

## Morfometria e desmatamento da microbacia do rio Pirarara, Cacoal, Rondônia

Morphometry and deforestation of the Pirarara River microbasin, Cacoal, Rondônia

Morfometría y deforestación de la microcuenca del río Pirarara, Cacoal, Rondônia

Recebido: 16/06/2021 | Revisado: 23/06/2021 | Aceito: 09/07/2021 | Publicado: 20/07/2021

### **Dhielen Maiza Mendes**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8273-3053>  
Universidade Federal de Rondônia, Brasil  
E-mail: [maizamendesflorestal@gmail.com](mailto:maizamendesflorestal@gmail.com)

### **Diego Pereira Costa**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9165-4522>  
Universidade Federal de Rondônia, Brasil  
E-mail: [diegoflorestal@outlook.com](mailto:diegoflorestal@outlook.com)

### **Diogo Martins Rosa**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3427-8353>  
Universidade Federal de Rondônia, Brasil  
E-mail: [mrosa.diogo@gmail.com](mailto:mrosa.diogo@gmail.com)

### **Jhony Vendruscolo**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3043-0581>  
Universidade Federal do Amazonas, Brasil  
E-mail: [jhonyvendruscolo@gmail.com](mailto:jhonyvendruscolo@gmail.com)

### **Wanderson Cleiton Schmidt Cavalheiro**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1356-8511>  
Cavalheiro Engenharia Rural e Empresarial Ltda, Brasil  
E-mail: [engflo.ro@gmail.com](mailto:engflo.ro@gmail.com)

### **Antonio Augusto Marques Rodrigues**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3988-9436>  
Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Brasil  
E-mail: [antonioaugustomr@yahoo.com.br](mailto:antonioaugustomr@yahoo.com.br)

### **Resumo**

As características fisiográficas da paisagem são informações essenciais para o planejamento e gestão dos recursos hídricos nas microbacias. Objetivou-se analisar a morfometria e a dinâmica da cobertura do solo na microbacia do rio Pirarara, Amazônia, Brasil. Analisou-se a geometria, relevo e drenagem, com imagens dos satélites Alos, e o desmatamento (NDVI) com imagens dos satélites Landsat 5 e 8 (1988 a 2018), utilizando os softwares QGIS e Google Earth Pro. A microbacia tem baixa suscetibilidade a inundações, relevos planos a montanhosos, drenagem complexa e 73,86% da área desmatada. A microbacia foi amplamente afetada pelo avanço migratório e agropecuária no Estado.

**Palavras-chave:** Recursos hídricos; Cobertura do solo; Índice de vegetação; Bacia hidrográfica; Geoprocessamento.

### **Abstract**

The physiographic characteristics of the landscape are essential information for the planning and management of water resources in the microbasins. The objective was to analyze the morphometry and soil cover dynamics in the Pirarara microbasin, Amazonia, Brazil. Geometry, relief and drainage were analyzed using images from the Alos satellites, and deforestation (NDVI) with images from the Landsat 5 and 8 satellites (1988 to 2018), using QGIS and Google Earth softwares. The microbasin has low susceptibility to floods, flat to mountainous reliefs, complex drainage and 73.86% of the deforested area. The microbasin was largely affected by the migratory and agricultural expansion in the State.

**Keywords:** Water resources; Soil cover; Vegetation index; River basin; Geoprocessing.

### **Resumen**

Las características fisiográficas del paisaje son información esencial para la planificación y gestión de los recursos hídricos en las cuencas hidrográficas. El objetivo de este estudio fue analizar la morfometría y la dinámica de la cobertura del suelo en la cuenca del río Pirarara, Amazonia, Brasil. La geometría, el relieve y el drenaje se analizaron con imágenes de los satélites Alos y la deforestación (NDVI) con imágenes de los satélites Landsat 5 y 8 (1988 a 2018) utilizando QGIS y el software Google Earth Pro. La microcuenca tiene baja susceptibilidad inundaciones, relieves de planos montañosos, drenaje complejo y 73.86% del área deforestada. La microcuenca se vio afectada en gran medida por los avances migratorios y agrícolas en el estado.

**Palabras clave:** Recursos hídricos; Cobertura del suelo; Índice de vegetación; Cuenca; Geoprosesamiento.

## 1. Introdução

A bacia hidrográfica é uma unidade territorial utilizada para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. A gestão tem como finalidade principal assegurar a todos a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos (Brasil, 1997).

O Estado de Rondônia está inserido na região amazônica (considerada abundante em recursos hídricos), e contém em seu território sete bacias hidrográficas, que estão subdivididas em 42 sub-bacias, e estas em várias microbacias (SEDAM, 2002). Estas áreas são importantes por fornecerem água para o abastecimento de público, geração de energia elétrica, pecuária, navegação fluvial, irrigação e lazer (Stachiw, 2017).

As microbacias são áreas com menor dimensão em relação às sub-bacias e bacias, permitindo um levantamento mais detalhado das características da paisagem e, conseqüentemente, o planejamento e gestão mais eficiente dos recursos hídricos. A microbacia do rio Pirarara pertence à sub-bacia do Alto Rio Machado, e seus recursos hídricos são utilizados para abastecimento público, agropecuária e industrial (Almeida, 2017). Parte desta microbacia está localizada na área urbana do município de Cacoal, resultando em inúmeras alterações, destacando-se o desmatamento da floresta nativa, impermeabilização do terreno (edificações e pavimentação das vias de circulação), assoreamento (sedimentos provenientes de erosão) e contaminação dos cursos d'água (esgotos) (Barbosa e Silva Filho, 2018).

Apesar da importância da microbacia do rio Pirarara, constatam-se poucas informações sobre as características da paisagem para auxiliar no planejamento e gestão dos recursos hídricos. Essas informações estão relacionadas com a geometria, relevo, rede de drenagem (Pissarra et al., 2010) e cobertura do solo, e podem ser obtidas com o uso integrado de geotecnologias, em tempo hábil e com baixo custo financeiro (Grohmann et al., 2008; Aher et al., 2014).

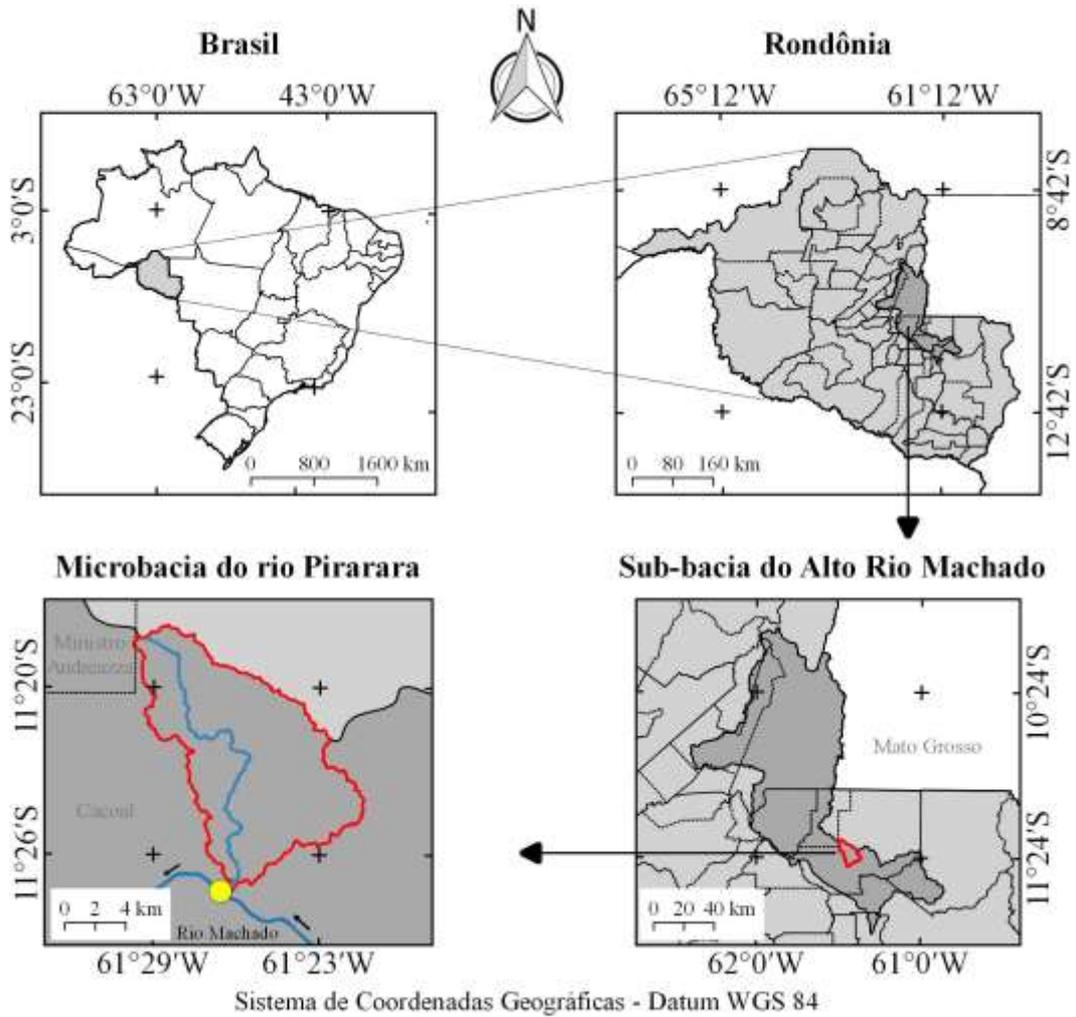
Diante do exposto, objetivou-se com esse trabalho caracterizar e analisar a morfometria e a dinâmica da cobertura do solo na microbacia do rio Pirarara, com uso de geotecnologias. Partindo do objetivo proposto foram formuladas as seguintes perguntas: (1) a geometria, o relevo e a drenagem são similares a outras microbacias do estado? (2) Houve desmatamento na microbacia e na área de mata ciliar do rio Pirarara? Caso sim, quais são as proporções e os possíveis agentes causadores?

## 2. Metodologia

### 2.1 Localização e características gerais da área de estudo

O trabalho foi realizado na microbacia do rio Pirarara, inserida nos municípios de Cacoal 131,34 km<sup>2</sup> (99,96%) e Ministro Andreazza 0,05 km<sup>2</sup> (0,04%), no Estado de Rondônia (Figura 1). A região tem clima do tipo Monção (Am) (Alvares et al., 2013), precipitações anuais entre 1.728,9 e 2.008,2 mm, concentradas nos meses de novembro a março (Franca, 2015), temperatura anual média de 25,3 °C (SEDAM, 2012) e um mosaico de vegetação, havendo áreas de floresta ombrófila densa ou aberta, savana arborizada, savana gramínea - lenhosa ou cerrado, que comportam grande diversidade de espécies da fauna e flora (IBGE, 2012).

**Figura 1.** Localização da microbacia do rio Pirarara, Cacoal, Rondônia.



Fonte: Autores.

## 2.2 Parâmetros da paisagem

Os parâmetros morfométricos analisados foram: área, perímetro, fator de forma, coeficiente de compactidade, índice de circularidade, altitude, relevo, padrão de drenagem, ordem dos cursos d'água, densidade de drenagem, densidade hidrográfica, densidade de nascentes, índice de sinuosidade e tempo de concentração (Tabela 1).

**Tabela 1.** Descrição dos parâmetros morfométricos analisados na microbacia do rio Pirarara, Cacoal, Rondônia.

<b>Características geométricas</b>			
<b>Parâmetro</b>	<b>Equação</b>	<b>Descrição</b>	<b>Autor</b>
Área (km <sup>2</sup> )	*	Área em projeção horizontal delimitada por seus divisores topográficos.	-
Perímetro (km)	*	Comprimento da linha divisora de águas que limita a bacia hidrográfica.	-
Fator de forma (F)	$F = \frac{A}{L^2}$	A: área da bacia (km <sup>2</sup> ); e L: comprimento do eixo principal (km).	2
Coefficiente de compacidade (Kc)	$Kc = 0,28 \times \frac{P}{\sqrt{A}}$	P: perímetro da bacia hidrográfica (km); e A: área de drenagem da bacia hidrográfica (km <sup>2</sup> ).	2
Índice de circularidade (Ic)	$Ic = \frac{12,57 \times A}{P^2}$	A: área de bacia hidrográfica (km <sup>2</sup> ); e P: perímetro da bacia hidrográfica (km).	3
<b>Características do relevo</b>			
<b>Parâmetro</b>	<b>Equações</b>	<b>Descrição</b>	<b>Autor</b>
Altitude (m)	*	É a distância vertical medida entre um determinado ponto, e o nível médio do mar.	1
Relevo	*	É uma feição contínua e tridimensional da paisagem, representada por pontos cotados.	1
<b>Características da rede de drenagem</b>			
<b>Parâmetro</b>	<b>Equações</b>	<b>Descrição</b>	<b>Autor</b>
Padrão de drenagem	*	Aspecto do traçado do conjunto dos talwegues da bacia hidrográfica.	4
Ordem dos cursos d'água	*	É a ordenação dos cursos d'água: 1ª ordem são canais sem tributários; 2ª ordem é formado pela junção de dois canais de 1ª ordem; 3ª ordem é formado pela junção de dois canais de 2ª ordem; e assim sucessivamente.	5
Densidade hidrográfica (Dh) (rios km <sup>-2</sup> )	$Dh = \frac{N}{A}$	N: número de rios ou cursos de água (unid.); e A: área de drenagem total (km <sup>2</sup> ).	5
Densidade de drenagem (Dd) (km km <sup>-2</sup> )	$Dd = \frac{L}{A}$	L: comprimento total dos canais (km); e A: área de drenagem total (km <sup>2</sup> ).	6
Densidade de nascentes (Dn)	$Dn = \frac{Nn}{A}$	Nn: número de nascentes; e A: área de drenagem total (km <sup>2</sup> ).	7
Índice de sinuosidade (Is) (%)	$Is = 100 \frac{(L - Ev)}{L}$	L: comprimento do rio principal (km); e Ev: distância vetorial entre os pontos extremos do talwegue (km).	2
Tempo de concentração (Tc) (Min.)	$Tc = 57 \times \left(\frac{L^3}{H}\right)^{0,385}$	L: comprimento do talwegue principal (km); e H: desnível entre a parte mais elevada e a seção de controle (km).	8

<sup>1</sup>Veiga; Zanetti e Faggion (2012); <sup>2</sup>Villela e Mattos (1975); <sup>3</sup>Schumm (1956); <sup>4</sup>Parvis (1950); <sup>5</sup>Horton (1945); <sup>6</sup>Christofolletti (1969); <sup>7</sup>Machado e Souza (2005); <sup>8</sup>(Kirpich 1940, apud Targa et al., 2012); \*Dados obtidos por geoprocessamento.

A características morfométricas obtidas pelo geoprocessamento foram mensuradas conforme as etapas a seguir:

1ª Etapa: edição da rede de drenagem com o software Google Earth Pro, utilizando a ferramenta “Adicionar caminho”. As trilhas foram salvas em formato Keyhole Markup Language (kml), em seguida realizou-se a classificação da ordem dos cursos d'água manualmente no software GPS Track Maker free (versão 13.9.596), de acordo com Strahler (1957). Posteriormente, classificou-se o padrão de drenagem segundo Parvis (1950).

2ª Etapa: extração das nascentes, realizado no software QGIS 2.18.24 (versão Las Palmas) (QGIS Development Team, 2015) com a ferramenta “Stream feature extractor”.

3ª Etapa: delimitação da microbacia com o software QGIS e o complemento Terrain Analysis Using Digital Elevation Models (TauDEM), usando imagens altimétricas do satélite Alos (Sensor Palsar), resolução espacial de 12,5 m (ASF, 2017). Utilizaram-se os seguintes comandos: Pit remove, D8 Flow Directions, D8 Contributing Area (1ª versão), Stream Definition by Threshold (1ª versão), criação do ponto de exutório, D8 Contributing Area (2ª versão), Stream Definition by Threshold (2ª versão) e Stream Reach and Watershed. Com base na rede de drenagem (gerada na etapa 1) e sulcos naturais do terreno (observados no software Google Earth), realizou-se o ajuste da delimitação da microbacia. Por fim, mensurou-se a área e o perímetro com a ferramenta “Calculadora de campo” do software QGIS.

4ª Etapa: obteve-se os valores de altitude mínima e máxima, diretamente da imagem altimétrica ALOS, e a altitude média com a ferramenta “Estatística por zona”. Em seguida mensurou-se a declividade da paisagem com a ferramenta “Modelo Digital de Elevação”, para caracterização do relevo.

Os valores dos parâmetros fator de forma, coeficiente de compacidade, índice de circularidade, ordem da rede de drenagem, densidade hidrográfica, densidade de drenagem, densidade de nascentes, índice de sinuosidade e relevo, foram classificados com base na literatura (Tabela 2).

**Tabela 2.** Valores de referência para classificação de parâmetros geométricos, drenagem, altitude e relevo.

Parâmetro	Unidade	Limite	Classe	Autor
Fator de forma	-	< 0,50	Não sujeito a enchentes	1
		0,50 – 0,75	Tendência média a enchentes	
		0,76 – 1,00	Sujeito a enchentes	
Coeficiente de compacidade	-	1,00 – 1,25	Alta propensão a enchentes	1
		1,26 – 1,50	Tendência média a enchentes	
		> 1,50	Não sujeito a enchentes	
Índice de circularidade	-	0,36 – 0,50	Forma alongada	2
		0,51 – 0,75	Forma intermediária	
		0,76 – 1,00	Forma circular	
Ordem da rede de drenagem	-	1	Improvável habitat de peixes	3
		2	Baixas condições para habitação	
		3	Moderadas condições para habitação	
		≥ 4	Elevadas condições para habitação	
Densidade hidrográfica	canais km <sup>-2</sup>	< 3	Baixa	4
		3 – 7	Média	
		7 – 15	Alta	
		> 15	Muito alta	
Densidade de drenagem	km km <sup>-2</sup>	< 0,50	Baixa	5
		0,50 – 2,00	Média	
		2,01 – 3,50	Alta	
		> 3,50	Muito alta	
Índice de sinuosidade	%	< 20	Muito reto	6
		20 – 29	Reto	
		30 – 39,9	Divagante	
		40 – 49,95	Sinuoso	
		> 50	Muito sinuoso	
Relevo	%	0 – 3	Plano	7
		3 – 8	Suave ondulado	
		8 – 20	Ondulado	
		20 – 45	Forte ondulado	
		45 – 75	Montanhoso	

Fontes: 1 – Lima Júnior et al. (2012); 2 – Silva (2012); 3 – Adaptado de Fairfull & Witheridge (2003); 4 – Lollo (1995); 5 – Beltrame (1994); 6 – Romero et al. (2017); 7 – Santos et al. (2013).

O índice de desmatamento foi realizado primeiramente para a microbacia, em seguida para a área de mata ciliar. Utilizaram-se imagens dos anos de 1988, 1998, 2008 e 2018, dos satélites Landsat 5 e Landsat 8 (Tabela 3), referentes aos meses de julho a agosto, por terem menores incidências de nuvens. Todas as imagens foram obtidas em reflectância (*Level 2*), produto fornecido pelo *Earth Explorer* (USGS, 2018).

**Tabela 3.** Características das imagens de satélites.

Satélite (Sensor)	Resolução			Banda	Órbita	Ponto	Ano
	Espacial (m)	Radiométrica (bits)	Espectral (µm)				
Landsat-5 (TM)	30	16	0,63-0,69	3	230	68	1988
			0,76-0,90	4			1998
			1,55-1,75	5			2008
Landsat-8 (OLI)	30	16	0,64-0,67	4	230	68	2018
			0,85-0,88	5			
			1,57-1,65	6			

TM: Thematic Mapper; OLI: Operational Land Imager. Fonte: Autores.

Para cada ano foi calculado o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) (Equação 1), que leva em consideração a densidade de cobertura vegetal (Rouse et al., 1973).

$$NDVI = \frac{IP - V}{IP + V} \quad \text{(Equação 1)}$$

Em que: IP: Infravermelho Próximo (B4 = Landsat 5; B5 = Landsat 8); V: vermelho (B3 = Landsat 5; B4 = Landsat 8).

Para classificar e dividir a cobertura do solo nas classes floresta (I), área antropizada (II) e água (III) (Tabela 4), utilizou-se a ferramenta “fatiador” (Slicer) do software QGIS. As correções das classes de cobertura do solo foram realizadas manualmente após a comparação dos dados obtidos por NDVI com as composições falsas cores, bandas 5(R), 4(G) e 3(B) do satélite Landsat 5, e 6(R), 5(G) e 4(B) do satélite Landsat 8.

**Tabela 4.** Valores utilizados na ferramenta Slicer para separação das classes de cobertura do solo, com base nas imagens dos satélites Landsat 5 e Landsat 8.

Classes	Landsat 5	Landsat 8
	NDVI	
Floresta	0,65 a 1,00	0,53 a 1,00
Área antropizada	0,17 a 0,65	0,20 a 0,53
Água	-1,00 a 0,17	-1,00 a 0,20

Fonte: Autores.

A área urbana do município de Cacoal faz parte da área antropizada, e foi delimitada e calculada utilizando-se imagens do Google Earth, para cada ano estudado. Posteriormente, as áreas urbanas foram salvas em formato kml e inseridas nas imagens classificadas, para cada ano respectivo.

A delimitação das áreas de matas ciliares foi realizada com a ferramenta buffer do software QGIS. A largura da área de mata ciliar foi mensurada com base no Código Florestal (BRASIL, 2012). Para os anos de 1988, 1998 e 2008 foram utilizados 50 m de raio nas nascentes e 30m nas margens dos rios. No ano de 2018, nas áreas rurais consolidadas utilizou-se 15 m de raio nas nascentes e 8 m nas margens dos rios, e nas áreas com cobertura florestal nativa 50 m de raio nas nascentes e 30 m nas margens dos rios.

### 3. Resultados e Discussão

#### 3.1 Caracterização morfométrica

A microbacia do rio Pirarara tem área de 131,39 km<sup>2</sup>, perímetro de 64,07 km, fator de forma de 0,40, coeficiente de compacidade de 1,57 e índice de circularidade de 0,40. Esses resultados indicam forma alongada, e que não está sujeita a enchentes em condições normais de precipitação. A forma alongada quando comparada com a circular, para microbacias de mesma área, tende a ser mais extensa, reduzindo a probabilidade de ocorrência simultânea de precipitação em toda microbacia.

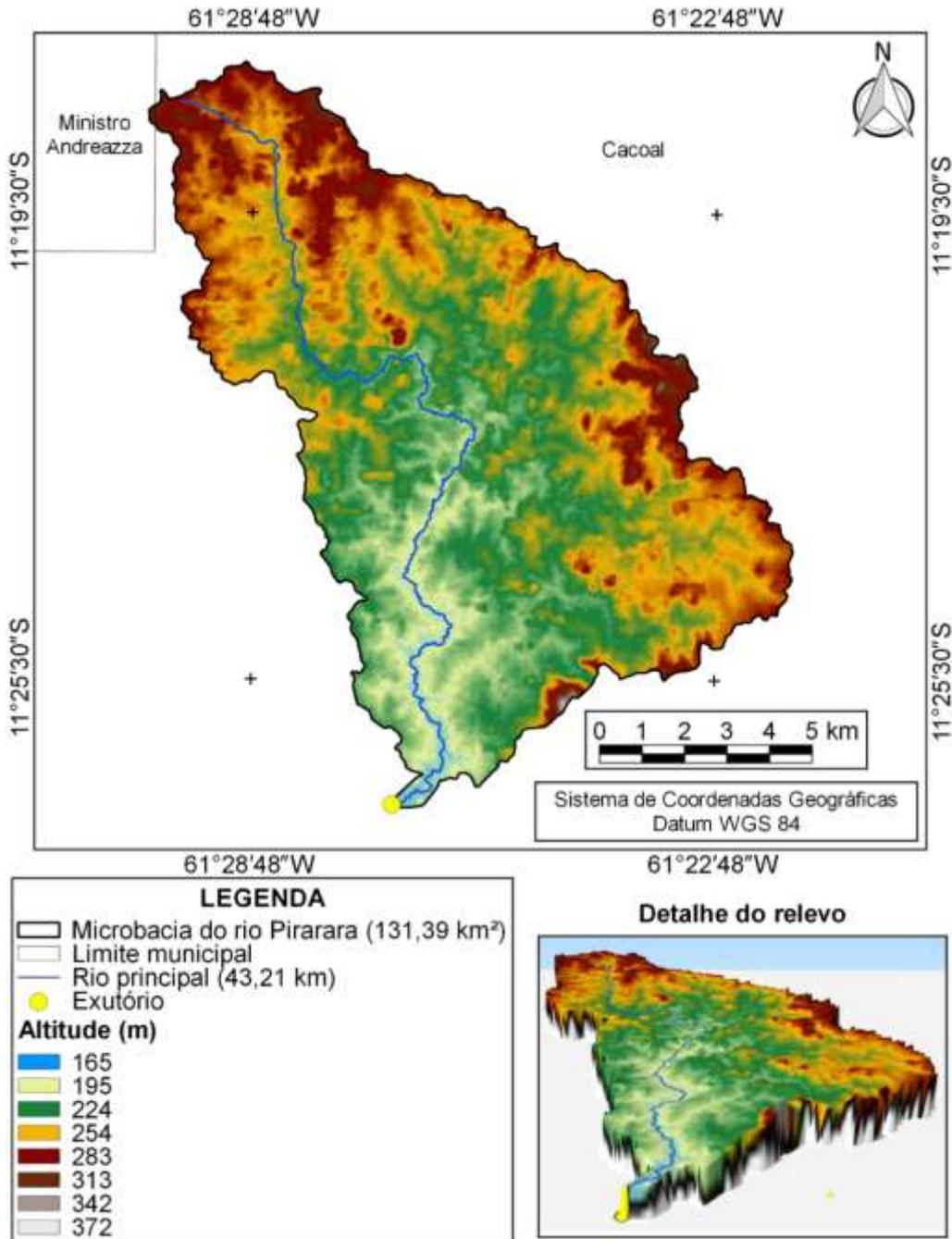
Características geométricas similares foram constatadas nas microbacias dos rios D'Alincourt (Silva et al., 2019) e Tinguí (Santos et al., 2019), e sub-bacia do Alto Rio Pimenta Bueno (Simões et al., 2019). Portanto, essa característica de geometria é comum no Estado de Rondônia, tanto em microbacias quanto em sub-bacias.

A altitude variou de 165 m a 372 m, com média de 241 m (Figura 2). Esses resultados evidenciam que a microbacia tende a ter relevos com baixo nível de altitude, como constatado nas microbacias dos rios Tinguí (Santos et al., 2019), Bananeira (Johem et al., 2018) e Conceição (Siqueira et al., 2018), e sub-bacia do rio Rolim de Moura (Mauro et al., 2019), nos municípios de Alta Floresta D'Oeste, Seringueiras, São Francisco do Guaporé e Rolim de Moura, respectivamente.

A cada 100 m de elevação da altitude ocorre um decréscimo de 0,6 °C, de modo que a altitude pode ser utilizada para zoneamentos de áreas com aptidão agrícola (Biscaro, 2007). O zoneamento é possível porque a temperatura influencia a precipitação e a evapotranspiração (Castro e Lopes, 2001). Neste contexto, constata-se que a microbacia do rio Pirarara pode ter um gradiente térmico de 1,2 °C, em função da amplitude altimétrica de 207 m (Figura 2), e aptidão para cultivo do cafeeiro *Coffea canephora*. O cafeeiro *Coffea canephora* se adequa bem a baixas altitudes (110 a 290 m), precipitações entre 1.500 e 1.800 mm, e temperaturas entre 22 e 26°C, como observado no município de Cacoal (EMBRAPA, 2009).

Em trabalho de Figueiredo et al. (2015) verificou-se que as espécies *Aspidosperma macrocarpon* (Peroba) e *Amburana acreana* (Cerejeira) tem uma maior resiliência em área de várzea não inundável, com altitude variando entre 108 a 255 m. Logo, observa-se que a microbacia Pirarara também tem potencial para produção madeireira das espécies com estas características, por meio de sistemas de reflorestamento, enriquecimento florestal ou sistemas agroflorestais (SAFs).

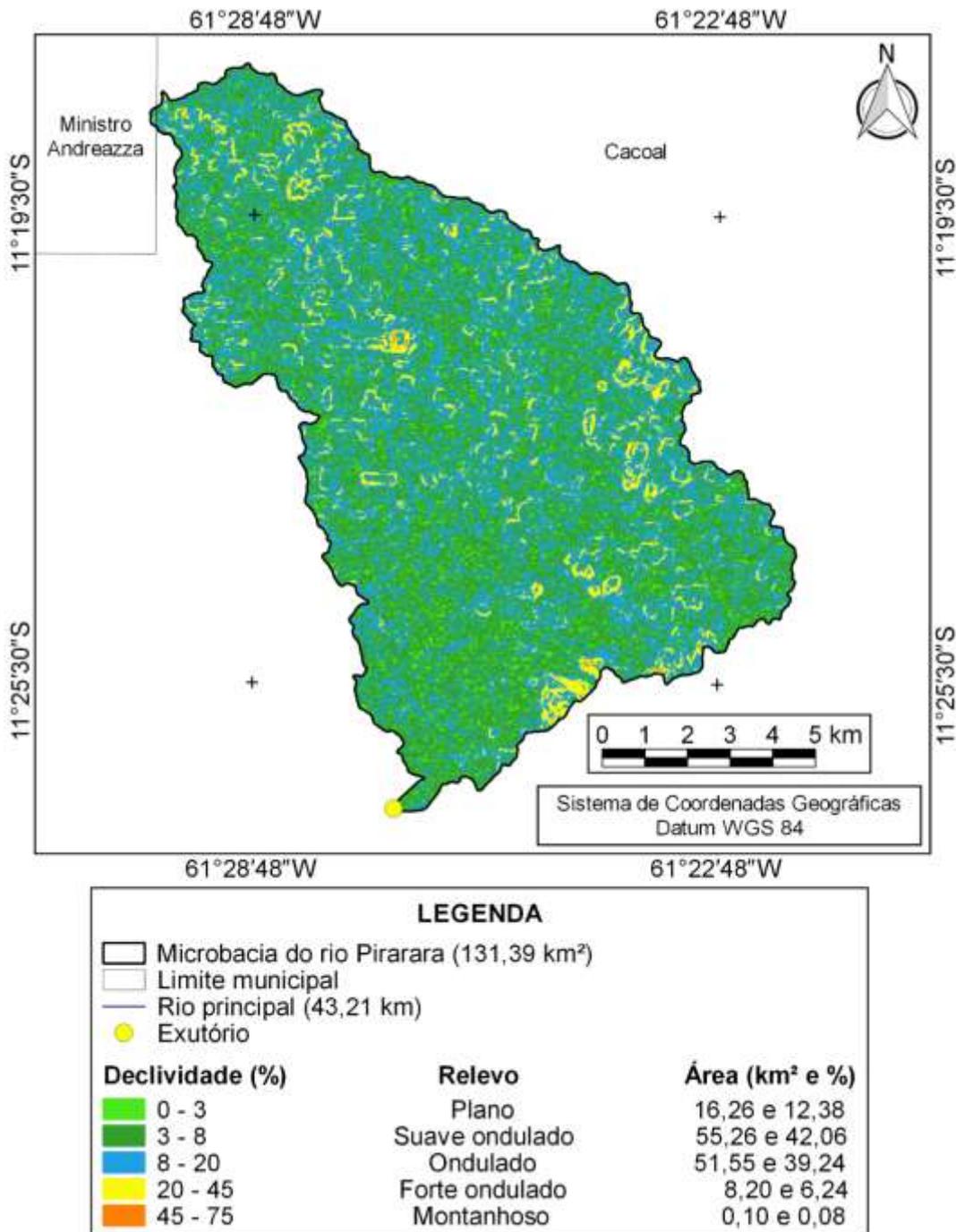
**Figura 2.** Hipsometria da microbacia do rio Pirarara, Cacoal, Rondônia.



Fonte: Autores.

Os valores de declividade variaram de 0 a 67%, resultando em relevos planos a montanhosos, com predominância das classes suave ondulado (42,06%), ondulado (39,24%) e plano (12,38%), respectivamente (Figura 3). As características do relevo da microbacia do rio Pirarara assemelha-se aos encontrados na sub-bacia do Alto Rio Pimenta Bueno (Simões et al., 2019), e microbacias dos rios Tinguí (Santos et al., 2019), D'Alincourt (Silva et al., 2019) e Manicoré (Vendruscolo et al., 2019), localizadas nos municípios de Pimenta Bueno, Alta Floresta D'Oeste e Rolim de Moura, no Estado de Rondônia.

**Figura 3.** Relevo na microbacia do rio Pirarara, Cacoal, Rondônia.



Fonte: Autores.

A declividade é um dos fatores utilizados para a classificação da aptidão agrícola, por permitir a avaliação das limitações quanto aos usos da terra, como o impedimento à mecanização e vulnerabilidade à erosão (Valladares et al., 2008). Comumente, observa-se áreas com declividade de 0 a 5% que são consideradas extremamente aptas, de 5,1 a 10% são muito aptas, 10,1 a 15% são aptas, 15,1 a 20% são moderadamente aptas e > 20% são classificadas como não recomendadas para mecanização em cafeeiros (Höfig e Araújo-Júnior, 2015). Os resultados demonstram que 93% da área total de estudo têm declividade entre 0 a 20%, ou seja, são consideradas extremamente aptas a moderadamente aptas para mecanização em cafeeiros.

Áreas íngremes são mais suscetíveis a perdas de solo, nutrientes e matéria orgânica, em função da potencialização do processo erosivo, sendo essencial a manutenção da serrapilheira e de um tapete formado por sistemas radiculares para proteção

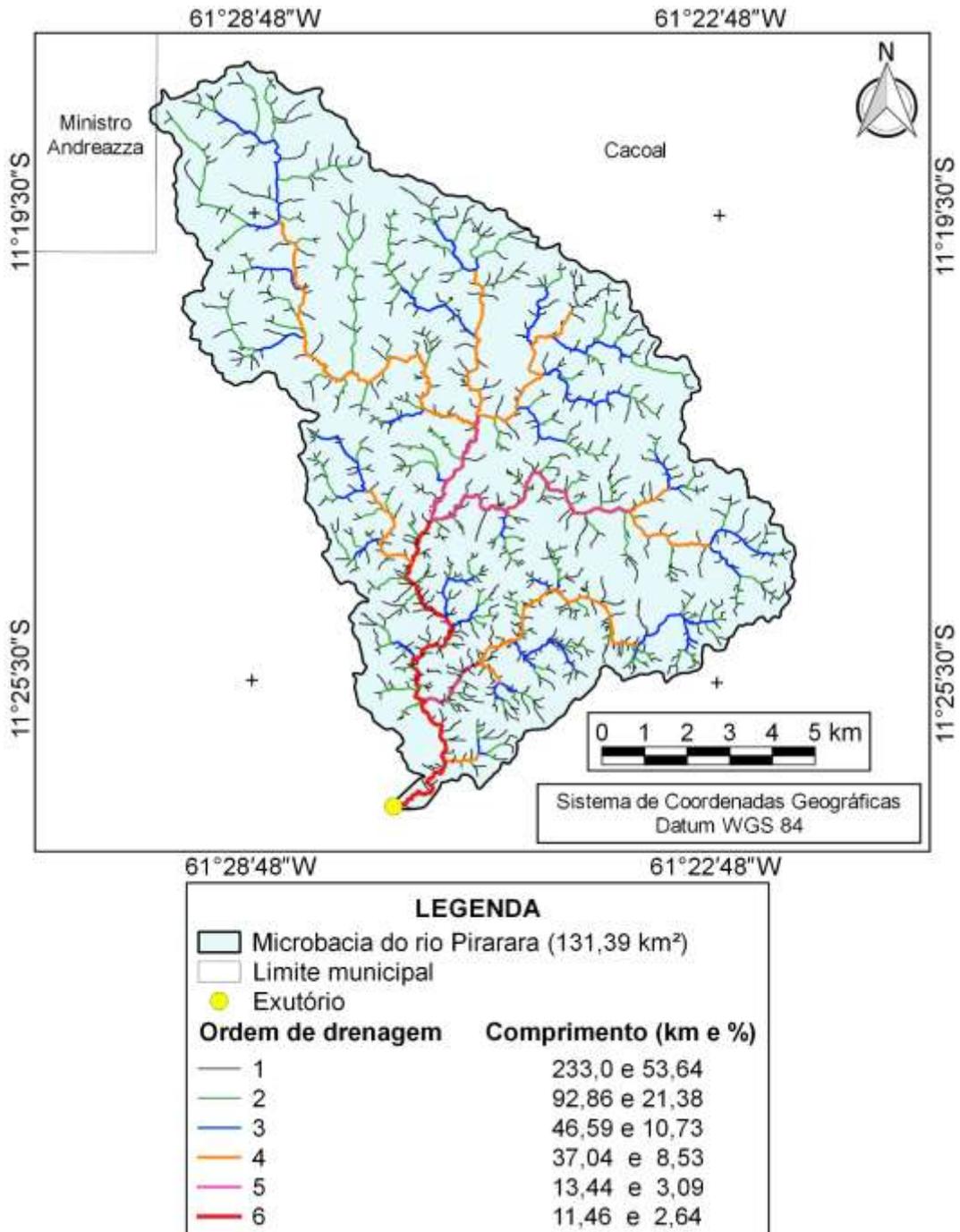
do solo (Ross e Dykes, 1996). Neste contexto, recomenda-se a adoção de práticas integradas de manejo conservacionistas (mecânicas, vegetativas e edáficas), principalmente nas áreas mais declivosas da microbacia.

De acordo com a legislação brasileira (Lei nº 12.651), áreas com declividade inferiores a 25° podem ser utilizadas para implantação de sistemas agropecuários, silvícolas, agroflorestais e silvipastoris (Brasil, 2012). Portanto, verifica-se que 99,93% da área da microbacia enquadra-se nas condições citadas acima, em função da predominância de relevos com baixa declividade (Figura 3).

Com relação a rede de drenagem, constatou-se padrão dendrítico de 6ª ordem (Figura 4), densidade hidrográfica de 2,02 rios km<sup>-2</sup>, densidade de drenagem de 3,31 km km<sup>-2</sup>, densidade de nascente de 2,02 nascentes km<sup>-2</sup> (Figura 5), índice de sinuosidade de 45,01% e tempo de concentração de 12,7 h.

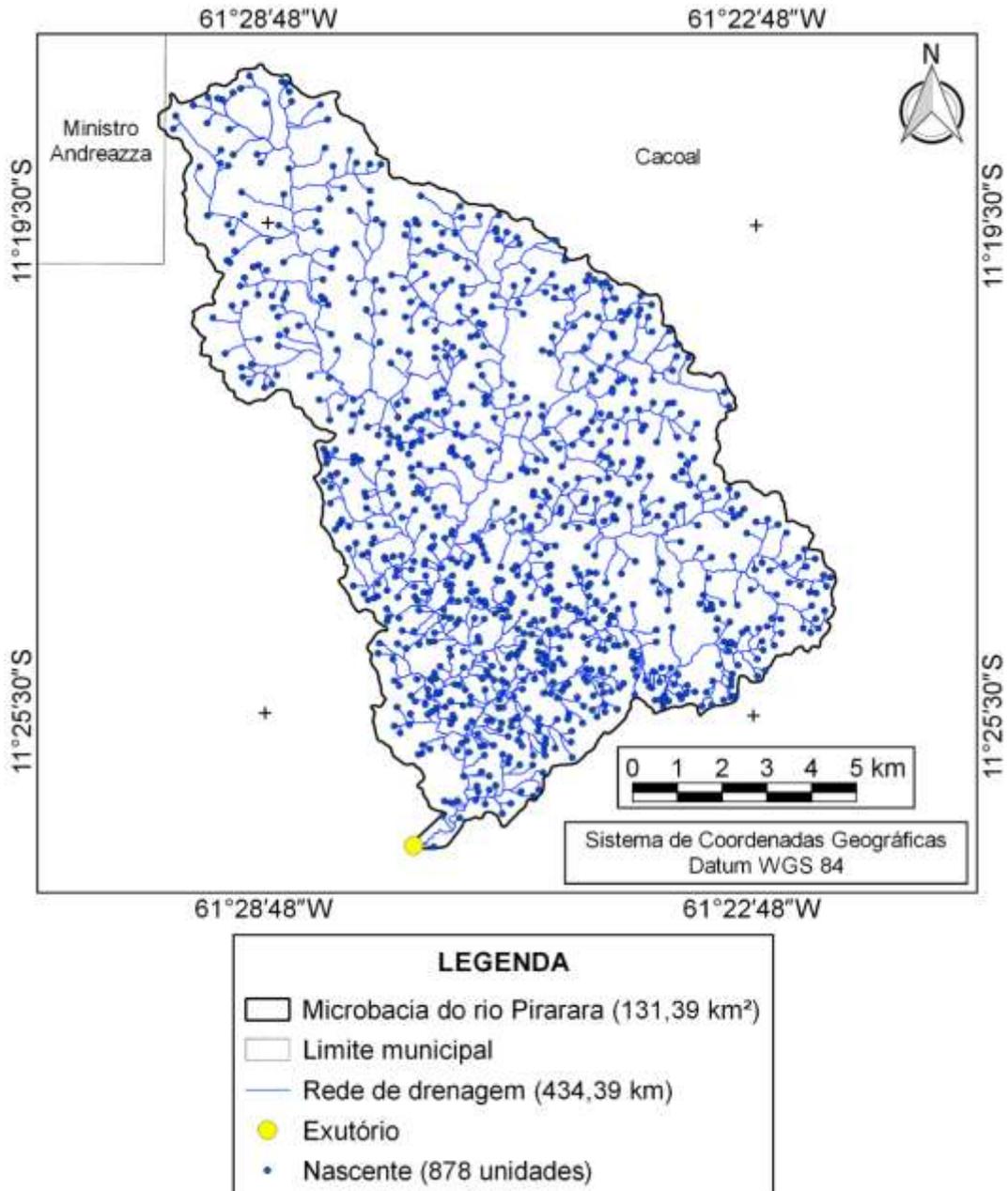
Com base nas características da rede de drenagem, constata-se que a microbacia é bem ramificada, têm alta complexidade no habitat aquático, elevada capacidade de drenagem, canal principal sinuoso e alto tempo de concentração. Esses resultados assemelham-se aos encontrados em outras microbacias da sub-bacia do rio Machado, como exemplos têm-se as microbacias dos rios Manicoré (Vendruscolo et al., 2019) e Tamarupá (Vendruscolo et al., 2021), e estão associados com a combinação do alto índice pluviométrico com as características do relevo.

**Figura 4.** Ordem dos cursos d'água da microbacia do rio Pirarara, Cacoal, Rondônia.



Fonte: Autores.

**Figura 5.** Distribuição espacial das nascentes na microbacia do rio Pirarara, Cacoal, Rondônia.

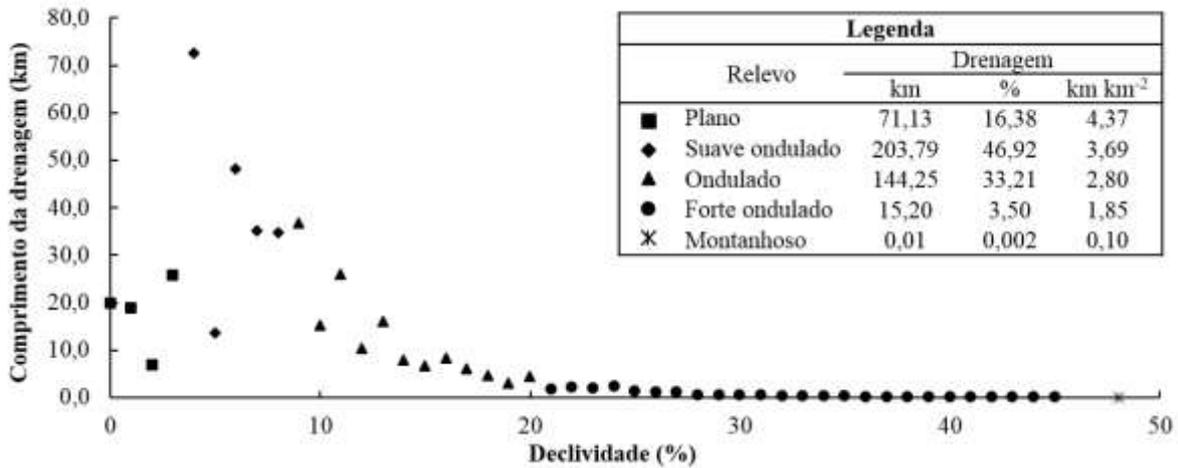


Fonte: Autores.

A influência do relevo é facilmente observada na distribuição da rede de drenagem, com maiores proporções nas classes suave ondulado e ondulado, respectivamente, devido a predominância destas classes. Porém, a densidade de drenagem tende a reduzir conforme eleva-se a declividade (Figura 6).

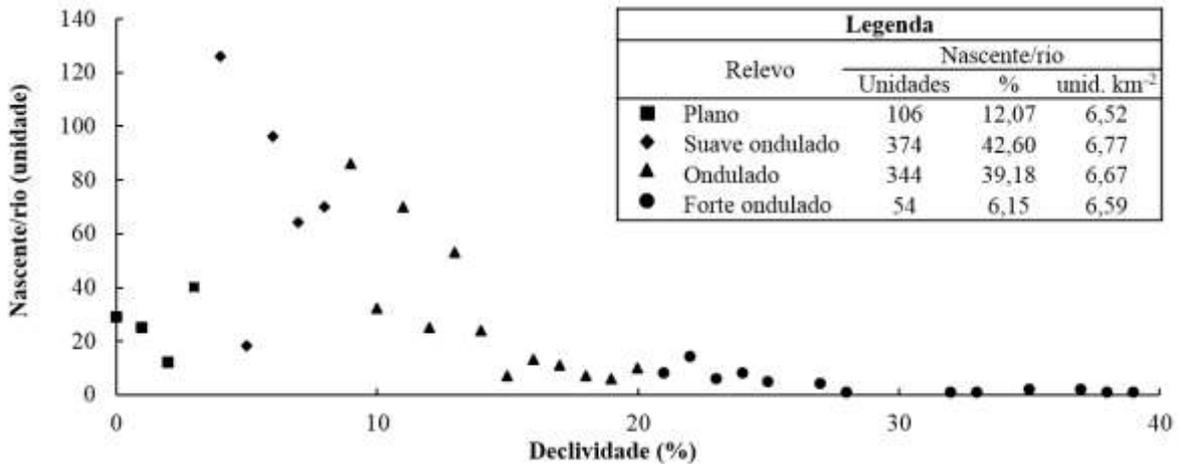
A quantidade de rios e nascentes também foram maiores nas classes de relevo suave ondulado e ondulado, mas os dados de densidades demonstram que há pouca variação em relação às classes de relevo, havendo homogêneas em toda a microbacia (Figura 7).

**Figura 6.** Influência do relevo na distribuição da drenagem na microbacia do rio Pirarara, Cacoal, Rondônia.



Fonte: Autores.

**Figura 7.** Influência do relevo na distribuição de nascentes e rios na microbacia Pirarara, Cacoal, Rondônia.

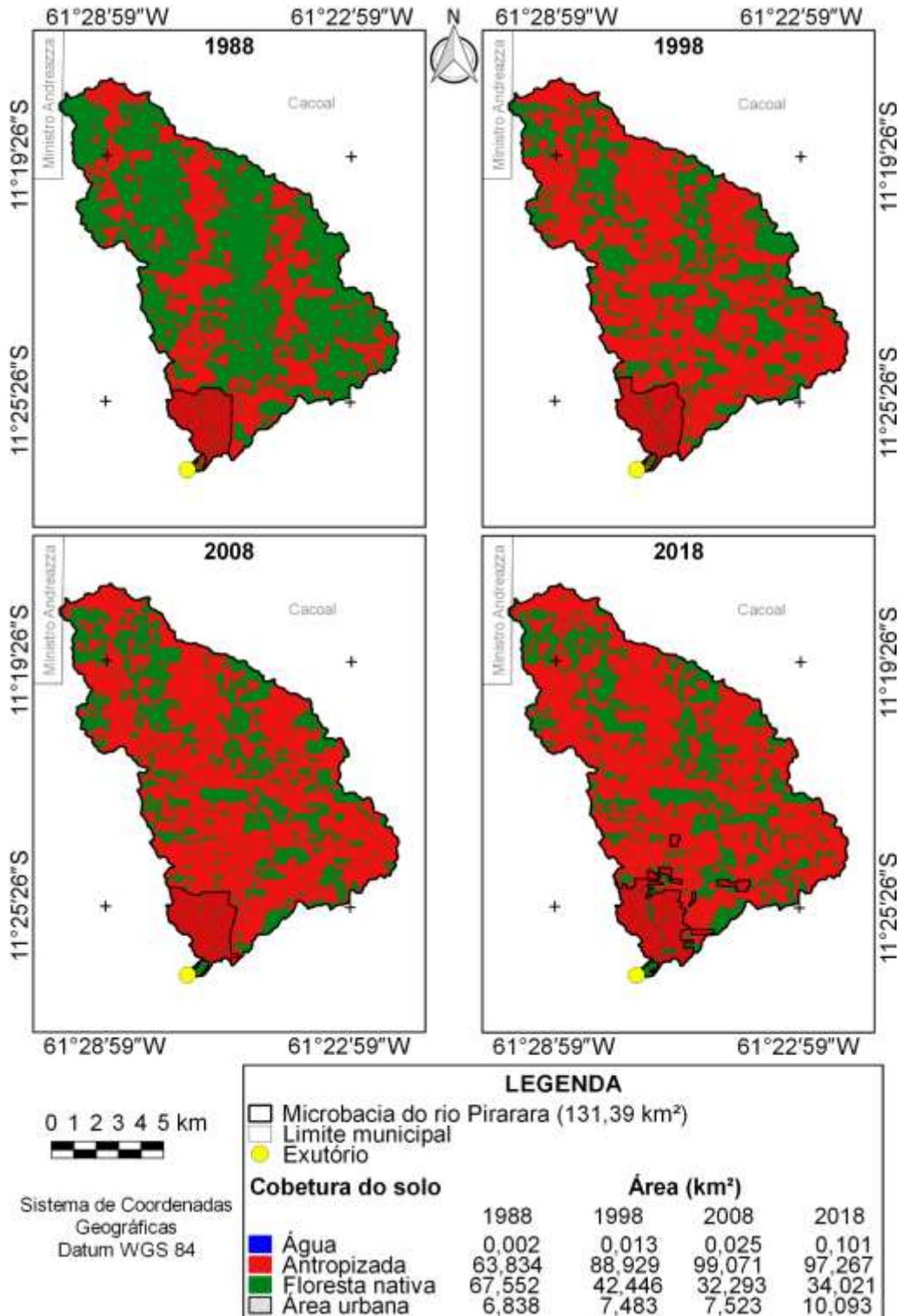


Fonte: Autores.

### 3.2 Dinâmica de desmatamento

A cobertura de floresta da microbacia passou por constante redução de 1988 a 2018, de 67,552 km<sup>2</sup> para 34,021 km<sup>2</sup> (Figura 8). Portanto, em 30 anos a vegetação foi reduzida praticamente à metade, restando apenas 26,14% da floresta nativa, visto que no ano de 1988 parte da área já estava desmatada. As áreas de água e urbana também aumentaram nestes 30 anos, com incrementos mais nítidos de 2008 para 2018.

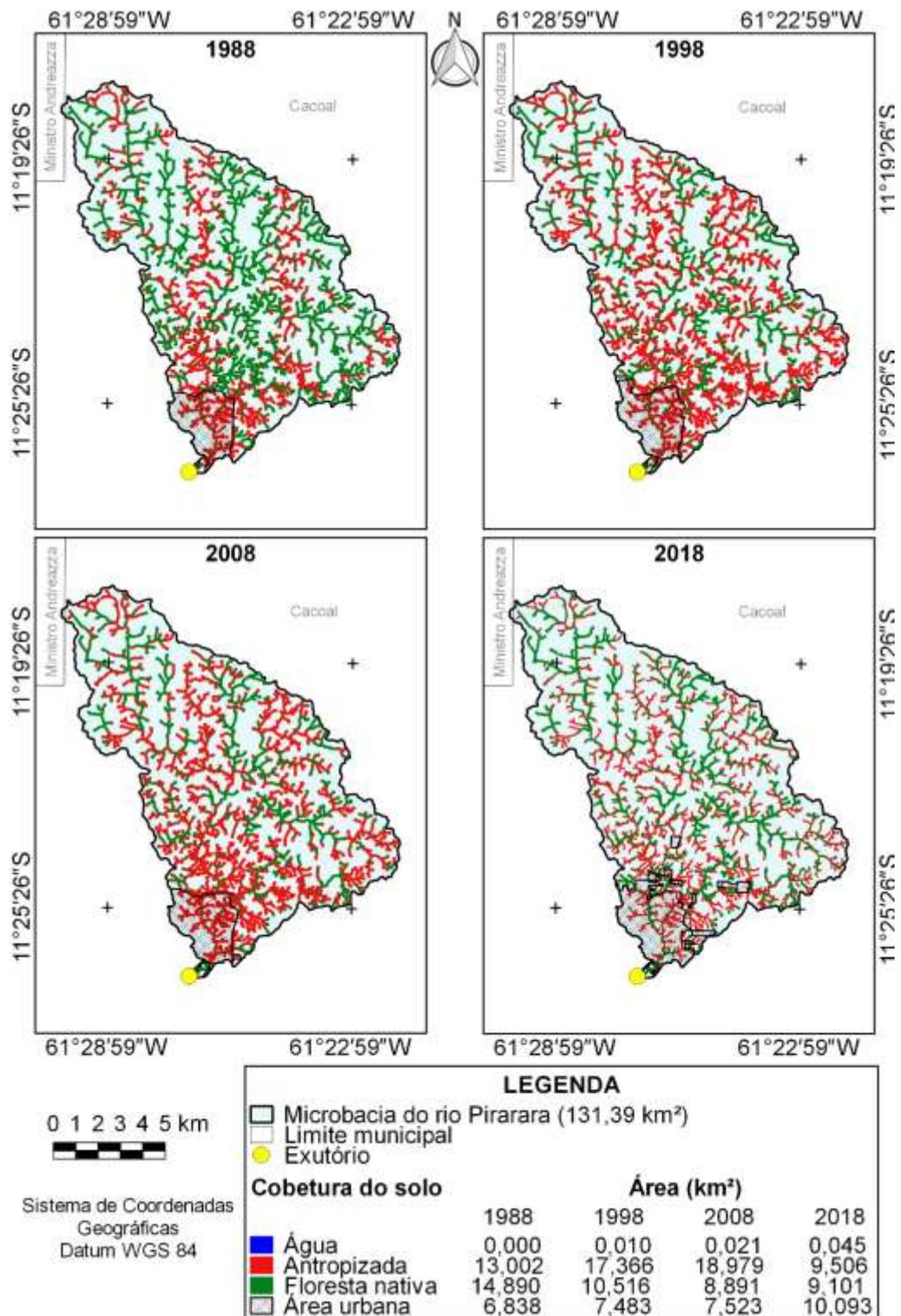
**Figura 8.** Índice de desmatamento de 1988 a 2018 na microbacia do rio Pirarara, Cacoal, Rondônia.



Fonte: Autores.

A dinâmica de desmatamento na área de mata ciliar apresentou comportamento semelhante ao observado no restante da microbacia (Figura 9). Destaca-se que a partir do ano de 2018 tem-se uma falsa impressão de crescimento da cobertura florestal em termos percentuais. Essa impressão é ocasionada pela redução da área de mata ciliar de 27,89 km<sup>2</sup> para 18,65 km<sup>2</sup>, com base no argumento legal das áreas rurais consolidadas.

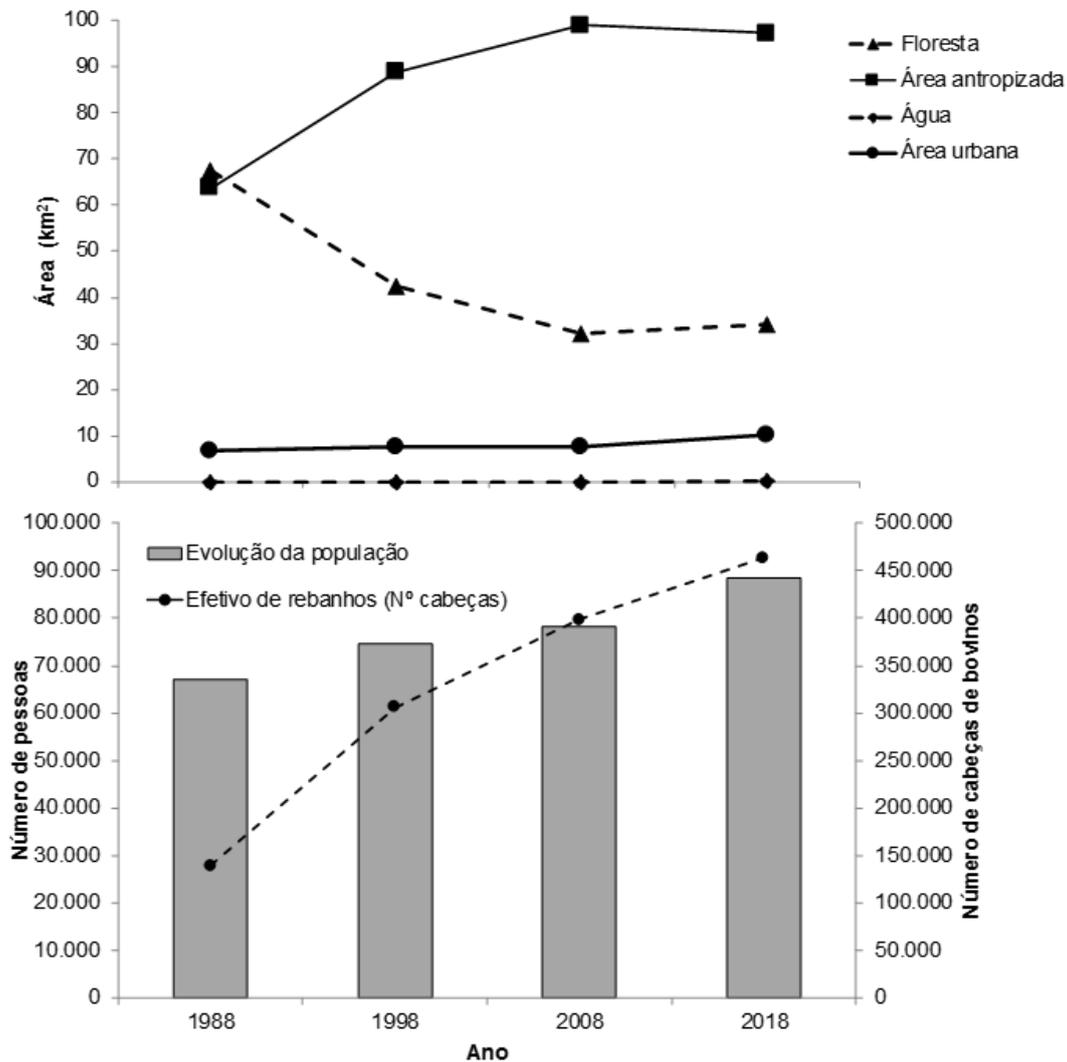
**Figura 9.** Índice de desmatamento de 1988 a 2018 na área de mata ciliar da microbacia do rio Pirarara, Cacoal, Rondônia.



Fonte: Autores.

O desmatamento constante na microbacia e na área de mata ciliar está relacionado com a abertura de estradas em formato de espinha de peixe, que propiciou o acesso à terra, e consequentemente, o crescimento populacional e o aumento de produção de gado bovino (Figura 10). Em trabalhos realizados por Cavalheiro et al. (2015) na Zona da Mata Rondoniense e Soares et al. (2020) no Território Central, ambos no Estado de Rondônia, também foram observados o efeito do crescimento da pecuária no desmatamento da vegetação nativa. Assim, pode-se constatar que esse modelo de ocupação é comum no Estado.

**Figura 10.** Dinâmica da cobertura do solo de 1988 a 2018 na microbacia do rio Pirarara (A); Evolução da população e do efetivo de rebanhos de 1988 a 2018 no município de Cacoal (B).



Fonte: Autores.

A redução da cobertura florestal e o crescimento da área urbana podem ocasionar problemas relacionados aos recursos hídricos. A floresta tem cobertura vegetal permanente, que promove o acúmulo de matéria orgânica, facilitando a infiltração da água no solo, quando comparado a sistemas agropecuários (Pinheiro et al., 2009; Minosso et al., 2017). Ao infiltrar, a água abastece o lençol freático, responsável por fornecer água para os rios ao longo do ano, e reduz a taxa de escoamento superficial, diminuindo as vazões de pico e os riscos de enchentes. Enquanto o aumento da área impermeabilizada em zonas urbanas favorece o escoamento superficial, em detrimento da infiltração, elevando a vazão de pico (Justino et al., 2011).

Além dos problemas ocasionados por inundações ou escassez hídrica, pode ocorrer a contaminação da água e disseminação de doenças, principalmente na área urbana. A água é contaminada pelo contato com o esgoto que escoa pelas ruas ou drenagens, fossa e entulhos contendo urina de rato, quando ocorrem inundações, disseminando diarreia (Tucci, 2008) e leptospirose (Guimarães et al., 2014).

Diante do exposto, constata-se que as propriedades rurais estão propensas a escassez hídrica nos períodos de estiagem ou veranicos. E a área urbana do município de Cacoal está predisposta a inundações anuais, apesar da microbacia não ser suscetível. Estas inundações estão relacionadas com a combinação de um conjunto de fatores, conversão de uso de floresta nativa para pecuária, impermeabilização superficial na área urbana, e precipitações pluviométricas com elevada intensidade e duração.

Como estratégia para mitigar esses problemas, recomenda-se um planejamento integrando planos de ações para aumentar a capacidade de infiltração e armazenamento de água no solo, em toda a microbacia, evitar a ocupação nas áreas de matas ciliares ou várzeas, e encontrar alternativas para reduzir o nível de permeabilização na área urbana.

#### 4. Conclusão

Portanto, com os resultados deste trabalho é possível responder às seguintes perguntas:

1. O relevo, a geometria e a drenagem são similares a outras bacias do estado?

Resposta: Os aspectos geométricos, relevo e drenagem da microbacia do rio Pirarara é similar a outras microbacias e sub-bacias.

2. Houve desmatamento na microbacia do rio Pirarara? Caso sim, quais são as proporções e suas causas?

Resposta: Sim. O desmatamento na microbacia do rio Pirarara cresceu de 1988 a 2018, ocasionando a supressão de 33,53 km<sup>2</sup> em 30 anos (25,52% da área total), assim, restaram apenas 26,14% da cobertura florestal nativa. O desmatamento na área de mata ciliar chegou a 46,62% em 1988, 62,26% em 1998, 68,05% em 2008 e 50,97% em 2018. A redução de 68,5% para 50,97% da área de mata ciliar desmatada, ao comparar os anos de 2008 e 2018, não ocorreu pela recuperação ou regeneração natural, mas devido a redução da área de mata ciliar pelo código florestal em vigor. As causas de desmatamento foram o movimento migratório impulsionado pelas políticas de ocupação acarretando no desmatamento, expansão e antropização da área urbana e rural, seguido da implantação de sistemas agrícolas e pecuárias.

#### Referências

- Aher, P. D., Adinarayana, J. & Gorantiwar, S. D. (2014). Quantification of morphometric characterization and prioritization for management planning in semi-arid tropics of India: A remote sensing and GIS approach. *Journal of Hydrology*, 511, 850–860.
- Almeida, J. R. (2017). Urbanização em área de risco: diagnóstico dos impactos socioambientais do rio Pirarara no município de Cacoal, Rondônia. *Revista Presença Geográfica*, 3(2), 25-44.
- Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., Gonçalves, L. M. & Sparovek, G. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22(6), 711-728. 10.1127/0941-2948/2013/0507
- ASF - Alaska Satellite Facility (2017). *Imagem altimétrica*. <https://www.asf.alaska.edu/>
- Barbosa, L. S. & Silva Filho, E. P. D. (2018). Influência do uso e ocupação na qualidade da água no Rio Pirarara, afluente do Rio Machado, Rondônia/Brasil. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, 9(7), 320-332.
- Beltrame, A. V. (1994). *Diagnóstico do meio ambiente físico de bacias hidrográficas: modelo de aplicação*. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina.
- Biscaro, G. A. (2007). *Meteorologia agrícola básica*. Gráfica e Editora União Ltda.
- Brasil. (1997). *Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997 - Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos*. <[www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L9433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm)>.
- Castro, P. & Lopes, J. D. S. (2001). *Recuperação e conservação de nascentes*. CPT.
- Cavalheiro, W. C. S., Vendruscolo, J., Santos, L. M. H. & Santos, A. M. (2015). Impacto da colonização na Zona da Mata Rondoniense, Amazônia Ocidental, Brasil. *Revista Geográfica Venezolana*, 56(1), 41-57.
- Christofolletti, A. (1969). Análise morfométrica de bacias hidrográficas. *Notícia Geomorfológica*, 18, 35-64.
- Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (2009). *Cultivo dos Cafeeiros Conilon e Robusta para Rondônia*. Embrapa Rondônia: Porto Velho.
- Fairfull, S. & Witheridge, G. (2003). *Why do Fish Need to Cross the Road? Fish Passage Requirements for Waterway Crossings*. NSW Fisheries.
- Figueiredo, S. D. M., Venticique, E., Figueiredo, E. O. & Ferreira, E. J. L. 2015. Predição da distribuição de espécies florestais usando variáveis topográficas e de índice de vegetação no leste do Acre, Brasil. *Acta Amazonica*, 45(2), 167-174.
- Franca, R. R. (2015). Climatologia das chuvas em Rondônia – período 1981-2011. *Revista Geografias*, 11(1), 44-58. <https://periodicos.ufmg.br/index.php/geografias/article/view/13392/10624>

- Grohmann, C. H., Riccomini, C. & Steiner, S. S. (2008). Aplicações dos modelos de elevação SRTM em geomorfologia. *Revista Geográfica Acadêmica*, 2(2), 73-83.
- Guimarães, R. M., Cruz, O. G., Parreira, V. G., Mazoto, M. L., Vieira, J. D. & Asmus, C. I. R. F. (2014). Análise temporal da relação entre leptospirose e ocorrência de inundações por chuvas no município do Rio de Janeiro, Brasil, 2007-2012. *Ciência & Saúde Coletiva*, 19(9), 3683-3692.
- Höfig, P. & Araujo-Junior, C. F. (2015). Classes de declividade do terreno e potencial para mecanização no estado do Paraná. *Coffee Science*, 10(2), 195-203.
- Horton, R. E. 1945. Erosional development of streams and their drainage basin: hydrographical approach to quantitative morphology. *Geological Society of American Bulletin*, 56(3), 275-370.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2012). *Manual Técnico da Vegetação Brasileira*. Rio de Janeiro, 2ª ed. 2012. <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv63011.pdf>.
- Johem, J., Boone, N. R. V., Silva, R. F. A., Lima, A. C. R., Vendruscolo, J. & Rosa D. M. (2018). Caracterização morfométrica da microbacia do rio Bananeira, Amazônia Ocidental. *Revista Brasileira de Ciências da Amazônia*, 7(1), 42-50.
- Justino, E. A., Paula, H. M. & Paiva, E. C. R. (2011). Análise do efeito da impermeabilização dos solos urbanos na drenagem de água pluvial do município de Uberlândia-MG. *Espaço em Revista*, 15(1), 16-38.
- Kirpich, Z. P. (1940). Time of concentration in small agricultural watersheds. *Civil Engineering*, 10(6), 362.
- Lima Júnior, J. C., Vieira, W. L., Macêdo, K. G., Souza, S. A. & Nascimento, F. A. L. (2012). Determinação das características morfométricas da sub-bacia do Riacho Madeira Cortada, Quixelô, CE. *VII Congresso Norte-Nordeste de Pesquisa e Inovação*. Palmas-TO: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia. p. 1-7.
- Lollo, J. A. (1995). *O uso da técnica de avaliação do terreno no processo de elaboração do mapeamento geotécnico: sistematização e aplicação na quadrícula de Campinas*. Universidade de São Paulo.
- Machado, G. & Souza, J. (2005). Análise morfométrica da bacia hidrográfica do rio Chôco-Ibaiti-PR. *Anais do X Encontro de Geógrafos da América Latina*. 8366 – 8382.
- Mauro, T. L., Cavalheiro, W. C. S., Stachiw, R., Vendruscolo, J., Rosa, D. M., Souza, L. A. & Fernandes, I. M. (2019). Uso do geoprocessamento para caracterização morfométrica e desmatamento da sub-bacia do rio Rolim de Moura, Amazônia, Brasil. *Revista Geográfica Venezuelana*, 182-197.
- Minosso, J., Antoneli, V. & Freitas, A. R. (2017). Variabilidade sazonal da infiltração de água no solo em diferentes tipos de uso na região sudeste do Paraná. *Geographia Meridionalis*, 3(1), 86-103.
- Parvis, M. (1950). Drainage pattern significance in airphoto identification of soils and bedrocks. *Photogrammetric Engineering*, 16, 387-408.
- Pinheiro, A., Teixeira, L. P. & Kaufmann, V. (2009). Capacidade de infiltração de água em solos sob diferentes usos e práticas de manejo agrícola. *Revista Ambiente & Água*, 4(2), 188-199. ISSN 1980-993X
- Pissarra, T. C. T., Rodrigues, F. M., Politano, W. & Galbiatti, J. A. (2010). Morfometria de microbacias do Córrego Rico, afluente do Rio Mogi-Guaçu, Estado de São Paulo, Brasil. *Revista Árvore*, 34(4), 669-676.
- Romero, V., Formiga, K. T. M., & Marcuzzo, F. F. N. (2017). Estudo hidromorfológico de bacia hidrográfica urbana em Goiânia/GO. *Ciência e Natura*, 39(2), 320-340. 10.5902/2179460X26411
- Ross, S. M. & Dykes, A. (1996). Soil conditions, erosion and nutrient loss on steep slopes under mixed dipterocarp forest in Brunei Darussalam. *Tropical Rainforest Research*, 74, 259-270.
- Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A. & Deering, D. W. (1973). Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, 3. 1973. Proceedings. 309-317.
- Santos, L. P., Rosa, D. M., Cavalheiro, W. C. S., Vendruscolo, J., Rosell, E. C. F., Biggs, T. & Stachiw, R. (2019). Hidrogeomorfometria e índice de desmatamento da microbacia do rio Tingui, Amazônia Ocidental, Brasil. *Revista Geográfica Venezuelana*, especial, 40-56. <http://www.saber.ula.ve/handle/123456789/46154>.
- Santos, R. D., Lemos, R. C., Santos, H. G., Ker, J. C., Anjos, L. H. C. & Shimizu, S. H. (2013). Manual de descrição e coleta de solo no campo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.
- Schumm, S. A. (1956). Evolution of drainage systems and slopes in badlands of Perth Amboy. *Bulletin of Geological Society of America*, 67(5), 597-646.
- SEDAM - Secretaria de Estado do Desenvolvimento Ambiental. (2002). *Atlas Geoambiental de Rondônia*. SEDAM.
- SEDAM - Secretaria de Estado do Desenvolvimento Ambiental. (2012). *Boletim climatológico de Rondônia - 2010*. SEDAM.
- Silva, A. F., Quadros Tronco, K. M., Vendruscolo, J., Oliveira, J. N., Cavalheiro, W. C. S., Rosa, D. M. & Stachiw, R. (2019). Geoprocessamento aplicado a hidrogeomorfometria e índice de desflorestamento na microbacia do rio D'Alincourt, Amazônia Ocidental, Brasil. *Revista Geográfica Venezuelana*, v. especial, 210-225.
- Silva, Q. D. (2012). *Mapeamento geomorfológico da Ilha do Maranhão*. Universidade Estadual Paulista.

- Simões, C., Vendruscolo, J., Cavalheiro, W. C. S., Rosa, D. M., Stachiw, R. & Santana, F. A. (2019). Caracterização morfométrica da sub-bacia do Alto Rio Pimenta Bueno, Amazônia Ocidental, Brasil. *Revista Geográfica Venezuelana*, v. especial, 68-82, 2019.
- Siqueira, A. S., La Torre, J. J., Parreira, C. F., Vendruscolo, J., Rosa, D. M. & Cavalheiro, W. C. S. (2018). Caracterização morfométrica na microbacia do rio Conceição, Rondônia. *Revista Brasileira de Ciências da Amazônia*, Edição Especial, 7(1), 59-67.
- Soares, A. É. S., Vendruscolo, J., Cavalheiro, W. C. S. & Rosa, M. R. (2020). *Índice de desmatamento do Território Central de Rondônia, de 1984 a 2017*. *Revista Geografia y Sistemas de Información Geográfica*, 12(18) 1-21.
- Stachiw, R. (2017). *Cartilha das águas de Rondônia*. Rolim de Moura.
- Strahler, A. N. (1954). Quantitative geomorphology of erosional landscapes. *XIX International Geologic Congress*, 13(15), 341-354.
- Targa, M. S., Batista, G. T., Diniz, H. D., Dias, N. W., & Matos, F. C. (2012). Urbanização e escoamento superficial na bacia hidrográfica do Igarapé Tucunduba, Belém, PA, Brasil. *Revista Ambiente & Água*, 7(2), 120-142. 10.4136/1980-993X
- Tucci, C. E. M. (2008). Águas urbanas. *Estudos Avançados*, 22(63), 97-112.
- USGS - United States Geological Survey. (2018). USGS: Science for a changing world. <[earthexplorer.usgs.gov](http://earthexplorer.usgs.gov)>.
- Valladares, G. S; Hott, M. C. & Quartaroli, C. F. (2008). *Aptidão agrícola das terras do nordeste do estado de São Paulo*. Circular Técnica 15. Embrapa CNPM.
- Veiga, L. A. K.; Zanetti, M. A. Z. & Faggion, P. L. (2012). *Engenharia Cartográfica e de Agrimensura Universidade Federal do Paraná*.
- Vendruscolo, J., Cavalheiro, W. C. S., Rosa, D. M., Stachiw, R., Vendruscolo, R., Siqueira, A. S. & Biggs, T. (2019). Hidrogeomorfometria e desmatamento na microbacia do rio Manicoré, Amazônia Ocidental, Brasil. *Revista Geográfica Venezuelana*, especial, 226-241. <http://www.saber.uia.br/handle/123456789/46171>
- Vendruscolo, J., Araujo, M. G. S., Ferreira, L. R., Rosa, D. M. & Hara, F. A. S. (2021). O uso de geotecnologias na caracterização geométrica, topográfica e hidrográfica da microbacia do rio Tamarupá, Amazônia Ocidental, Brasil. *Brazilian Journal of Development*, 7(1), 4245-4264. 10.34117/bjdv7n1-286
- Villela, S. M. & Mattos, A. (1975). *Hidrologia aplicada*. Mc Graw-Hill do Brasil.