. Pedagogia da comunicação: teoria e prática. São Paulo: Cortez. 1998.

[21] Borges G.M. O uso do sensoriamento remoto como recurso didático nas aulas de geografia do ensino médio: desafios e possibilidades para uma ação pedagógica. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Pernambuco; 2015.

[22] Sausen T. M, Coelho O.G.W. Projeto Educa SeRe - ensino de geografia no ensino fundamental e médio usando Sensoriamento Remoto. 4ª Jornada de Educação em Sensoriamento Remoto no Âmbito do Mercosul – São Leopoldo, Rio Grande do Sul. 2004. Disponível em: <http://www3.inpe.br/unidades/cep/atividadescep/jornada/programa/t-5_trab_32.pdf>. Acesso em: 23 de jan. 2021.

[23] Santos F., Filho W. O uso de imagens de satélite como recurso didático para o estudo da categoria lugar. Geo UERJ. 2010. Disponível em: <http://www.epublicacoes.uerj.br/index.php/geouerj/article/view/1490>. Acesso em: 25 de jan. 2021.

[24] Archela R.S., Gratão L.H.B., Trostdorf M.A.S. O lugar dos mapas mentais na representação do lugar. Geografia Londrina Londrina 2004; 13(1): 127-141. http://dx.doi.org/10.5433/2447-1747.2004v13n1p127.

[25] Pereira J.S.E., Silva R.G.S. O ensino de geomorfologia na educação básica a partir do cotidiano do aluno e o uso de ferramentas digitais como recurso didático. Revista de Ensino de Geografia, Uberlândia 2012; 3(4): 69-79. Disponível em: <http://www.revistaensinogeografia.ig.ufu.br/N.4/art5v3n4.pdf>. Acesso em: 27 de jan. 2021.

[26] Bonini A.M. Ensino de geografia: utilização de recursos computacionais (Google Earth) no ensino médio. 2009. 178 f.: 2 DVDs. Tese de Doutorado. São Paulo: Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas; 2009.

[27] Vilhena D. da C., Tavares Júnior S.S., Besserra Neta L.C. O Sensoriamento Remoto como recurso didático no ensino de Geografia. Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013.

Autores

Cibele Stefanno Saldanha*, Marcia Elena de Mello Cardias, Mauro Kumpfer Werlang

Programa de Pós Graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Maria/UFSM, Av. Roraima nº 1000, Santa Maria - RS, Brasil.

* Autor para correspondência: cibele2012stefanno@gmail.com

CAPÍTULO 8

O lugar do sensoriamento remoto no ensino de geografia frente à Base Nacional Comum Curricular – BNCC

Cibele Stefanno Saldanha, Tuane Telles Rodrigues, Mauro Kumpfer Werlang

https://doi.org/10.4322/mp.978-65-991393-8-3.c8

Resumo
O Sensoriamento Remoto quando utilizado na escola permite fornecer subsídios para que os alunos consigam perceber e entender, tanto as dinâmicas físicas quanto as humanas. Também possibilita uma melhor compreensão da Cartografia e isso é muito importante, pois ela se constitui em um dos conteúdos fundamentais no desenvolvimento do pensamento geográfico. Dessa forma, torna-se relevante analisar o papel do Sensoriamento Remoto na Base Nacional Comum Curricular (BNCC) a partir da discussão por meio da comparação entre os PCNs e a BNCC, pontos comuns e divergentes acerca do Sensoriamento Remoto na Geografia Escolar, compreender o papel do Sensoriamento Remoto na BNCC sob uma perspectiva prática e, propor uma atividade para que o Sensoriamento Remoto seja abordado nas aulas, seguindo as possibilidades apresentadas pela BNCC. Usando uma metodologia que envolve caráter investigativo através da revisão bibliográfica e documental relativo a BNCC, buscou-se identificar as questões relacionadas ao papel do Sensoriamento Remoto. Os resultados obtidos mostraram que o Sensoriamento Remoto, como Ciência, não está claramente colocado ao longo do documento. Entretanto, na disciplina de Geografia o documento traz, como ferramenta comum ao Sensoriamento Remoto, as imagens de satélites. A Geografia ao longo do documento da BNCC foi dividida em cinco unidades temáticas, onde a unidade temática na qual contempla as imagens de satélites é denominada “Formas de Representação e Pensamento Espacial” e, objetiva ampliar a concepção da representação gráfica e o raciocínio geográfico, confiando que os educandos consigam elaborar mapas, gráficos, iniciando-se na alfabetização cartográfica.

Palavras-chave: cartografia escolar, ensino em geografia, geotecnologias, parâmetros curriculares nacionais – PCNs.

1. Introdução

A revolução científico-tecnológica provocou grandes transformações no mundo moderno nas quais os profissionais da educação precisam atualizar-se por meio de cursos, capacitações e formação continuada, para serem capazes de lidar com as novas tecnologias. Com o advento destas tecnologias, a inclusão digital passou a ser uma preocupação no ensino em sua totalidade, entretanto a Geografia é também responsável pelo aproveitamento destas técnicas na sala de aula, com o uso das geotecnologias.

A geografia carrega consigo a missão de trabalhar com a espacialização de fenômenos físicos e socioeconómicos e as transformações que ocorrem na Terra

Joceli Augusto Gross (Ed.) © 2021 Mérida Publishers CC-BY 4.0

promovidos por esses fenômenos. Neste contexto, o mapa torna-se um instrumento muito utilizado nas aulas. Diante das inúmeras transformações que ocorrem no mundo, dada a rapidez da evolução tecnológica, torna-se imperativa outra postura pedagógica, tanto aos profissionais que produzem o material geográfico, quanto ao material cartográfico e, também aos professores que irão transmitir os conteúdos em sala de aula. Atualmente percebe-se que as reformas relacionadas à educação apontam algumas soluções alternativas no que tange as propostas metodológicas das práticas de ensino. A aquisição do conhecimento passa a ser compreendida como um processo de construção do saber geográfico, sendo o educando um sujeito crítico e atuante na sociedade [1].

A apropriação do homem no espaço geográfico viabilizou a busca contínua pelo desenvolvimento de instrumentos que promovam melhoria e ampliação do monitoramento do meio ambiente. Uma destas técnicas tem se popularizado nas últimas décadas e, vem sendo abundantemente explorada em suas potencialidades, é a geração de imagens provenientes de sensores remotos instalados em satélites artificiais. As imagens permitem uma visão da totalidade e com um detalhamento das extensas áreas da superfície terrestre. Também, o uso dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) na elaboração das atividades em sala de aula, torna as aulas mais interativas, discursivas que prendam a atenção dos educandos, desta forma complementando a utilização do livro didático.

São grandes os desafios que a Geografia vem enfrentando, são questionadas as finalidades de suas práticas pedagógicas, fundamentadas em metodologias de ensino que giram em torno do uso exclusivo de uma apostila ou de um livro didático. As aulas de Geografia são inqueridas pelo predomínio da exposição oral dos conteúdos e subdivididos em unidades temáticas que geralmente são pouco, relacionas com os demais conteúdos. Estas práticas pedagógicas são voltadas ao giz, a lousa e os materiais impressos como as apostilas e os livros didáticos, que ganham destaque, sendo os materiais predominantemente utilizados como recursos didáticos na sala de aula. As aulas são pautadas em conteúdos estipulados e currículos instrumentais, que desconsideram os alunos e os seus desejos, os seus contextos de vida, as suas realidades, os seus sonhos e as suas potencialidades [2].

Portanto o presente estudo justifica-se pela necessidade de investigar a forma que o Sensoriamento Remoto vem sendo abordado nos documentos e como a Geografia faz uso dessa ferramenta tecnológica que facilita o ensino e aprendizagem. Como afirma Le Sann [1] apesar da extensa potencialidade das imagens aéreas, a sua utilização no ensino de Geografia são raramente exploradas em sala de aula, esse fato justifica-se pelo pouco conhecimento deste instrumento no ensino. Sendo assim, este estudo irá discutir o papel do Sensoriamento Remoto na Base Nacional Comum Curricular (BNCC), traçando uma comparação entre os Parâmetros Comuns Curriculares, avaliando a forma que os documentos abordam o Sensoriamento Remoto, assim como as imagens de satélites, este estudo é de caráter investigativo e documental.

1.1. Objetivo geral

Verificar o papel do sensoriamento remoto na Base Nacional Comum Curricular (BNCC).

1.1.1. Objetivos específicos:

1. Compreender o lugar que o sensoriamento remoto ocupa na BNCC sob uma perspectiva prática.

2. Comparar os PCNs e a BNCC os pontos incomuns e divergentes acerca do sensoriamento remoto na geografia escolar;

3. Propor uma atividade para que o sensoriamento remoto seja abordado nas aulas, seguindo as possibilidades apresentadas pela BNCC.

Cabe destacar a grande e a significativa importância do uso dos mapas, imagens aéreas e outros tipos de representações gráficas no cotidiano escolar para auxiliar na análise, observação, manuseio, reprodução, interpretação e construção do imaginário dos educandos. Destaca-se que a representação gráfica na linguagem geográfica é um procedimento de grande relevância nos estudos da Geografia. Ela desenvolve habilidade de orientação, localização e representação dos educandos em relação aos aspectos da realidade socioespacial [3].

Para Callai *et al*. [3] a linguagem gráfica desperta o raciocínio lógico possibilitando a análise rápida e detalhada dos conteúdos além de facilitar a memorização das distribuições espaciais, bem como da reflexão e análise das questões ambientais que afetam o espaço vivido. Um destes processos é conhecido como alfabetização cartográfica e visa desenvolver, nos educandos, a construção de estruturas que ofereçam as condições necessárias para o uso cotidiano dos mapas e imagens.

2. Referencial Teórico

2.1. O ensino em Geografia e as diversas linguagens da aprendizagem

De acordo com Callai *et al*. [3] a educação geográfica não é simplesmente ensinar e aprender geografia. Vai muito além, significa que o sujeito pode construir as bases de sua inserção no mundo e compreender a dinâmica da paisagem através do entendimento da sua espacialidade. Como consequência dos processos de mundialização e da globalização de todo o conjunto da sociedade existe a necessidade da inserção de novas ferramentas para que seja compreendida. A educação geográfica significativa transpõe a linha de apenas obter informações. Utiliza-se de instrumentos para fazer a análise geográfica para realização de aprendizagens significativas.

A disciplina de geografia tem a missão de preparar o educando para localizar, atuar e compreender o mundo e suas complexidades, problematizar a realidade, reconhecer as dinâmicas existentes no espaço geográfico, pensar e atuar criticamente em sua realidade tendo em vista a sua transformação como cidadão [4].

Cavalcanti [5], afirma que o ensino de geografia tem como propósito, trabalhar o educando juntamente com suas referências e conhecimentos adquiridos na escola e sistematizá-las em contato com a sociedade, com o cotidiano, para assim criar um pensar geográfico que contemple a análise da natureza e a relação com a sociedade.

Segundo Callai *et al*. [3] as diversas linguagens são utilizadas como instrumentos de aprendizagem para possibilitar a construção do conhecimento ministrado em sala de aula. Isto torna-se possível quando o professor organiza sua aula em busca de uma aprendizagem relacionada ao cotidiano, abordando temáticas nas quais os educandos compreendam não só o mundo como também o lugar em que vivem. O uso dos diferentes recursos didáticos em sala de aula sempre foi uma referência na discussão de propostas inovadoras no ensino. Estas propostas têm se alicerçado em um discurso de reforma educacional, o qual passou a ser sinônimo de renovação pedagógica, progresso e mudança [6].

O MEC [7] destaca a importância do uso de diferentes linguagens como novas formas de aprendizagem. Uma das exigências das Políticas Educacionais atuais diz respeito à produção e a distribuição desses inúmeros materiais para que o professor possa utilizá-los durante as suas aulas. Seus usos estão diretamente ligados à didática do docente e ao conhecimento tanto da metodologia de ensino como da própria ciência geográfica.

Castellar e Vilhena [8] enfatizam esta discussão e destacam que, ao utilizar os materiais didáticos, o professor precisa ter domínio do uso que fará e também ser seletivo na organização do material. Um dos recursos de que os professores fazem uso são as diferentes linguagens, na medida em que todos são responsáveis pela capacidade leitora e escritora do aluno.

Segundo Novak [9], a educação deve ter em conta os cinco elementos básicos e que estes interatuam entre si para construir a experiência, que resulta de uma aprendizagem significativa. Essa ideia postula a concepção de educação e de ensino em que o desafio não é apenas passar informações ou aplicar conteúdos de maneira mecânica em situações do cotidiano, mas compreendê-los para que, na aplicação, haja sentido e coerência com a realidade, ou seja, articular as referências teóricas com a prática.

Segundo Castellar e Vanzella [10], quando o professor define seus objetivos, organiza os conteúdos, conceitos e conhece os seus alunos, torna-se mais fácil perceber e criar condições para que ocorra de fato uma aprendizagem significativa. Nesta perspectiva, considera-se que a aula é o momento principal no qual se pode organizar o conhecimento e o pensamento do aluno, a partir de atividades de aprendizagem.

2.2. A utilização do Sensoriamento Remoto na educação

De acordo com Paiva *et al*. [11] apesar do sensoriamento remoto estar se disseminando e, consequentemente se popularizando nas últimas décadas, os avanços na área ainda são considerados insuficientes. Segundo as autoras é na geografia que o sensoriamento remoto se destaca como disciplina. Em muitos cursos o sensoriamento remoto é ofertado como disciplina optativa, e como consequência disso, o número de profissionais qualificados e com domínio dessa técnica acaba ficando ainda escasso.

Segundo Paiva *et al*. [11], é necessário propor novos artifícios com o objetivo de promover a difusão do uso do sensoriamento remoto. Uma forma de promover a propagação da ciência é a introdução das ferramentas utilizadas nos níveis do ensino fundamental e médio, levando a um universo mais amplo o conhecimento desta tecnologia, ampliando o seu potencial de aplicação.

Como afirma Crispim e Albano [12] as imagens de satélites possuem diversas utilidades e suas aplicabilidades são vastas e indispensáveis para compreender os fenômenos geográficos da superfície terrestre. Destaca que podem ser trabalhadas em variadas escalas espaciais, o que facilita as discussões em sala de aula. Observa que se pode abordar, desde a localização de qualquer município no planeta, observar as características do local e a distribuição vegetal, climática e hidrográfica, além da observação do relevo e ocupação do solo, assim como é possível acompanhar a evolução dos processos que levam à transformação do espaço.

Segundo Florenzano [13], por meio do uso das tecnologias de sensoriamento remoto no processo de ensino e aprendizagem, há a possibilidade da interpretação de imagens de sensores remotos para a compreensão dos educandos acerca dos

conceitos que norteiam a geografia, como o lugar, localização, interação do homem com o meio, região e as constantes transformações do espaço geográfico além da forma como estes conceitos se articulam. Conforme Mota *et al*. [14], as imagens de satélites são recursos didáticos que possibilitam a configuração do planeta Terra em diversas escalas, desta forma, propiciando aos educandos as novidades científico-tecnológicas que favoreçam a compreensão da realidade em que estão inseridos e, consequentemente, do exercício de sua cidadania.

O sensoriamento remoto pode assumir a finalidade de proporcionar a aproximação entre a realidade espacial e os conteúdos trabalhados em sala de aula. Entretanto, observa-se que se torna cada vez mais necessário o contato do educando com os diferentes locais que compõem o espaço geográfico. Para Mota *et al*. [14], é de extrema importância que aprendizagem seja significativa e os educandos consigam observar o que se aprende nas aulas de geografia e as aplicabilidades efetivas no meio em que ele está inserido. A geografia não deve ser ensinada como algo distante do cotidiano. Nesse sentido cabe ao professor mostrar aos alunos como aplicar as geografia e suas técnicas.

As novas tecnologias proporcionam a facilidade do uso para fins de informações geográficas. Assim, os professores podem estimular técnicas de visualização com os educandos, de forma simples, como por exemplo, observar os fenômenos presentes desde a sua residência até a escola. Isso pode tornar-se uma maneira de atrair os educandos para maior interesse nas aulas de Geografia e auxiliar na quebra do paradigma de que a geografia é uma disciplina meramente decorativa [15].

O uso das imagens de satélite no ensino da geografia permite identificar e relacionar os elementos naturais e sócio-econômicos presentes na paisagem, tais como as serras, as planícies, os rios, as bacias hidrográficas, as matas, as áreas agricultáveis ou industriais, as cidades, bem como acompanhar resultados da dinâmica do seu uso. Isso pode servir como um importante subsídio à compreensão das relações entre os homens e de suas consequências no uso e ocupação dos espaços e nas interações com a natureza [15].

2.3. Geotecnologia no ensino de geografia

O ensino da geografia objetiva ampliar a capacidade dos educandos de observar, conhecer, explicar, comparar e representar as características de um lugar e de diversas paisagens e espaços geográficos. Para Freire e Valente [16], o uso das tecnologias no âmbito pedagógico pretende integrar o docente junto ao aluno visando a compreensão e a interpretação dos fenômenos socioculturais. É preciso ressaltar que as geotecnologias já possuem seu espaço conquistado no processo de ensino e aprendizagem e já vem sendo abordada nos Parâmetros Nacionais Curriculares.

> [...] as geotecnologias, são entendidas como sendo as novas tecnologias ligadas às geociências e às outras correlatas. As geotecnologias trazem, no seu bojo, avanços significativos no desenvolvimento de pesquisas, em ações de planejamento, em processos de gestão e em tantos outros aspectos à questão espacial [17].

As geotecnologias são reconhecidas por fazerem parte do geoprocessamento que envolve um conjunto de técnicas na qual são coletadas, processadas, analisadas e colocadas à disposição com referência geográfica. A geotecnologia é o conceito desenvolvido através das tecnologias de informação, esta é utilizada pela geografia,

cartografia, topografia entre outras ciências que contemplam o estudo geográfico. Desta forma, as geoinformações são aquisições de materiais que farão parte de análise ou processamento que nesta área é chamada de informações georeferenciadas, com dados mais precisos e imagens em tempo real. Segundo Fitz [18], as geotecnologias são variadas, mas algumas são mais utilizadas no ensino de Geografia sendo elas: GIS, GPS e *Google Earth*.

- GIS - *Geographical Information System*: é usualmente conhecido por SIG (Sistema de Informação Geográfica), a sigla inglês GIS, são softwares que trabalham com dados do espaço geográfico, tanto de forma numérica quanto gráfica, utilizados para a elaboração de mapas e banco de dados correlacionados que facilitem a interpretação e a visualização dos fenômenos humanos e naturais [18].

- GPS - *Global Positioning System*: o Sistema de Posicionamento Global (GPS) é uma ferramenta extremamente útil para a localização de pontos georreferenciados na superfície da Terra. Segundo [18], a tecnologia de posicionamento e localização por satélite assegura precisão elevada de latitude e longitude, cujos resultados são obtidos pelo envio de informações de pelo menos três satélites. Também é informada para o usuário a altitude de sua localização, entre outras funções importantes, o que depende do aparelho e de suas funções disponíveis.

- *Google Earth*: é um programa disponibilizado gratuitamente na Internet pela empresa multinacional da *Google*, cuja função é mostrar simbolicamente o planeta Terra em forma tridimensional. Também é possível dar um zoom na imagem e visualizar a superfície terrestre por imagens de satélites com uma nitidez e escala considerável. Esse Programa tem incrível capacidade de interface com o usuário e desde que foi criado teve intensa e crescente aceitação nos meios de comunicação [18].

Os Parâmetros Nacionais Curriculares destacam o fato das novas tecnologias encontrarem-se incorporadas aos atuais modos da vida contemporânea que quando defrontamo-nos com menções à sociedade tecnológica quase que imediatamente somos remetidos ao computador, à Internet, aos robôs, satélites e sensores remotos [19]. Neste sentido as geotecnologias devem ser inseridas como um meio que visa desvendar, incrementar, analisar e vivenciar a prática do professor em sala de aula, com o objetivo de fornecer e despertar o interesse do educando pelo conhecimento científico.

Segundo Almeida e Passini [20] o conjunto de ferramentas computacionais que integram as geotecnologias podem ser descritos como Sistemas de Informações Geográficas –SIG, que são softwares que processam dados espaciais possibilitando a análise e gestão do território observado, juntamente com o sensoriamento remoto, que por meio das imagens de satélite proporcionam uma visão de conjunto multitemporal de extensas áreas da superfície terrestre.

2.4. Cartografia Escolar

A Cartografia tem um espaço especial na BNCC [7]. Ela ganha espaço à medida que é a forma de expressão gráfica da superfície terrestre e que, com ela, é possível realizar um diálogo acerca do espaço geográfico através de uma linguagem mais acessível e democrática. A Cartografia Escolar é, portanto, a etapa final do processo de aplicação do sensoriamento remoto no ensino de geografia e, por esse motivo, precisa ser

destacada sempre que se estabelecer a discussão sobre as dinâmicas espaciais na educação básica. Nesse contexto, Almeida e Passini [20] ressaltam que:

> [...] nas grades curriculares dos cursos de licenciatura em Geografia inexiste o Sensoriamento Remoto aplicado ao ensino de Geografia. Se existe é como uma disciplina técnica (e não como área da Didática) da formação do geógrafo que irá trabalhar com Sensoriamento Remoto para fins de pesquisa aplicada ou empresarial. Então, como explicar que o professor tenha este conhecimento aplicado ao ensino se ele não existe sistematizado em nenhuma instância.

Essa relação entre sensoriamento remoto e cartografia dentro da comunidade acadêmica é óbvia. Entretanto, no contexto escolar ela assume outras propriedades que exigem noções particulares de interpretação do espaço geográfico e que, assim como no processo de formação acadêmica, são fundamentais no processo de formação do pensamento geográfico. Essa questão é discutida em diversos artigos sobre ensino de Geografia como em [21-23].

A abstração mental é, na transição das imagens de satélite para produtos cartográficos escolares, um dos componentes que se desenvolvem durante a aprendizagem. Quando trabalhamos com a transposição de imagens de satélites de quaisquer fontes, especialmente do *Google Earth* (por se tratar de uma ferramenta bastante popular e acessível), essa noção de isolar elementos de uma imagem para que a leitura e interpretação desse espaço seja mais eficiente, mostra como a Cartografia Escolar não é por acaso. Assim, cabe destacar as interpretações de Castrogiovanni e Costella [24] a esse respeito, ao enfatizarem que:

> alfabetizar cartograficamente não consiste em desmistificar as noções de representação do mundo através de imagens ou mapas, mas, sim construir noções através de propostas concretas – oficinas, que permitam uma interpretação espontânea dos sinais gráficos, os quais representam um mapa e a organização dessas representações de maneira coerente, dentro de uma perspectiva do ponto de vista de cada mapeador.

A colaboração metodológica da cartografia escolar faz perceber que se trata de uma área fundamental para o ensino de geografia. O domínio dos elementos que possibilitam a análise das representações cartográficas em diferentes escalas, como as cartas, mapas e plantas, assim como o desenvolvimento de habilidades como a lateralidade, as referências e a orientação espacial, necessárias para o entendimento da leitura espacial, contribuem para mais do que simplesmente localizar-se no espaço, localizar pessoas, fenômenos e outros lugares. Ela é um instrumento da Geografia que possibilita aos educandos conhecer o espaço real, e espacializar informações aparentemente abstratas, mas que se mostram perfeitamente compreensíveis quando expressas sobre um desenho, podendo trazer qualquer tema de relevância cultural, social, econômica ou ambiental, para a comunidade. Essas informações tornam-se concretas por meio da cartografia [25].

3. Metodologia

O presente estudo desenvolveu-se a partir do método dedutivo, pois os pressupostos foram baseados em conhecimentos já existentes, partindo do geral para o particular. O estudo parte do pressuposto que há insuficiência e deficiência no ensino do

sensoriamento remoto e são necessários avanços na forma de abordá-lo e desenvolver o tema em sala de aula, já que este é um tema rico em aplicabilidades. Desta forma, realizaram-se levantamentos bibliográficos a fim de verificar como os documentos trazem o tema e, as aplicações no ensino da Geografia. A Figura 1 ilustra os procedimentos metodológicos desenvolvidos neste estudo.

Figura 1. Organograma dos procedimentos realizados na pesquisa.

Inicialmente realizou-se um estudo de carácter investigativo na Base Nacional Comum Curricular com o objetivo de compreender como o Sensoriamento Remoto vem sendo abordado e sua aplicabilidade nas aulas de Geografia, sob a perspectiva prática. Posteriormente, foi realizado o mesmo levantamento nos Parâmetros Curriculares Nacionais – PCNs, elaborando uma comparação entre os dois documentos, traçando uma linha tênue entre eles, observando os pontos incomuns e divergentes referentes ao tema.

Para concluir a pesquisa, propôs-se uma atividade referente ao sensoriamento remoto, onde, primeiramente deve-se escolher uma turma do 5° Ano em diante, pois é esse o período indicado pela Base Nacional Comum Curricular. Selecionar-se-á imagens de satélites provenientes do programa *Google Earth* das proximidades da escola, com a finalidade de familiarizar os educandos com o espaço vivido. Com isso, espera-se que haja, facilmente, o reconhecimento da paisagem e das transformações no espaço geográfico.

Entende-se que por meio desta atividade é plausível que o professor consiga abordar os conceitos da cartografia escolar como a representação cartográfica, a localização espacial, a paisagem, o lugar e o território.

4. Resultados

4.1. A Base Nacional Comum Curricular (BNCC)

A Base Nacional Comum Curricular é compreendida como um documento que surgiu com finalidade de atender a demanda do saber, e a fixação dos conteúdos mínimos

para a educação básica, o que já estava previsto na Constituição Federal do Brasil no que tange o Ensino Fundamental, e posteriormente o ensino médio, de acordo com o Plano Nacional de Educação. Além destes, outros documentos reforçam essa demanda, como a Lei de Diretrizes e Bases da Educação, as Diretrizes Curriculares Nacionais e os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN's) [26].

A elaboração da BNCC estava prevista na Lei de Diretrizes e Bases da Educação (LDB), promulgada em 1996. A Base Nacional Comum Curricular foi estabelecida pelo Plano Nacional de Educação (PNE), votado e sancionado pela presidente Dilma Rousseff, em junho de 2014. Esse documento normativo (a BNCC) deveria ter sido entregue ao Conselho Nacional de Educação (CNE), para sua aprovação final, dois anos depois, ou seja, em junho de 2016. Assim, a BNCC é uma política pública amparada em determinação legal e legítima. Seu objetivo é estabelecer um conjunto de conhecimentos e aprendizagens essenciais a todos os alunos brasileiros, ou seja, todos devem ter acesso ao conteúdo mínimo, ao longo das etapas e modalidades da educação básica, como afirma [26].

4.2. O sensoriamento remoto na Base Comum Curricular

Por meio do levantamento investigativo na Base Nacional Comum Curricular foi possível constatar que em nenhum momento o sensoriamento remoto foi citado. Entretanto, as imagens de satélites, a qual é uma das ferramentas mais difundidas dentro do sensoriamento remoto, estão presentes em algumas unidades da BNCC. A Base Nacional Comum Curricular está organizada com base nos principais conceitos da Geografia contemporânea, diferenciados por níveis de complexidade. Neste sentido, é necessário que os educandos dominem os conceitos operacionais e que expressam aspectos diferentes do espaço geográfico como: território, lugar, região, natureza e paisagem. O quadro 1 descreve os princípios do raciocínio geográfico.

Quadro 1. Descrição dos princípios do raciocínio geográfico.

Princípio	Descrição
Analogia	Um fenômeno geográfico sempre é comparável a outros. A identificação das semelhanças entre fenômenos geográficos é o início da compreensão da unidade terrestre.
Conexão	Um fenômeno geográfico nunca acontece isoladamente, mas sempre em interação com outros fenômenos próximos ou distantes.
Diferenciação	É a variação dos fenômenos de interesse da geografia pela superfície terrestre (por exemplo, o clima), resultando na diferença entre áreas.
Distribuição	Exprime como os objetos se repartem pelo espaço.
Extensão	Espaço finito e contínuo delimitado pela ocorrência do fenômeno geográfico.
Localização	Posição particular de um objeto na superfície terrestre. A localização pode ser absoluta (definida por um sistema de coordenadas geográficas) ou relativa (expressa por meio de relações espaciais topológicas ou por interações espaciais).
Ordem	Ordem ou arranjo espacial é o princípio geográfico de maior complexidade. Refere-se ao modo de estruturação do espaço de acordo com as regras da própria sociedade que o produziu.

Fonte: Adaptado da Base Nacional Comum Curricular – BNCC.

A Base Nacional Comum Curricular – BNCC contempla o raciocínio geográfico como um meio de exercitar o pensamento espacial. Para isso, deve-se aplicar determinados princípios como mostra o quadro 1, para compreensão dos aspectos fundamentais da realidade como a localização e a distribuição dos fatos e fenômenos na superfície terrestre, o ordenamento territorial, as conexões existentes entre componentes físico-naturais e as ações antrópicas.

Para dar conta desse desafio, o componente geografia da Base Nacional Comum Curricular - BNCC foi dividido em cinco unidades temáticas comuns ao longo do Ensino Fundamental, em uma progressão das habilidades, conforme está ilustrado no quadro 2. Nesta pesquisa enfatiza-se a unidade Formas de representação e pensamento espacial, pois esta contempla o uso das imagens de satélites.

Quadro 2. Unidades temáticas que compreendem a Geografia na BNCC.

Unidades Temáticas	Objetos de Conhecimento
O sujeito e seu lugar no mundo	Dinâmica Populacional
	Diferenças étnico-raciais e étnico-culturais e desigualdades sociais
Conexões e escalas	Território, redes e urbanização
Mundo do trabalho	Trabalho e inovação tecnológica
Formas de representação e pensamento espacial	Mapas e imagens de satélite
	Representação das cidades e do espaço urbano
Natureza, ambiente e qualidade de vida	Qualidade Ambiental
	Diferentes tipos de poluição
	Gestão pública da qualidade de vida

Fonte: Adaptado da Base Nacional Comum Curricular - BNCC

A unidade temática formas de representação e pensamento espacial tem como objetivo ampliar gradativamente a concepção e a compreensão do que é um mapa, além de outras formas de representação gráfica. Nesta unidade estão reunidas aprendizagens que envolvem o raciocínio geográfico. Assim, espera-se que, no decorrer do Ensino Fundamental, os alunos tenham domínio da leitura e elaboração de mapas e gráficos, introduzindo a alfabetização cartográfica através das fotografias, mapas, esquemas, desenhos, imagens de satélites, audiovisuais, gráficos, entre outras alternativas, que são frequentemente utilizados no componente curricular.

Desta forma, pode-se compreender que o conteúdo não é completado ao longo da Base Nacional Comum Curricular - BNCC e as imagens de satélites são citadas apenas em dois momentos: vinculados ao conceito de espaço e, a alfabetização cartográfica. A Base Nacional Comum Curricular sugere que os educadores ensinem a unidade Formas de representação e pensamento espacial a partir do 5° Ano do Ensino Fundamental.

4.3. O sensoriamento remoto nos Parâmetros Curriculares Nacionais – PCNS

Os PCNS foram elaborados com a missão de respeitar as diversidades regionais, políticas e culturais existentes no país, assim, considerando a necessidade de construir referências nacionais comuns ao processo educativo em todas as regiões do Brasil. Os Parâmetros tem o papel de nortear às discussões do projeto político pedagógico, assim como as reflexões sobre a prática pedagógica à análise e seleção de materiais didáticos e de recursos tecnológicos que venham contribuir para formação e atualização profissional. A figura 2 ilustra como os Parâmetros Curriculares estão estruturados no Ensino Fundamental.

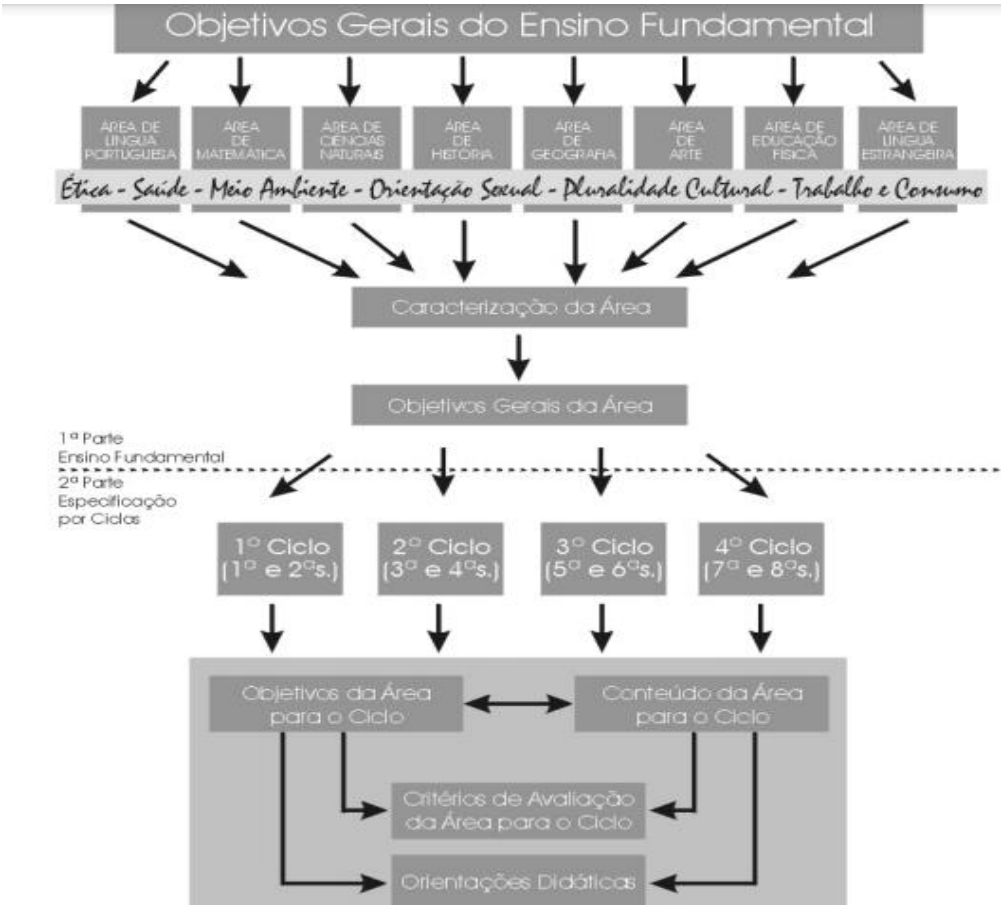


Figura 2. Estrutura dos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Fundamental. Fonte: BRASIL, 1998.

Por meio da ilustração da figura 1, fica nítida a divisão dos parâmetros em 4 ciclos, na qual a Geografia está compreendida no 3° e 4° ciclo. O 3° ciclo está divido em quatro eixos. O eixo quatro aborda as imagens de satélites e, assim como na Base Nacional Comum Curricular – BNCC, o conteúdo sensoriamento remoto não está explicito. As imagens de satélites foram citadas em ambos os documento em dois momentos, sendo que nos Parâmetros Curriculares Nacionais estão presentes no 3° e 4° ciclo. O quadro 3 ilustra os eixos e as temáticas que encontram-se no 3° ciclo.

Quadro 3. Eixos e temáticas que se encontram no 3° ciclo.

Eixos	Tema
A Geografia como uma possibilidade de leitura e compreensão do mundo	A construção do espaço: os territórios e os lugares (o tempo da sociedade e o tempo da natureza)
O estudo da natureza e sua importância para o homem	A conquista do lugar como conquista da cidadania
	Os fenômenos naturais, sua regularidade e possibilidade de previsão pelo homem
	A natureza e as questões socioambientais
O campo e a cidade como formações socioespaciais	O espaço como acumulação de tempos desiguais
	A modernização capitalista e a redefinição nas relações entre o campo e a cidade
	O papel do Estado e das classes sociais e a sociedade urbanoindustrial brasileira
	A cultura e o consumo: uma nova interação entre o campo e a cidade
A cartografia como instrumento na aproximação dos lugares e do mundo	Da alfabetização cartográfica à leitura crítica e mapeamento consciente
	Os mapas como possibilidade de compreensão e estudos comparativos das diferentes paisagens e lugares

Fonte: Adaptado dos Parâmetros Nacionais Curriculares.

As imagens de satélites foram mencionadas no eixo onde está referida a cartografia como instrumento na aproximação dos lugares e do mundo, no tema da alfabetização cartográfica à leitura crítica e mapeamento consciente. Segundo Castellar e Vilhena [8] a alfabetização cartográfica deve considerar o interesse que as crianças e jovens têm pelas imagens, atitude fundamental na aprendizagem cartográfica. Os desenhos, as fotos, as maquetes, as plantas, os mapas, as imagens de satélites, as figuras, as tabelas, os jogos, tudo aquilo que representa a linguagem visual continua sendo os materiais e produtos de trabalho que o professor deve utilizar nesta fase.

No 4° ciclo as imagens de satélites novamente são citadas. Este ciclo é marcado pelo mundo da diversidade da cultura jovem. Os educandos devem aprender a utilizar a tecnologia como ferramenta intermediária da geografia. Na cartografia, podem-se ampliar as possibilidades do trabalho com os seus pressupostos básicos da representação espacial: a localização, a proporção, a distância, a perspectiva, a linguagem gráfica, o trabalho com mapeamento consciente, as cartas analíticas e de síntese. Na leitura cartográfica o professor, desse ciclo, pode lançar mão dos diferentes tipos de mapas temáticos, atlas, globo terrestre, plantas e maquetes mais sofisticadas. Outra possibilidade, que também depende dos recursos, são as formas de registro e interpretação espacial, como o exercício de utilização das fotografias aéreas e imagens de satélites [8].

Desta forma, compreende-se que, assim como na Base Comum Curricular, os Parâmetros Comum Curriculares trazem as imagens de satélites na mesma estrutura e muito semelhantes, pois ambos tratam as imagens atreladas a alfabetização cartográfica. São, portanto, uma ferramenta aliada as primeiras noções espaciais,

tendo em vista a possibilidade do educador trabalhar os conceitos de lugar, espaço geográfico, território, entre outros.

4.4. Atividade proposta para ensinar sensoriamento remoto

Primeiramente o professor de geografia pode selecionar duas ou mais imagens de satélites do bairro onde a escola está localizada, pois é a área que os educandos já conhecem e, com isso, terão facilidade em desenvolver o trabalho. As imagens podem ser obtidas a partir do programa *Google Earth* e precisam ser selecionadas em um intervalo de pelo menos dez anos, por exemplo, 2010 a 2020.

Após o professor apresentar a atividade, pode sugerir aos educandos a realização de uma análise e interpretação das imagens, anotando as observações e alterações observadas na paisagem ao longo dos anos, indicando quais processos colaboraram para essas mudanças. Também podem anotar quais processos podem contribuir efetivamente para a melhoria do ambiente em que vivem. Ao desenvolver esta atividade os educandos estão sendo instigados a pensar de forma crítica as mudanças que ocorreram ao longo dos anos e, o que pode ser proposto para evitar ou mitigar os danos na paisagem. Desta forma, refletindo sobre a influência humana nas transformações da paisagem, os alunos percebem-se como integrantes, atores e agentes transformadores do espaço geográfico.

Durante o desenvolvimento da atividade, os educandos pode também ser estimulados a refletir sobre tópicos, como por exemplo, a degradação ambiental, as mudanças na paisagem, o desmatamento, a invasão humana em áreas de vegetação e os conflitos de uso, anotando todas as mudanças identificadas por meio das imagens. Esta atividade é simples, de fácil execução e, portanto, torna-se acessível a todos os educadores podendo colaborar de forma eficaz no processo de ensino e aprendizagem.

5. Conclusão

Este estudo buscou a compreensão de algumas relações entre a Base Nacional Comum Curricular e os Parâmetros Comuns Curriculares com o viés direcionado ao Sensoriamento Remoto, como forma de averiguar e refletir a importância das geotecnológias no ensino da geografia. Conclui-se que as imagens de satélites tem seu espaço conquistado nos documentos, entretanto a forma de ensinar necessita de avanços, tanto por parte dos educadores quanto dos livros didáticos que, de forma geral, abordam o conteúdo de forma rasa e incipiente embasamento.

Observa-se que é de fundamental importância o professor avaliar o método de ensino adotado. É importante compreender que as novas tecnologias ao serem inseridas nas escolas e nas aulas, são ferramentas aliadas ao professor para tornar as aulas mais interativas, estimulando o educando no processo de ensino aprendizagem significativa, pois ao utilizar-se os meios tecnológicos no ensino, aguçam-se a criatividade e a curiosidade.

Constata-se que atualmente existem diversos softwares com os quais os docentes podem trabalhar em sala de aula e, que as técnicas de Sensoriamento Remoto para o ensino, necessitam serem difundidas no intuito de ampliar a ideia do quanto é relevante a colaboração das geotecnologias no ensino da geografia.

6. Referências

[1] Le Sann J.G. Construção de noções básicas de Geografia Física no Ensino Fundamental: Linguagens e novas tecnologias. Geografares (Vitória) 2003; 4(4): 43-48. http://dx.doi.org/10.7147/GEO4.1081.

[2] Guimarães I.V. Ensinar e aprender Geografia na Base Nacional Comum Curricular (BNCC). Ensino Em Re-Vista 2018; 25(4): 1036-1055. https://doi.org/10.14393/ER-v25n3e2018-11.

[3] Callai H.C., Cavalcanti L.S., Castellar S.V., de Souza V.C. O Ensino de geografia nos trabalhos apresentados no XI Enanpege. Revista da ANPEGE 2016; 12(18): 43-55. https://doi.org/10.5418/RA2016.1218.0003.

[4] BRASIL. Objetos de aprendizagem: uma proposta de recurso pedagógico. Brasília: MEC/SEED, 2006. (Coleção Completa)

[5] Cavalcanti L.S. Geografia e práticas de ensino. Goiânia: Editora Alternativa, 2002. vol 1. 127 p. Disponível em: <http://www.apegeo.com.br/encontro2016/wp-content/uploads/2016/06/ANAIS_IV_EREG_2014.pdf> Acesso em: 26 de nov. 2020.

[6] Fiscarelli R.B de O. Material didático e prática docente. Revista Ibero-Americana de Estudos em Educação 2007; 2(1): 31-39. https://doi.org/10.21723/riaee.v2i1.454.

[7] BRASIL. Parâmetros Curriculares Nacionais. Apresentação de temas transversais e ética. Brasília, Secretaria de Educação Fundame/ntal/MEC, 1997. Disponível em: http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/livro081.pdf. Acesso em: 28 de nov. 2020.

[8] Castellar S., Vilhena J. Ensino de Geografia. São Paulo: Cengage Learning, 2010. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/2798959/mod_resource/content/1/Texto%2013%20CASTELLAR%2C%20S.%3B%20VILHENA%2C%20J.%20O%20uso%20das%20diferentes%20linguagens%20em%20sala%20de%20aula.pdf. Acesso em: 30 de nov. 2020.

[9] Novak D.J. Conocimiento y aprendizaje: los mapas conceptuales como herramientas facilitadoras para escuelas y empresas. Madrid: Alianza Editoriales, 1998.

[10] Castellar S.M.V. Currículo, educação geográfica e formação docente: desafios e perspectivas. Revista Tamoios 2006; 2(2): 1-10. https://doi.org/10.12957/tamoios.2006.611.

[11] Paiva F.V., Maio A.C, Costa S.M.F. A Utilização do Sensoriamento Remoto na Disciplina de Geografia de 5° A 8° Séries do Ensino Fundamental da Rede Municipal de Ensino de São José dos Campos. In: Jornada de Educação em Sensoriamento Remoto no Âmbito do Mercosul, v. 4, São Leopoldo, 1-6. Disponívem em: <http://www3.inpe.br/unidades/cep/atividadescep/jornada/programa/t-12_trab_40.pdf>. Acesso em: 3 de dez. 2020.

[12] Crispim L.C., Albano A. O uso das imagens de satélites como recurso didático no ensino de geografia. Revista de Estudos e Pesquisas em Ensino de Geografia 2016; 3(4):46-57. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/pesquisar/article/view/66634/40515>. Acesso em: 5 de dez. 2020.

[13] Florenzano T.G. Imagens de Satélites Para os Estudos Ambientais. São Paulo: Oficina de Textos, 2002. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5692586/mod_resource/content/2/Imagens%20de%20sate%CC%81lite%20para%20estudos%20ambientais.pdf>. Acesso em: 7 de dez. 2020.

[14] Mota P.N., Melara E., Cirolini A., Mussoi E.M., Cassol R., Filho. W. P. Noções de Sensoriamento Remoto na Escola de Ensino Fundamental Pinheiro Machado, SANTA MARIA-RS. 4ª Jornada de Educação em Sensoriamento Remoto no Âmbito do Mercosul – Agosto de 2004 – São Leopoldo, RS, Brasil. Disponívem em: <http://www3.inpe.br/unidades/cep/atividadescep/jornada/programa/t-12_trab_50.pdf>. Acesso em: 10 de dez. 2020.

[15] Azevedo J.C. de (Orgs.) Reestruturação Curricular: novos mapas culturais, novas perspectivas educacionais. Porto Alegre: Sulina, 1996. p. 15-33.

[16] Freire F.M.P., Valente J.A. Aprendendo para a vida: os computadores na sala de aula. São Paulo: Cortez, 2001.

[17] BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. Parâmetros curriculares nacionais. Brasília, 2007. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/setec/arquivos/pdf/BasesLegais.pdf>. Acesso em: 17 de dez. 2020.

[18] Fitz P.R. Novas tecnologias e os caminhos da Ciência Geográfica. Diálogo Tecnologia 2005; 6: 35-48.

[19] Rocha J.A.M.R. GPS: uma abordagem prática. 3. ed. Recife: Editora Bagaço, 2002.

[20] Almeida R.D. de, Passini E.Y. O Espaço Geográfico: Ensino e Representação. 12. ed. São Paulo: Contexto, 1989. Disponível em: <http://observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal3/Ensenanzadelageografia/Metodologiaparalaensenanza/01.pdf>. Acesso em: 28 de dez. 2020.

[21] Pereira T. O Sensoriamento Remoto como recurso didático no ensino fundamental. Dissertação de mestrado. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia; 2007.

[22] Ferreira A.L.S., Santos R.L., Barbosa R.S. O Sensoriamneto Remoto e a Cartograia como instrumentos pedagógicos no Ensino de Geografia. InterEspaço Revista de Geografia e Interdisciplinaridade 2015; 1(3): 297-316 https://doi.org/10.18766/2446-6549/interespaco.v1n3p297-316.

[23] Martins G. dos S., Becker E.L.S. Cartografia e sensorimento remoto para o ensino da geografia do lugar- Santa Maria, RS, Brasil. Disciplinarum Scientia 2014; 15(2): 143-160. https://doi.org/10.37780/ch.v15i2.1776.

[24] Castrogiovanni A.C., Costella R.Z. Brincar e cartografar com os diferentes mundos geográficos: a alfabetização espacial. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2006.

[25] Rodrigues T.T. O jogo digital como recurso didático na alfabetização cartográfica de aluno surdos e deficientes auditivos em Santa Maria, RS/BR. Dissertação de mestrado. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria; 2019.

[26] Cunha L.F.F. da. A geografia escolar e as temáticas físico-naturais na BNCC: desafios à prática docente e à formação de professores. Itinerarius Reflectionis 2018; 14(2): 01. http://dx.doi.org/10.5216/rir.v14i2.51587.

Autores

Cibele Stefanno Saldanha*, Tuane Telles Rodrigues, Mauro Kumpfer Werlang

Programa de Pós Graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Maria/UFSM, Av. Roraima nº 1000, Santa Maria - RS, Brasil.

* Autor para correspondência: cibele2012stefanno@gmail.com

MÉRIDA
PUBLISHERS