

## Anais do XX SBSR

# XX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO XX Brazilian Symposium on Remote Sensing

2 a 5 de abril de 2023  
Florianópolis, SC

Editores

Douglas Francisco Marcolino Gherardi  
Ieda Del'Arco Sanches  
Luiz Eduardo Oliveira e Cruz de Aragão



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

**São José dos Campos  
2023**

## OBTENÇÃO DE CARACTERÍSTICA DE COR DA ÁGUA DA BACIA DO RIO MADEIRA POR MEIO DE IMAGENS DE SATÉLITE – COMPARATIVO ENTRE 1995 E 2020.

Flavio Fagundes de Paula<sup>1</sup>, Jessica Ribeiro Fontoura<sup>2</sup>, Rodrigo Cauduro Dias de Paiva<sup>3</sup>  
Arthur Kolling Neto<sup>4</sup>.

<sup>1</sup>Mestrando IPH-UFRGS, Porto Alegre, engenharia.flaviofagundes@gmail.com; <sup>2</sup>Doutoranda IPH-UFRGS, Porto Alegre e jessica.ribeirofontoura@gmail.com; <sup>3</sup>Professor IPH-UFRGS, Porto Alegre, rodrigo.paiva@ufrgs.br; <sup>4</sup>Doutorando IPH-UFRGS, Porto Alegre, arthur.kolling@ufrgs.br.

### RESUMO

Considerando a relevância da Amazônia nos cenários científicos e econômico, este trabalho teve como objetivo estimar a cor da água, calculada por meio dos ângulos de refletância das bandas RGB, no Rio Madeira e seus afluentes. Foram utilizadas as ferramentas computacionais Qgis e Google Earth Engine, associadas à dados do satélite Landsat 5 e 8. Para manipulação das imagens foram desenvolvidas rotinas no GEE e RStudio. Após extração da refletância das bandas RGB, realizou-se o cálculo do ângulo das coordenadas cromáticas, permitindo a determinação do comprimento de onda equivalente. Após tratamento dos dados no Qgis foram elaborados cartogramas com os principais resultados de cor em escala FU. Nos resultados foram observadas alterações na cor da água dos rios principais, que podem estar associadas a modificações antrópicas na bacia. As variações observadas podem estar relacionadas com alterações da qualidade da água, principalmente ao aumento dos sólidos em suspensão e matéria orgânica.

**Palavras-chave** — Amazônia, sensoriamento remoto, cor da água, qualidade da água.

### ABSTRACT

*Given the importance of the Amazon region in scientific and economic scenarios, the goal of this study was to estimate the water color in the Madeira River and its tributaries by calculating the reflectance angles of the RGB bands. Data from the Landsat 5 and 8 satellites were processed by computational tools Qgis and Google Earth Engine. Routines for image manipulation were created in GEE and RStudio. After extracting the reflectance from the RGB bands, the angle of the chromatic coordinates was calculated, allowing the equivalent wavelength to be determined. Cartograms were created after the data was processed in Qgis, and the main color results were displayed in FU scale. The findings revealed changes in the main river's water color, which could be linked to anthropogenic changes in the watershed. The observed changes could be attributed to changes in water quality, specifically an increase in suspended solids and organic matter.*

**Key words** — Amazon, remote sensing, water color, water quality.

### 1. INTRODUÇÃO

A região amazônica representa o maior sistema fluvial do mundo, abrangendo boa parte da América do Sul com seus mais de 6 milhões de km<sup>2</sup> [1, 2], justificando sua importância nos cenários científico e econômico mundial [3].

A Amazônia atualmente é afetada pelas mudanças de uso e cobertura do solo, onde as grandes áreas de florestas são substituídas por atividades agrícolas, agropecuárias, e da indústria de extração de ouro entre outros minerais, não só no Brasil, mas em países como a Bolívia e Peru [4].

Considerando a importância da região da bacia amazônica, monitorar as variações na qualidade da água é necessário [3]. Esta necessidade vai de encontro com as dificuldades impostas por um ambiente muitas vezes inacessível e/ou impraticável para campanhas *in situ* [1, 2], demandando técnicas e ferramentas que permitam estudos contínuos e economicamente viáveis. Neste cenário o uso e desenvolvimento de mecanismo de sensoriamento remoto, como satélites Landsat e, Sentinel, que oferecem um bom volume de imagens de com acesso livre, permitindo estudos regulares de condições florestais, de solo e hidrológicas [5].

Juntamente com a evolução do monitoramento por sensoriamento remoto, também tem se desenvolvido aplicações de geoprocessamento, como aplicativos GIS, e em “nuvem” como o Google Earth Engine (GEE), permitindo que estas tecnologias e seus avanços sejam utilizados para o desenvolvimento científico do ciclo hidrológico terrestre [5, 6].

O uso do sensoriamento remoto permite mais facilmente o monitoramento dos componentes opticamente ativos (COAs), estes interagem com a luz possibilitando a observação das características dos corpos hídricos [5], principalmente da cor da água, permitindo estimar indiretamente as condições e qualidade da água [6]. Diversos estudos tem se dedicado a compreender a formação da cor das águas, seja ela dos oceanos [7], lagos e águas continentais [8], no Brasil [9], América do norte [10] e Ásia [8].

Este trabalho teve objetivo obter dados de cor da água calculada por meio dos ângulos de refletância das bandas RGB, para o Rio Madeira e seus afluentes.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Área de estudos e dados

O estudo foi desenvolvido na bacia hidrográfica do Rio Madeira, e seus principais afluentes com no mínimo 30 metros de largura média. Foram utilizadas imagens das missões Landsat, os dados para o ano de 1995 foram obtidos da missão Landsat 5, e as imagens para 2020 das missões Landsat 7 e 8.

Foram processadas imagens obtidas entre os meses de junho a setembro, período com poucas chuvas na região. Foi utilizado um filtro de 10% para cobertura de nuvens. Resultando em um total de 179 imagens para o ano de 1995, e 537 para o ano de 2020, sendo 261 cenas do Landsat 7 e 276 cenas do Landsat 8.

### 2.2. Métodos

Para determinar a cor da água, utilizou-se além das cores visíveis, o ângulo de reflectância de cada uma das bandas RGB, na primeira etapa utilizou-se o GEE para cálculo dos ângulos X, Y e Z, por meio das equações a seguir [8].

$$X=2.7689R+1.7517G+1.1302B \quad (01)$$

$$Y=1.0000R+4.5907G+0.0601B \quad (02)$$

$$Z=0.0565G+5.5943B \quad (03)$$

Onde, X, Y e Z representam os ângulos de reflectância em cada um dos eixos, R o comprimento da banda *red* (vermelha), G o comprimento da banda *green* (verde), e B o comprimento da banda *blue* (azul).

Para obtenção das coordenadas cromáticas foram utilizadas equações seguintes [10].

$$x=X/(X+Y+Z) \quad (04)$$

$$y=Y/(X+Y+Z) \quad (05)$$

$$z=Z/(X+Y+Z) \quad (06)$$

Onde, x, y e z representam coordenadas cromáticas. X, Y e Z os comprimentos de onda dominante.

O valor do ângulo de matiz ( $\alpha$ ) foi calculado por meio das coordenadas cromáticas de acordo com o comprimento de onda, utilizado pela *International Commission on Illumination* (CIE), [8].

$$\alpha=(\arctan2((x-0.33)/(y-0.33)))(180/\pi) \quad (07)$$

Onde,  $\alpha$  trata-se do ângulo de matiz (CIE), x e y representam as coordenadas cromáticas.

As equações foram adaptadas em códigos para GEE e RStudio (RS) [9, 10], foram selecionados o período de junho a setembro de 1995 e 2020 estação de seca na região, após o

processamento foi exportado para o Google Drive uma planilha em arquivo “CSV”, esta foi processada no aplicativo RS onde outro algoritmo foi elaborado para converter ângulos em comprimentos de onda, e por meio desta obter uma cor (CIE) no espectro visível.

Após tratamento no RStudio gerou-se uma tabela que foi mesclada por meio do Qgis à tabela de atributos do arquivo vetorial com os corpos hídricos, com 151 trechos de larguras maiores que 30 metros, a simbologia foi tratada de forma que cada trecho recebesse a cor predominante, foi utilizada como parâmetro a FU-class, variando entre comprimentos de onda dominante entre 471 nm e 475 nm no parâmetro F1, à comprimentos entre 582 nm e 583 nm em F21, partindo da água mais transparente e com menor concentração de sedimentos na cor azul, para trechos com maior concentração de partículas inorgânicos na cor vermelha [7, 8].

## 3. RESULTADOS

Considerando os resultados obtidos para a escala de cor FU, variando do azul para as águas mais claras e com pouco material em suspensão, para o vermelho representando as águas com maior incremento de comprimento de onda [8, 10]. Para a bacia do Madeira figura 1, observa-se alterações ao longo do Rio Madeira, com acentuação em alguns trechos que apresentam cor vermelho escuro, figura 1 (A).

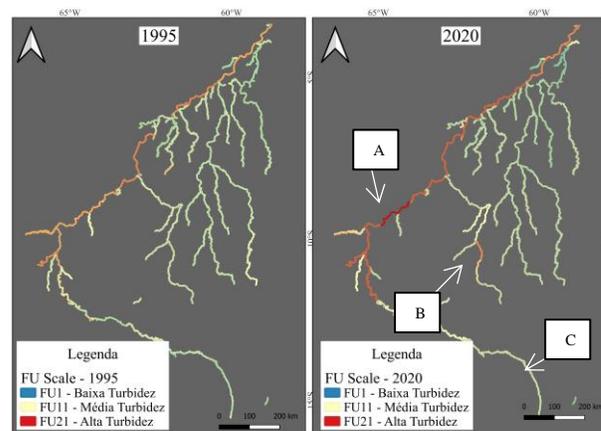


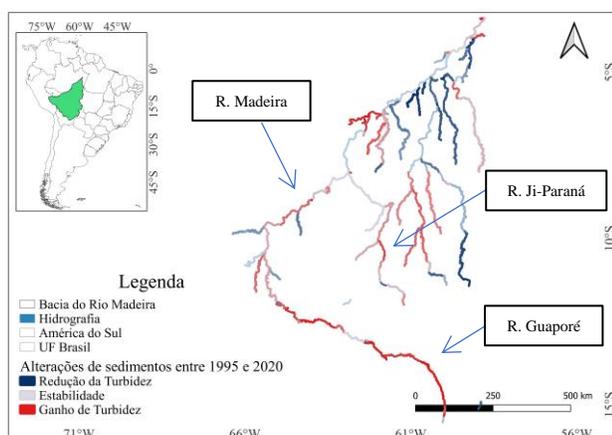
Figura 1. Escala de cores como indicativo de qualidade na bacia do Madeira (A), e sub-bacias do Ji-Paraná (B) e Guaporé (C).

Assim como o Madeira, os rios Ji-Paraná ao centro, figura 1 (B) e Guaporé na parte inferior da figura 1 (C), também demonstraram aumento no comprimento médio de onda, no primeiro a cor predominante verde em 1995 deu lugar ao amarelo e tons de laranja em 2020, da mesma forma o Guaporé apresenta atualmente uma tendência a cor amarelada.

Ano	Max	Med	Min	D.P.	Var	FU
1995	575	545	494	22.4	81	5-17
2020	586	547	490	26.8	95	5-21

**Tabela 1. Resumos estatístico de comprimentos de onda e escalas de cor para os anos de 1995 e 2020.**

Na tabela 1 temos o resumo estatístico das duas séries, de comprimento de ondas (cor), para os períodos analisados, 1995 apresentou valores máximo e médio menores que o período de 2020, o desvio padrão e a variação entre máximos e mínimos também foi menor para série da década de 1990, em 1995 a escala de FU variou entre FU5 e FU17, para 2020 foram identificadas mais 4 classes, sendo classificadas de FU5 a FU21.



**Figura 2. Diferença de valores médios para os trechos observados nas duas séries, analisadas 1995 e 2020.**

A figura 2, foi elaborada com dados da diferença entre os valores médios calculados para os dois períodos analisados 1995 e 2020, foi utilizado um espectro de cores variando do azul para trechos que diminuíram o valor de comprimento de onda dominante, e vermelho para trechos que ganharam comprimento, indicando regiões que variaram na escala FU, os rios Guaporé, Ji-Paraná, assim como trechos do Madeira e Mamoré demonstraram aumento no valor de comprimentos de onda dominante, indicados pela cor vermelha, podendo estar relacionados com o aumento de partículas em suspensão com águas apresentando cores com tendência ao marrom avermelhado [8, 10].

#### 4. DISCUSSÃO

Dos milhões de toneladas de sedimentos que são lançadas anualmente pelo Rio Amazonas no Oceano Atlântico. As bacias do Rio Madeira e do Rio Solimões são as principais regiões de contribuição. Isto se deve principalmente por condições geomorfológicas das bacias, e outras condições naturais, que podem ser influenciadas por questões antrópicas como, supressão da vegetação, aumento dos perímetros

urbanos, e atividades econômicas como, agropecuária, mineração, geração de energia e etc. [1, 2, 4].

O aumento dos comprimentos médios de ondas observados nos trechos apresentados nas figuras 1 e 2, podem ser indicativos da piora das condições de qualidade das águas da bacia do Rio Madeira e seus afluentes, pois maiores comprimentos de onda correspondem a região do vermelho e infravermelho o que indica uma alteração das águas, pelo recebimento de uma alta carga de sedimentos [11].

O Rio Madeira é um rio naturalmente de águas com considerável presença de sólidos em suspensão [1, 2], diferente dos Rios Ji-Paraná e Guaporé, de águas transparentes e pretas ricas em matéria orgânica respectivamente, um aumento no comprimento de ondas dominantes e consequentemente alterações na cor das águas destes corpos hídricos podem derivar de atividades que tem se intensificado nestas sub-bacias, como aumento da atividade agropecuária, onde na bacia do Ji-Paraná região central do estado de Rondônia tem se consolidado as atividades de criação de gado, plantios de monoculturas como soja e milho [12], como na sub-bacia do Guaporé, onde também se destacam as atividades de monocultura e de mineração, que tem se estabelecido no Vale do Guaporé [6, 12].

Em valores médios, tabela 1, a série observada em 1995, apresenta comprimentos de onda dominante menores, o que representa cores que variaram entre as escalas FU5 e FU17, variando de tons verdes aos avermelhados, figura 1, para 2020 a escala variou de FU5 até FU21 partindo do verde ao máximo do vermelho no espectro visível. Considerando que cada intervalo de comprimento de onda dominante, representa uma escala FU e consequentemente uma cor, a série de 2020 possui mais trechos em faixas de cores vermelhas, indicando um aumento da concentração de sólidos em suspensão entre os períodos analisados [7, 8, 10].

#### 5. CONCLUSÕES

Foram demonstradas as alterações na cor das águas na bacia do Rio Madeira, os trechos analisados apresentaram uma coloração mais próxima do marrom avermelhado, onde as alterações pode ser um indicativo de aumento de sólidos em suspensão.

O método de cálculo de cor da água por meio de ângulos e comprimentos de onda, permitiu observar os trechos com maiores alterações, e o cálculo da diferença entre os dois períodos 1995 e 2020 possibilitou identificação de trechos do Madeira, Ji-Paraná, Guaporé como os mais afetados.

O uso do sensoriamento remoto mostrou-se como uma ferramenta valiosa para compreensão e tratamento de dados em grandes áreas e com informações *in situ* escassas. O uso associado de ferramentas como Qgis e processamentos em nuvem com o GEE mostraram-se eficazes, evitando o download de grande volume de dados.

## 6. REFERÊNCIAS

- [1] R. Espinoza-Villar, et al. Spatio-temporal monitoring of suspended sediments in the Solimões River (2000–2014). *Comptes Rendus Geoscience*, v. 350, n. 1-2, p. 4-12, 2018.
- [2] A. C. Fassoni-Andrade, et al. Amazon hydrology from space: scientific advances and future challenges. *Reviews of Geophysics*, v. 59, n. 4, p. e2020RG000728, 2021.
- [3] F. L. Lobo, et al. Effects of small-scale gold mining tailings on the underwater light field in the Tapajós river basin, Brazilian amazon. *Remote Sensing*, v. 9, n. 8, p. 861, 2017.
- [4] C. A. Abe, et al. Modeling the effects of land cover change on sediment concentrations in a gold-mined Amazonian basin. *Regional Environmental Change*, v. 19, n. 6, p. 1801-1813, 2019.
- [5] C. C. F. Barbosa, E. M. L. M. Novo, and V. S. Martins. (Ed.). *Introdução ao Sensoriamento Remoto de Sistemas Aquáticos: princípios e aplicações*. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Brasília, 2019.
- [6] F. L. Lobo, et al. Effects of small-scale gold mining tailings on the underwater light field in the Tapajós river basin, Brazilian amazon. *Remote Sensing*, v. 9, n. 8, p. 861, 2017.
- [7] M. R. Wernand, H. J. Van Der Woerd. Spectral analysis of the Forel-Ule Ocean colour comparator scale. *Journal of the European Optical Society-Rapid Publications*, v. 5, 2010.
- [8] S. WANG, et al. MODIS-based radiometric color extraction and classification of inland water with the Forel-Ule scale: a case study of Lake Taihu. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, v. 8, n. 2, p. 907-918, 2014.
- [9] J. R. Fontoura, R. C. D. Paiva. Dinâmica da qualidade da água de rios brasileiros a partir da determinação da cor da água por imagens de satélite. *Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos (24.: 2021: Belo Horizonte)*. Anais [recurso eletrônico]. Porto Alegre: ABRHidro, 2021.
- [10] J. R. GARDNER, et al. The color of rivers. *Geophysical Research Letters*, v. 48, n. 1, p. e2020GL088946, 2021.
- [11] F. L. OBO, et al. Reference spectra to classify Amazon water types *International Journal of Remote Sensing*, v. 33, n. 11, p. 3422-3442, 2012.
- [12] RONDÔNIA (Estado). Secretaria de Meio Ambiente. *Plano Estadual de Recursos Hídricos – Relatório Final*. RHA Engenharia e Consultoria, Curitiba, 2018.