



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  
PRÓ – REITORIA DE PESQUISA E PÓS – GRADUAÇÃO  
DOUTORADO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

**REJANE FREITAS BENEVIDES ALMEIDA**

**MORFOMETRIA E USO DA TERRA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DO  
COCO E SUAS IMPLICAÇÕES SOBRE A PRODUÇÃO E TRANSPORTE DE  
SEDIMENTOS**

Goiânia, GO

2017.



## **TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR AS TESES E DISSERTAÇÕES ELETRÔNICAS NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG**

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

**1. Identificação do material bibliográfico:**      ☐ Dissertação      ☒ Tese

### **2. Identificação da Tese ou Dissertação**

Nome completo do autor: Rejane Freitas Benevides Almeida

Título do trabalho: Morfometria e uso da terra da bacia hidrográfica do Rio do Coco e suas implicações sobre a produção e transporte de sedimentos.

### **3. Informações de acesso ao documento:**

Concorda com a liberação total do documento ☒ SIM      ☐ NÃO<sup>1</sup>

Havendo concordância com a disponibilização eletrônica, torna-se imprescindível o envio do(s) arquivo(s) em formato digital PDF da tese ou dissertação.

Assinatura do (a) autor (a)

Data: 30/04/2017

---

<sup>1</sup> Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. A extensão deste prazo suscita justificativa junto à coordenação do curso. Os dados do documento não serão disponibilizados durante o período de embargo.

REJANE FREITAS BENEVIDES ALMEIDA

**MORFOMETRIA E USO DA TERRA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DO  
COCO E SUAS IMPLICAÇÕES SOBRE A PRODUÇÃO E TRANSPORTE DE  
SEDIMENTOS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais - nível Doutorado, da Universidade Federal de Goiás, como requisito à obtenção do título de Doutora em Ciências Ambientais.

**Área de concentração:** Estrutura e dinâmica ambiental;

**Linha de Pesquisa:** Monitoramento e análise de recursos naturais

**Orientador:** Prof. Dr. Laerte Guimarães Ferreira Júnior

**Co-orientador:** Prof. Dr. Maximiliano Bayer

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Almeida, Rejane Freitas Benevides

Morfometria e uso da terra da bacia hidrográfica do Rio do Coco e suas implicações sobre a produção e transporte de sedimentos [manuscrito] / Rejane Freitas Benevides Almeida. - 2017.

113 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Laerte Guimarães Ferreira Júnior; co orientador Dr. Maximiliano Bayer.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Goiás, Pró-reitoria de Pós-graduação (PRPG), Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Goiânia, 2017.

Bibliografia. Apêndice.

Inclui siglas, abreviaturas, lista de figuras, lista de tabelas.

1. Aspectos morfométricos. 2. Uso da terra. 3. Produção e transporte de sedimentos. 4. Bacia do Rio do Coco. I. Ferreira Júnior, Laerte Guimarães, orient. II. Título.

CDU 502/504





SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS



### ATA DA DEFESA PÚBLICA DE TESE Nº 003/2017

Aos trinta e um dias do mês de março do ano de dois mil e dezessete, às 14:00, reuniu-se no Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento – LAPIG/UFG, Câmpus Samambaia, a Banca Examinadora composta pelos: Prof. Dr. Laerte Guimarães Ferreira Junior – CIAMB, Prof. Dr. Nilson Clementino Ferreira – CIAMB, Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Karla Maria Silva de Faria – CIAMB, Prof. Dr. Márcio Henrique de Campos Zancopé – IESA/UFG, e o Prof. Dr. José Luiz Cabral da Silva Júnior – UNITINS, para, sob a presidência do primeiro, proceder a defesa da Tese intitulada: **"Morfometria e uso da terra da bacia hidrográfica do Rio do Coco e suas implicações sobre a produção e transporte de sedimentos"**, de autoria de Rejane Freitas Benevides Almeida, discente de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (CIAMB), área de concentração em Estrutura e Dinâmica Ambiental. Foi realizada a avaliação oral no sistema de apresentação e defesa de tese de autoria da discente. Terminada a avaliação oral, a Banca Examinadora reuniu-se emitindo os seguintes pareceres mediante as justificativas e sugestões abaixo:

| Membro da Banca                             | Parecer<br>(Aprovado/Reprovado) | Assinatura               |
|---------------------------------------------|---------------------------------|--------------------------|
| Dr. Laerte Guimarães Ferreira Junior        | Aprovado                        | <i>Laerte Guimarães</i>  |
| Dr. Nilson Clementino Ferreira              | Aprovado                        | <i>Nilson Clementino</i> |
| Dr. <sup>a</sup> Karla Maria Silva de Faria | Aprovado                        | <i>Karla Maria</i>       |
| Dr. Márcio Henrique de Campos Zancopé       | Aprovado                        | <i>Márcio Henrique</i>   |
| Dr. José Luiz Cabral da Silva Júnior        | APROVADO                        | <i>José Luiz Cabral</i>  |

#### JUSTIFICATIVAS e SUGESTÕES:

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Após a avaliação, a referida candidata foi considerada Aprovada na defesa de tese. Às 18:25 horas, o Prof. Dr. Laerte Guimarães Ferreira Junior, Presidente da Banca Examinadora, deu por encerrada a sessão e, para constar, lavrou-se a presente Ata.

*Nilson Clementino*

Prof. Dr. Nilson Clementino Ferreira  
Membro Titular

*Karla Maria*

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Karla Maria Silva de Faria  
Membro Titular

*Márcio Henrique*

Prof. Dr. Márcio Henrique de Campos  
Zancopé  
Membro Titular

*José Luiz Cabral*

Prof. Dr. José Luiz Cabral da Silva Júnior  
Membro Titular

*Laerte Guimarães*

Prof. Dr. Laerte Guimarães Ferreira Junior  
Presidente

*Dedico este trabalho aos meus pais José Walter e Rosilene, que apesar de todas as dificuldades que a vida lhes impuseram sempre fizeram o possível para que eu chegasse até aqui.*

## AGRADECIMENTOS

Durante todo o processo de doutoramento existiram pessoas que contribuíram direta e indiretamente que merecem reconhecimento:

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus por mais esta conquista. Apesar de todas as dificuldades enfrentadas sempre estive ao meu lado guiando meus caminhos e dando força para superar os desafios, que foram muitos.

Aos meus familiares, em especial aos meus pais Rosilene e José Walter, que nunca mediram esforços para o alcance de minha formação.

Ao meu esposo Ítalo Wanderley por compreender e incentivar o alcance de mais esse sonho e pela cumplicidade e companheirismo aos longos desses anos, os quais foram essenciais nessa caminhada.

A minha prima Adriana Freitas Rezende, pelas inúmeras vezes que me hospedou em sua casa, pela amizade, pelo carinho e por todo apoio prestado em Goiânia durante esses anos.

Aos colegas de turma, em especial a Maria Corrêa Lagos pela amizade e pelos momentos de descontração no decorrer do curso.

Aos professores Laerte Guimarães Ferreira Júnior e Maximiliano Bayer pela orientação e confiança durante a realização deste trabalho.

Aos companheiros do LAPIG, pela amizade e pelo apoio concedido.

Ao Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais.

Ao Instituto Federal do Tocantins/Campus Paraíso, pela oportunidade e incentivo a capacitação, bem como por toda infraestrutura e o suporte oferecido para que esta pesquisa fosse executada.

À Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa ofertada.

À Universidade Estadual do Tocantins (UNITINS), através do professor Dr. José Luiz Cabral da Silva Júnior, pela parceria realizada, imprescindível para a realização dos trabalhos de campo.

Aos amigos Wilson Caixeta, Álvaro e Antônio Sobrinho, pelo apoio concedido nos trabalhos de campo, não medindo esforços para que todas as atividades fossem executadas. Vocês foram fundamentais durante todas as medições, além da força física, o carinho e a amizade foram essenciais para superação dos desafios encontrados.

Aos professores Nilson Clementino Ferreira, Karla Maria Silva de Faria, Márcio Henrique de Campos Zancopé e José Luiz Cabral Silva Júnior, pela participação na banca e pelos comentários que ajudaram a enriquecer este trabalho.

A todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram pela realização dessa pesquisa.

Muito Obrigada!

*“Cada escolha, por menor que seja, é uma forma de semente  
que lançamos sobre o canteiro que somos. Um dia, tudo o  
que agora silenciosamente plantamos, ou deixamos plantar  
em nós, será plantação que poderá ser vista de longe...”*

**Padre Fábio de Melo**

## TRAJETÓRIA ACADÊMICA-PROFISSIONAL

A minha formação acadêmica iniciou em 2003, quando ingressei no curso de Graduação em Engenharia Ambiental na Universidade Federal do Tocantins (UFT), na cidade de Palmas – TO. No decorrer do curso, participei de dois programas de iniciação científica, sob a orientação da professora Eliete Felipe de Oliveira, no período de 2004 a 2006. Após a conclusão dos projetos de iniciação científica, iniciei o estágio na Companhia de Saneamento do Tocantins – SANEATINS, no setor de educação ambiental, onde fiquei até a conclusão da graduação em dezembro de 2007.

A partir de 2008 comecei o mestrado em Ciências do Ambiente, também pela UFT, onde desenvolvi um trabalho cujo objetivo era avaliar os “efeitos da vegetação submersa sobre a qualidade da água”. Para tanto, analisei dados do Rio Tocantins na fase rio, período de enchimento e pós-enchimento para a criação do reservatório da UHE – Luís Eduardo Magalhães sob orientação da professora Dra. Liana Pena Naval.

Paralelamente ao mestrado, principiei minha vida profissional, em junho de 2008 no Instituto Natureza do Tocantins (NATURATINS), onde trabalhei durante um ano e sete meses. Neste, fiquei lotada na Diretoria de Recursos Florestais, atuando como analista de processos voltados ao licenciamento de propriedades rurais.

Em janeiro de 2010, deixei o Naturatins para assumir o cargo de professora no Instituto Federal do Tocantins (IFTO)/Campus Paraíso. Ao longo dos sete anos em que estou no IFTO, ministrei disciplinas nos cursos técnicos em Meio Ambiente e em Agroindústria e na pós-graduação *lato sensu* em Gestão Ambiental. Além das atividades de docência, durante o período de 2011 ao final de 2012, fui responsável pela Coordenação de Interação Escola-Empresa do campus.

Em 2013 dei início ao processo de doutoramento pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (CIAMB) da Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação da Universidade Federal de Goiás (PRPPG – UFG) – área de concentração Estrutura e Dinâmica Ambiental, sob a orientação do professor Dr. Laerte Guimarães Ferreira Júnior e co-orientação do professor Dr. Maximiliano Bayer. Ao longo do curso realizei pesquisas na bacia do Rio do Coco, no Estado do Tocantins, o que resultou na presente tese, intitulada por “Morfometria e uso da terra da bacia hidrográfica do Rio do Coco e suas implicações sobre a produção e transporte de sedimentos”.

## RESUMO GERAL

ALMEIDA, Rejane Freitas Benevides. **Morfometria e uso da terra da bacia hidrográfica do Rio do Coco e suas implicações sobre a produção e transporte de sedimentos**. 2017. 134 f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) – Programa em Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia - GO, 2017.

Este estudo teve como objetivo avaliar a influência dos aspectos morfométricos e do uso da terra nas áreas de preservação permanente de cursos d'água sobre a produção e o transporte de sedimentos na bacia hidrográfica do Rio do Coco. Esta está localizada na margem direita da bacia hidrográfica do Rio Araguaia, no estado do Tocantins, entre os municípios de Caseara, Marianópolis do Tocantins, Divinópolis do Tocantins, Monte Santo, Paraíso do Tocantins, Chapada de Areia, Pium e Barrolândia. A primeira fase do trabalho consistiu na compartimentação e análise morfométrica da bacia, onde foi verificada a existência de regiões (alta bacia) com características naturais indicativas de maiores suscetibilidades que podem potencializar o aporte de sedimentos, apontando a necessidade de um planejamento mais eficaz das atividades de uso. A segunda fase dedicou-se a avaliar a cobertura e o uso da terra da bacia do Rio do Coco, além de identificar e quantificar o percentual de áreas com conflito de uso do solo nas áreas de preservação permanente de cursos d'água. Para tal fim, foi realizado o mapeamento da cobertura e uso do solo a partir de imagens do satélite Landsat 8 (2015). Para a identificação das APPs foram criados buffers com faixas de proteção de acordo com os limites definidos na legislação. Os conflitos de uso do solo em APP foram mensurados após a sobreposição do mapa gerado na classificação e o mapa de APP, sendo constatado para toda a bacia 32,8% de áreas com uso ao longo dos corpos d'água e, ainda que as sub-bacias pertencentes à região da alta bacia são as regiões com maiores irregularidades. A terceira e última fase da tese avaliou a produção e o transporte de sedimentos na bacia Rio do Coco e de suas sub-bacias mais representativas. Esta análise foi realizada por meio de medições de descargas líquidas e sólidas no Rio do Coco e no exutório dos canais das principais sub-bacias. As medições foram iniciadas em novembro de 2014 se estendendo até abril de 2016 a partir de coletas bimestrais. A quantificação da carga de sólidos obedeceu a metodologia definida por Carvalho (2000b), sendo as medições de vazão realizadas com o uso dos seguintes medidores de vazão: ADV (Acoustic Doppler Velocimeter) FlowTracker e ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler). A descarga total seguiu o método de Colby (1957) in Carvalho (2000a) e a produção específica de sedimentos foi analisada com base na metodologia de Carvalho (2008). A partir destas análises foi possível mensurar o volume de material transportado pelos principais canais de drenagem da bacia, sendo comprovado que a região da alta bacia é responsável pela maioria dos sedimentos produzidos e transportados nos canais. Há que se destacar, portanto, que esse material não tem chegado integralmente no Rio Araguaia, parte está sendo depositado ao longo do canal, ficando evidente que na bacia existe um ambiente onde predomina a produção e o transporte e outro a acumulação. Os resultados encontrados nesta fase da pesquisa só reforçam as evidências observadas nas fases anteriores, onde foi constatado que os aspectos morfométricos são determinantes na descarga sedimentológica da bacia, sendo o uso e a cobertura da terra considerado maximizador de todo o processo.

Palavras-chave: Aspectos Morfométricos; Uso da Terra; Produção e Transporte de Sedimentos; Bacia do Rio do Coco.



## GENERAL ABSTRACT

ALMEIDA, Rejane Freitas Benevides. **Morphometry and land use of the Rio do Coco basin and its implications on sediment production and transport.** 2017. 134 f. Thesis (Doctorate in Environmental Sciences) - Program in Post-Graduation in Environmental Sciences, Federal University of Goiás, Goiânia - GO, 2017.

This study aimed to evaluate the influence of morphometric aspects and land use in the areas of permanent preservation of watercourses on the production and transport of sediments in the Rio do Coco watershed. It is located on the right bank of the Araguaia River basin, in the state of Tocantins, between the municipalities of Caseara, Marianópolis do Tocantins, Divinópolis do Tocantins, Monte Santo, Paraíso do Tocantins, Chapada de Areia, Pium and Barrolândia. The first phase of the study consisted of compartmentalization and morphometric analysis of the basin, where it was verified the existence of regions (high basin) with natural characteristics indicative of greater susceptibilities that may potentiate sediment supply, pointing out the need of more effective planning of the use activities. The second phase was dedicated to evaluating the cover and the soil use of the Rio do Coco basin, in addition to identifying and quantifying the percentage of areas with land use conflicts in the areas of permanent preservation of water courses. For this purpose, the mapping of land cover and land use was carried out using images from Landsat 8 (2015) satellite. For the identification of PPAs buffers with buffer strips were created according to the limits defined in the legislation. The conflicts of land use in APP were measured after the overlap of the map generated in the classification and the PPA map, being verified for the entire basin 32.8% of areas with conflicts of use along the bodies of water and, although the sub-basins belonging to the region of the high basin are the regions with greater irregularities. The third and last phase of the thesis evaluated the production and transport of sediments in the Rio do Coco basin and its most representative sub-basins. This analysis was carried out by means of measurements of liquid and solid discharges in the Coco River and in the mouth of the channels of the main sub-basins. Measurements were initiated in November 2014 extending through April 2016 from bimonthly collections. The quantification of the solids load obeyed the methodology defined by Carvalho (2000b), and the flow measurements are performed using the following flow meters: ADV (Acoustic Doppler Velocimeter) FlowTracker and ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler). The total discharge followed the method of Colby (1957) in Carvalho (2000a) and the specific production of sediments was analyzed based on the methodology of Carvalho (2008). From these analyzes it was possible to measure the volume of material transported by the main drainage channels of the basin, being proved that the region of the high basin is responsible for most of the sediments produced and transported in the water bodies. It should be noted, therefore, that this material has not arrived fully in the Araguaia River, part is being deposited along the canal, it is evident that in the basin there is an environment where production and transportation predominate and in another the accumulation. The results found in this phase of the research only reinforce the evidence observed in previous phases, where it was verified that the morphometric aspects are determinant in the sedimentological discharge of the basin, being the use and coverage of the soil considered maximizer of the whole process.

**Keywords:** Morphometric Aspects; Use of the soil; Sediment Production and Transport; Basin of the Coco River.



## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 4.1 – Localização da bacia do Rio do Coco no Estado do Tocantins.....                                                                                        | 09 |
| Figura 4.2 – Unidades Geológicas presentes na bacia do Rio do Coco com destaque para a localização destas dentro dos Ambientes Geológicos localizados na bacia..... | 11 |
| Figura 4.3 – Domínios e Unidades Geomorfológicas presentes na bacia do Rio do Coco.....                                                                             | 12 |
| Figura 4.4 – Classes de Hipsometria e declividade da bacia do Rio do Coco.....                                                                                      | 13 |
| Figura 4.5 – Distribuição das Unidades Pedológicas presentes na bacia do Rio do Coco.....                                                                           | 14 |
| Figura 4.6 – Unidades de Conservação presentes na bacia do Rio do Coco com destaque para localização e área de abrangência das mesmas.....                          | 16 |
| Figura 5.1 – Localização da bacia do Rio do Coco no estado do Tocantins, com destaque para a hidrografia existente.....                                             | 24 |
| Figura 5.2 – Resumo esquemático dos procedimentos metodológicos utilizados.                                                                                         | 24 |
| Figura 5.3 - a) Hidrografia digitalizada manualmente; b) Hidrografia 1:100.00 da Secretaria de Planejamento do Estado do Tocantins; c) Hidrografia obtida com MDE.  | 25 |
| Figura 5.4 – Perfil longitudinal do Rio do Coco com destaque para as seções da alta, média e baixa bacia.....                                                       | 26 |
| Figura 5.5 – Organograma demonstrativo dos critérios para a compartimentação da bacia do Rio do Coco.....                                                           | 27 |
| Figura 5.6 – Hipsometria e declividade da bacia do Rio do Coco.....                                                                                                 | 31 |
| Figura 5.7 – Compartimentação da bacia do Rio do Coco, com destaque para a localização da alta e baixa bacia.....                                                   | 32 |
| Figura 5.8 – Classificação dos cursos d’água das principais sub-bacias da bacia do Rio do Coco, conforme Strahler (1952).....                                       | 33 |
| Figura 5.9 – Perfis longitudinais dos canais de drenagem avaliados, com destaque para a amplitude altimétrica e declividade dos canais.....                         | 41 |
| Figura 6.1 – Localização da bacia do Rio do Coco no estado do Tocantins, com destaque para as unidades de conservação inseridas nos limites da bacia.....           | 51 |
| Figura 6.2 – Organograma esquemático dos procedimentos metodológicos utilizados.                                                                                    | 52 |
| Figura 6.3 – Separação dos segmentos gerados durante a o procedimento de segmentação.....                                                                           | 53 |

|                                                                                                                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 6.4 – Exemplo de uma matriz de confusão, com destaque para os cálculos de acurácia do usuário e do produtor e acurácia global. Adaptado de CONGALTON (2005, p. 150)..... | 55 |
| Figura 6.5 – Resumo esquemático dos passos executados para a delimitação das APPs de cursos d’água.....                                                                         | 56 |
| Figura 6.6 – Cobertura e uso do solo da bacia do Rio do Coco, com destaque para as principais formas de ocorrência das classes identificadas em campo.....                      | 63 |
| Figura 6.7 – Passivo ambiental de APPs nos compartimentos da bacia do Rio do Coco.....                                                                                          | 67 |
| Figura 6.8 – Conflitos de uso do solo nas áreas de preservação permanente nas sub-bacias do Rio do Coco.....                                                                    | 69 |
| Figura 7.1 – Localização da bacia do Rio do Coco, com destaque para o posicionamento dos pontos de monitoramento.....                                                           | 80 |
| Figura 7.2 – Resumo esquemático dos procedimentos metodológicos utilizados no trabalho.....                                                                                     | 81 |
| Figura 7.3 – Medições de vazão utilizando o FlowTracker.....                                                                                                                    | 83 |
| Figura 7.4 – Medições de vazão utilizando o FlowTracker.....                                                                                                                    | 83 |
| Figura 7.5 – Exemplo de relatório obtido a partir das medições com o FlowTracker....                                                                                            | 84 |
| Figura 7.6 – Medições de vazão utilizando ADCP.....                                                                                                                             | 84 |
| Figura 7.7 – Medições de vazão utilizando ADCP.....                                                                                                                             | 84 |
| Figura 7.8 – Técnica de leitura do ADCP.....                                                                                                                                    | 85 |
| Figura 7.9 – Técnica de leitura do ADCP.....                                                                                                                                    | 85 |
| Figura 7.10 – Exemplo de informações geradas durante as medições de vazão com ADCP.....                                                                                         | 85 |
| Figura 7.11 – Coleta de sedimentos em suspensão por integração vertical, com destaque para o amostrador (DH – 49).....                                                          | 86 |
| Figura 7.12 – Coleta de sedimentos em suspensão por integração vertical, com destaque para o amostrador (DH – 49).....                                                          | 86 |
| Figura 7.13 – Análise de sólidos em suspensão, com destaque para o processo de filtragem das amostras com filtros de microfibras de vidro.....                                  | 87 |
| Figura 7.14 – Análise de sólidos em suspensão, com destaque para o processo de filtragem das amostras com filtros de microfibras de vidro.....                                  | 87 |
| Figura 7.15 – Variação da concentração de sólidos em suspensão e turbidez nos                                                                                                   | 89 |

|                                                                                                                                             |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| pontos de monitoramento analisados durante o período de pesquisa.....                                                                       |    |
| Figura 7.16 – Monitoramento da precipitação mensal na Estação 27110000 localizada na bacia do Rio do Coco entre os anos de 2014 a 2016..... | 92 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                                                        |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 5.1 – Resultados dos parâmetros morfométricos da bacia do Rio do Coco.....                                                      | 29 |
| Tabela 5.2 – Resultados dos parâmetros morfométricos para os compartimentos da bacia do Rio do Coco.....                               | 35 |
| Tabela 5.3 – Resultados da aplicação das leis de Horton para a bacia do Rio do Coco....                                                | 39 |
| Tabela 6.1 – Quantificação da área ocupada por cada classe de cobertura e uso do solo na bacia do Rio do Coco.....                     | 60 |
| Tabela 6.2 – Quantificação da área ocupada por cada classe de cobertura e uso da terra nos compartimentos da bacia do Rio do Coco..... | 64 |
| Tabela 7.1 – Descargas líquidas e sólidas nas sub-bacias principais da bacia do Rio do Coco.....                                       | 92 |
| Tabela 7.2 – Descarga sólida em suspensão do Rio do Coco/Estação ANA 27110000....                                                      | 95 |
| Tabela 7.3 – Produção de sedimentos em suspensão nas sub-bacias principais da bacia do Rio do Coco.....                                | 97 |

## LISTA DE QUADROS

|                                                                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Quadro 5.1 – Descrição dos parâmetros morfométricos utilizados no trabalho.....                                               | 28 |
| Quadro 6.1 – Classes de cobertura e uso da terra e suas respectivas características.....                                      | 54 |
| Quadro 6.2 – Limites das faixas de APPs de cursos d’água adotados no trabalho de acordo com a legislação pertinente.....      | 57 |
| Quadro 6.3 – Análise da exatidão do mapa de cobertura e uso da terra por meio de dados de campo (GPS).....                    | 59 |
| Quadro 7.1 – Localização das seções utilizadas para as medições das descargas líquidas e sólidas na bacia do Rio do Coco..... | 82 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|      |                                           |
|------|-------------------------------------------|
| APP  | Área de Preservação Permanente            |
| ADCP | Acoustic Doppler Current Profiler         |
| ADV  | Acoustic Doppler Velocimeter              |
| ANA  | Agência Nacional de Águas                 |
| APA  | Área de Proteção Ambiental                |
| Cm   | Coeficiente de manutenção                 |
| Css  | Concentração de sedimentos em suspensão   |
| Dd   | Densidade de drenagem                     |
| Dh   | Densidade hidrográfica                    |
| F    | Índice de conformação ou fator de forma   |
| Gc   | Gradiente de canais                       |
| GPS  | Global positioning system                 |
| H    | Horas                                     |
| Ha   | Hectares                                  |
| Hm   | Amplitude altimétrica                     |
| Ic   | Índice de circularidade da bacia          |
| INPE | Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais |
| Ir   | Índice de rugosidade                      |
| Is   | Índice de sinuosidade                     |
| Kc   | Índice de compacidade                     |
| Km   | Quilômetros                               |
| Lc   | Comprimento dos canais                    |
| Lp   | Comprimento do rio principal              |
| Lw   | Comprimento médio dos canais              |
| M    | Metros                                    |
| MDE  | Modelo Digital de Elevação                |
| NDVI | Normalized Difference Vegetation Index    |
| Nw   | Número de canais                          |
| P    | Perímetro                                 |
| Pss  | Produção de sedimentos em suspensão       |
| Q    | Descarga Total                            |

|        |                                              |
|--------|----------------------------------------------|
| Qss    | Descarga sólida em suspensão                 |
| Rb     | Relação de bifurcação                        |
| Rl     | Relação entre o comprimento médio dos canais |
| SEPLAN | Secretaria de Planejamento                   |
| Tc     | Tempo de concentração                        |
| UTM    | Universal Transversa de Mercator             |

## SUMÁRIO

|                                                                                                                                                               |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| APRESENTAÇÃO .....                                                                                                                                            | 1   |
| 1 INTRODUÇÃO GERAL .....                                                                                                                                      | 3   |
| 2 PROBLEMA DA PESQUISA.....                                                                                                                                   | 5   |
| 3 OBJETIVOS.....                                                                                                                                              | 7   |
| 3.1 Objetivo Geral.....                                                                                                                                       | 7   |
| 3.2 Objetivos Específicos .....                                                                                                                               | 8   |
| 4 ÁREA DE ESTUDO.....                                                                                                                                         | 8   |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....                                                                                                                               | 17  |
| 5 ARTIGO 1 - ANÁLISE E COMPARTIMENTAÇÃO MORFOMÉTRICA DA BACIA DO RIO DO COCO COMO SUBSÍDIO A GESTÃO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO .....                           | 21  |
| RESUMO .....                                                                                                                                                  | 21  |
| ABSTRACT .....                                                                                                                                                | 21  |
| 5.1 INTRODUÇÃO.....                                                                                                                                           | 22  |
| 5.2 ÁREA DE ESTUDO .....                                                                                                                                      | 23  |
| 5.3 MATERIAL E MÉTODOS .....                                                                                                                                  | 24  |
| 5.3.1 Procedimentos metodológicos .....                                                                                                                       | 24  |
| 5.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....                                                                                                                              | 29  |
| 5.4.1 Morfometria da bacia do Rio do Coco .....                                                                                                               | 29  |
| 5.4.2 Compartimentação morfométrica da bacia do Rio do Coco.....                                                                                              | 31  |
| 5.4.3 Análise morfométrica das principais sub-bacias da bacia do Rio do Coco.....                                                                             | 314 |
| 5.5 CONCLUSÕES.....                                                                                                                                           | 42  |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....                                                                                                                               | 43  |
| 6 ARTIGO 2 - COBERTURA E USO DA TERRA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DO COCO E SUAS IMPLICAÇÕES SOBRE AS ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE DE CURSOS D'ÁGUA ..... | 48  |
| RESUMO .....                                                                                                                                                  | 48  |
| ABSTRACT .....                                                                                                                                                | 48  |
| 6.1 INTRODUÇÃO.....                                                                                                                                           | 49  |
| 6.2 ÁREA DE ESTUDO .....                                                                                                                                      | 50  |
| 6.3 METODOLOGIA.....                                                                                                                                          | 52  |
| 6.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....                                                                                                                              | 58  |
| 6.4.1 Avaliação da acurácia da classificação .....                                                                                                            | 58  |
| 6.4.2 Cobertura e uso da terra da bacia do Rio do Coco.....                                                                                                   | 59  |



|                                                                                                                                                                              |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 6.4.3 Cobertura e uso da terra nos compartimentos da bacia do Rio do Coco.....                                                                                               | 64  |
| 6.4.4 Conflitos de uso nas áreas de preservação permanente.....                                                                                                              | 656 |
| 6.5 CONCLUSÕES.....                                                                                                                                                          | 71  |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....                                                                                                                                              | 73  |
| 7 ARTIGO 3 - PRODUÇÃO E TRANSPORTE DE SEDIMENTOS NA BACIA DO RIO DO COCO, TOCANTINS, BRASIL .....                                                                            | 77  |
| RESUMO .....                                                                                                                                                                 | 77  |
| ABSTRACT .....                                                                                                                                                               | 77  |
| 7.1 INTRODUÇÃO.....                                                                                                                                                          | 78  |
| 7.2 ÁREA DE ESTUDO .....                                                                                                                                                     | 79  |
| 7.3 METODOLOGIA.....                                                                                                                                                         | 81  |
| 7.3.1 Compartimentação da bacia e definição de pontos de monitoramento.....                                                                                                  | 81  |
| 7.3.2 Descargas líquidas.....                                                                                                                                                | 82  |
| 7.3.3 Descargas sólidas .....                                                                                                                                                | 86  |
| 7.3.4 Cálculo da descarga total.....                                                                                                                                         | 87  |
| 7.3.5 Cálculo da produção de sedimentos.....                                                                                                                                 | 88  |
| 7.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....                                                                                                                                             | 88  |
| 7.4.1 Concentração de sedimentos em suspensão e turbidez .....                                                                                                               | 88  |
| 7.4.2 Descargas líquidas e sólidas .....                                                                                                                                     | 91  |
| 7.4.3 Produção de sedimentos na bacia do Rio do Coco .....                                                                                                                   | 96  |
| 7.5 CONCLUSÕES.....                                                                                                                                                          | 99  |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....                                                                                                                                              | 100 |
| 8 CONSIDERAÇÕES FINAIS DA TESE.....                                                                                                                                          | 104 |
| APÊNDICES .....                                                                                                                                                              | 106 |
| APÊNDICE A – Memorial fotográfico dos pontos de monitoramento de descargas líquidas e sólidas, com ênfase na variação do nível dos canais entre os meses secos e chuvosos... | 107 |
| APÊNDICE B – Classificação dos corpos d’água da bacia do Rio do Coco e de suas sub-bacias principais. ....                                                                   | 110 |
| APÊNDICE C – Uso e cobertura da terra da bacia do Rio do Coco e de suas sub-bacias principais.....                                                                           | 111 |
| APÊNDICE D – Conflitos de uso nas áreas de preservação permanente de cursos d’água da bacia do Rio do Coco e de suas sub-bacias principais. ....                             | 112 |
| APÊNDICE E – Diferenças entre as hidrografias obtidas por meio da digitalização manual e automática com MDE. ....                                                            | 113 |

## APRESENTAÇÃO

A presente tese está estruturada em três artigos principais, estando organizada da seguinte forma:

- 1) *Introdução geral*, contém uma descrição geral do tema tratado na tese;
- 2) *Problema da pesquisa*, aborda a problematização do tema, por meio de perguntas científicas que nortearam o trabalho;
- 3) *Objetivos da tese*, apresenta o objetivo principal que orientou a pesquisa, juntamente com a descrição dos objetivos específicos;
- 4) *Área de estudo*, compreende a caracterização da área de estudo, a partir de descrições sobre sua abrangência, clima, relevo, solos, entre outros;
- 5) *Referências bibliográficas*, lista a bibliografia utilizada na introdução geral, problema da pesquisa e área de estudo;
- 6) *Desenvolvimento*, está organizado em três artigos, os quais dedicam-se a apresentar os resultados correlacionados às questões científicas centrais do trabalho que nortearam a tese;
- 7) *Considerações finais da tese*, faz um levantamento dos resultados obtidos com o trabalho, os desafios encontrados e os desdobramentos futuros que ainda serão necessários;
- 8) *Apêndices*, composto por figuras importantes que visam detalhar melhor os resultados obtidos.

Os títulos e a abordagem de cada artigo estão descritos abaixo:

- a) *Artigo 1*: Análise e compartimentação morfométrica da bacia do Rio do Coco como subsídio à gestão do uso e ocupação do solo;
- b) *Artigo 2*: Cobertura e uso da terra da bacia do Rio do Coco e suas implicações sobre as áreas de preservação permanente de cursos d'água;
- c) *Artigo 3*: Produção e transporte de sedimentos na bacia do Rio do Coco, Tocantins, Brasil.

O primeiro artigo apresenta a análise e compartimentação morfométrica da bacia do Rio do Coco. Para esta avaliação, a bacia foi compartimentada em alta e baixa bacia, a partir de critérios definidos após análise do perfil longitudinal do Rio do Coco. Cada compartimento foi subdividido em sub-bacias de ordens semelhantes, para as quais foram aplicados parâmetros morfométricos definidos na literatura. A partir deste estudo foi possível avaliar

quais a áreas (sub-bacias) dentro da grande bacia do Rio do Coco apresentam maior suscetibilidade em função de suas características morfométricas, que podem implicar no incremento do potencial de transporte de sedimentos e que precisam de um planejamento de uso do solo diferenciado, pois de acordo com Ross (1994, p. 63), os ambientes naturais apresentam fragilidades diferentes, mostrando-se em estado de equilíbrio dinâmico até o momento em que há interferência humana. Dessa forma, foi possível um entendimento mais abrangente de como os processos naturais poderão influenciar e serem influenciados pelos usos e ocupações impostos na área de estudo. Vale ressaltar que os resultados deste trabalho foram publicados recentemente no volume 15 da edição out./dez. de 2016 da Revista Mercator.

O segundo artigo dedica-se a analisar a cobertura e uso da terra da bacia do Rio do Coco com o objetivo de identificar e quantificar os conflitos de uso do solo existentes para as áreas de preservação permanente de cursos d'água. Para tanto, realizou-se a classificação do uso e cobertura da terra da bacia a partir de imagens do satélite Landsat 8 (sensor OLI - operational land image) para o ano de 2015. Após esse levantamento, foi possível avaliar os principais usos presentes na bacia e sua distribuição, bem como mensurar as irregularidades ambientais presentes em APP de acordo com as exigências da Lei 12.651/2012.

O terceiro artigo apresenta uma análise da produção e do transporte de sedimentos na bacia Rio do Coco e de suas sub-bacias principais. O estudo foi realizado com base em medições de descargas líquidas e sólidas nos canais principais da bacia, onde foi possível identificar as sub-bacias que mais contribuem com as descargas sólidas para o Rio do Coco e qual a contribuição deste para o Rio Araguaia. A análise realizada possibilitou uma melhor compreensão de como os parâmetros morfométricos e o uso na bacia podem influenciar no volume de material produzido e transportado pelos canais.

No geral, os resultados apontaram que os canais que apresentam os maiores valores de concentração de sedimentos e descargas sólidas mais elevadas são coincidentes com os que possuem mais conflitos de uso em APP e apresentam mais suscetibilidades naturais em função de seus parâmetros morfométricos. Desse modo, os trabalhos demonstraram que não se pode indicar somente o uso como a principal causa dos maiores resultados encontrados para a produção e o transporte de sedimentos na bacia, pois como apresenta o primeiro artigo existem fatores naturais também determinantes nestes processos, sendo o uso na bacia do Rio do Coco considerado potencializador.

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

Em todo o mundo, os seres humanos utilizam os sistemas fluviais para fins múltiplos, recebendo inúmeros benefícios com diferentes impactos e respostas no espaço e no tempo (GURNELL et al., 2016, p. 138). Uma das grandes alterações produzidas pelo uso indiscriminado deste recurso é o aumento no volume de sedimentos transportados. De acordo com Andrade (2013, p. 01), a descarga de sedimentos pelos canais de drenagem é o produto final da atuação de uma série de processos que se iniciam com a precipitação sobre a bacia, interagindo com cobertura vegetal, tipo de solo e de rocha, pendente, além do uso e ocupação. Assim, a análise da dinâmica de sedimentos em bacias hidrográficas é uma etapa importante nos estudos de degradação ambiental, sendo os resultados produzidos cruciais para a gestão e planejamento do uso do solo.

Aparecido et al. (2016, p. 241) citam que a quantidade de partículas sólidas entregues às bacias hidrográficas podem alterar a qualidade e a disponibilidade de água, estando a produção dependente do uso e ocupação da terra. Sobre essa assertiva, Rodrigues et al. (2013, p. 495) ao estudarem a perda de sedimentos em duas microbacias no semiárido sobre manejos diferentes observaram que este processo estava diretamente associado as diferenças nos usos identificados para cada bacia.

Gurnell et al. (2014, p. 102), chamam atenção sobre a importância da cobertura e uso da terra no controle hidrológico e produção de sedimentos, de acordo com os autores, estes aspectos podem influenciar diretamente nos processos de escoamento superficial com consequente incremento nos processos erosivos. Almeida et al. (2013, p. 136) enfatizam que o uso potencializa os processos erosivos presentes nas bacias hidrográficas, principalmente pela remoção da cobertura vegetal que serve como anteparo natural do solo à precipitação da chuva, evitando a sua desagregação e o carreamento de sedimentos para os cursos d'água. A exemplo desse cenário, cita-se o estudo realizado por Araújo Neto et al., (2017, p. 66) no Vale do Rio Trussu, sobre a influência do uso do solo na qualidade da água. Os autores observaram que as atividades antrópicas saltaram de 27% para 40,7% em área ocupada da bacia entre os anos de 2003 a 2013, o que afetou diretamente a qualidade da água, principalmente em relação aos resultados de nitrogênio e fósforo.

Quando as alterações na vegetação atingem as áreas de preservação permanente o problema torna-se mais preocupante, pois estas áreas apresentam um papel crucial na proteção e manutenção da qualidade e quantidade de água presente nas bacias, entretanto, têm sido grandemente afetadas pelas atividades antrópicas, sendo a produção e o transporte de

sedimentos um dos fatores bastante influenciados pelo uso indiscriminado das APPs. Ao avaliarem a eficiência da mata ciliar na retenção dos sedimentos gerados em área agrícola cultivada com algodão, Santos e Sparovek (2011, p. 1814 - 1817) observaram a presença de depósitos de sedimentos na área de mata ciliar se estendendo por mais de 20 m na mata, confirmando a importância desta na contenção dos sedimentos.

Além da cobertura vegetal, outros aspectos devem ser considerados na dinâmica hidrossedimentológica. Para Khanchoul et al. (2012, p. 27), os sedimentos transportados a jusante de uma bacia dependem também da topografia, litologia e propriedades do solo. Almeida et al. (2013, p. 136) complementam que os processos erosivos são influenciados pela morfometria fluvial, pela geologia local, sendo potencializados pela interferência antrópica. Milliman e Syvitski (1992, p. 525) citam ainda que para prever a carga de sedimentos de um rio é necessário entender a interação de vários fatores, incluindo o clima, a precipitação (média e pico), a descarga (volume e velocidade), a geologia, o impacto humano e o tamanho da bacia de drenagem.

Portanto, cada bacia, naturalmente, pode apresentar um potencial de produção, o que irá depender diretamente das características do relevo, do tipo de solos, do clima e das atividades humanas. Conforme é ressaltado por Santos et al. (2017, p. 53), a combinação de solos de alta erodibilidade com altos declives, juntamente com elevados índices de erosividade, resulta em um grande desprendimento de sedimentos, necessitando apenas de energia de fluxo para seu transporte.

Em face disso, quando se pretende analisar a dinâmica de sedimentos em uma bacia hidrográfica, devem ser considerados vários aspectos, uma vez que, tal processo, como já descrito acima, depende de inúmeros fatores. Avaliar somente a cobertura do solo e as irregularidades nas áreas de preservação permanente pode incorrer em vários erros, pois existem características naturais que são determinantes na quantidade de sedimentos entregues aos corpos d'água, os quais precisam ser bem compreendidos para não se fazer análises rasas que apontam somente o uso como fator condicionante.

Desse modo, a análise morfométrica surge como uma alternativa interessante, pois possibilita identificar como os fatores naturais atuam na descarga de sedimentos, uma vez que permite apontar áreas mais vulneráveis dentro de uma bacia, o que segundo Souza (2005, p. 52), corresponde ao grau de probabilidade que os atributos naturais têm em condicionar, induzir ou acelerar a ocorrência de um determinado perigo. O autor avalia a suscetibilidade morfométrica de bacias de drenagem como a parcela de responsabilidade do comportamento geométrico das bacias no desencadeamento de problemas, como: inundações, erosões,

deslizamentos, entre outros. Dessa forma, a utilização de parâmetros morfométricos em uma bacia permite indicar as potencialidades e vulnerabilidades ambientais, sendo esse entendimento essencial para o ordenamento do uso e ocupação do solo, pois podem apontar áreas com menor potencial de degradação para a implementação das atividades antrópicas.

Sobre esta perspectiva, o presente trabalho pretendeu analisar a influência dos aspectos morfométricos e do uso da terra nas áreas de preservação permanente de cursos d'água sobre a produção e o transporte de sedimentos na bacia hidrográfica do Rio do Coco, localizada na margem direita da bacia do Rio Araguaia, no Estado do Tocantins. Essa bacia tem uma importância significativa na região, possuindo 67,73% de áreas protegidas inseridas em sua área de abrangência, com destaque para o Parque Estadual do Cantão (5,54%) e a Área de Proteção Ambiental da Ilha do Bananal/Cantão (62,19%). Apesar da existência de tais unidades de conservação observam-se ao longo da bacia poucas atividades voltadas à conservação dos recursos naturais presentes, principalmente na região que abrange a APA. A atividade principal desenvolvida é a pastagem, sendo comum a ocupação de áreas de preservação permanente para a criação do gado. Tal cenário torna-se preocupante, uma vez que a degradação de tais áreas tende a trazer efeitos diretos sobre os corpos hídricos locais, influenciando no volume de sedimentos produzidos pela bacia.

## **2 PROBLEMA DA PESQUISA**

Baseado nos textos descritos previamente, observa-se que avaliar a dinâmica de sedimentos não é uma tarefa fácil, uma vez que existem muitas variáveis a serem consideradas. Análises embasadas somente no uso e cobertura do solo podem omitir alguns processos naturais importantes. Deve-se olhar em profundidade, analisando além da paisagem, os aspectos naturais desenvolvidos nos limites da rede hidrográfica.

Estudos integrados de bacias exigem muito esforço na obtenção e sistematização dos dados. Além das dificuldades na estruturação dos trabalhos para a obtenção de informações consistentes que possam descrever com mais precisão os processos presentes em uma bacia que influenciam na descarga de sedimentos, têm-se, no país, o grande desafio em relação às informações de monitoramento existentes sobre a hidrossedimentologia. Atualmente, a Agência Nacional de Águas (ANA) tem produzido dados para muitos corpos hídricos brasileiros, entretanto, a distribuição espacial das redes fluviométricas está bem distante de representar a real situação dos mananciais monitorados, além do monitoramento ainda apresentar muitas lacunas de informações, principalmente, quando se trata da periodicidade na

obtenção dos dados dentro do período sazonal. Na maioria das estações, a coleta de informações ocorre somente quatro vezes ao ano, deixando uma janela generalizada de conhecimento a respeito dos processos hidrológicos.

Destaca-se também que em muitas situações a localização das estações podem não representar o ponto ideal para o monitoramento de descargas de uma bacia, principalmente em bacias com grandes regiões inundáveis, como no caso do Rio do Coco. A interferência da planície durante as cheias pode produzir informações superestimadas de vazão e, por conseguinte de descargas sólidas, pois somados ao aporte transportado pelos cursos d'água podem surgir volumes referentes a lagos e canais secundários conectados ao rio principal no período de enchentes.

O resultado desse cenário gera um impacto enorme nas pesquisas hoje produzidas no país, fazendo com que grande parte dos estudos seja baseada em modelos. Camenen et al. (2016, p. 72) citam que um dos desafios do uso de modelos de transporte de sedimentos em uma avaliação baseada em processos de hidromorfologia é saber qual modelo usar. Embora a escolha do modelo seja frequentemente determinada pela disponibilidade de dados (por exemplo, cargas de sedimentos, tamanho de partícula, batimetria, etc.), os resultados da modelagem podem não ser relevantes para o objetivo do estudo ou para aplicações na gestão de rios, principalmente se não receberem a calibração adequada. Tal situação pode proporcionar grandes discrepâncias nos resultados produzidos, gerando muitas vezes informações que não retratam a realidade apresentada pelos canais.

Outro aspecto relevante a ser mencionado trata-se dos custos e da logística envolvida para estes estudos. A estrutura necessária para a produção de dados neste tipo de trabalho é bastante dispendiosa e dependente de um planejamento rigoroso. Tendo em vista que muitas dificuldades podem ser encontradas em campo, uma vez que o monitoramento em uma mesma bacia pode necessitar de equipamentos específicos para o atendimento das diferentes realidades observadas, sem contar com as variações que os cursos d'água podem sofrer durante o período sazonal.

Tudo isso só reforça o grande desafio na produção de dados de descargas de sedimentos para as bacias brasileiras. Mesmo assim, o presente trabalho buscou, dentro de todas as limitações já mencionadas, avaliar a produção e o transporte de sedimentos na bacia do Rio do Coco em um estudo que envolve uma análise das características morfométricas da bacia e uso da terra nas áreas de preservação permanente de cursos d'água com vistas a produzir uma informação mais representativa da realidade local, apesar de saber que ainda há um longo caminho pela frente, principalmente no que se refere à periodicidade e duração do

monitoramento para a obtenção de informações de descarga nos canais de drenagem. Por sua vez, a proposta tem por finalidade responder algumas questões sobre o tema em análise:

- a) Quais áreas (sub-bacias) na bacia do Rio do Coco apresentam maior potencial para produção e transporte de sedimentos em função de suas características morfométricas?
- b) Quais as sub-bacias da bacia do Rio do Coco apresentam mais conflitos de uso do solo em áreas de preservação permanente de cursos d'água e de que forma eles podem influenciar na produção e transporte de sedimentos?
- c) Quais as sub-bacias mais contribuem com a descarga de sedimentos para o Rio do Coco?
- d) Quanto a bacia do Rio do Coco está contribuindo de descarga para o Rio Araguaia? Os dados registrados pela Estação 27110000/ANA podem ser utilizados para modelagem hidrológica da bacia?

Por sua vez, essas questões estão embasadas nas hipóteses descritas abaixo:

- a) A descarga de sedimentos na bacia do Rio do Coco tem relação direta com suas características morfométricas. Assim, as sub-bacias que mais lançam sedimentos no Rio do Coco coincidem com os ambientes que sinalizam maior suscetibilidade natural, sendo o uso considerado potencializador desse processo.
- b) A bacia do Rio do Coco, devido as suas características naturais (relevo, tipo de solos e clima), pode ser dividida em dois grandes ambientes distintos: ambiente de produção e transporte e ambiente de acumulação. Assim, sugere-se que a descarga sólida transportada pelos canais principais da bacia não chega, em sua totalidade, no Rio Araguaia.

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo Geral**

Analisar a influência dos aspectos morfométricos e do uso da terra nas áreas de preservação permanente de cursos d'água sobre a produção e o transporte de sedimentos na bacia hidrográfica do Rio do Coco.



### 3.2 Objetivos Específicos

- Realizar a compartimentação morfométrica da bacia hidrográfica do Rio do Coco;
- Indicar para a bacia do Rio do Coco as sub-bacias que apresentam maior potencial para produção e transporte de sedimentos em função de suas características morfométricas;
- Analisar a cobertura e uso da terra da bacia do Rio do Coco;
- Quantificar o percentual de áreas com conflitos de uso do solo para as áreas de preservação permanente de cursos d'água para a bacia do Rio do Coco e suas principais sub-bacias;
- Avaliar a produção de sedimentos nas principais sub-bacias da bacia do Rio do Coco;
- Indicar as sub-bacias que mais contribuem com descargas sólidas para o Rio do Coco;
- Avaliar os fatores condicionantes para descarga de sedimentos nas principais sub-bacias do Rio do Coco;
- Quantificar a descarga sólida transportada nos canais principais da bacia do Rio do Coco, indicando quanto desta descarga é encaminhada para o Rio Araguaia.

## 4 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo corresponde a bacia do Rio do Coco, situada na margem direita da Bacia Hidrográfica do Rio Araguaia, no estado do Tocantins, entre os municípios de Caseara, Marianópolis do Tocantins, Divinópolis do Tocantins, Monte Santo, Paraíso do Tocantins, Chapada de Areia, Pium e Barrolândia (Figura 4.1). A bacia é classificada como de ordem 7, conforme a classificação de Strahler (1952) e ocupa uma área de aproximadamente 6.670 km<sup>2</sup>. O rio principal é o Rio do Coco, o qual possui um comprimento de cerca de 356 km da nascente (Serra do Estrondo) até a sua foz, na cidade de Caseara. Além do Rio do Coco, a bacia possui outros cursos d'água de grande relevância, os quais formam sub-bacias importantes para a manutenção de toda a área, dentre as quais destacam-se: a sub-bacia do Ribeirão Piedade, a sub-bacia do Ribeirão Surubim e a sub-bacia do Ribeirão Prata.

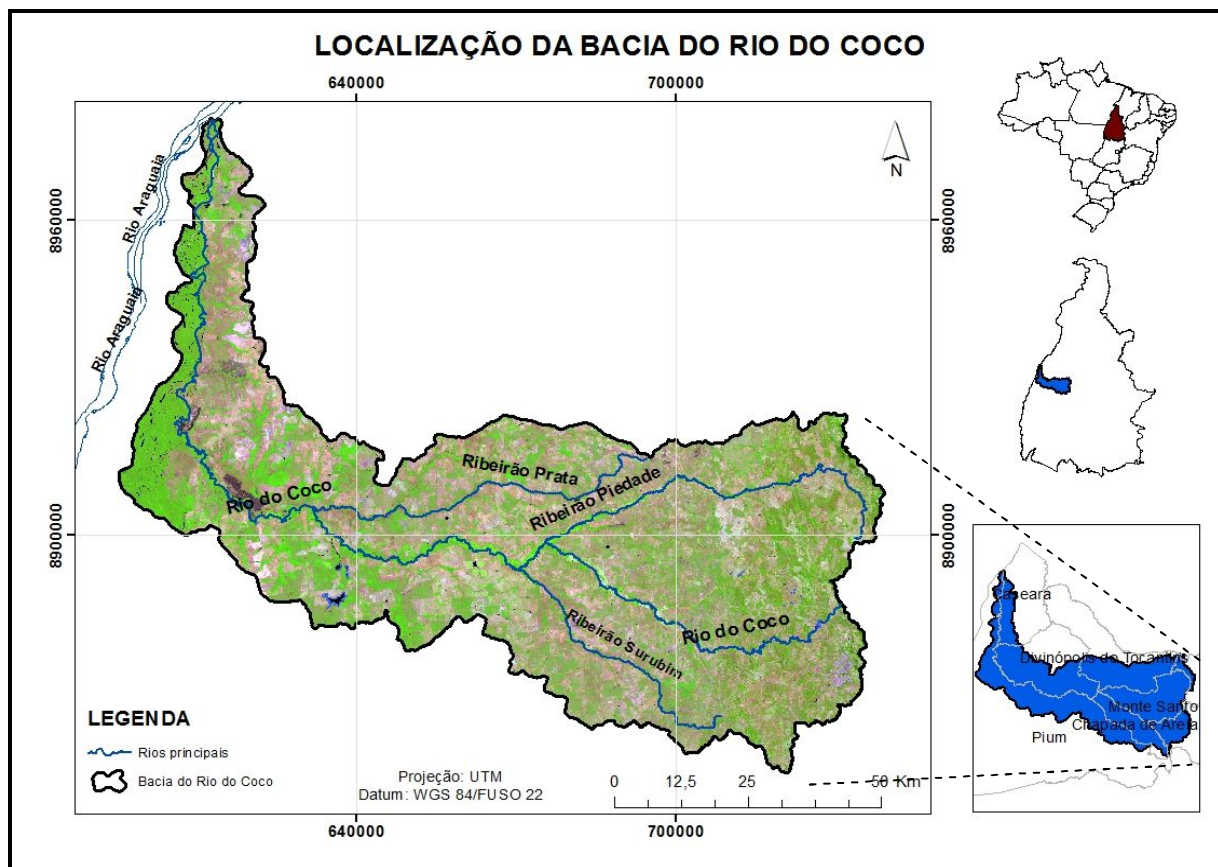


Figura 4.1 – Localização da Bacia do Rio do Coco no Estado do Tocantins. Fonte: Elaborado pelo autor.

A sub-bacia do Ribeirão Piedade é uma bacia de ordem 6, conforme a classificação de Strahler (1952). Esta possui uma área aproximada de  $1.203 \text{ km}^2$  e o seu canal principal é o Ribeirão Piedade. Suas nascentes estão localizadas no município de Barrolândia na cota de 339 metros, percorrendo aproximadamente 130 km até a sua confluência com o Rio do Coco a 188 m de altitude (no município de Divinópolis). Possui uma amplitude altimétrica total de 514 metros, destacando-se também pelo seu sistema de drenagem bem desenvolvido com  $3,47 \text{ canais/km}^2$ , sendo considerada uma das principais sub-bacias responsáveis pela manutenção da bacia do Rio do Coco.

A sub-bacia do Ribeirão Surubim localiza-se na região sudeste da bacia do Rio do Coco, entre os municípios de Chapada de Areia e Pium. É uma bacia de ordem 6, conforme a classificação de Strahler (1952) e possui uma área aproximada de  $777,97 \text{ km}^2$ . O principal curso d'água é o Ribeirão Surubim, este tem suas nascentes principais localizadas no município de Chapada de Areia a 336 m de altitude, percorrendo cerca de 68 km até desaguar no Rio do Coco (na cota de 185 m). A bacia possui uma amplitude de 181 m e  $2,79 \text{ canais/km}$ , porém, o curso d'água principal, nos últimos anos, tem apresentado intermitência

no seu fluxo durante o período de estiagem, formando poços isolados de água parada, sendo comum na região a morte de peixes por falta de oxigenação na água.

A sub-bacia do Ribeirão Prata tem como rio principal o Ribeirão Prata, este nasce na cota de 279 metros, no município de Divinópolis e percorre aproximadamente 90 km até o seu exutório (Rio do Coco) a uma altitude de 174 metros (nos limites do município de Marianópolis). É uma bacia de ordem 5, de acordo com a classificação de Strahler (1952) e possui uma área total de 951,64 km<sup>2</sup>. Comparativamente as outras sub-bacias mencionadas acima, a sub-bacia do Ribeirão Prata possui um sistema de drenagem pouco desenvolvido com 0,49 canais/km e uma menor amplitude altimétrica (127 m), os quais são resultantes de suas características de relevo.

O clima na região da bacia do Rio do Coco, pelo método de Thornthwaite, é classificado como úmido subúmido com moderada deficiência hídrica no inverno (C2wA'a''), estando a bacia inserida em três faixas de precipitação e temperatura, sendo: 1900 a 2000 mm, 2000 a 2100 mm e >2200 mm para precipitação e 25 a 25,5 °C, 25,5 a 26 °C e, 26 a 27 °C para temperatura (TOCANTINS, 2012).

A área de estudo apresenta uma grande diversidade de ambientes geológicos, representados pelos Depósitos Sedimentares Inconsolidados; Bacias Sedimentares; Faixas Orogênicas e Embasamentos em Estilos Complexos (TOCANTINS, 2012), conforme Figura 4.2.

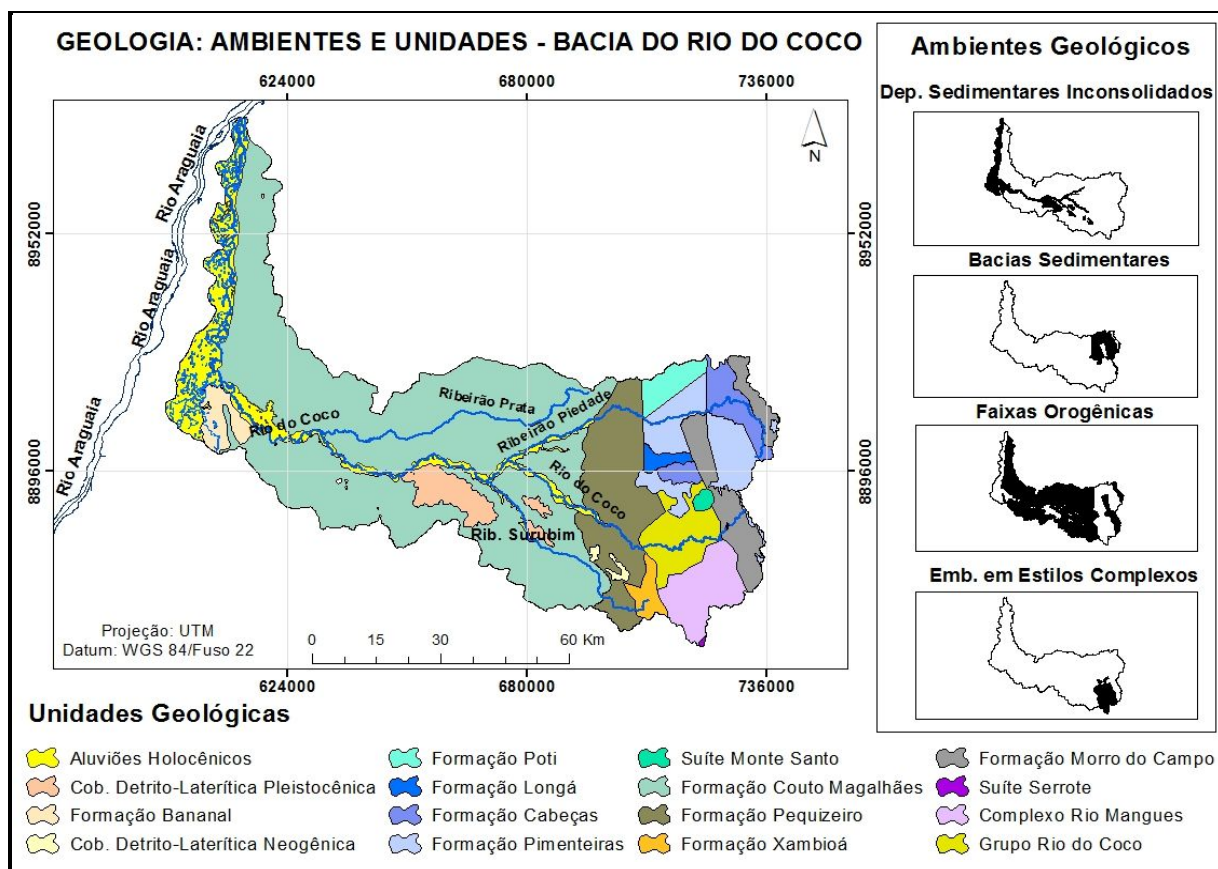


Figura 4.2 – Unidades Geológicas presentes na bacia do Rio do Coco, com destaque para a localização destas dentro dos Ambientes Geológicos localizados na bacia. Fonte: Elaborado pelo autor. Adaptado de IBGE (2007a) e TOCANTINS (2012).

No ambiente de Depósitos Sedimentares Inconsolidados estão a Formação Bananal, os Aluviões Alocênicos e a Cobertura Detrito Laterítica Pleistocênica (IBGE, 2007a), os quais compõem 14,28% da bacia. Estes estão localizados, principalmente na região que abrange a planície do Rio do Coco.

As Bacias Sedimentares representam 10,43% da área de estudo, estando presentes na região nordeste da bacia, principalmente na sub-bacia do Ribeirão Piedade e pequena porção da sub-bacia do Alto Rio do Coco. Nela estão localizadas as Formações Poti, Cabeças, Pimenteiras e Longá (IBGE, 2007a).

As Faixas Orogênicas ocupam 66,9% da área, presentes, principalmente, na região da média e baixa bacia. Nelas estão presentes as Formações Morro do Campo, Xambioá, Couto Magalhães e Piquizeiro, além da Cobertura Detrito-Laterítica Neogênica e Suíte Monte Santo (IBGE, 2007a).

Na região que abrange os Embasamentos de Estilos Complexos estão incluídos o Grupo Rio do Coco e o Complexo Rio dos Mangues (IBGE, 2007a), estes representam 7,63% da área, localizados na região leste da bacia, próximo às principais nascentes do Rio do Coco.

A bacia do Rio do Coco está inserida em quatro domínios geomorfológicos: Depósitos Sedimentares Inconsolidados; Bacias Sedimentares e Coberturas Inconsolidadas; Faixas de Dobramentos e Coberturas Metassedimentares e Embasamentos de Estilos Complexos (TOCANTINS, 2012), conforme Figura 4.3.

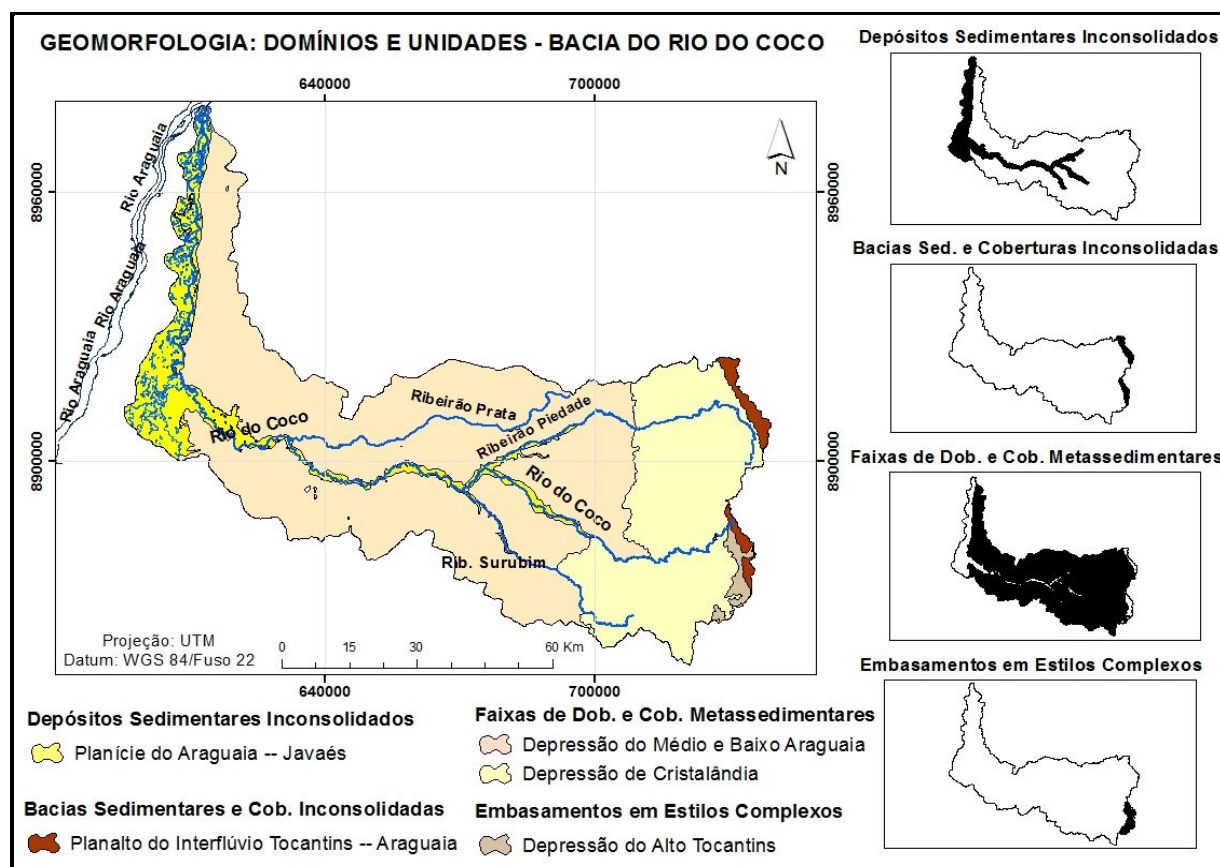


Figura 4.3 – Domínios e Unidades Geomorfológicas presentes na bacia do Rio do Coco. Fonte: Elaborado pelo autor. Adaptado de TOCANTINS (2012).

No Domínio dos Depósitos Sedimentares Inconsolidados está a unidade morfoestrutural da Planície Araguaia – Javaés, a qual ocupa 10,74% da área, representada pela planície dos Rios do Coco e Araguaia, abrangendo toda a região do Parque Estadual do Cantão.

O Domínio das Bacias Sedimentares e Coberturas Inconsolidadas localizam-se no divisor de águas da Bacia do Tocantins - Araguaia, onde está presente a unidade morfoestrutural do Planalto Interflúvio Tocantins - Araguaia (TOCANTINS, 2012). Este corresponde a um conjunto serrano disposto no sentido longitudinal, cujo relevo mais representativo é a Serra do Estrondo. Sua distribuição espacial faz com que o planalto tenha uma extensão aproximada de 270 km, enquanto sua largura média não ultrapassa 40 km.



Contudo, malgrado sua expressão areolar alongada, atinge altimetrias de até 600 m. Este aspecto é ainda mais ressaltado pelo fato de o planalto ser contornado por depressões, cujas altimetrias médias estão em torno de 240 m. Assim, a leste, ele faz contato com a Depressão do Tocantins e a oeste, com a do Araguaia (BRASIL, 1981, p. 214).

As Faixas de Dobramentos e Coberturas Metassedimentares ocupam 86,35% da área da bacia, onde estão localizadas a Depressão de Cristalândia com 24,59% e a Depressão do Médio e Baixo Araguaia com 61,76% (TOCANTINS, 2012). Já no Domínio Embasamento de Estilos Complexos encontra-se a Depressão do Alto Tocantins, ocupando apenas 0,83% da bacia.

Baseado na classificação da Embrapa (1979), a maior parte da bacia está inserida em áreas com relevo plano a suavemente ondulado, estando uma porção menor em um relevo ondulado a fortemente ondulado, localizado, principalmente, nas regiões das cabeceiras da bacia. A altitude máxima observada foi de 701 m e mínima de 125 m, resultando em uma amplitude altimétrica de 576 m. As regiões com maiores declives situam-se na porção leste da bacia, concentradas, especialmente na Serra do Estrondo, onde se podem observar declividades acima de 43° (Figura 4.4).

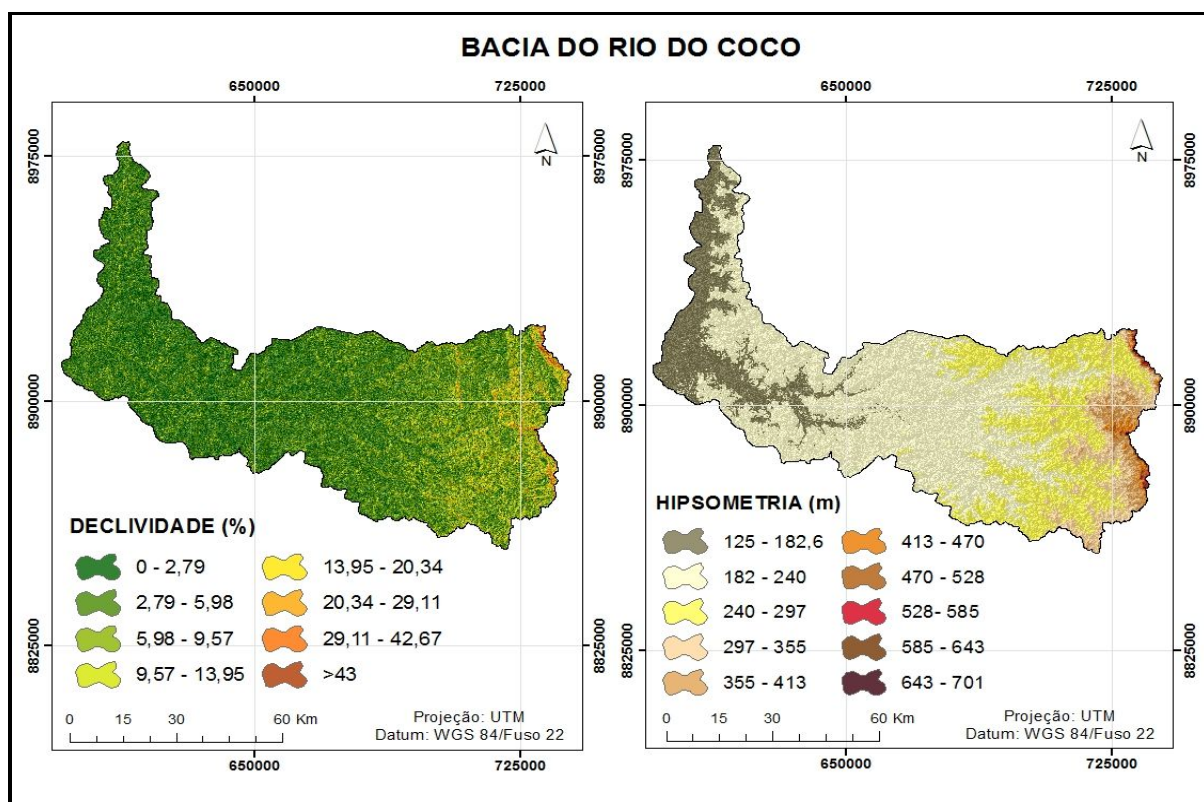


Figura 4.4 – Classes de Hipsometria e declividade da bacia do Rio do Coco. Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados do Modelo Digital de Elevação (MDE)/SRTM 30m.

Na região, dominam os solos das classes de Latossolo Vermelho Distrófico, Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico, Neossolo Quartzarênico, Neossolo Litólico, Plintossolo Pétrico Concrecionário e Gleissolo Háptico Tb Distrófico (TOCANTINS, 2012 e IBGE, 2007b), conforme Figura 4.5.

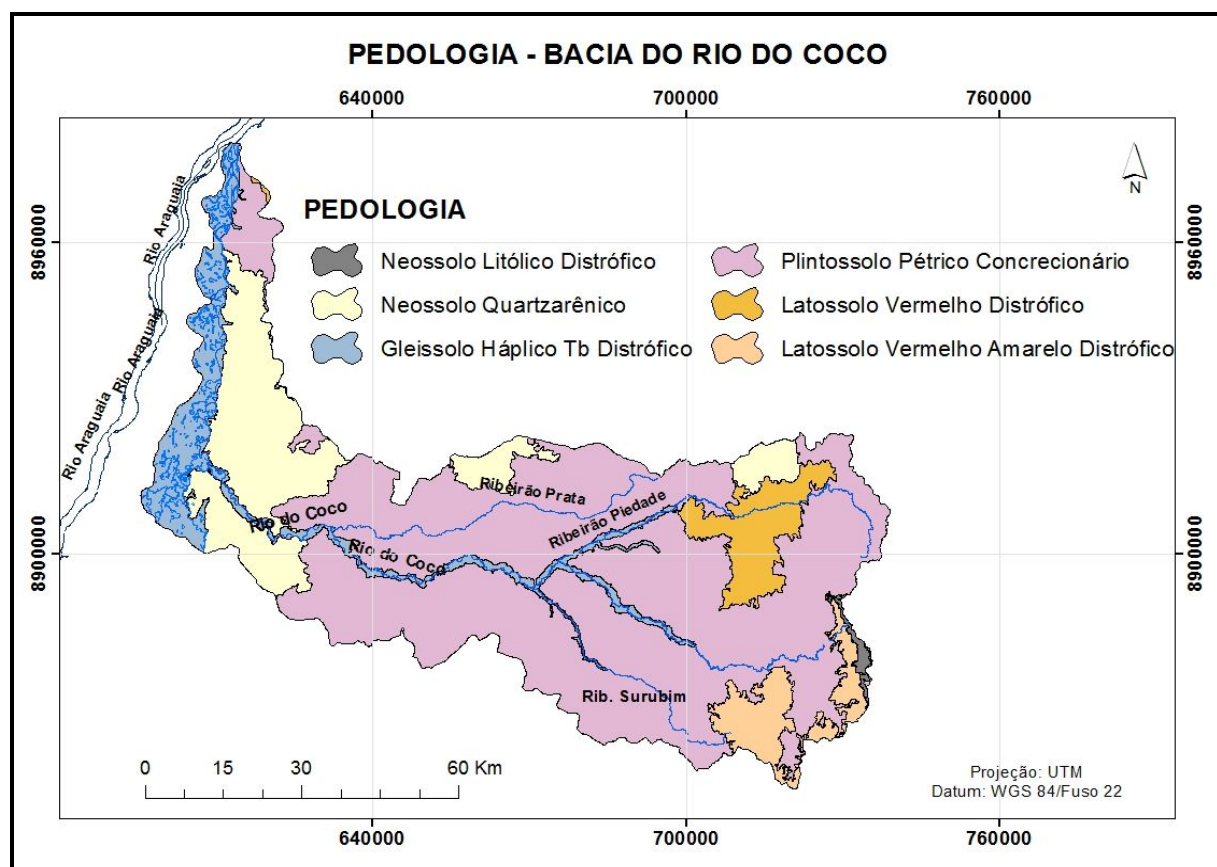


Figura 4.5 – Distribuição das Unidades Pedológicas presentes na bacia do Rio do Coco. Fonte: Elaborado pelo autor. Adaptado de TOCANTINS (2012) e IBGE (2007b).

A classe de Latossolo Vermelho Distrófico ocupa 5,08% da bacia, presente nas sub-bacias do Ribeirão Piedade, Alto Rio do Coco e Baixo Rio do Coco. Geralmente com grande profundidade, homogêneos, de boa drenagem e quase sempre com baixa fertilidade natural, necessitando de correções químicas para aproveitamento agrícola (IBGE, 2007c, p. 289).

O Latossolo Vermelho Amarelo representa 4,43% da área da bacia, localizado, nas sub-bacias do Alto Rio do Coco e Ribeirão Surubim. Este solo tem cores vermelho-amareladas, profundo, com boa drenagem e normalmente baixa fertilidade natural. Quando de textura argilosa são muito explorados com lavouras de grãos mecanizadas e quando de textura média são usados basicamente com pastagens (IBGE, 2007c, p. 290).

Os Neossolos Quartzarênicos cobrem 15,89% da área de estudo, presente nas sub-bacias do Ribeirão Piedade, Ribeirão Prata e Baixo Rio do Coco. De acordo com Jacomine

(2009, p. 173), são solos essencialmente quartzosos, virtualmente desprovidos de materiais primários alteráveis, sem contato lítico dentro de 50 cm de profundidade, com sequência de horizontes A–C, porém apresentando textura areia ou areia franca em todos os horizontes até no mínimo, a profundidade de 150 cm a partir da superfície do solo ou até contato lítico. Uma das grandes preocupações em relação a esta classe está relacionada ao seu alto potencial erosivo, o que pode ser potencializado em função das características do relevo onde estão localizados e das atividades de uso do solo.

A classe de Neossolo Litólico ocorre em menor porção (0,42%) nas proximidades dos divisores de água das sub-bacias do Alto Rio do Coco e Ribeirão Piedade, especificamente na Serra do Estrondo. Estes solos apresentam horizonte A ou hístico, assentes diretamente sobre a rocha, sobre horizonte e/ou Cr, ou sobre material com 90% (por volume) ou mais de sua massa constituída por fragmentos de rocha com diâmetro maior que 2 mm, que apresentam um contato lítico ou fragmentário dentro de 50 cm da superfície do solo (JACOMINE, 2009, p. 172).

A classe de maior representatividade na bacia é o Plintossolo Pétrico Concrecionário, este cobre aproximadamente 64,42% da área. Estes solos caracterizam-se principalmente pela presença de expressiva plintitização. Têm manejo agrícola bastante delicado, que necessita de bom controle de sua dinâmica hídrica interna, já que pode ter como consequência o endurecimento da plintita, sendo usados, em sua maioria, para pastoreio extensivo quando sob vegetação campestre ou de Campo Cerrado, ou com pasto plantado com espécies forrageiras rústicas (IBGE, 2007c, p. 303).

O Gleissolo Háplico Tb Distrófico representa 9,76% da área. De acordo com IBGE (2007c, p. 284), são solos característicos de áreas alagadas ou sujeitas a alagamento (margens de rios, ilhas, grandes planícies, etc.) e apresentam cores acinzentadas, azuladas ou esverdeadas, dentro de 50 cm da superfície. Na bacia em estudo, estão localizados, principalmente nas áreas que abrangem a planície do Rio do Coco e Araguaia na região do Parque Estadual do Cantão.

Outro ponto que merece destaque são as unidades de conservação inseridas na bacia do Rio do Coco, a saber: Parque Estadual do Cantão e a Área de Proteção Ambiental Ilha do Bananal/Cantão, estas cobrem aproximadamente 67,73% de toda área (Figura 4.6).



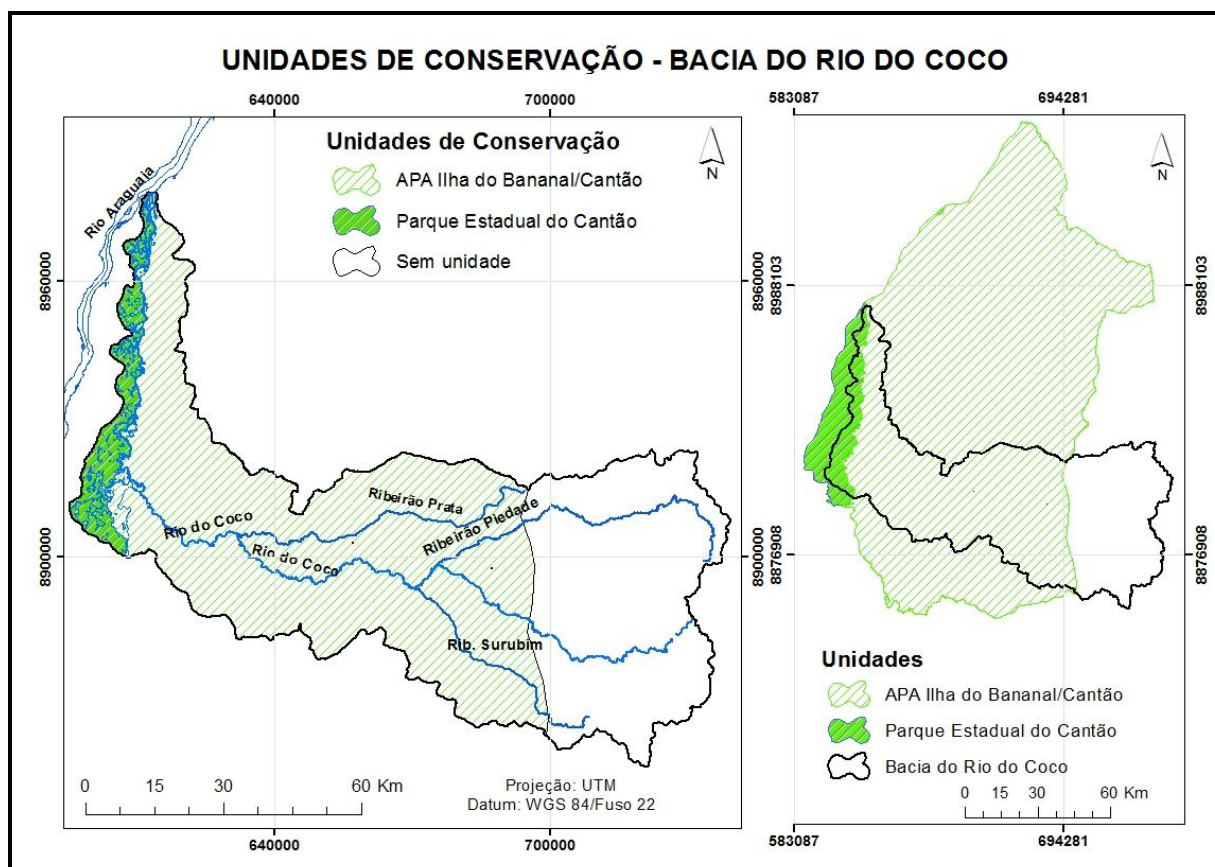


Figura 4.6 – Unidades de Conservação presentes na bacia do Rio do Coco, com destaque para localização e área de abrangência das mesmas. Fonte: Elaborado pelo autor. Adaptado de TOCANTINS (2012).

O Parque Estadual do Cantão está inserido em 5,54% da área de estudo. Esta é uma unidade de proteção integral que está entre os rios Araguaia, Javaés e Coco. O Cantão também localiza-se ao norte da grande planície aluvial que é a Ilha do Bananal, limite com o Parque Nacional do Araguaia, formando assim um conjunto de unidades de conservação com mais de 700.000 hectares (TOCANTINS, 2001, p. 04).

A grande riqueza biológica da unidade deve-se ao fato de ser o Cantão formado como um delta interior do Rio Javaés, com mais de 800 lagos e canais, formando um ecótono complexo com elementos da Floresta Amazônica, do Cerrado, do Pantanal e da Mata Atlântica (TOCANTINS, 2001, p. 04). Durante o período de seca a maior parte dos canais secam ou são interrompidos por bancos de areia, e os lagos permanecem isolados. Os arredores do parque são constituídos principalmente por cerrado, com predominância de savana aberta e por florestas de galeria (FERREIRA et al., 2011, p. 279).

Pinheiro e Dornas (2009a, p. 75) em estudos envolvendo novos registros ornitológicos concluíram que as florestas do Cantão possuem a funcionabilidade de corredores faunísticos, permitindo a ocorrência de aves com distribuição no centro-norte Amazônico nas margens do

médio Rio Araguaia, extremo leste Amazônico, sendo a região relevante por seus endemismos e biogeograficamente caracterizada como zona de tensão ecológica Amazônia/Cerrado.

Apesar de legalmente protegidas, as áreas naturais do Cantão vem sofrendo com o avanço do desmatamento na região. O parque ainda conserva atividades voltadas à preservação, porém, a região que abrange a APA (62,19%) padece com a negligência do poder público, onde não se visualizam ações concretas voltadas à conservação e manutenção dos recursos ali existentes. De acordo com Pinheiro e Dornas (2009b, p. 203), a pecuária tem um papel histórico na fragmentação da paisagem do Cerrado. É significativo o registro de diversas espécies endêmicas e/ou ameaçadas/quase-ameaçadas na APA, entretanto, o incremento das alterações nas paisagens naturais, podem tornar as espécies ainda mais vulneráveis em termos de conservação. Ressalta-se que nos últimos anos tem-se notado um avanço na atividade agrícola local, onde algumas áreas de pastagem estão sendo substituídas e outras abertas em função do advento da soja na região.

As áreas com cerrado stricto sensu conservado na bacia do Rio do Coco estão associadas a terrenos irregulares, com abundância de cursos de água protegidos por filetes de mata de galeria. Há também remanescentes da mata ciliar do Rio Coco que são áreas de transição entre floresta estacional e ombrófila. Nas encostas e afloramentos de rocha, desenvolvem-se florestas estacionais que se encontram bastante depauperadas, em função da retirada de madeira e passagem de fogo. No geral, a mistura de espécies comuns nas florestas estacionais e outras típicas de florestas ombrófila, indicam o caráter transitório da vegetação na bacia do Rio Coco (TOCANTINS, 2013, p. 220 e 239).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, Wagner Santos de; SOUZA, Newton Moreira de; REIS JÚNIOR, Dirceu Silveira; CARVALHO, José Camapum de. Análise morfométrica em bacias hidrográficas fluviais como indicadores de processos erosivos e aporte de sedimentos no entorno do reservatório da usina hidrelétrica (UHE) Corumbá IV. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.14, n.2, p. 136, abr./jun., 2013.

ANDRADE, Márcio Adalberto. Análise da dinâmica hidrossedimentológica na Estação de Porto das Andorinhas no Rio São Francisco, Minas Gerais. In: XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2013, Bento Gonçalves. **Anais...** Bento Gonçalves (RS), 2013. p. 01.

APARECIDO, Camila Fernandes Ferreira; VANZELA, Luiz Sergio; VAZQUEZ, Gisele

Herbst; LIMA, Ronaldo Cintra. Manejo de bacias hidrográficas e sua influência sobre os recursos hídricos. **Irriga**, Botucatu, v. 21, n. 2, p. 214 e 250, maio - junho, 2016.

ARAÚJO NETO, José Ribeiro de; ANDRADE, Eunice Maia de; PALÁCIO, Helba Araújo de Queiroz; SALES, Maria Monaliza de; MAIA, Anthony Rafael Soares. Influence of land use/occupation on water quality in the Trussu river valley, Ceará, Brazil. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 1, p. 66, jan./mar., 2017.

BRASIL. **Lei nº. 12.651 de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Projeto Radambrasil – Folha 22.SC Tocantins, Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação, Uso potencial da terra**. Rio de Janeiro (RJ), 1981. p. 214.

CAMENEN, B.; GRABOWSKI, R. C.; LATAPIE, A.; PAQUIER, A.; SOLARI, L.; Rodrigues, S. On the estimation of the bed-material transport and budget along a river segment: application to the Middle Loire River, France. **Aquat Sci**, 78, p. 72. 2016.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ)**. Súmula da 10. reunião Técnica de Levantamento de Solos. Rio de Janeiro, 1979. 83p.

FERREIRA, E., ZUANON, J., SANTOS, G. & AMADIO, S. A ictiofauna do Parque Estadual do Cantão, Estado do Tocantins, Brasil. **Biota Neotrop.** v. 11, n. 2, p. 279, 2011.

GURNELL, A. M.; RINALDI, M.; BUIJSE, A. D.; BRIERLEY, G.; PIEGAY, H. Hydromorphological frameworks: emerging trajectories. **Aquat Sci**, 78, p. 137-138, 2016.

GURNELL, A.M.; BUSSETTINI, M.; CAMENEN, B; DEL TÁNAGO, M. González; GRABOWSKI, R.C.; HENDRIKS, D.; HENSHAW, A; LATAPIE, A.; RINALDI, M.; SURIAN, N. (2014). **A hierarchical multiscale framework and indicators of hydromorphological processes and forms. Deliverable 2.1, Part 1, of REFORM (REstoring rivers FOR effective catchment Management)**, a Collaborative project (large-scale integrating project) funded by the European Commission within the 7th Framework Programme under Grant Agreement 282656. 54 – 167 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Sistematização das informações sobre Recursos Naturais da Amazônia Legal: Geologia - Banco de dados georeferenciado**. 2007a. Disponível em: [ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapeamento\\_sistematico/banco\\_dados\\_georeferenciado\\_recursos\\_nat](ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapeamento_sistematico/banco_dados_georeferenciado_recursos_nat)

[urais/amazonia\\_legal/geologia/](#). Acessado em: junho de 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Estado do Tocantins – Pedologia: Mapa exploratório de solos**. 2007b.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Manual Técnico de Pedologia**. 2. ed. n. 4. Rio de Janeiro (RJ), 2007c. 284 – 303 p.

JACOMINE, Paulo Klinger Tito. A nova classificação brasileira de solos. In: Academia Pernambucana de Ciência Agronômica, v. 5 e 6, 2009, Recife. **Anais...** Recife (PE), 2009. p. 172 - 173.

KHANCHOU, K.; BOUKHRIS, Z.A.; MAJOUR, H. Statistical modelling of suspended sediment transport in the Cherf drainage basin, Algeria. **Comunicações Geológicas**, 99, 1, p. 27, 2012.

MILLIMAN, John D.; SYVITSKI, James P. M. Geomorphic/Tectonic Control of Sediment Discharge to the Ocean: The Importance of Small Mountainous Rivers. **The Journal of Geology**, v. 100, p. 525. 1992.

PINHEIRO, Renato Torres; DORNAS, Túlio. Novos registros ornitológicos para o Parque Estadual do Cantão: distribuição e conservação da avifauna do ecótono Amazônia-Cerrado. **Revista Brasileira de Ornitologia**, v. 17, n. 1, p. 75, março de 2009a.

PINHEIRO, Renato Torres; DORNAS, Túlio. Distribuição e conservação das aves na região do Cantão, Tocantins: ecótono Amazônia/Cerrado. **Biota Neotrop.**, v. 9, n. 1, p. 203, 2009b.

RODRIGUES, Joseilson Oliveira; ANDRADE, Eunice Maia de; PALÁCIO, Helba Araújo Queiroz; MENDONÇA, Luiz Alberto Ribeiro; SANTOS, Júlio César Neves dos. Sediment loss in semiarid small watershed due to the land use. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 3, p. 495, jul./set., 2013

ROSS, Jurandyr Luciano Sanches. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 8, p. 63. 1994.

SANTOS, Julio Cesar Neves dos; ANDRADE, Eunice Maia de; MEDEIROS, Pedro Henrique Augusto; PALÁCIO, Helba Araújo de Queiroz; ARAÚJO NETO, José Ribeiro de. Sediment delivery ratio in a small semi-arid watershed under conditions of low connectivity. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 1, p. 53, jan./mar., 2017

SANTOS, Diléia Santana e SPAROVEK, Gerd. Retenção de sedimentos removidos de área de lavoura pela mata ciliar, em Goiatuba (GO). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 35: 1814-1817, 2011.

SOUZA, Célia Regina de Gouveia. Suscetibilidade morfométrica de bacias de drenagem ao desenvolvimento de inundações em áreas costeiras. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, ano 6, n. 1, p. 52. 2005.

STRAHLER, A. N. Hypsometric (area-altitude) analysis and erosional topography. **Geological Society of America Bulletin**, v. 63, p. 1117 – 1142. 1952.

TOCANTINS. Secretaria de Planejamento e Meio Ambiente. **Plano de Manejo Parque Estadual do Cantão**. Palmas (TO), 2001. p. 04.

TOCANTINS. Secretaria do planejamento e da modernização da gestão pública (SEPLAN). **Base de Dados Geográficos do Tocantins - Atualização 2012**. Palmas, SEPLAN/DZE, janeiro/2012. Disponível em: <http://seplan.to.gov.br/zoneamento/bases-vetoriais/base-de-dados-geograficos-do-tocantins-atualizacao-2012>.

TOCANTINS. Secretaria de Planejamento e da Modernização da Gestão Pública (SEPLAN). Departamento de Pesquisa e Zoneamento Ecológico-Econômico. Projeto de Desenvolvimento Regional Sustentável. **Mapeamento das Regiões Fitoecológicas e Inventário Florestal do Estado do Tocantins. Regiões Fitoecológicas da Faixa Centro**. v.1. Palmas: Seplan/DZE, 2013. 220 e 239 p.

## **5 ANÁLISE E COMPARTIMENTAÇÃO MORFOMÉTRICA DA BACIA DO RIO DO COCO COMO SUBSÍDIO A GESTÃO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO**

### **RESUMO**

O presente estudo teve como objetivo realizar a compartimentação morfométrica da bacia hidrográfica do Rio do Coco, localizada na margem direita da bacia hidrográfica do Rio Araguaia, no estado do Tocantins, entre os municípios de Caseara, Marianópolis do Tocantins, Divinópolis do Tocantins, Monte Santo, Paraíso do Tocantins, Chapada de Areia, Pium e Barrolândia. Para tanto, foi realizada a vetorização manual da hidrografia na escala 1:5.000 a partir de imagens do satélite RapidEye, sendo utilizada a metodologia proposta por Strahler (1952) para a hierarquização da rede de drenagem. A compartimentação foi realizada com base no perfil longitudinal do Rio do Coco, sendo, a bacia dividida em alta e baixa bacia. Na região da alta bacia ficaram as sub-bacias de 6º ordem: Alto Rio do Coco, Ribeirão Piedade e Ribeirão Surubim, já a região da baixa bacia foi representada pela sub-bacia do Ribeirão Prata (5º ordem) e sub-bacia do Baixo Rio do Coco (7º ordem). Para cada sub-bacia foram aplicados parâmetros morfométricos, conforme as metodologias descritas na literatura existente. Os resultados encontrados na análise morfométrica indicaram que as sub-bacias localizadas na região da alta bacia, com destaque para o Alto Rio do Coco e Ribeirão Piedade apresentam características naturais indicativas de maiores suscetibilidades aos efeitos do uso e ocupação do solo, podendo ter consequências diretas sobre a produção e transporte de sedimentos na bacia.

Palavras-chave: Compartimentação morfométrica; Uso e ocupação do solo; Suscetibilidade natural; Bacia do Rio do Coco.

### **ABSTRACT**

The present study aimed to perform the morphometric compartmentalization of the Coco River basin, located on the right bank of the Araguaia River basin in the state of Tocantins, between the municipalities of Caseara, Marianópolis do Tocantins, Divinópolis do Tocantins, Monte Santo, Paraíso do Tocantins, Chapada de Areia, Pium and Barrolândia. To do so, the hydrography was digitally scanned in the 1: 5,000 scale from images from the RapidEye satellite, using the methodology proposed by Strahler (1952) for the hierarchy of the drainage network. The compartmentalization was performed based on the longitudinal profile of the Rio do Coco, being the basin divided into high and low basin. In the region of the high basin were the sub-basins of the 6th order: Upper Coco River, Ribeirão Piedade and Ribeirão Surubim, The lower basin region was represented by the Ribeirão Prata sub-basin (5th order) and the Lower Coco River sub-basin (7th order). For each sub-basin, morphometric parameters were applied, according to the methodologies described in the existing literature. The results found in the morphometric analysis indicated that the sub-basins located in the region of the high basin, with emphasis on the Upper Rio do Coco and Ribeirão Piedade, presented natural characteristics indicative of greater susceptibilities to the effects of land use and occupation, and may have direct consequences on the production and transport of sediments in the basin.

Keywords: Morphometric compartmentalization; Use and occupation of soil; Natural susceptibility; Basin of the Coco River.



## 5.1 INTRODUÇÃO

Estudos morfométricos são fundamentais na caracterização das bacias, bem como na determinação de suas potencialidades e limitações quanto ao uso do solo, favorecendo um planejamento adequado das atividades a serem desenvolvidas (FRAGA et al., 2014, p. 214). Para Soares e Souza (2012, p. 20), este tipo de análise possibilita a identificação de características gerais importantes, principalmente, quando se analisa a relação das características geomorfológicas associadas ao relevo e à rede de drenagem.

A análise dos parâmetros morfométricos são essenciais para o entendimento da paisagem geomorfológica, sua evolução e dinâmica (PASSARELLA et al., 2016, p. 242), sendo o conhecimento das características morfométricas de uma bacia ou sub-bacia hidrográfica imprescindível para a conservação de seus recursos hídricos, pois torna possível a compreensão do comportamento hidrológico (CARVALHO et al., 2014, p. 318).

A importância do estudo de caracterização hidromorfométrica em bacias hidrográficas tem grande relevância por levar em conta não apenas o aspecto qualitativo, mas também o aspecto quantitativo, possibilitando assim o auxílio na obtenção de análises de cunho hidrológico e ambiental de uma dada região (GOULARTE et al., 2013, p. 148).

Deve-se considerar ainda, que a morfometria fluvial, associada à geologia local, determina o padrão da rede de drenagem e, naturalmente, a possibilidade de determinados cursos d'água possuírem maior ou menor energia no transporte de sedimentos (ALMEIDA et al., 2013, p. 136), possibilitando identificar áreas mais suscetíveis dentro de uma bacia, o que pode ser bastante útil para o ordenamento do uso do solo através do controle dos processos erosivos com consequências diretas sobre o volume de material produzido na bacia e transportado pelos canais.

Pereira Neto e Fernandes (2015, p. 400) chamam atenção sobre a importância da identificação dos processos e das diferentes fragilidades do meio natural, frente às pressões antrópicas que promovem degradação dos ambientes, segundo os autores, o conhecimento das características de uma área é fundamental para a conservação dos recursos naturais e para o estabelecimento de um planejamento ambiental e territorial eficiente.

Dentro dessa abordagem, a análise morfométrica tem um papel determinante em estudos envolvendo bacias, uma vez que possibilita uma avaliação sistemática dos seus aspectos físicos e um melhor entendimento da dinâmica dos recursos (FREIRE et al., 2013, p. 5443), indicando áreas naturalmente mais suscetíveis aos efeitos do uso e ocupação do solo, pois conforme é ressaltado por Corte et al. (2015, p. 287), a exploração dos recursos naturais

provoca diferentes tipos de perturbações no ambiente natural, em diversas proporções e principalmente com impactos diferentes, dependendo dos vários graus de resistência de cada ambiente frente as suas características naturais.

Frente a isso, Barbosa e Furrier (2012, p. 112) discorrem que a caracterização morfológica e morfométrica de uma área permitem conhecer os potenciais naturais existentes nela, facilitando a identificação de áreas de risco de ocupação, ambientes frágeis, impactos ambientais, interferência antrópica e a dinâmica da evolução natural da paisagem.

Neste sentido, o presente trabalho teve como objetivo a análise e a compartimentação morfométrica da bacia do Rio do Coco visando identificar os ambientes naturalmente mais suscetíveis aos efeitos do uso e ocupação do solo que possam influenciar na produção e transporte de sedimentos da bacia.

## **5.2 ÁREA DE ESTUDO**

O presente estudo foi desenvolvido na bacia do Rio do Coco. Esta está localizada na margem direita da bacia hidrográfica do Rio Araguaia (AQUINO et al., 2005, p. 31), no estado do Tocantins. A área da bacia é de aproximadamente 6.670 km<sup>2</sup>, subdivididos entre os municípios de Caseara, Marianópolis do Tocantins, Divinópolis do Tocantins, Monte Santo, Paraíso do Tocantins, Chapada de Areia, Pium e Barrolândia. O principal curso d'água desta bacia é o Rio do Coco, este tem suas principais nascentes na Serra do Estrondo, possuindo uma extensão aproximada de 356 km.

A bacia possui extensas áreas inundáveis, influenciadas, principalmente, pelas cheias dos Rios do Coco e Araguaia. Nestas regiões há inúmeros lagos e lagoas que se conectam durante o período chuvoso, formando uma planície sazonalmente alagada (denominada como lagos coco na Figura 5.1), do qual faz parte o Parque Estadual do Cantão. Desse modo, esta região não foi considerada neste trabalho por se tratar de um ambiente bastante heterogêneo, o qual não se enquadra na análise dos parâmetros morfométricos definidos no presente estudo.



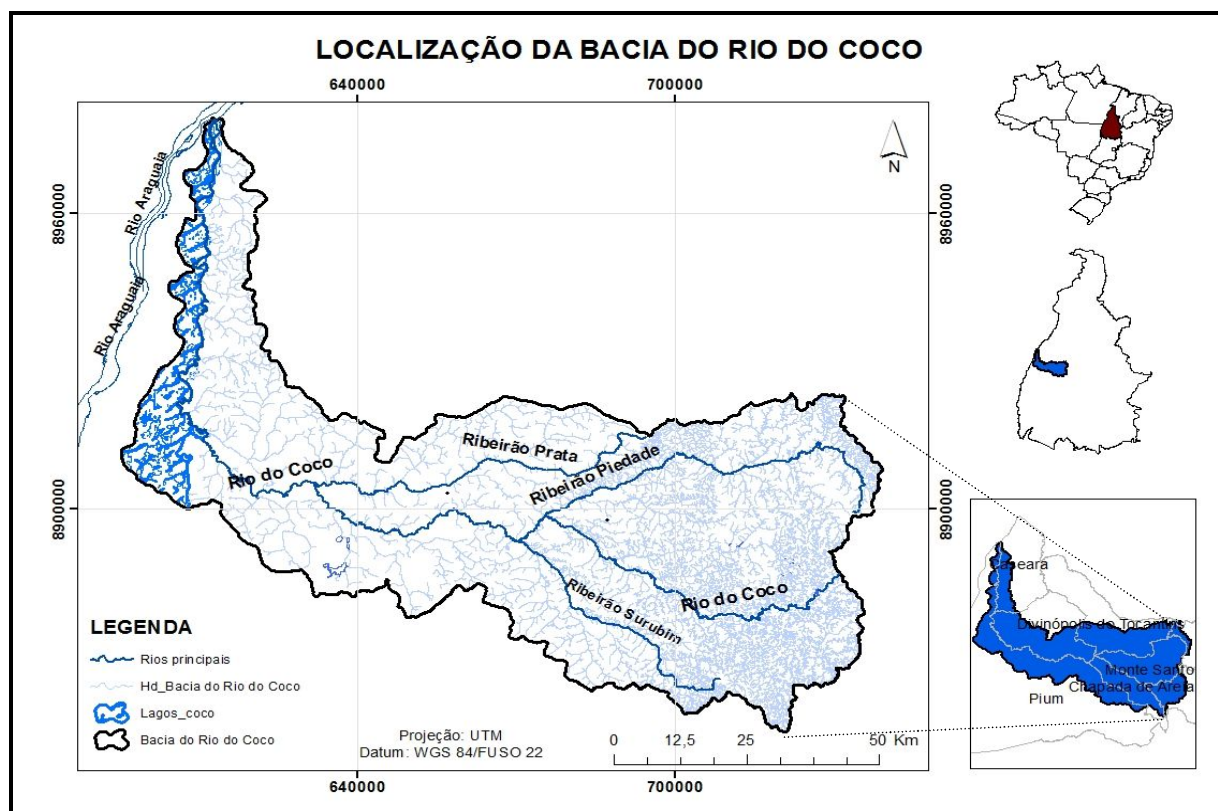


Figura 5.1 – Localização da bacia do Rio do Coco no estado do Tocantins, com destaque para a hidrografia existente. Fonte: Elaborado pelo autor.

## 5.3 MATERIAL E MÉTODOS

### 5.3.1 Procedimentos metodológicos

Os procedimentos metodológicos para a realização do trabalho foram executados em três etapas, sendo: obtenção de dados topográficos e hídricos; compartimentação da bacia do Rio do Coco e; análise morfométrica da bacia do Rio do Coco, apresentando cada etapa desdobramentos metodológicos específicos, conforme apresentado na Figura 5.2.

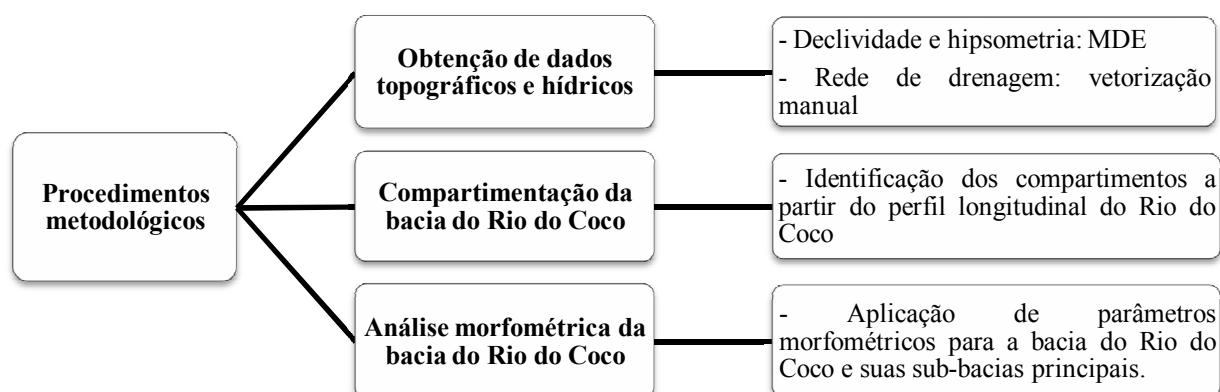


Figura 5.2 – Resumo esquemático dos procedimentos metodológicos utilizados.

- ***Etapla 01: Obtenção de dados topográficos e hídricos***

A aquisição dos atributos do relevo foi realizada por meio de dados do Modelo Digital de Elevação (MDE), elaborados a partir do SRTM com detalhamento espacial de 30 m. De posse desses dados, foram construídos os mapas de hipsometria e declividade, além de perfis longitudinais para os canais principais da bacia do Rio do Coco.

Em relação à rede de drenagem, inicialmente, procurou-se informações sobre a existência de rede hidrográfica digitalizada para a região, sendo constatada a presença de um banco de dados contendo toda a hidrografia no portal da Secretaria de Planejamento do Estado do Tocantins (SEPLAN - TO). Após analisar tais dados observaram-se muitas lacunas em relação aos canais existentes, assim, foram realizados testes a partir do modelo digital de elevação, porém, muitas inconsistências permaneceram, principalmente, na região da baixa bacia, onde predominam as áreas de planície. Desse modo, optou-se pela vetorização manual da rede hidrográfica, utilizando como base imagens do satélite RapidEye (2011). A escala de vetorização foi 1:5.000, sendo considerados como canais de drenagem todos aqueles perceptíveis nas imagens RapidEye que permitem o escoamento linear das águas.

Na Figura 5.3 pode ser observada a discrepância existente entre as redes hidrográficas citadas. Verifica-se que a hidrografia oriunda da vetorização manual oferece um nível de detalhamento bem significativo em relação às demais, tal fato pode ser justificado pela qualidade da imagem e pela escala de trabalho utilizada.

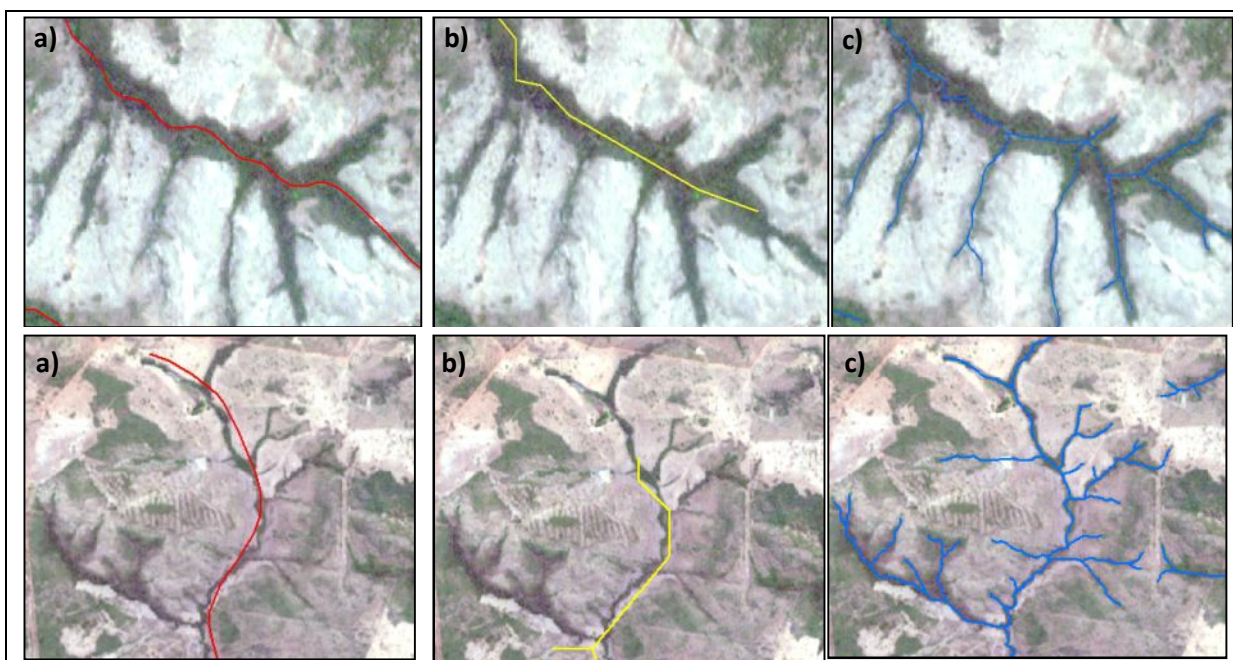


Figura 5.3 - a) Hidrografia 1:100.00 do SEPLAN - TO; b) Hidrografia obtida com MDE; c) Hidrografia vetorizada manualmente.

• ***Etapa 02: Compartimentação da bacia do Rio do Coco***

Nessa etapa, realizou-se a compartimentação da bacia do Rio do Coco, sendo a separação destes compartimentos efetuada com base no perfil longitudinal do rio principal (Rio do Coco). A partir deste perfil foi possível definir duas seções (alta e baixa bacia), para as quais foram identificados trechos superiores e inferiores em função das quebras geológicas e das diferenças de declives entre as mesmas, conforme Figura 5.4. Trabalho semelhante foi realizado por Machado e Lima (2011, p. 8.235) na compartimentação geomorfológica da bacia hidrográfica do Rio Vermelho (GO).

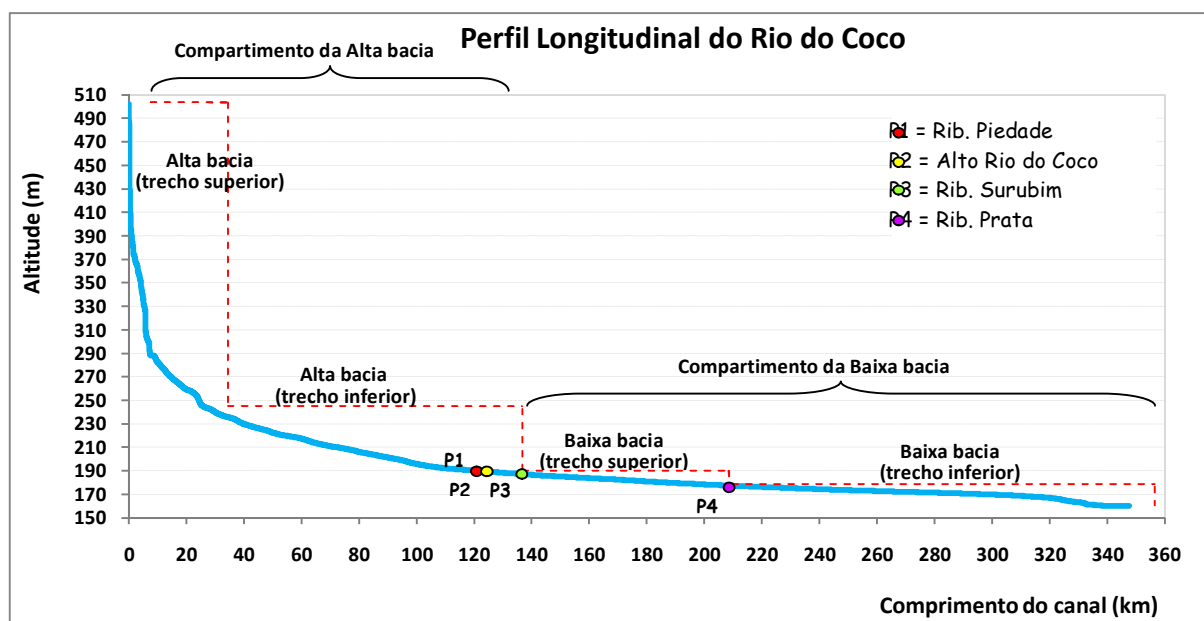


Figura 5.4 – Perfil longitudinal do Rio do Coco, com destaque para as seções da alta e baixa bacia. Fonte: Elaborado pelo autor.

A alta bacia (trecho superior) compreende a região situada entre 502 a 245 metros, o ponto mais alto está localizado próximo a Serra do Estrondo, onde se concentram as principais nascentes do Rio do Coco, o limite desta seção ocorre após aproximadamente 25 km na confluência do Rio do Coco com o Córrego Firmeza. Esse trecho está localizado em um relevo ondulado, com amplitude e declividade médias do canal principal entre 257 m e 10,28 m.km<sup>-1</sup>, respectivamente. Quando o Rio do Coco alcança uma altitude aproximada de 245 metros, nota-se uma redução considerável da declividade, este ponto é considerado o início do trecho inferior da alta bacia. Esse trecho se estende por aproximadamente 130 km até o encontro com o Ribeirão Surubim, em sua maior parte sobre a unidade Geomorfológica da Depressão do Médio e Baixo Araguaia, possuindo um relevo suavemente ondulado, com

amplitude de 60 metros e declividade média de  $0,57 \text{ m.km}^{-1}$ . O trecho superior da baixa bacia inicia-se na cota de 185 metros, em uma área de relevo plano a suavemente ondulado, com amplitude de 11 metros e declividade de  $0,15 \text{ m.km}^{-1}$ . Este trecho apresenta cerca de 71 km de extensão até a confluência com o Ribeirão Prata, a 174 metros. Por fim, tem-se o trecho inferior da baixa bacia, o qual se estende até o Rio do Coco alcançar o Rio Araguaia, a 160 metros acima do nível do mar, sendo a declividade média observada de  $0,09 \text{ m.km}^{-1}$ .

Os compartimentos da alta e baixa bacia foram subdivididos em sub-bacias de ordens semelhantes, conforme classificação de Sthraler (1952). Na alta bacia ficaram as sub-bacias de 6º ordem: Alto Rio do Coco, Ribeirão Piedade e Ribeirão Surubim, já na baixa bacia ficaram as sub-bacias do Ribeirão Prata (5º ordem) e sub-bacia do Baixo Rio do Coco (7º ordem), conforme Figura 5.5.

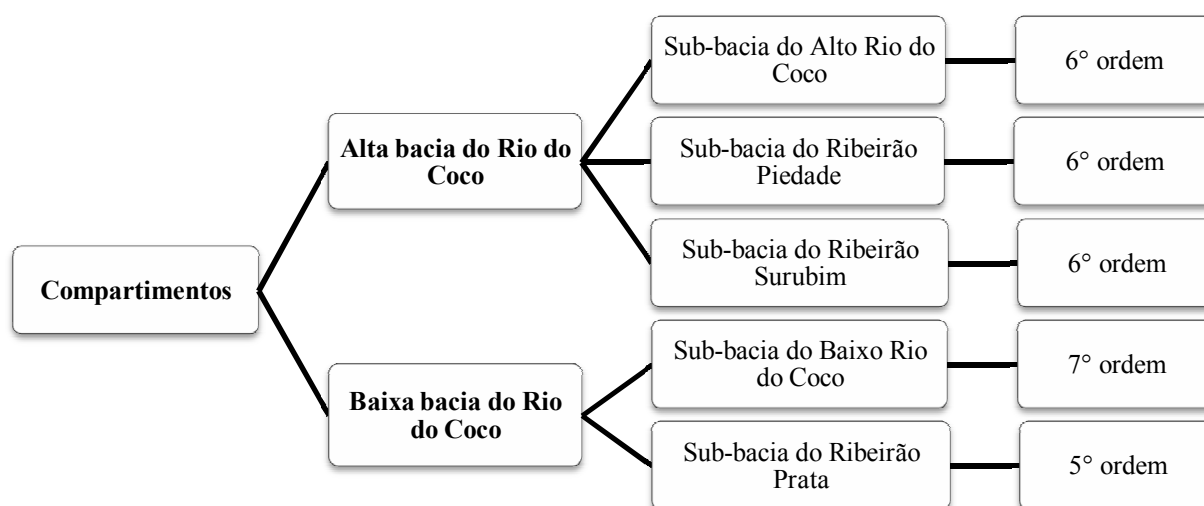


Figura 5.5 – Organograma demonstrativo dos critérios para a compartimentação da bacia do Rio do Coco.

- ***Etapa 03: Análise morfométrica da bacia do Rio do Coco***

Após a compartimentação foi realizada a aplicação dos parâmetros morfométricos para toda a bacia do Rio do Coco, bem como para as sub-bacias de cada compartimento. Os parâmetros utilizados no presente trabalho estão apresentados no Quadro 5.1, onde é possível observar uma descrição detalhada, contendo as equações utilizadas e suas definições.

Quadro 5.1 – Descrição dos parâmetros morfométricos utilizados no trabalho.

| Parâmetros                                                     | Equação                                        | Descrição                                                                                             | Definição                                                                                                                                                                     |
|----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Características geométricas</b>                             |                                                |                                                                                                       |                                                                                                                                                                               |
| Índice de compacidade (Kc)                                     | $Kc = 0,28 \times \frac{P}{\sqrt{A}}$          | P = perímetro (km)<br>A = área da bacia (km <sup>2</sup> )                                            | Relaciona a forma da bacia com um círculo. Quanto mais circular mais probabilidade de enchentes (CARDOSO et al., 2006, p. 243)                                                |
| Fator de forma (F)                                             | $F = A/L^2$                                    | A = área da bacia (km <sup>2</sup> )<br>L = comprimento da bacia (km)                                 | Relação entre a largura média e o comprimento axial da bacia. Quanto menor este índice mais alongada é a bacia e menos sujeita as enchentes (NUNES et al, 2006, p. 06)        |
| Índice de circularidade da bacia (Ic)                          | $Ic = 12,57 \times \frac{A}{P^2}$              | A = área da bacia (km <sup>2</sup> )<br>P = perímetro (km)                                            | Influencia na distribuição do hidrograma de vazão no exutório da bacia (OLIVEIRA et al., 2007, p. 11)                                                                         |
| <b>Características da rede de drenagem</b>                     |                                                |                                                                                                       |                                                                                                                                                                               |
| Densidade de drenagem (Dd)                                     | $Dd = \Sigma L/A$                              | L = comprimento dos canais (km)<br>A = área da bacia (km <sup>2</sup> )                               | Indica o grau de desenvolvimento do sistema de drenagem (CARDOSO et al., 2006, p. 244)                                                                                        |
| Densidade hidrográfica (Dh)                                    | $Dh = n/A$                                     | n = número de canais<br>A = área da bacia (km <sup>2</sup> )                                          | Relação existente entre o número de cursos d'água e a área da bacia (TEODORO et al., 2007, p. 148)                                                                            |
| Coeficiente de manutenção (Cm)                                 | $Cm = (1/Dd) \times 1000$                      | Dd = densidade de drenagem                                                                            | Corresponde a área necessária para formação de um canal com fluxo perene (VIEGA et al., 2013, p. 132)                                                                         |
| Tempo de concentração (Tc)                                     | $Tc = 57 \times (L^3/\Delta h)^{0,385}$        | L = comprimento dos canais (km)<br>$\Delta h$ = variação da altura (m)                                | Tempo necessário para que toda a bacia esteja contribuindo na seção de saída (SILVEIRA, 2005, p. 05)                                                                          |
| <b>Características do relevo</b>                               |                                                |                                                                                                       |                                                                                                                                                                               |
| Índice de sinuosidade (Is)                                     | $Is = L/dv$                                    | L = comprimento do canal principal<br>dv = dist. vetorial entre os pontos extremos do canal principal | Relação entre o comprimento do rio principal e o comprimento do seu talvegue (NUNES et al, 2006, p. 06)                                                                       |
| Índice de rugosidade (Ir)                                      | $Ir = Hm \times Dd$                            | Hm = amplitude altimétrica (m)<br>Dd = densidade de drenagem                                          | Valores elevados podem indicar alta transmissividade hidráulica (BARROS et al., 2010, p. 107)                                                                                 |
| Gradiente de canais (Gc)                                       | $Gc = Hm/L$ (%)                                | Hm = amplitude altimétrica (m)<br>L = comprimento do canal principal (m)                              | Indica a capacidade de transporte de sedimentos de um rio (NUNES et al, 2006, p. 07 )                                                                                         |
| Amplitude altimétrica (Hm)                                     | $Hm = P. \text{Max} - P. \text{Mín.}$          | P. Máx. = P. Máx. da bacia (m)<br>P. Mín. = P. Mín. da bacia (m)                                      | Indica a variação entre a altitude máxima e altitude mínima (TEODORO et al., 2007, p. 149)                                                                                    |
| Declividade do rio principal                                   | $D = \frac{P. \text{Max} - P. \text{Mín.}}{L}$ | P. Máx. = P. Máx. do rio (m)<br>P. Mín. = P. Mín. do rio (m)<br>L = comprimento do rio (km)           | Interfere na velocidade de escoamento de um rio (ELESBON et al., 2011, p. 284)                                                                                                |
| Declividade da bacia                                           | $D = \frac{P. \text{Max} - P. \text{Mín.}}{L}$ | P. Máx. = P. Máx. da bacia (m)<br>P. Mín. = P. Mín. da bacia (m)<br>L = comprimento da bacia (km)     | Influencia na velocidade de escoamento da água sobre o solo, interferindo na capacidade de armazenamento de água no mesmo (ELESBON et al., 2011, p. 284)                      |
| Relação de bifurcação (Rb)                                     | $Rb = Nw / Nw+1$                               | Nw = n° de segmento da ordem analisada<br>Nw+1 = n° de segmento da ordem seguinte                     | Indicam o grau de dissecação da bacia, quanto maior for índice maior será o grau de dissecação (CASTRO e CARVALHO, 2009, p. 04)                                               |
| Relação entre o comprimento médio dos canais (R <sub>L</sub> ) | $R_L = Lw / Lw+1$                              | Lw = comprimento médio da ordem analisada<br>Lw+1 = comprimento médio dos canais da ordem seguinte    | Este índice se ordena segundo uma série geométrica, cuja razão é pelo comprimento médio dos canais dado pelo n° de segmentos da respectiva ordem (VEIGA et al., 2013, p. 132) |



A metodologia utilizada para a hierarquização da rede de drenagem foi a proposta por Strahler (1952), sendo considerada a escala de 1:5.000 para a classificação dos cursos d'água. Além dos parâmetros listados acima, também foram construídos perfis longitudinais de todos os canais principais com base no Modelo Digital de Elevação, bem como foram realizados cálculos de área (A), perímetro (P), comprimento da bacia (L), comprimento do rio principal (Lp), comprimento dos canais (Lc) e número de canais (n).

## 5.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.4.1 Morfometria da bacia do Rio do Coco

Na Tabela 5.1 estão descritos os resultados morfométricos obtidos para a bacia do Rio do Coco.

Tabela 5.1 – Resultados dos parâmetros morfométricos da bacia do Rio do Coco.

| Características morfométricas               | Resultados                   |
|---------------------------------------------|------------------------------|
| Área de drenagem (A)                        | 6.258,07 km <sup>2</sup>     |
| Perímetro (P)                               | 613,96 km                    |
| Comprimento do Rio Principal                | 355,3 km                     |
| Comprimento dos Cursos d'água               | 7.533,31 km                  |
| Comprimento da Bacia                        | 164,99 km                    |
| Padrão de drenagem                          | Dentritico                   |
| Ordem da bacia (Strahler)                   | 7º                           |
| Altitude mínima                             | 143 m                        |
| Altitude média                              | 233,54 m                     |
| Altitude máxima                             | 701 m                        |
| Amplitude altimétrica (Hm)                  | 558 m                        |
| Declividade do Rio Principal                | 0,98 m/km                    |
| Declividade da Bacia                        | 3,38 m/km                    |
| Declividade máxima da bacia (Dv max)        | 73,91%                       |
| Declividade média da bacia (Dv méd.)        | 3,80%                        |
| Densidade de drenagem (Dd)                  | 1,203 km/km <sup>2</sup>     |
| Densidade hidrográfica (Dh)                 | 2,637 canais/km <sup>2</sup> |
| Índice de compactidade (Kc)                 | 2,17                         |
| Índice de conformação ou fator de forma (F) | 0,229                        |
| Índice de sinuosidade (Is)                  | 2,37                         |
| Índice de rugosidade (Ir)                   | 671,27                       |
| Índice de circularidade da bacia (Ic)       | 0,208                        |
| Tempo de concentração (Tc)                  | 41,7 horas                   |
| Coeficiente de manutenção (Cm)              | 831,255 m/m <sup>2</sup>     |

A bacia hidrográfica do Rio do Coco é classificada com de 7º ordem, conforme a classificação de Strahler (1952). Esta possui uma área aproximada de 6.670 km<sup>2</sup>, porém, a área considerada para análise foi de 6.258,07 km<sup>2</sup>, uma vez que a área que compõem a planície sazonalmente alagada (região de lagos) não foi considerada na análise.

A densidade de drenagem observada foi de 1,203 km/km<sup>2</sup>, indicando, que a bacia possui drenagem média. Resultados semelhantes de densidade de drenagem foram encontrados por Feitosa e Iost (2011, p. 125) em estudos realizados nas bacias dos rios Manuel Alves Grande (1,13 km/km<sup>2</sup>) e Manuel Alves Pequeno (1,12 km/km<sup>2</sup>), afluentes do Rio Tocantins.

No que diz respeito à densidade hidrográfica, o valor encontrado foi de 2,637 canais/km<sup>2</sup>, ou seja, a cada quilômetro quadrado existem 2,637 canais, entretanto, observa-se que a bacia apresenta um adensamento variável da rede de drenagem, sendo constituída por regiões mais ricas em número de canais em relação a outras, justificando a necessidade de compartimentação da área em estudo.

Os valores observados para o índice de compacidade (2,17), fator de forma (0,229) e índice de circularidade (0,208) indicam que a bacia hidrográfica do Rio do Coco não possui uma forma circular, correspondendo, portanto, a uma bacia de característica alongada, sendo, pouco susceptível a enchentes em condições normais de precipitação. Além dessas características, o tempo de concentração encontrado foi considerado alto (41,7 horas), reforçando a baixa probabilidade de enchentes.

A sinuosidade observada para o Rio do Coco foi de 2,37, indicando uma tendência para acúmulo de sedimentos em grande parte da extensão do curso d'água. De acordo com Stipp et al. (2010, p. 122), valores acima de 2,0 de sinuosidade é característico de uma rede de drenagem sinuosa, podendo haver acúmulo de sedimentos ao longo do canal, o que pode ser agravado pela ação antrópica.

A declividade média da bacia foi de 3,8%, indicando a predominância de um relevo plano a suavemente ondulado, conforme a classificação da Embrapa (1979). Os maiores declives (acima de 43%) foram verificados na porção leste da bacia nas proximidades da Serra do Estrondo (divisor de águas).

Foi observada altitude mínima de 143 m e máxima de 701 m (Figura 5.6), resultando em uma amplitude altimétrica de 558 m. Esta tem uma relação direta com a rugosidade da bacia, a qual foi considerada forte ( $I_r = 671,27$ ), conforme classificação definida por Sousa e Rodrigues (2012, p. 145 e 148).

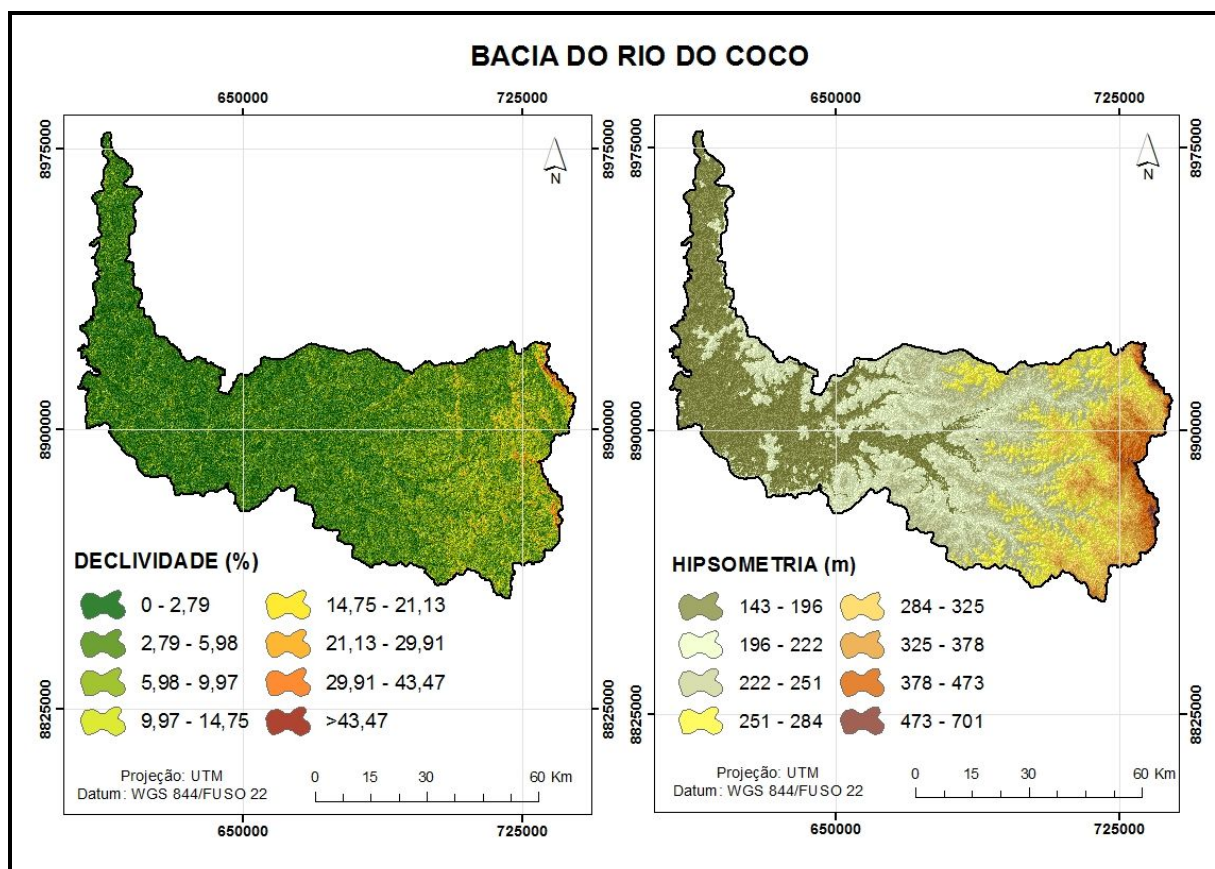


Figura 5.6 – Hipsometria e declividade da bacia do Rio do Coco. Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 5.4.2 Compartimentação morfométrica da bacia do Rio do Coco

A Figura 5.7 apresenta os compartimentos definidos para a bacia do Rio do Coco. No compartimento da alta bacia têm-se as sub-bacias do Ribeirão Piedade, Ribeirão Surubim e Alto Rio do Coco. Já no compartimento da baixa bacia estão as sub-bacias do Ribeirão Prata e Baixo Rio do Coco. Como pode ser observado, as sub-bacias apresentam formas diferenciadas, condicionadas, principalmente, pelas características de relevo. Em suma, as particularidades apresentadas para as sub-bacias do Rio do Coco sinalizam uma distinção bastante significativa entre as regiões da alta e baixa bacia, notadamente para a densidade e número de canais.



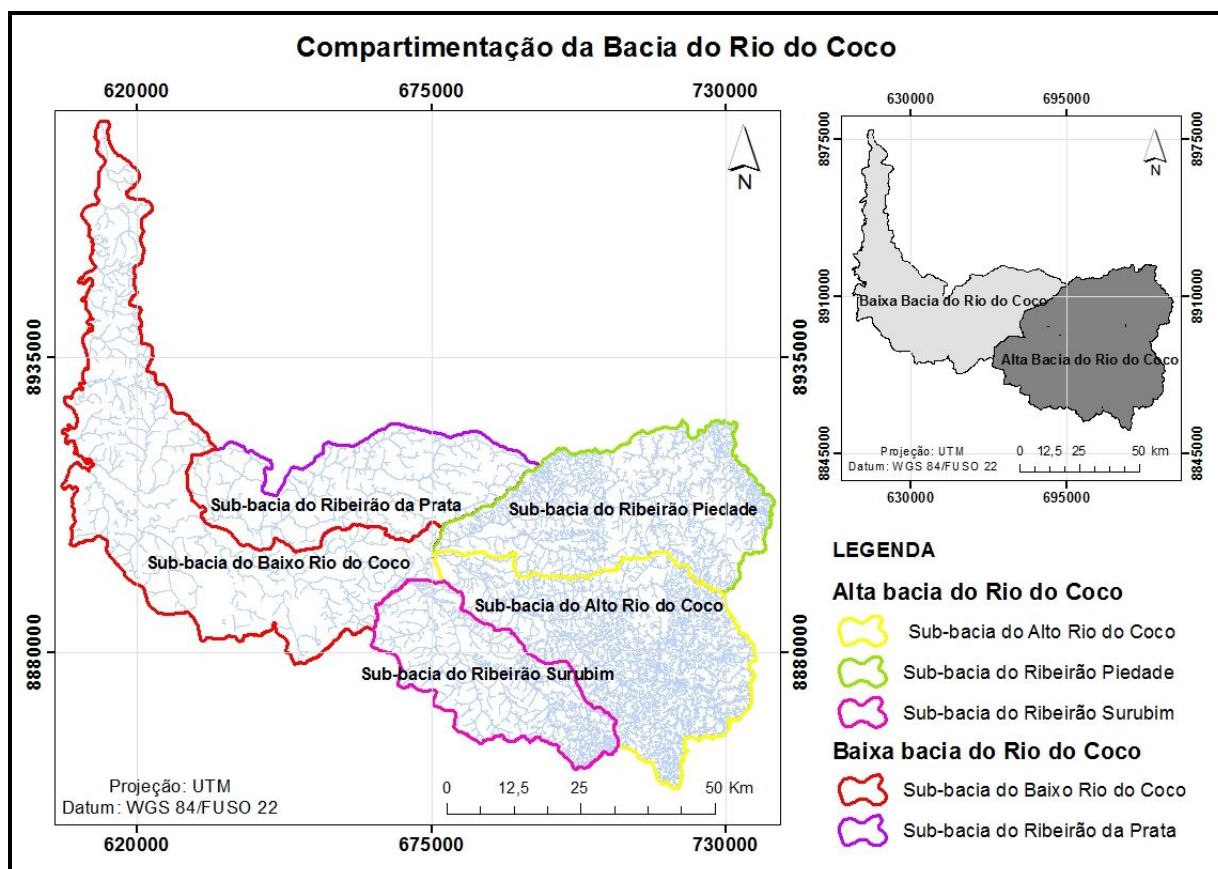


Figura 5.7 – Compartimentação da bacia do Rio do Coco, com destaque para a localização da alta e baixa bacia. Fonte: Elaborado pelo autor.

Faz-se necessário mencionar que a diferenciação entre as sub-bacias em relação às suas características físicas tem potencial de causar efeitos diferenciados mediante as diversas atividades de uso e ocupação do solo nos compartimentos, pois cada região pode possuir aspectos naturais determinantes na dinâmica de toda a bacia. Logo, é de fundamental importância analisar cada bacia para que as atividades de uso não maximizem os potenciais impactos relacionados à suscetibilidade natural das mesmas, principalmente em relação aos processos erosivos.

Uma das grandes diferenças entre as sub-bacias está relacionada à sua rede de drenagem, conforme mostra a Figura 5.8. Nela é possível visualizar de forma clara a distribuição e a configuração dos corpos d'água nas principais sub-bacias da bacia do Rio do Coco, bem como a classificação destes a partir da hierarquização da rede hidrográfica definida por Strahler (1952).

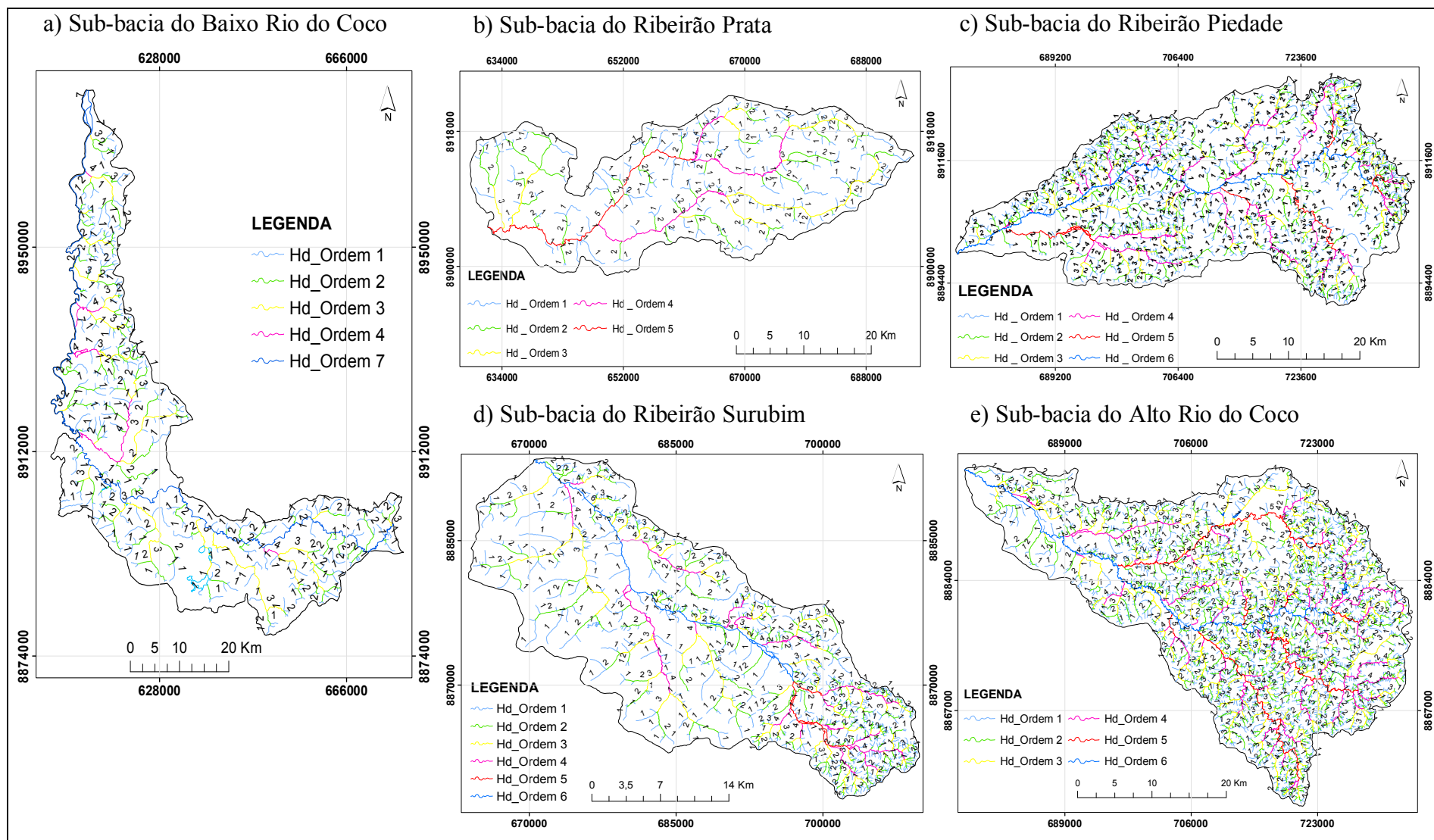


Figura 5.8 – Classificação dos cursos d’água das principais sub-bacias da bacia do Rio do Coco, conforme Strahler (1952). Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao analisar a Figura 5.8 é possível verificar que o compartimento da alta bacia, representado pelas sub-bacias do Alto Rio do Coco, Ribeirão Piedade e Ribeirão Surubim possuem maior desenvolvimento da rede de drenagem, com presença significativa de canais de ordens inferiores. Logo, no compartimento da baixa bacia (sub-bacia do Ribeirão Prata e sub-bacia do Baixo Rio do Coco) o adensamento dos cursos d'água apresentou-se menos significativo, indicando a presença de um relevo mais plano e solos bem drenados.

A distribuição e configuração da rede de drenagem combinada com declividades acentuadas também sugerem elevado escoamento superficial nas sub-bacias do compartimento da alta bacia e, conseqüentemente maior produção e transporte de sedimentos. Já na baixa bacia o processo ocorre de forma inversa, pois a capacidade de escoamento é reduzida em função da redução das declividades, o que favorece a atuação de processos deposicionais nestas regiões. Essa assertiva é corroborada por Santos et al. (2017, p. 56), os autores descrevem que existe alta correlação entre as condições de produção de sedimentos com a capacidade de transporte dos fluxos, assim, quanto maior a capacidade de escoamento, maior será a quantidade de material transportado para os canais.

Com base no exposto, a bacia do Rio do Coco não pode ser analisada de forma homogênea, visto que as diferenças observadas em cada compartimento podem produzir efeitos distintos diante das atividades antrópicas, pois há regiões mais suscetíveis aos efeitos do uso e ocupação do solo. Assim, a compartimentação de uma bacia pode ser uma alternativa interessante, pois permite identificar as especificidades de uma área e os potenciais impactos em da face da expansão das práticas de uso.

#### **5.4.3 Análise morfométrica das principais sub-bacias da bacia do Rio do Coco**

A Tabela 5.2 apresenta os resultados obtidos a partir da aplicação de parâmetros morfométricos para cada sub-bacia. Nela é possível observar as diferenças nos resultados de morfometria dos comportamentos, sendo visível o contraste apresentado entre a alta e baixa bacia.

Tabela 5.2 – Resultados dos parâmetros morfométricos para os compartimentos da bacia do Rio do Coco.

| Características morfométricas               | Unidade                | Alta Bacia             |                            |                        | Baixa Bacia          |                             |
|---------------------------------------------|------------------------|------------------------|----------------------------|------------------------|----------------------|-----------------------------|
|                                             |                        | Sub-bacia Rib. Piedade | Sub-bacia Alto Rio do Coco | Sub-bacia Rib. Surubim | Sub-bacia Rib. Prata | Sub-bacia Baixo Rio do Coco |
| Área de drenagem (A)                        | km <sup>2</sup>        | 1203,05                | 1315,07                    | 777,97                 | 951,64               | 2.010,32                    |
| Perímetro (P)                               | km                     | 193,01                 | 201,02                     | 145,62                 | 181,53               | 400,65                      |
| Comprimento do Rio Principal                | km                     | 130,18                 | 118,47                     | 68,79                  | 90,30                | 236,81                      |
| Comprimento dos Cursos d'água               | km                     | 1.865,76               | 2.767,98                   | 1.028,34               | 592,15               | 1.279,66                    |
| Comprimento da Bacia                        | km                     | 64,27                  | 65,55                      | 50,08                  | 63,91                | 107,30                      |
| Padrão de drenagem                          | -                      | Dendrítico             | Dendrítico                 | Dendrítico             | Dendrítico           | Dendrítico                  |
| Ordem da bacia (Strahler)                   | °                      | 6°                     | 6°                         | 6°                     | 5°                   | 7°                          |
| Altitude mínima                             | m                      | 185                    | 185                        | 181                    | 164                  | 143                         |
| Altitude média                              | m                      | 275,89                 | 282,74                     | 232,86                 | 212,25               | 190,44                      |
| Altitude máxima                             | m                      | 699                    | 681                        | 362                    | 291                  | 250                         |
| Amplitude altimétrica (Hm)                  | m                      | 514                    | 496                        | 181                    | 127                  | 107                         |
| Declividade do Rio Principal                | m/km                   | 1,16                   | 2,62                       | 2,18                   | 1,16                 | 0,13                        |
| Declividade da Bacia                        | m/km                   | 7,99                   | 7,566                      | 3,61                   | 1,987                | 0,997                       |
| Declividade máxima da bacia (Dv max)        | %                      | 73,91                  | 70,03                      | 32,88                  | 21,56                | 39,30                       |
| Declividade média da bacia (Dv méd.)        | %                      | 5,66                   | 5,95                       | 3,53                   | 2,64                 | 2,31                        |
| Densidade de drenagem (Dd)                  | km/km <sup>2</sup>     | 1,55                   | 2,104                      | 1,321                  | 0,62                 | 0,636                       |
| Densidade hidrográfica (Dh)                 | canais/km <sup>2</sup> | 3,47                   | 6,725                      | 2,795                  | 0,49                 | 0,411                       |
| Índice de compacidade (Kc)                  | -                      | 1,558                  | 1,552                      | 1,461                  | 1,647                | 2,50                        |
| Índice de conformação ou fator de forma (F) | -                      | 0,291                  | 0,306                      | 0,31                   | 0,232                | 0,174                       |
| Índice de sinuosidade (Is)                  | -                      | 2,251                  | 2,095                      | 1,457                  | 1,42                 | 2,323                       |
| Índice de rugosidade (Ir)                   | -                      | 796,70                 | 1043                       | 239,1                  | 78,74                | 68,05                       |
| Índice de circularidade da bacia (Ic)       | -                      | 0,404                  | 0,408                      | 0,461                  | 0,363                | 0,157                       |
| Tempo de concentração (Tc)                  | h                      | 8,58                   | 13,72                      | 6,44                   | 3,90                 | 10,16                       |
| Coefficiente de manutenção (Cm)             | m/m <sup>2</sup>       | 645,16                 | 475,285                    | 757,002                | 1612,9               | 1572,32                     |
| Gradiente de canais (Gc)                    | %                      | 0,114                  | 0,27                       | 0,218                  | 0,113                | 0,012                       |

As sub-bacias avaliadas apresentaram um padrão de drenagem dendrítico, com valores de densidade de drenagem diversificados. De acordo com Villela e Mattos (1975, p. 245), a densidade de drenagem ( $D_d$ ) pode variar de  $0,5 \text{ km/km}^2$  para bacias com pouca drenagem a valores acima de  $3,5 \text{ km/km}^2$  para bacias excepcionalmente bem drenadas. Neste contexto, as sub-bacias avaliadas podem ser agrupadas, quanto a sua drenagem, da seguinte forma: a) bem drenada – sub-bacia do Alto Rio do Coco ( $2,104 \text{ km/km}^2$ ); b) drenagem média – sub-bacias do Ribeirão Piedade ( $1,55 \text{ km/km}^2$ ) e Ribeirão Surubim ( $1,321 \text{ km/km}^2$ ) e c) drenagem pobre – sub-bacias do Ribeirão Prata ( $0,62 \text{ km/km}^2$ ) e Baixo Rio do Coco ( $0,636 \text{ km/km}^2$ ).

Meliani (2006, p. 125) cita ainda que a densidade de drenagem ( $D_d$ ) expressa o grau de dissecação do relevo correlacionado com os canais fluviais disponíveis para o escoamento. Assim, valores elevados desse índice sugerem baixa capacidade de infiltração e maior potencial de escoamento e formação de novos canais, além de maiores possibilidades para ocorrências erosivas.

A densidade hidrográfica relaciona o número de canais com a área total da bacia (ALMEIDA et al., 2013, p. 139), ou seja, indica o número de canais existentes a cada quilômetro quadrado. Como pode ser observado na Tabela 5.2, os valores variaram consideravelmente entre as sub-bacias analisadas, merecendo destaque a sub-bacia do Alto Rio do Coco com  $6,725 \text{ canais/km}^2$ , e as sub-bacias do Baixo Rio do Coco com  $0,411 \text{ canais/km}^2$  e Ribeirão Prata com  $0,49 \text{ canais/km}^2$ , indicando que a sub-bacia do Alto Rio do Coco possui maior capacidade de gerar novos canais em relação as demais sub-bacias o que pode estar relacionado com as suas características pedológicas, geológicas e climáticas. Esses resultados concordam com os valores obtidos para a densidade de drenagem, apontando alta infiltração para as sub-bacias do Baixo Rio do Coco e Ribeirão Prata e elevado escoamento superficial para a sub-bacia do Alto Rio do Coco.

Em relação à forma das sub-bacias, todas exibiram forma alongada, podendo ser comprovado pelos valores obtidos para os índices de compacidade, circularidade e fator de forma, o que indica pouca susceptibilidade a enchentes em condições regulares de precipitação, merecendo destaque a sub-bacia do Baixo Rio do Coco, a qual apresentou o menor fator de forma ( $0,174$ ) e índice de circularidade ( $0,157$ ) e, consequentemente o valor mais elevado para o índice de compacidade ( $2,50$ ), confirmando que este compartimento é o mais alongado em relação aos demais, o que pode ser evidenciado na Figura 5.8 acima. De acordo com Cardoso et al. (2006, p. 244), nas bacias com forma circular há maiores possibilidades de chuvas intensas ocorrerem simultaneamente em toda a sua extensão, concentrando grande volume de água no tributário principal.

No que diz respeito ao tempo de concentração, ou seja, o tempo necessário para que toda a precipitação caída em qualquer ponto da bacia chegue ao seu ponto final, observou-se para as sub-bacias do Alto e do Baixo Rio do Coco os valores mais elevados, sendo 13,7 h para a primeira e 10,16 h para a segunda. A sub-bacia que apresentou um menor tempo de concentração foi a sub-bacia do Ribeirão Prata (3,9 h), tendo as sub-bacias do Ribeirão Piedade um valor de 8,58 h e Ribeirão Surubim de 6,4 h.

A sinuosidade dos canais principais das sub-bacias analisadas indicaram que o Ribeirão Piedade, o Alto Rio do Coco e Baixo Rio do Coco são tortuosos, os mesmos apresentaram, respectivamente, índices de sinuosidade de 2,251, 2,095 e 2,323. Em canais sinuosos pode haver um maior acúmulo de sedimentos, o que pode ser agravado por atividades humanas. Já os valores observados para os Ribeirões Prata (1,42) e Surubim (1,457) sugerem canais medianamente tortuosos ou transicionais. Conforme Lana et al. (2001, p. 07) e Stipp et al. (2010, p. 122), valores para o índice de sinuosidade próximos a 1,0 indicam que o canal tende a ser retilíneo. Já os valores superiores a 2,0 sugerem canais tortuosos e os valores intermediários indicam formas transicionais, regulares e irregulares.

É interessante destacar que para a sub-bacia do Alto Rio do Coco ( $I_r = 1.043$ ) a rugosidade foi considerada muito forte e para a sub-bacia do Ribeirão Piedade ( $I_r = 796,70$ ) forte, conforme classificação de Sousa e Rodrigues (2012, p. 145 e 148). Esses resultados concordam com a densidade de drenagem e a amplitude altimétrica registrada para tais compartimentos. A sub-bacia do Ribeirão Surubim (239,1) apresentou rugosidade média, enquanto que as sub-bacias do Ribeirão Prata e Baixo Rio do Coco, a rugosidade apresentou-se fraca, obtendo-se 78,74 e 68,05, respectivamente.

Sousa e Rodrigues (2012, p. 142) destacam que elevados valores de rugosidade indicam acentuado escoamento superficial e também ocorrências erosivas, assim, é de suma importância o controle e a gestão das atividades no compartimento da alta bacia, pois estas podem intensificar as perdas de solo nas áreas já propensas ao elevado escoamento superficial, fazendo com que os materiais sejam depositados na baixa bacia. A esse respeito, Gurnell et al. (2014, p. 54) citam que o potencial de erosão do solo é responsável por grande parte da produção de sedimentos depositados nos sistemas fluviais.

Em termos de declividade média, os valores variaram de 2,31% a 5,95% representando um relevo plano a suavemente ondulado, conforme a classificação da Embrapa (1979), entretanto, vale ressaltar que também foi identificado a presença de um relevo fortemente ondulado, com declividades acima de 43%, merecendo destaque as sub-bacias do Alto Rio do Coco e Ribeirão Piedade, as quais apresentaram os valores mais elevados tanto



para as declividades médias quanto para as máximas. Para estas sub-bacias, há uma tendência de maior escoamento superficial em comparação com as demais, sob as mesmas condições de cobertura vegetal, classe de solo e precipitação, sugerindo uma maior fragilidade natural e, consequentemente, maior predisposição à degradação.

Para a declividade média do canal principal e gradiente de canais, destacaram-se as sub-bacias do Alto Rio do Coco e Ribeirão Surubim, observando valores respectivos de declividade de 2,62 m/km e 2,18 m/km. Tonello et al. (2006, p. 855) citam que a declividade do canal interfere na velocidade de escoamento da água no curso, assim, valores elevados indicam maiores escoamentos e menores tempo de permanência da água, sendo conveniente um manejo de solo e água mais intensivo.

De acordo com Santos e Moraes (2012, p. 626), o coeficiente de manutenção é um índice que visa calcular a área mínima que a bacia precisa dispor para a manutenção de um metro de canal fluvial, sendo seu resultado indicado em  $m/m^2$ . Na análise realizada destacaram-se as sub-bacias do Ribeirão Prata e Baixo Rio do Coco com os valores mais elevados para este coeficiente, sendo, encontrado 1.612,9  $m/m^2$  para a primeira e 1.572,32  $m/m^2$  para a segunda. Como pode ser observado as sub-bacias citadas necessitam de uma área considerável para a sua manutenção (área de recarga) e evolução da drenagem. Estes resultados podem ser corroborados pela densidade de drenagem e hidrográfica, os quais foram os mais baixos registrados, sugerindo que as sub-bacias possuem dificuldade na renovação e formação de novos canais. Essa realidade pode ser entendida ao se verificar que as sub-bacias apresentaram baixas declividades médias, sendo seu relevo considerado plano a suavemente ondulado, conforme a classificação da Embrapa (1979), e baixos índices de rugosidade, fatores de grande relevância no escoamento fluvial e formação de canais novos.

Com base nos parâmetros citados, Meliani (2006, p. 121) destaca ainda que a hierarquia fluvial, o comprimento da rede de drenagem, a área, a forma da bacia, a densidade de drenagem e o coeficiente de manutenção indicam a capacidade de uma bacia em captar água. Assim, ao avaliar tais parâmetros para as sub-bacias da alta e baixa bacia do Rio do Coco observa-se que as sub-bacias da alta bacia apresentam maior capacidade para captação de águas superficiais através de seus cursos d'água. Tais fatores aliados às características de relevo, como declividade e índice de rugosidade sugerem também maior possibilidade de ocorrências erosivas e, consequentemente maior potencial para transporte de sedimentos.

Tabela 5.3 apresenta os resultados obtidos para as leis de Horton (1945).



Tabela 5.3 – Resultados da aplicação das leis de Horton para a bacia do Rio do Coco.

| Compartimentos    | Ordem (w)    | Nw    | Lw         | Log 10 Nw | Rb          | Lw média   | Log 10 Lw | Rl          |
|-------------------|--------------|-------|------------|-----------|-------------|------------|-----------|-------------|
| Ribeirão Prata    | 1            | 238   | 249.803    | 2,37      | 4,03        | 1.049,59   | 3,02      | 2,39        |
|                   | 2            | 59    | 148.147    | 1,77      | 5,36        | 2.510,96   | 3,39      | 3,10        |
|                   | 3            | 11    | 85.879     | 1,04      | 3,66        | 7.807,18   | 3,89      | 2,63        |
|                   | 4            | 3     | 61.635     | 0,47      | 3,00        | 20.545,00  | 4,31      | 2,27        |
|                   | 5            | 1     | 46.686     | 0,00      |             | 46.686,00  | 4,66      |             |
|                   | <b>Média</b> |       |            |           | <b>4,01</b> |            |           | <b>2,60</b> |
| Ribeirão Piedade  | 1            | 2.115 | 812.574    | 3,32      | 4,16        | 384,19     | 2,58      | 2,24        |
|                   | 2            | 508   | 438.658    | 2,70      | 4,13        | 863,50     | 2,93      | 2,26        |
|                   | 3            | 123   | 240.351    | 2,08      | 4,24        | 1.954,07   | 3,29      | 3,35        |
|                   | 4            | 29    | 189.853,83 | 1,46      | 4,83        | 6.546,68   | 3,81      | 1,77        |
|                   | 5            | 6     | 69.689     | 0,77      | 6,00        | 11.614,83  | 4,06      | 9,86        |
|                   | 6            | 1     | 114.638    | 0,00      |             | 114.638,00 | 5,05      |             |
|                   | <b>Média</b> |       |            |           | <b>4,67</b> |            |           | <b>3,90</b> |
| Ribeirão Surubim  | 1            | 1.073 | 462.052    | 3,03      | 3,94        | 430,61     | 2,63      | 2,12        |
|                   | 2            | 272   | 248.456    | 2,43      | 4,00        | 913,44     | 2,96      | 2,32        |
|                   | 3            | 68    | 144.628    | 1,83      | 4,00        | 2.126,88   | 3,32      | 2,60        |
|                   | 4            | 17    | 94.306     | 1,23      | 8,50        | 5.547,41   | 3,74      | 2,45        |
|                   | 5            | 2     | 27.260     | 0,30      | 2,00        | 13.630,00  | 4,13      | 3,78        |
|                   | 6            | 1     | 51.551     | 0,00      |             | 51.551,00  | 4,71      |             |
|                   | <b>Média</b> |       |            |           | <b>4,48</b> |            |           | <b>2,65</b> |
| Compartimentos    | Ordem (w)    | Nw    | Lw         | Log 10 Nw | Rb          | Lw média   | Log 10 Lw | Rl          |
| Alto Rio do Coco  | 1            | 4.496 | 1.211.232  | 3,65      | 4,32        | 269,40     | 2,43      | 2,33        |
|                   | 2            | 1.039 | 652.748    | 3,01      | 4,31        | 628,24     | 2,79      | 2,74        |
|                   | 3            | 241   | 415.412    | 2,38      | 4,63        | 1.723,70   | 3,23      | 2,63        |
|                   | 4            | 52    | 236.054    | 1,71      | 6,50        | 4.539,50   | 3,65      | 4,03        |
|                   | 5            | 8     | 146.536    | 0,90      | 8,00        | 18.317,00  | 4,26      | 5,76        |
|                   | 6            | 1     | 105.597    | 0,00      |             | 105.597,00 | 5,02      |             |
|                   | <b>Média</b> |       |            |           | <b>5,55</b> |            |           | <b>3,50</b> |
| Baixo Rio do Coco | 1            | 396   | 49.1312    | 2,59      | 3,66        | 1.240,68   | 3,09      | 2,28        |
|                   | 2            | 108   | 306.350    | 2,03      | 4,32        | 2.836,57   | 3,45      | 2,62        |
|                   | 3            | 25    | 186.152    | 1,39      | 5,00        | 7.446,08   | 3,87      | 1,55        |
|                   | 4            | 5     | 57.732,58  | 0,69      | 5,00        | 11.546,51  | 4,06      | 20,50       |
|                   | 7            | 1     | 236.811    | 0,00      |             | 236.811,00 | 5,37      |             |
|                   | <b>Média</b> |       |            |           | <b>4,50</b> |            |           | <b>6,74</b> |

NOTA: Nw é o número de canais; Rb é a taxa de bifurcação; Lw é o comprimento médio; Rl é a taxa de comprimento.

O valor médio para a taxa de bifurcação (Rb) para as sub-bacias analisadas foram similares, tendo a sub-bacia do Alto Rio do Coco um maior valor observado (5,55). Vestena et al. (2011, p. 99) ao estudarem a morfometria da bacia do Rio Caeté encontraram valor médio para a taxa de bifurcação próximo ao encontrado para as sub-bacias do Rio do Coco (4,0). O valor normalmente encontrado é 2,00, porém, se os canais apresentarem certos declives o mesmo pode variar (HORTON, 1945, p. 291). De acordo com Castro e Carvalho (2009, p. 04), a relação de bifurcação (Rb) indica o grau de dissecação da bacia hidrográfica, quanto maior for o valor do índice de bifurcação maior será o grau de dissecação, valores geralmente abaixo de 2 indicam um relevo colinoso, portanto, os resultados encontrados sugerem a presença de um relevo dissecado para as sub-bacias analisadas.

Menciona-se que os valores da Relação de Bifurcação (Rb) para os segmentos das sub-bacias avaliadas não apresentam um padrão específico. É possível observar que a sub-bacia do Ribeirão Prata apresentou uma maior Rb entre os canais de primeira e segunda ordens (5,36), indicando para este compartimento que quanto menor a ordem hierárquica, maior a relação de bifurcação. No caso das sub-bacias dos Ribeirões Piedade e Surubim as maiores relações de bifurcação verificadas foram entre os canais de quinta e quarta ordem, respectivamente, tendo os canais de primeira a terceira ordens comportamentos similares de bifurcação. Para as sub-bacias do Alto Rio do Coco e Baixo Rio do Coco a taxa de bifurcação mais representativa também foi para os canais de quinta e quarta ordens.

Deve-se também ressaltar que as sub-bacias do Alto Rio do Coco e Ribeirão Piedade se destacam por apresentar um maior número de canais de ordens inferiores (1º e 2º) comparadas às demais bacias analisadas. Tal cenário merece atenção, uma vez que, segundo Faria (2014, p. 193), os canais de ordens inferiores, principalmente de primeira ordem, totalizam cerca de 50% de todos os canais das grandes bacias, entretanto, não são tratados com atenção, sendo um dos primeiros a sofrer com os efeitos das mudanças na cobertura da terra. As sub-bacias do Alto Rio do Coco e Ribeirão Piedade se sobressaem ainda por apresentarem alta capacidade de articular canais formadores de bacias interiores (microbacias), haja vista o número de canais identificados de ordens superiores (quarta e quinta ordens).

Para a relação entre os comprimentos médios dos canais (Rl), destacaram-se as sub-bacias do Baixo Rio do Coco com um valor médio de 6,74, Ribeirão Piedade (3,9) e Alto Rio do Coco (3,5). Já as sub-bacias do Ribeirão Prata e Ribeirão Surubim apresentaram valores médios similares, sendo: 2,60 e 2,65, respectivamente.

Outro aspecto também importante que corrobora com a análise dos resultados dos parâmetros morfométricos encontrados para as sub-bacias refere-se aos perfis longitudinais dos canais principais, conforme Figura 5.9.

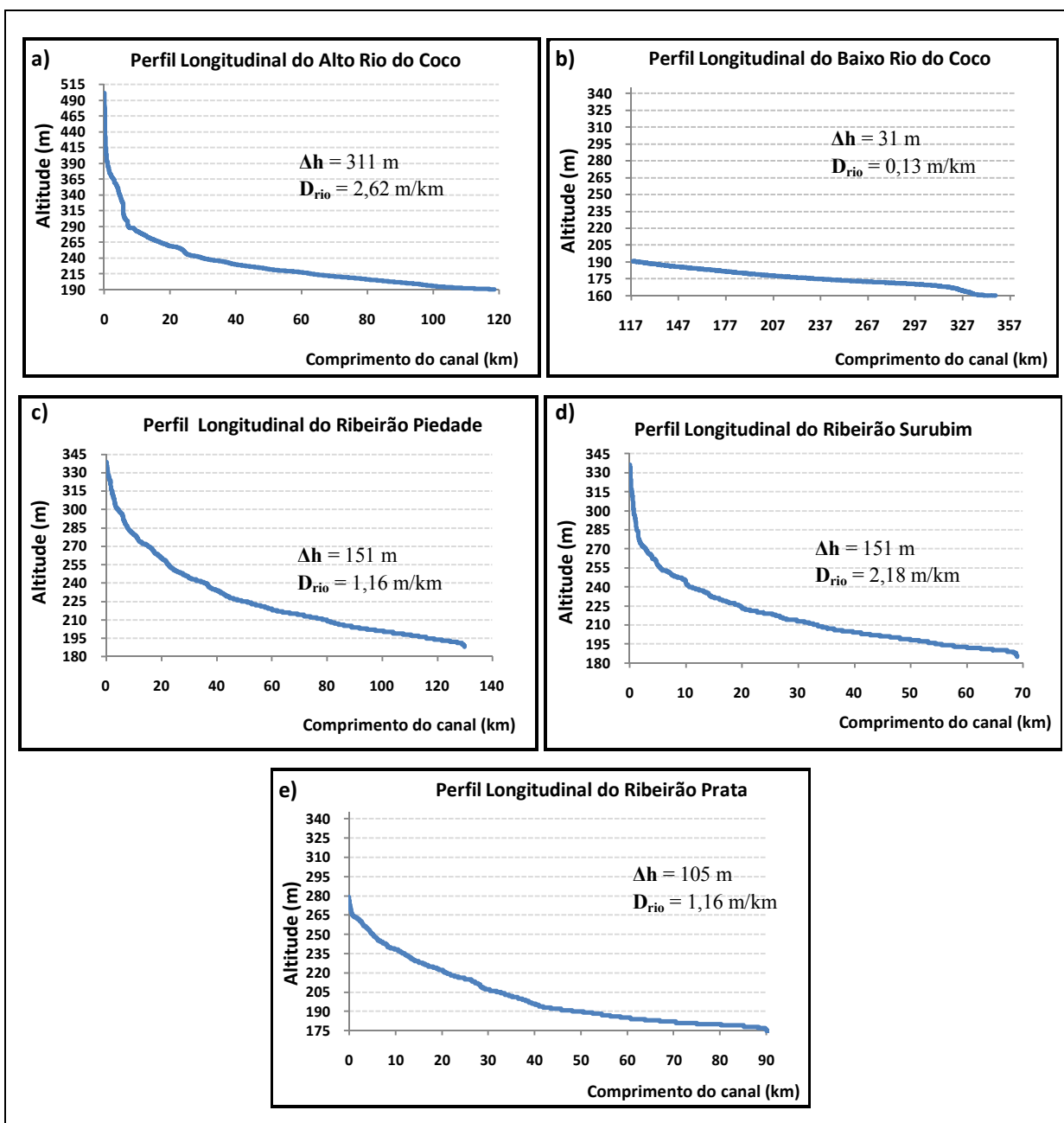


Figura 5.9 – Perfis longitudinais dos canais de drenagem avaliados, com destaque para a amplitude altimétrica e declividade dos canais. Fonte: Elaborado pelo autor.

Como pode ser observado na Figura 5.9, os cursos d'água da alta bacia possuem amplitudes altimétricas e declividades superiores em relação aos canais da baixa bacia. A exemplo disso, citam-se as sub-bacias do Alto Rio do Coco ( $\Delta h = 311$ ), Ribeirão Piedade ( $\Delta h = 151$ ) e Ribeirão Surubim ( $\Delta h = 151$ ). Por outro lado, as sub-bacias do Ribeirão Prata e Baixo Rio do Coco apresentaram amplitudes de 105 e 31, respectivamente.

Santos e Moraes (2012, p. 140) destacam que os sedimentos produzidos em uma bacia hidrográfica e exportados pelo canal fluvial são provenientes da erosão sobre as vertentes e da erosão sobre as margens e leito do canal principal e seus tributários, desse modo, a variação

de amplitudes em canal tem um papel importante nesse processo.

Cumprir mencionar ainda que a amplitude altimétrica de um rio influencia na sua capacidade de transporte de sedimentos, podendo criar canais com elevado potencial de transporte e canais onde predominam a acumulação. Essa afirmativa é confirmada por Vlad et al. (2013, p. 359), os autores citam que a medida que a amplitude aumenta, o potencial de energia-gravidade também revela a intensidade dos processos de erosão, pois quanto maior a diferença de altitude, maior será o comprimento e o grau de inclinação das encostas.

Portanto, a análise morfométrica possibilitou identificar características naturais diferentes que permitiram agrupar a bacia do Rio do Coco em dois compartimentos: alta bacia e baixa bacia. Na alta bacia, o sistema de drenagem é mais desenvolvido, o que indica relação direta com as características do relevo, o qual apresentou-se dissecado, sinalizando alta competência para a produção e transporte de sedimentos, haja vista os resultados encontrados para o índice de rugosidade, relação de bifurcação, gradiente de canais, declividade de canais e densidade de drenagem. Já a região da baixa bacia, apresentou um sistema de drenagem pobre com elevado coeficiente de manutenção, o que sinaliza dificuldade na formação de novos canais e necessidade de grandes áreas para a manutenção dos mesmos. Além disso, os resultados de declividade e índice de rugosidade apontam baixa competência para transporte de sedimentos, fazendo com que o material produzido na bacia seja depositado ao longo dos canais.

Com base no exposto, há necessidade de gestão das atividades antrópicas na bacia do Rio do Coco, principalmente, na região da alta bacia, com destaque as sub-bacias do Ribeirão Piedade e Alto Rio do Coco, pois para tais bacias os parâmetros morfométricos indicaram uma tendência de maior suscetibilidade aos efeitos do uso e ocupação, como a intensificação das perdas de solo por erosão e consequente assoreamento e diminuição da qualidade da água.

## 5.5 CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos para a compartimentação morfométrica da bacia hidrográfica do Rio do Coco pode-se concluir que:

- A análise dos índices de compacidade, circularidade e fator de forma indicaram que todas as sub-bacias avaliadas exibiram forma alongada, sinalizando pouca susceptibilidade a enchentes em condições regulares de precipitação;
- As sub-bacias do Ribeirão Prata e Baixo Rio do Coco são as bacias que apresentaram os maiores coeficientes de manutenção, 1.612,9 m/m<sup>2</sup> e 1.572,32 m/m<sup>2</sup>

respectivamente, indicando uma área considerável para a manutenção (área de recarga) e evolução da drenagem;

- A sub-bacia do Alto Rio do Coco apresentou um maior número de canais de ordens inferiores (1º e 2º), além indicar alta capacidade de articular canais formadores de bacias interiores (microbacias), haja vista o número de canais identificados de ordens superiores (quarta e quinta ordens);
- A densidade de drenagem e hidrográfica mais representativa foi para a sub-bacia do Alto Rio do Coco com 2,104 km/km² e 6,725 canais/km², respectivamente, apontando maior capacidade de gerar novos canais em relação as demais sub-bacias avaliadas o que pode estar relacionado com as suas características pedológicas, geológicas e climáticas;
- A rugosidade apresentada para a sub-bacia do Alto Rio do Coco ( $I_r = 1.036,6$ ) e a sub-bacia do Ribeirão Piedade ( $I_r = 792,49$ ) sugerem acentuado escoamento superficial e também maior possibilidade de ocorrências erosivas para estas sub-bacias, implicando na necessidade de desenvolver práticas conservacionistas;
- A densidade hidrográfica e de drenagem, juntamente com o coeficiente de manutenção apresentados pelas sub-bacias da alta bacia indicaram maior capacidade para captação de água pelos canais que ao serem analisados com o índice de rugosidade e gradiente de canais sugerem maior possibilidade de ocorrências erosivas nestas bacias.

Por fim, o conjunto de parâmetros morfométricos analisados indicou que as sub-bacias localizadas no compartimento da alta da bacia (Alto Rio do Coco, Ribeirão Piedade e Surubim) apresentaram características indicativas de maiores suscetibilidades aos impactos das atividades antrópicas, sugerindo maior possibilidade para produção e transporte de sedimentos, com destaque as sub-bacias do Alto Rio do Coco e Ribeirão Piedade. Desse modo, recomenda-se que as atividades de uso e ocupação do solo nestas áreas possam ser geridas com critério pelo poder público, principalmente, no que diz respeito ao cumprimento das leis ambientais em relação à manutenção e proteção das áreas legalmente protegidas, visando minimizar os efeitos potenciais dos processos naturais ocorrentes nestes compartimentos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, Wagner Santos; SOUZA, Newton Moreira; REIS JÚNIOR, Dirceu Silveira; CARVALHO, José Camapum. Análise morfométrica em bacias hidrográficas fluviais como

indicadores de processos erosivos e aporte de sedimentos no entorno do reservatório da Usina Hidrelétrica (UHE) Corumbá IV. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.14, n.2, p. 136 – 139, abr./jun., 2013.

AQUINO, Sâmia; STEVAUX, José Cândido; LATRUBESSE, Edgardo Manuel. Regime hidrológico e aspectos do comportamento morfohidráulico do Rio Araguaia. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, ano 6, n. 2, p. 31, 2005.

BARBOSA, Tamires Silva; FURRIER, Max. Avaliação Morfológica e Morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Marés – PB, Para Verificação de Influência Neotectônica. **Cadernos de Geociências**, v. 9, n. 2, p. 112, novembro 2012.

BARROS, Luiz Fernando de Paula; MAGALHÃES JÚNIOR, Antônio Pereira; RAPOSO, Aline Almeida. Fatores condicionantes da produção e escoamento de sedimentos na bacia do Rio Maracujá – Quadrilátero Ferrífero/MG. **Geografias**, Belo Horizonte (MG), 06, 2, p. 107, jul./dez., 2010.

CARDOSO, Christiany Araujo; DIAS, Herly Carlos Teixeira; SOARES, Carlos Pedro Boechat; MARTINS, Sebastião Venâncio. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. **R. Árvore**, Viçosa-MG, v. 30, n. 2, p. 243 e 244, 2006.

CARVALHO, Arnaldo Henrique de Oliveira; CASTRO, Fábio da Silveira; PENA, Flávio Eymard da Rocha. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Córrego Santa Maria, Ibatiba-ES. **Nucleus**, v.11, n.2, p. 148, out, 2014.

CASTRO, S. B.; CARVALHO, T. M. Análise morfométrica e geomorfologia da bacia hidrográfica do rio Turvo - GO, através de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento. **Scientia Plena** 5, p. 04. 2009.

CORTE, Ana Paula Dalla; HENTZ, Ângela Maria Klein; DOUBRAWA, Betina; SANQUETTA, Carlos Roberto. Environmental fragility of Iguaçu river watershed, Paraná, Brazil. **Bosque**, 36 (2), p. 287. 2015.

ELESBON, Abrahão Alexandre Alden; GUEDES, Hugo Alexandre Soares; SILVA, Demetrius David da; OLIVEIRA, Iara de Castro. Uso de dados SRTM e plataforma SIG na caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Braço Norte do Rio São Mateus – Brasil. REM: **R. Esc. Minas**, Ouro Preto, 64(3), p. 284, jul./set., 2011.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ)**. Súmula da 10. reunião Técnica de Levantamento de Solos. Rio de Janeiro, 1979. 83p.

FARIA, Antonio Paulo. Transporte de sedimentos em canais fluviais de primeira ordem: respostas geomorfológicas. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 15, n. 2, p. 193, abr./jun., 2014.

FEITOSA, Thaiana Brunes; IOST, Caroline. Dinâmica hidrossedimentológica de duas sub-bacias hidrográficas localizadas no Estado do Tocantins. **Rev. Acad., Ciênc. Agrár. Ambient.**, Curitiba, v. 9, n. 2, p. 125, abr./jun. 2011.

FRAGA, Micael de Souza; FERREIRA, Renan Gon; SILVA, Felipe Bernardes; VIEIRA, Nayara Paula Andrade; SILVA, Danilo Paulúcio da; BARROS, Flávia Mariani; MARTINS, Ione Sousa Braga. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Rio Catolé Grande, Bahia, Brasil. **Nativa**, Sinop, v. 02, n. 04, p. 214, out./dez. 2014.

FREIRE, Aline Jardim; LAGE, Gustavo Bretas; CHRISTÓFARO, Lage Cristiano. Comparação entre parâmetros morfométricos de bacias hidrográficas gerados por dados SRTM e ASTER GDEM: estudo de caso para bacias do Vale do Jequitinhonha-MG. In: XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR. 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu (PR), Brasil, 2013. p. 5443.

GOULARTE, Elvis Richard Pires; MARCUZZO, Francisco Fernando Noronha; MACEDO, Fábio Campos. Estudo hidromorfométrico da área de contribuição da bacia hidrográfica do Rio Meia Ponte a montante de Goiânia/GO. **Revista Eletrônica Geoaraguaia**. Barra do Garças-MT. Edição Especial. p. 148, setembro. 2013.

GURNELL, A.M.; BUSSETTINI, M.; CAMENEN, B; DEL TÁNAGO, M. González; GRABOWSKI, R.C.; HENDRIKS, D.; HENSHAW, A; LATAPIE, A.; RINALDI, M.; SURIAN, N. (2014). **A hierarchical multiscale framework and indicators of hydromorphological processes and forms. Deliverable 2.1, Part 1, of REFORM (REstoring rivers FOR effective catchment Management)**, a Collaborative project (large-scale integrating project) funded by the European Commission within the 7th Framework Programme under Grant Agreement 282656. 54 p.

HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geological Society of América Bulletin**, v. 56, p. 807 – 813. 1945.

LANA, Cláudio Eduardo; ALVES, Júlia Maria de Paula; CASTRO, Paulo de Tarso Amorim. Análise morfométrica da bacia do Rio do Tanque, MG – Brasil. **Rem: Rev. Esc. Minas**, v. 54, n. 02, p. 07, Ouro Preto (MG), apr./june, 2001.

MACHADO, Luiz Eduardo Giacomolli; LIMA, Cláudia Valéria de. Compartimentação geomorfológica da bacia hidrográfica do Rio Vermelho (GO) utilizando imagens ASTER. In:



XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR. 2011, Curitiba. **Anais...** Curitiba (PR), Brasil, maio de 2011, INPE. p. 8235.

MELIANI, Paulo Fernando. Mapeamento da rede hidrográfica e análise dos parâmetros da densidade de drenagem aplicados ao estudo ambiental: o caso da bacia do Rio Jeribucassu, Itacaré, Bahia. **Geografia**, Rio Claro, v. 31, n.1, p. 121 e 125, jan./abr., 2006.

NUNES, F. G.; RIBEIRO, N. C; FIORI, A. P. Propriedades Morfométricas e Aspectos Físicos da Bacia Hidrográfica do Rio Atuba: Curitiba - Paraná. In: VI Simpósio Nacional de Geomorfologia/Regional Conference on Geomorphology. 2006, Goiânia. **Anais...** Goiânia (GO), setembro de 2006. p. 06 - 07.

OLIVEIRA, Sandro Nunes de; CARVALHO JÚNIOR, Osmar Abílio de; SILVA, Telma Mendes da; GOMES, Roberto Arnaldo Trancoso; MARTINS, Éder de Souza; GUIMARÃES, Renato Fontes; SILVA, Nilton Correia da. Delimitação automática de bacias de drenagens e análise multivariada de atributos morfométricos usando modelo digital de elevação hidrologicamente corrigido. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, ano 8, n. 1, p. 11, 2007.

PASSARELLA, Samia; LADEIRA, Francisco Sergio Bernardes; LIESENBERG, Veraldo. Morfometria da bacia do Rio São João, MG: uma proposta de entendimento dos limites e da dinâmica das superfícies erosivas. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v.17, n.2, p. 242, abr./jun., 2016.

PEREIRA NETO, Manoel Cirício; FERNANDES, Ermínio. Fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Seridó (RN/PB – Brasil). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v.16, n.3, p. 400, jul./set., 2015.

SANTOS, Daniel Araujo Ramos; MORAIS, Fernando. Análise morfométrica da bacia hidrográfica do Rio Lago Verde como subsídio à compartimentação do relevo da região de Lagoa da Confusão – TO. **Revista Geonorte**, Edição Especial, v. 3, n. 4, p. 626. 2012.

SANTOS, Julio Cesar Neves dos; ANDRADE, Eunice Maia de; MEDEIROS, Pedro Henrique Augusto; PALÁCIO, Helba Araújo de Queiroz; ARAÚJO NETO, José Ribeiro de. Sediment delivery ratio in a small semi-arid watershed under conditions of low connectivity. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 1, p. 56, jan./mar., 2017

SILVEIRA, André Luiz Lopes da. Desempenho de Fórmulas de Tempo de Concentração em Bacias Urbanas e Rurais. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 10, n. 01, p. 05, jan./mar., 2005.

SOARES, Márcia Regina Gomes de Jesus; SOUZA, Jorge Luiz Moretti. Análise

morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Pequeno em São José dos Pinhais (PR). **Revista Geografia** (Londrina), v. 21, n. 1, p. 20, jan./abr. 2012.

SOUSA, Flávio Alves de; RODRIGUES, Sílvia Carlos. Aspectos morfométricos como subsídio ao estudo da condutividade hidráulica e suscetibilidade erosiva dos solos. **Mercator**, Fortaleza, v. 11, n. 25, p. 142 - 148, mai./ago., 2012.

STIPP, Nilza Aparecida Freres; CAMPOS, Ricardo Aparecido; CAVIGLIONE, João Henrique. Análise morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Taquara – uma contribuição para o estudo das ciências ambientais. **Portal da Cartografia**, Londrina v. 3, n. 1, p. 122. 2010.

STRAHLER, A. N. Hypsometric (area-altitude) analysis and erosional topography. **Geological Society of America Bulletin**, v. 63, p. 1117 – 1142. 1952.

TONELLO, Kelly Cristina; DIAS, Herly Carlos Teixeira; SOUZA, Agostinho Lopes de; RIBEIRO, Carlos Antonio Alvares Soares Ribeiro; LEITE, Fernando Palha. Morfometria da Bacia Hidrográfica da Cachoeira das Pombas Guanhães (MG). **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 30, n.5, p. 855. 2006.

TEODORO, Valter Luiz Iost; TEIXEIRA, Denilson; COSTA, Daniel Jadyr Leite; FULLER, Beatriz Buda. O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista Uniara**, n. 20, p. 148 - 149. 2007.

VESTENA, Leandro Redin; CHECCHIA, Tatiane; KOBAYAMA, Masato. Análise morfométrica e geomorfológica da Bacia Hidrográfica do Caeté, Alfredo Wagner (SC). **Bol. geogr.**, Maringá, v. 29, n. 2, p. 99. 2011.

VIEGA, Aldrei Marucci; SANTOS, César Clemente Pires dos; CARDOSO, Murilo Raphael Dias; LINO, Natalia Cristina. Caracterização hidromorfológica da bacia do Rio Meia Ponte. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 14, n. 46, p. 132, jun./2013.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245p.

VLAD, Daniela; IOSIF, Daniel; ALEXANDRU, Raluca; PAISA, Marius; CATESCU, Georgian. Some geomorphological investigations on the slope erosion processes and causes in the Iron Gates Natural Park. Case study: The Eselnita hydrographic basin. **Geopolitics, History, and International Relations**, v. 5, n. 2, p. 359. 2013.

## **6 COBERTURA E USO DA TERRA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DO COCO E SUAS IMPLICAÇÕES SOBRE AS ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE DE CURSOS D'ÁGUA**

### **RESUMO**

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a cobertura, o uso da terra e os conflitos de uso nas áreas de preservação permanente de cursos d'água na bacia do Rio do Coco, localizada na margem direita da bacia hidrográfica do Rio Araguaia, no estado do Tocantins. Para tanto, realizou-se o mapeamento da cobertura e uso do solo da bacia, utilizando imagens do satélite Landsat 8 (sensor OLI - Operational Land Imager) para o ano de 2015. Para a delimitação das APPs, inicialmente, realizou-se a vetorização manual da rede de drenagem na escala 1:5.000, utilizando imagens do satélite RapidEye. De posse da hidrografia, foram criados buffers de APPs, os quais obedeceram às faixas de proteção definidas pela legislação para cada curso d'água. Os conflitos de uso do solo foram obtidos por meio da sobreposição do mapa gerado com a classificação da imagem e o mapa de APP. Os resultados da pesquisa indicaram que a bacia do Rio do Coco apresenta 56,91% de sua área total coberta por atividades antrópicas, com um déficit de 32,8% de APP, sendo a pastagem o uso dominante. As sub-bacias do Alto Rio do Coco, Ribeirão Piedade e Ribeirão Surubim apresentaram os maiores percentuais de conflitos, comparados as demais bacias analisadas, com 46,03%, 40,1% e 39,35%, respectivamente. Por fim, a partir do estudo foi possível compreender a distribuição dos usos em toda a bacia e suas possíveis consequências sobre as áreas legalmente protegidas.

Palavras-chave: Cobertura e uso do solo; Conflitos de uso do solo; Bacia do Rio do Coco.

### **ABSTRACT**

The objective of this study was to evaluate the coverage, land use and conflicts of use in the areas of permanent preservation of watercourses in the Coco River basin, located on the right bank of the Araguaia River basin in the state of Tocantins. To do so, the basin's land cover and use was mapped using images from Landsat 8 (OLI - Operational Land Imager) satellite for the year 2015. For the delimitation of the PPAs, the drainage network was manually vectorized in the 1: 5000 scale, using images from the RapidEye satellite. In possession of the hydrography, PPA buffers were created, which obeyed the protection ranges defined by the legislation for each watercourse. Land use conflicts were obtained by overlapping the generated map with the image classification and PPA map. The results of the research indicated that the Coco River basin presents 56.91% of its total area covered by anthropic activities, with a deficit of 32.8% of PPA, with pasture being the dominant use. The Upper Coco River, Ribeirão Piedade and Ribeirão Surubim sub-basins presented the highest percentage of conflict, compared to the other analyzed basins, with 46.03%, 40.1% and 39.35%, respectively. Finally, from the study, it was possible to understand the distribution of uses throughout the basin and its consequences on legally protected areas.

Keywords: Coverage and land use; Conflicts of land use; Basin of the Coco River.

## 6.1 INTRODUÇÃO

A degradação ambiental encontra-se fortemente ligada à maneira como o homem tem ocupado e utilizado a terra, de forma impensada e predatória, modificando severamente a paisagem original e gerando sérios danos ao meio ambiente (SILVA et al., 2014, p. 315).

Campos et al. (2013, p. 200) consideram como catalisador do problema, o atual modelo socioeconômico de desenvolvimento adotado no país o qual apresenta permanente conflito com o ambiente, devido à ausência, em muitas vezes, de uma ocupação planejada. Para os autores, o conhecimento das áreas de uso de uma determinada região, além de possibilitar o direcionamento adequado do tipo de manejo, permite identificar possíveis problemas acarretados pelo efeito das ações antrópicas sobre essas regiões, tendo relação direta com a conservação e a exploração sustentável dos recursos naturais. Dentro dessa abordagem de degradação da paisagem, a bacia hidrográfica surge como elemento chave para uma análise mais apropriada. Conforme é ressaltado por Zanata et al. (2015, p. 787), a bacia é um sistema aberto, onde o fluxo de matéria e energia é dinâmico e altamente dependente da gestão dos solos.

O manejo das bacias, em função do uso e ocupação do solo, associado às suas características, pode interferir significativamente em todo o sistema (APARECIDO et al., 2016, p. 241). Mudanças em grande escala podem alterar os padrões de clima e precipitação locais, intensificando o escoamento superficial com consequente aumento nos processos erosivos (GURNELL et al., 2014, p. 102). Assim, Vargas et al. (2015, p. 138) descrevem que em uma análise geoambiental integrada de qualquer bacia hidrográfica, é necessário pesar os impactos dos diferentes usos da terra sobre a dinâmica de toda a região.

Em face disso, o planejamento adequado da terra deve ser realizado constantemente para que a degradação não ocorra ou, ao menos, seja diminuída ao longo da bacia, principalmente nas áreas de preservação permanente (CAMPOS et al., 2013, p. 200), pois estas são uns dos componentes da natureza que mais influenciam no funcionamento do sistema, tendo como função, a proteção do solo e da qualidade da água (RODRIGUES et al., 2015, p. 179).

Quando a vegetação nas margens dos rios é retirada, aumenta-se o risco, pois o encharcamento do solo favorece o deslizamento dos barrancos (FREITAS et al., 2013, p. 446) devido o aumento do escoamento superficial, potencializando o transporte de sedimentos (APARECIDO et al., 2016, p. 250). Além disso, tais áreas apresentam funções de estabilização, fonte de matéria e energia, refúgio de vida silvestre, filtro de nutrientes,

controlador de temperatura e produtividade da água, além de servir de conexão entre paisagens e proteção contra a erosão, entre outros (ROMERO et al., 2014, p. 11).

Há que se destacar, portanto, que a vegetação ao longo dos rios possui um papel fundamental na gestão dos recursos hídricos de toda a bacia, entretanto, se observa ainda pouca atenção dada às mesmas, principalmente, no que diz respeito a sua proteção conforme definido em legislação.

Estudos mostram a existência de conflitos de uso significativos em relação a estas regiões. Tal situação é agravada pelas ações ilegais de desrespeito ao Código Florestal brasileiro, no que concerne à manutenção da floresta natural ao longo dos rios e nascentes, como também a falta de fiscalização e dificuldades na recuperação destas áreas (ALMEIDA e VIEIRA, 2014, p. 485). A exemplo disso, citam-se os estudos realizados por Garcia (2014, p. 86) na bacia hidrográfica do Córrego Barra Seca onde foram identificados 49,14% de uso irregular em APP e, ainda, Guimarães et al. (2016, p. 132) no Alto Curso do Rio Banabuiú (CE) com 35%.

Do ponto de vista de qualidade ambiental dos corpos d'água é fundamental estudos voltados ao diagnóstico das áreas de preservação permanente em relação ao atendimento da legislação, uma vez que os impactos das atividades de uso podem trazer consequências para os recursos hídricos, tornando-o mais suscetível aos problemas ambientais, tais como o incremento na produção de sedimentos.

Diante deste cenário, a bacia hidrográfica do Rio do Coco surge como objeto de estudo, uma vez que a mesma apresenta padrões diferenciados de cobertura e uso do solo, os quais têm sido alterados pela chegada da agricultura na região, especificamente o cultivo de soja. Nessa perspectiva, pretende-se analisar a distribuição da cobertura e uso do solo da bacia como um todo, com o objetivo de identificar e quantificar os conflitos de uso do solo existentes para as áreas de preservação permanente de cursos d'água, conforme os parâmetros de proteção estabelecidos na legislação ambiental (Lei 12.651/2012). É importante destacar que para esta análise não foram utilizados o critério de áreas consolidadas até 22 de julho de 2008, devido às dificuldades de acesso as informações sobre o CAR para a bacia.

## **6.2 ÁREA DE ESTUDO**

A área de estudo compreende a bacia hidrográfica do Rio do Coco, localizada na margem direita da média bacia do Rio Araguaia (AQUINO et al., 2005, p. 31) no Estado do Tocantins. Esta ocupa uma área de aproximadamente 6.670 km<sup>2</sup>, distribuídos entre os

municípios de Caseara, Marianópolis do Tocantins, Divinópolis do Tocantins, Monte Santo, Paraíso do Tocantins, Chapada de Areia, Pium e Barrolândia. O principal curso d'água da bacia é o Rio do Coco, com extensão aproximada de 356 km, estando suas nascentes principais localizadas na Serra do Estrondo e foz no município de Caseara (Figura 6.1).

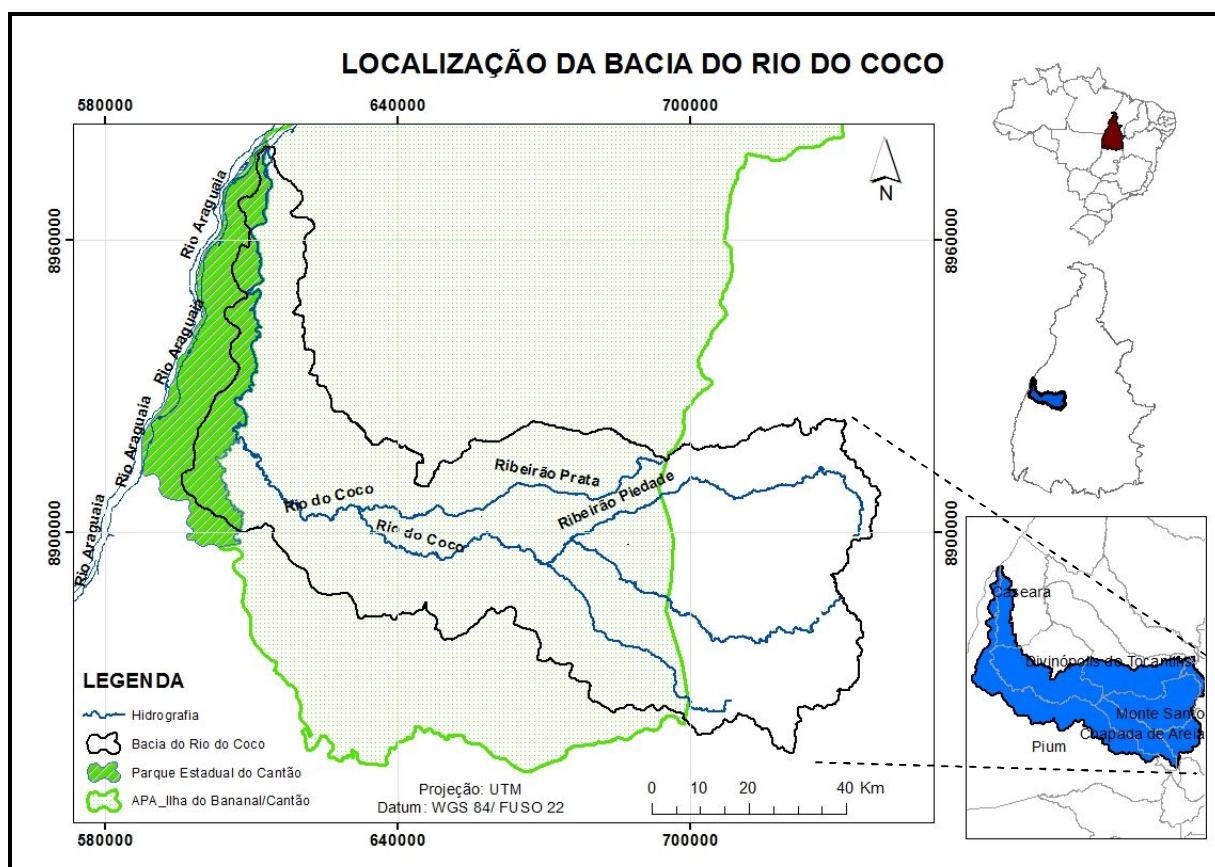


Figura 6.1 – Localização da bacia do Rio do Coco no estado do Tocantins, com destaque para as unidades de conservação inseridas nos limites da bacia. Fonte: Elaborado pelo autor.

É importante mencionar que aproximadamente 67,7% da área da bacia está inserida em unidades de conservação, sendo 5,5% no Parque Estadual do Cantão e 61,2% na APA Ilha do Bananal/Cantão. O Parque do Cantão forma uma grande planície aluvial, composta, principalmente, por areias de quartzo e sedimentos depositados pelos rios Javaé e Araguaia. A planície é coberta, em sua maioria, por uma floresta pluvial, pertencente ao domínio amazônico, com mais de 840 lagos, 150 km de meandros e canais naturais, assim como também por um tipo de cerrado localmente conhecido como “varjão”, que é periodicamente inundado (FERREIRA et al., 2011, p. 278 e 279). Face às peculiaridades citadas e por se tratar de uma unidade de conservação de proteção integral, a área que abrange o Parque Estadual do Cantão inserida nos limites da bacia do Rio do Coco foi excluída desta análise.



Dessa forma, a área analisada conta com aproximadamente 6.311,36 km<sup>2</sup>.

### 6.3 METODOLOGIA

Os procedimentos metodológicos para o desenvolvimento do trabalho foram divididos em três etapas, sendo: obtenção de dados e classificação de imagens; delimitação das áreas de preservação permanente de cursos d'água; análise da cobertura e uso da terra e conflitos de uso em APP.

A Figura 6.2 representa de forma esquemática os procedimentos metodológicos empregados para o desenvolvimento do presente trabalho.

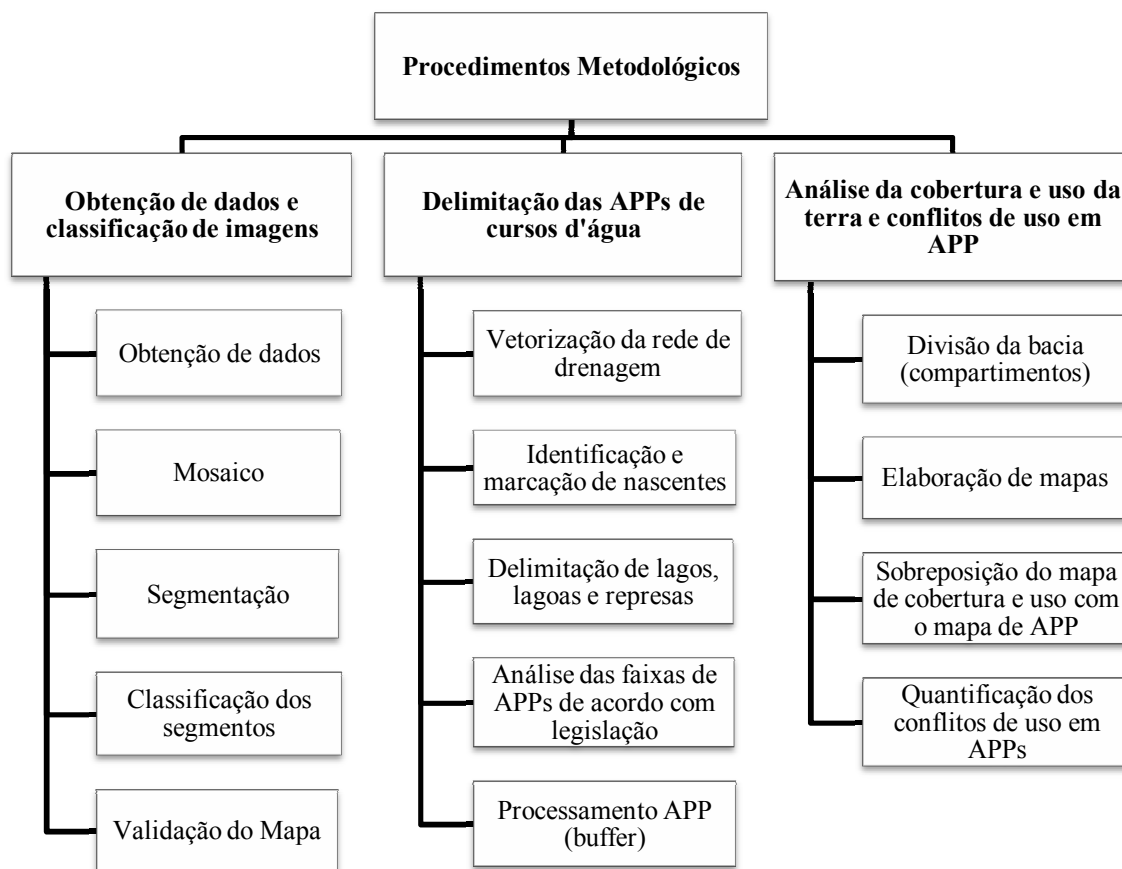


Figura 6.2 – Organograma esquemático dos procedimentos metodológicos utilizados.

#### ▪ Etapa 01 – Obtenção de dados e classificação de imagens

O mapeamento da cobertura e uso da terra foi realizado utilizando imagens do satélite Landsat 8 (sensor OLI - Operational Land Imager) selecionadas no catálogo de imagens do Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE - <http://www.dgi.inpe.br>). Para o recobrimento total da



área de estudo foram utilizadas as cenas 222/67 e 223/67 (órbita/ponto), as quais foram registradas para o fuso UTM 22S, Datum WGS 1984. As imagens são datadas de agosto de 2015, tendo sido esta escolha em virtude da qualidade apresentada em relação à baixa incidência de nuvens.

Inicialmente, realizou-se o mosaico das cenas utilizadas, sendo logo em seguida realizado o recorte da área a ser classificada. De posse do recorte aplicou-se a segmentação da imagem. Tal processo foi realizado no ENVI a partir da ferramenta Feature extraction. Os parâmetros adotados foram: segmentação pelo algoritmo *Edge* com nível de escala 60 e merge pelo algoritmo *Full Lambda Schedule* com nível 90 e textura tipo *Kernel*, tamanho 3. A escolha de tais parâmetros se deu por meio de testes, sendo os valores adotados de escala e merge adequados para a separação dos segmentos de interesse, conforme pode ser observado na Figura 6.3.

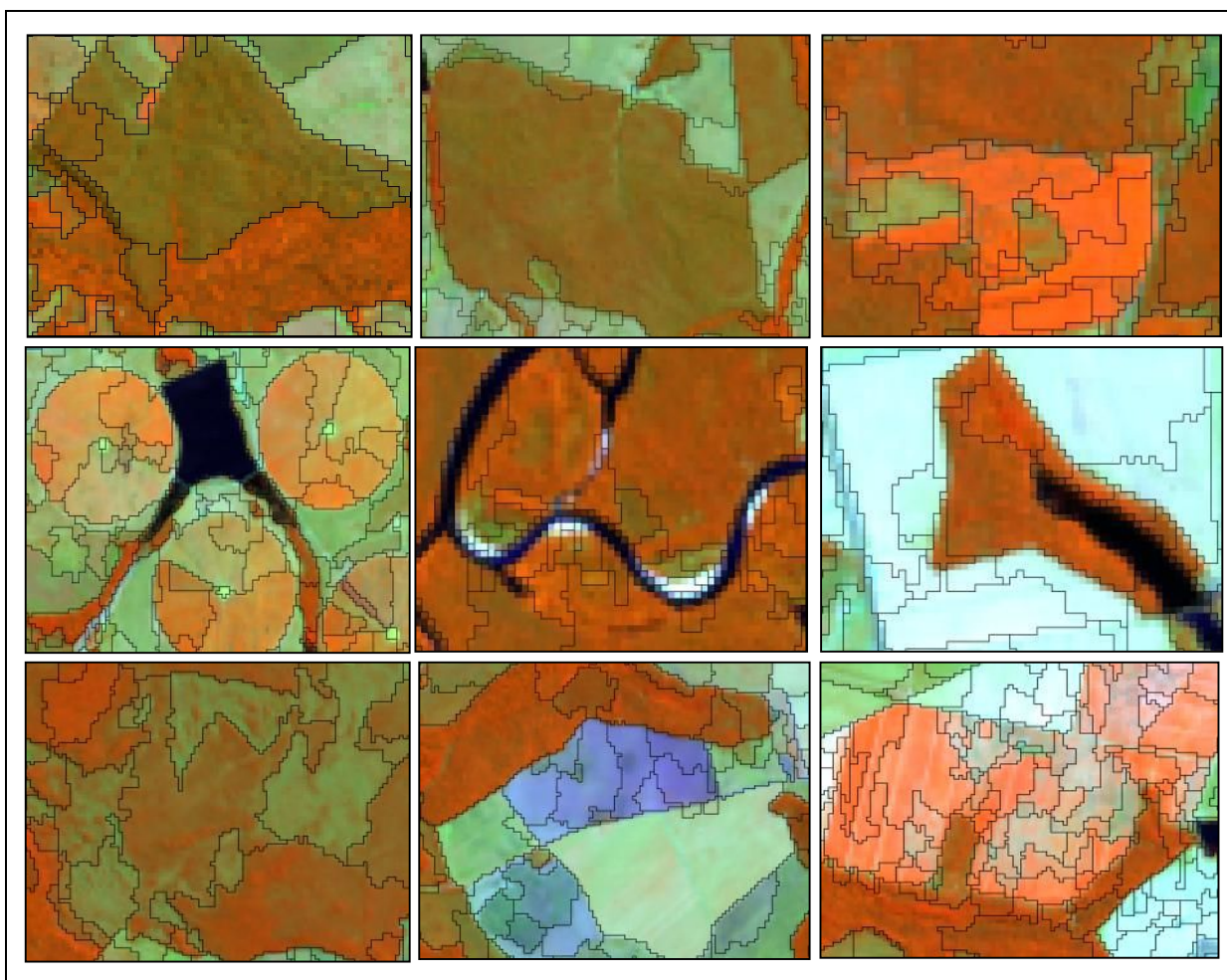


Figura 6.3 – Separação dos segmentos gerados durante o procedimento de segmentação.

Após a segmentação foi elaborada uma máscara para separar as áreas de vegetação das

demais áreas com base no NDVI. A finalidade desse procedimento foi aplicar parâmetros distintos de segmentação e fusão para as regiões criadas, uma vez que estas apresentam padrões diferentes. O resultado foi exportado para o formato shapefile e, posteriormente, criada as máscaras de vegetação e de não vegetação (antrópico).

O objetivo das máscaras foi auxiliar o processo de classificação dos segmentos, a partir da separação das áreas com vegetação das demais áreas, facilitando a análise da cobertura e uso da bacia. Vale ressaltar que a classe de vegetação, separada previamente, foi também classificada, de acordo com as classes estabelecidas para a cobertura vegetal definidas neste trabalho (Quadro 6.1). A classificação de todos os segmentos gerados foi realizada a partir da inspeção visual de imagens do Landsat 8 utilizadas durante o processo de classificação. Para uma melhor distinção entre as classes, o procedimento de classificação considerou imagens dos períodos seco (agosto) e chuvoso (abril), com vistas a avaliar os efeitos da sazonalidade sobre os diferentes alvos, obtendo assim uma melhor compreensão das classes analisadas.

Quadro 6.1 – Classes de cobertura e uso da terra e suas respectivas características.

| Classes                        | Características                                                         |
|--------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| <b>Áreas antrópicas</b>        |                                                                         |
| Agricultura                    | Agricultura ciclo longo e curto                                         |
| Área urbana                    | Área urbana                                                             |
| Floresta Plantada              | Reflorestamento e silvicultura                                          |
| Estradas                       | Rodovias pavimentadas e não pavimentadas                                |
| Mosaicos de ocupação           | Assentamentos, vilas, povoados                                          |
| Pastagem                       | Pastagem intensiva, semi-intensiva e extensiva                          |
| <b>Áreas naturais</b>          |                                                                         |
| Cerrado Sentido Restrito Ralo  | Cerrado ralo e rupestre, parque cerrado, campo sujo e varjão            |
| Cerrado Sentido Restrito Denso | Cerrado denso e típico                                                  |
| Corpos d'água                  | Rios, córregos, lagos, lagoas, represas                                 |
| Formações Florestais           | Floresta estacional, mata ciliar, mata de galeria, mata seca e cerradão |
| Praias                         | Praias                                                                  |

Durante o processo de inspeção visual foram utilizados como apoio as imagens provenientes da plataforma *Google Earth* e imagens RapidEye de 2013 (resolução espacial de 5 m), além de comparações com a base de dados dos mapeamentos de uso da terra e cobertura vegetal remanescente do Estado do Tocantins (2007) e Projeto TerraClass Cerrado (2013).

A escala de visualização (zoom) utilizada foi de 1:20:000. Entretanto, no caso de incertezas, a escala adotada foi ajustada para a obtenção de detalhe, com vistas a melhorar a distinção da classe e a percepção do padrão de cobertura e uso do solo no entorno da área

analisada.

Com o intuito de avaliar a concordância entre o mapa classificado e a realidade local, foram realizadas coletas de pontos com GPS de navegação ao longo de toda a bacia. No total, foram coletados 272 pontos em campo durante duas campanhas executadas nos meses de junho e agosto de 2016. Priorizou-se, em campo, visitar as classes que geraram maiores dúvidas durante a classificação. Os pontos coletados, posteriormente, foram utilizados no cálculo da exatidão global a partir de uma matriz de confusão, obtendo-se dessa forma uma estimativa de exatidão da classificação.

De acordo com Congalton (2005, p. 150), a avaliação da precisão começa com a geração de uma matriz de erros, uma matriz quadrada de números ou células dispostas em linhas e colunas, que expressa o número de unidades de amostras atribuídas a cada tipo de cobertura de terra em comparação com os dados de referência. As colunas da matriz representam os dados de referência (dados de campo) e as linhas representam tipos de cobertura de terra atribuídos (mapeados). A grande diagonal da matriz indica concordância entre os dados de referência e os tipos de cobertura de terra interpretados (Figura 6.4).

|                              |                 | Dados de referência (campo) |    |                                      |             | <b>Classes:</b><br><br>V = vegetação<br><br>A = água<br><br>U = urbano |
|------------------------------|-----------------|-----------------------------|----|--------------------------------------|-------------|------------------------------------------------------------------------|
| Dados da<br>classificação    |                 | V                           | A  | U                                    | Total linha |                                                                        |
|                              | V               | 43                          | 10 | 6                                    | 59          |                                                                        |
|                              | A               | 3                           | 23 | 5                                    | 31          |                                                                        |
|                              | U               | 2                           | 1  | 30                                   | 33          |                                                                        |
|                              | Total<br>coluna | 48                          | 34 | 41                                   | 123         |                                                                        |
| <b>Acurácia do produtor:</b> |                 | <b>Acurácia do usuário:</b> |    | <b>Acurácia global:</b> 96/123 = 78% |             |                                                                        |
| V = 43/48 = 90%              |                 | V = 43/59 = 73%             |    |                                      |             |                                                                        |
| A = 23/34 = 68%              |                 | A = 23/31 = 74%             |    |                                      |             |                                                                        |
| U = 30/41 = 73%              |                 | U = 30/33 = 91%             |    |                                      |             |                                                                        |

Figura 6.4 – Exemplo de uma matriz de confusão, com destaque para os cálculos de acurácia do usuário, do produtor e acurácia global. Fonte: Adaptado de CONGALTON (2005, p. 150).

Os resultados da matriz de confusão indicam a concordância entre o mapa obtido na classificação e a realidade de campo. Na acurácia do produtor é indicada a probabilidade de cada amostra coletada ter sido classificada de forma correta, sendo obtida dividindo-se o número total de amostras classificadas corretamente em cada classe pelo total do número de amostras da classe (total da coluna). Já a acurácia do usuário (classe) aponta a possibilidade de uma amostra no mapa apresentar a realidade de campo. Esta é resultante do produto da

divisão do número de acertos de cada classe pelo número de amostras da classe. Por fim, tem-se a acurácia global que é calculada dividindo-se o total de acertos (diagonal principal) pelo número total de unidades de amostradas.

▪ **Etapa 02 – Delimitação das áreas de preservação permanente de cursos d'água**

A Figura 6.5 apresenta um resumo esquemático dos passos executados para a obtenção das áreas de preservação permanente de cursos d'água.

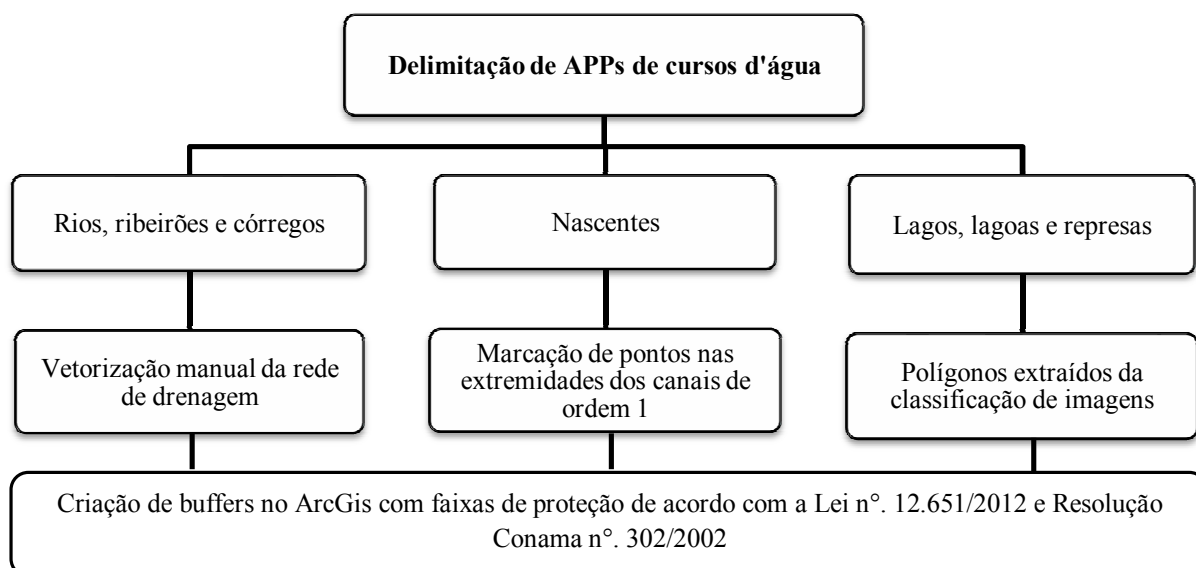


Figura 6.5 - Resumo esquemático dos passos executados para a delimitação das APPs de cursos d'água.

Para a delimitação das áreas de preservação permanente de cursos d'água, inicialmente, foi necessária a definição da rede de drenagem a ser utilizada. Tal procedimento comumente é realizado de forma automática utilizando o modelo digital de elevação (MDE), porém, após a realização de testes com o MDE observaram-se inúmeras inconsistências nos dados executados, fato que poderia resultar em incoerências nas informações sobre as APPs. Assim, com vistas a produzir uma rede hidrográfica de boa qualidade optou-se pela vetorização manual da hidrografia na escala 1:5.000, a partir de imagens do satélite RapidEye (2011).

As nascentes foram obtidas por meio da marcação de pontos nas extremidades de todos os canais de ordem 1, definidos por meio da hierarquização da rede de drenagem, conforme classificação de Strahler (1952). Já os lagos, as lagoas e as represas foram extraídas da classificação de imagens, sendo considerados apenas os polígonos acima de um hectare.

Para a delimitação das APPs foram considerados todos os cursos d'água presentes na

bacia (rios, ribeirões, córregos, lagos, lagoas, represas e nascentes), sendo utilizados os parâmetros estabelecidos de proteção na legislação ambiental (Lei 12.651/2012) para a definição das faixas de preservação adotadas. Entretanto, não foi empregado o critério de áreas consolidadas em APPs descrito pela referida legislação, o qual autoriza a continuidade das atividades agrossilvipastoris, de ecoturismo e de turismo rural em áreas rurais consolidadas até 22 de julho de 2008, sendo nestas áreas permitida a recuperação parcial da APP de acordo com o tamanho do imóvel e não de acordo com a largura do curso d'água. Esse critério não foi avaliado devido às dificuldades na obtenção de todos os shapes dos imóveis inseridos na bacia do Rio do Coco junto aos órgãos ambientais.

É importante destacar que para os reservatórios artificiais a legislação atual (Lei 12.651/2012) estabelece que as faixas de preservação devam ser definidas no processo de licenciamento ambiental, no entanto, devido aos obstáculos para o acesso as informações definidas no momento da emissão das respectivas licenças utilizaram-se como parâmetros, neste trabalho, os critérios preconizados na Resolução Conama n°. 302/2002, a qual trata dos limites de áreas de preservação permanente de reservatórios artificiais.

No Quadro 6.2 estão descritas as áreas de preservação permanente avaliadas, bem como os limites para preservação considerados. Predominaram na bacia do Rio do Coco cursos d'água com larguras até 10 metros, sendo dessa forma, 30 metros a faixa mais representativa de APP observada. Vale mencionar que as larguras dos cursos d'água foram estabelecidas a partir de observações em imagens provenientes da plataforma *Google Earth*, além de visitas a campo para dirimir as dúvidas geradas durante as análises.

Quadro 6.2 – Limites das faixas de APPs de cursos d'água adotados no trabalho de acordo com a legislação pertinente.

com a legislação pertinente.

| <i>Cursos d'água</i>             |                             |
|----------------------------------|-----------------------------|
| Faixa de APP (m)                 | Largura do curso d'água (m) |
| 30 m                             | 10 m                        |
| 50 m                             | 10 a 50 m                   |
| 100 m                            | 50 a 200 m                  |
| 200 m                            | 200 a 600 m                 |
| 500 m                            | > 600 m                     |
| <i>Lagos e Lagoas</i>            |                             |
| Rural                            | Urbano                      |
| 100 m para área > 20 ha          | 30 m                        |
| 50 m para área até 20 ha         |                             |
| <i>Reservatórios artificiais</i> |                             |
| Rural                            | Urbano                      |
| 100 m para área > 20 ha          | 30 m                        |
| 15 m para área até 20 ha         |                             |
| <i>Nascentes</i>                 |                             |
| Raio mínimo de 50m               |                             |

Fonte: Adaptado de BRASIL (2012) e CONAMA (2002).

De posse da rede hidrográfica e das informações sobre os limites das APPs a serem utilizados deu-se início ao processamento dos dados, sendo criados buffers de APPs para cada caso estudado (Quadro 6.2).

### ▪ **Etapa 03 – Análise da cobertura e uso da terra e conflitos de uso em APP**

Essa etapa buscou compreender as principais formas de cobertura e uso da terra da bacia do Rio do Coco, analisando os efeitos das atividades existentes na degradação dos recursos naturais, principalmente, no que diz respeito às áreas de preservação permanente de cursos d'água. Para tanto, foram elaborados mapas de cobertura e uso da terra para a área total da bacia do Rio do Coco, todavia, a área que abrange o Parque Estadual do Cantão foi excluída desta análise por se tratar de uma Unidade de Conservação de Proteção Integral.

Com o intuito de avaliar a distribuição da cobertura e uso da terra ao longo da área de estudo também foi realizada a compartimentação da bacia do Rio do Coco em alta e baixa bacia. No compartimento da alta bacia ficaram as sub-bacias de ordem 6: Ribeirão Piedade, Ribeirão Surubim e Alto Rio do Coco, enquanto que no compartimento da baixa bacia ficaram as sub-bacias do Ribeirão Prata (ordem 5) e Baixo Rio do Coco (ordem 7).

Tendo em vista a análise dos conflitos de uso nas áreas de preservação permanente elaboraram-se mapas de cobertura e uso da terra para as APPs de cada sub-bacia. Estes foram obtidos por meio da sobreposição do mapa gerado com a classificação da imagem e o mapa de APP. Após a sobreposição dos mapas, foram mensuradas as áreas correspondentes a cada classe, assim como os percentuais de uso em APPs por meio de cálculos de área. Vale ressaltar que os conflitos de uso considerados neste trabalho referem-se a qualquer tipo de uso antrópico identificado nos limites das áreas que deveriam ser destinadas a preservação permanente.

## **6.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **6.4.1 Avaliação da acurácia da classificação**

O Quadro 6.3 apresenta os resultados obtidos a partir da matriz de confusão. Como pode ser observado, o produto dessa análise indica que o mapa classificado possui uma exatidão global de 92,27%, obtendo a classe de Floresta Plantada o maior nível de acertos (100%), seguida pelas classes de Agricultura (93,62%), Cerrado Sentido Restrito Denso



(93,6%), Pastagem (91,9%), Formações Florestais (90,9%) e Cerrado Sentido Restrito Ralo (75%).

Quadro 6.3 – Análise da exatidão do mapa de cobertura e uso da terra por meio de dados de campo (GPS).

| Classes avaliadas              | Pontos Coletados | Acurácia do produtor | Acurácia do usuário (classe) | Exatidão global |
|--------------------------------|------------------|----------------------|------------------------------|-----------------|
| Agricultura                    | 47               | 88%                  | 93,62%                       | 92,27%          |
| Cerrado Sentido Restrito Ralo  | 8                | 85,71%               | 75%                          |                 |
| Cerrado Sentido Restrito Denso | 78               | 93,59%               | 93,6%                        |                 |
| Formações Florestais           | 11               | 100%                 | 90,9%                        |                 |
| Floresta Plantada              | 5                | 100%                 | 100%                         |                 |
| Pastagem                       | 123              | 92,62%               | 91,9%                        |                 |

Quando se analisa a acurácia do produtor, a qual avalia a probabilidade das amostras coletadas em cada classe terem sido classificadas de forma correta observa-se que as classes de Formações Florestais e a Floresta Plantada se destacam com 100%, sendo o menor acerto observado para a classe de Cerrado Sentido Restrito Ralo (85,71%). É muito comum dúvidas com essa classe, pois muitas vezes a mesma é confundida com a pastagem, principalmente, quando há um abandono temporário da atividade agropecuária, formando áreas com presença de regenerantes da vegetação nativa (pasto sujo).

No geral, os resultados indicam que a metodologia utilizada na classificação foi considerada satisfatória, pois o mapa de cobertura e uso da terra ao ser comparado com os 272 pontos coletados em campo apresentou uma exatidão global de aproximadamente 92,27%. Resultados semelhantes (90%) foram encontrados por Sousa e Ferreira (2014, p. 329) ao realizarem um mapeamento da cobertura e uso da terra na bacia do Ribeirão João Leite (GO) utilizando dados de campo para validação e por Prina e Trentin (2015, p. 137) que ao utilizarem o ArcGis para a classificação de imagens obtiveram uma exatidão global de 96%.

#### 6.4.2 Cobertura e uso da terra da bacia do Rio do Coco

A análise da cobertura e uso da terra para a bacia hidrográfica do Rio do Coco considerou 11 classes para a classificação, sendo: Agricultura, Área urbana, Cerrado Sentido Restrito Ralo, Cerrado Sentido Restrito Denso, Corpos d'água, Formações Florestais, Floresta Plantada, Estradas, Mosaicos de Ocupação, Pastagem e Praias.

Na Tabela 6.1 estão descritas as áreas ocupadas por cada classe de cobertura e uso da terra analisadas para bacia do Rio do Coco.



Tabela 6.1 - Quantificação da área ocupada por cada classe de cobertura e uso da terra da bacia do Rio do Coco.

| Cobertura e uso do solo          | Área total da Bacia Rio do Coco |              |
|----------------------------------|---------------------------------|--------------|
|                                  | (ha)                            | (%)          |
| Agricultura                      | 18.298,8                        | 2,90         |
| Área urbana                      | 2.279,2                         | 0,36         |
| Floresta Plantada                | 879,0                           | 0,14         |
| Estradas                         | 862,9                           | 0,14         |
| Mosaicos de ocupação             | 63,6                            | 0,01         |
| Pastagem                         | 336.825,3                       | 53,37        |
| <b>Total de áreas antrópicas</b> | <b>359.208,8</b>                | <b>56,91</b> |
| Cerrado Sentido Restrito Ralo    | 51.936,0                        | 8,23         |
| Cerrado Sentido Restrito Denso   | 83.972,8                        | 13,31        |
| Corpos d'água                    | 4.912,3                         | 0,78         |
| Formações Florestais             | 130.943,0                       | 20,75        |
| Praias                           | 163,6                           | 0,03         |
| <b>Total de áreas naturais</b>   | <b>271.927,7</b>                | <b>43,1</b>  |
| <b>Total geral</b>               | <b>631.136,5</b>                | <b>100</b>   |

Como pode ser observado na Tabela 6.1, o total das áreas cobertas por usos somam 56,91%, sendo a classe de pastagem predominante ao longo de toda a bacia, representando 53,37% do uso total. De acordo com Prado et al. (2012, p. 153), no geral, a pastagem tende a prevalecer, por se tratar de uma atividade mais independente do que a agricultura no que se refere à topografia e à necessidade de escoamento de seus produtos.

Apesar de cobrirem grandes áreas da bacia do Rio do Coco, a pastagem encontrada, em sua maioria, é de baixa qualidade, ou seja, ocupam áreas extensas, com pouco investimento econômico e ambiental visando práticas de manejo e conservação do solo. Conforme Dias-Filho (2010, p. 132 e 135), esse cenário reflete na baixa longevidade produtiva do pasto com a formação de vastas áreas degradadas, incentivando o desmatamento para a formação de novas áreas ou, ainda, a expansão das áreas de pastagem nas áreas de vegetação natural.

O problema se torna ainda mais preocupante, pois a ocupação também ocorre nos locais destinados à preservação permanente que são utilizadas como áreas de uso alternativo do solo. Durante a pesquisa pode-se visualizar muitas áreas de pasto adentrando as matas ciliares, resultando em destruição da cobertura vegetal. Souza et al. (2012, p. 705) citam que qualquer alteração na vegetação ao longo dos rios, por menor que seja, criam instabilidade nas zonas ripárias com consequências sobre toda a estrutura hídrica.

A atividade agrícola, comparada a pastagem, ainda é pouco significativa, compondo apenas 2,9% da bacia, principalmente na região oeste, com destaque aos municípios de

Marianópolis, Caseara e Chapada de Areia, onde foram observados o avanço desta atividade nos últimos anos. Segundo Prado et al. (2012, p. 164), neste mercado os locais primeiramente ocupados são aqueles que oferecem a melhor solução na articulação de variáveis como topografia, solos propícios e localização. Tal situação tem sido observada na bacia do Rio do Coco, sendo as áreas mais planas previamente ocupadas, mantendo a pastagem nas regiões com relevo mais ondulado.

A principal cultura implantada é soja, a qual foi bastante observada durante as visitas de campo ao longo da bacia, notadamente nas regiões onde existiam pastos. De acordo Lima (2014, p. 40 e 42), o baixo preço da terra no Tocantins comparada as áreas mais antigas ou consolidadas da fronteira agrícola no país, além de investimentos em logística e facilidades oferecidas pelo Estado tem atraído muitos agricultores para a região. Frente a isso, percebe-se que, apesar de incipiente, a agricultura tem avançado consideravelmente. Desse modo, nestas regiões há um intenso investimento com obras e insumos visando suprir as necessidades da atividade.

Lima (2014, p. 141) cita ainda que a soja, tem se tornado uma commodity altamente representativa na pauta exportadora do Estado do Tocantins, no entanto, o avanço dessa monocultura é acompanhado da degradação das relações espaciais como aumento expressivo da especulação imobiliária rural, expulsão de pequenos produtores de suas antigas áreas de moradia e produção e crescimento do trabalho precário.

Também estão presentes na bacia as áreas urbanas dos municípios de Caseara, Marianópolis do Tocantins, Divinópolis do Tocantins, Monte Santo, Paraíso do Tocantins e Chapada de Areia, representando um total de 70.369 habitantes (IBGE, 2016). A maior população está localizada no município de Paraíso do Tocantins com 49.727 habitantes (IBGE, 2016), o qual representa grande importância comercial e econômica para a região. Além dessas cidades, existem ainda povoados, vilas, assentamentos, classificados como mosaicos de ocupação que somados as áreas urbanas perfazem um total de 0,37% da área.

No que tange a classe de floresta plantada, foram identificados durante as atividades de campo, o eucalipto, a seringa e a teca. A classe representa 0,14% da cobertura identificada na bacia.

Em relação às áreas naturais ainda existentes na região identificaram-se um total de aproximadamente 43,1%, representados pelos corpos d'água, pelas praias e pela cobertura vegetal. Esta, apesar de bastante fragmentada, representa 42,29% das áreas cobertas com vegetação nativa, destacando-se a classe de Formações Florestais com 20,75%, onde estão presentes as áreas de mata ciliar, mata de galeria, mata seca e cerradão, as quais estão

localizadas, principalmente, ao longo dos cursos d'água e de áreas próximas, onde a disponibilidade de nutrientes e água no solo são os fatores principais para o seu desenvolvimento.

A classe de Cerrado Sentido Restrito Denso representa 13,31% da cobertura nativa, representando as áreas compostas por cerrado denso e típico. Já a classe de Cerrado Sentido Restrito Ralo compõe 8,23% das áreas com vegetação, nas quais estão incluídas as fitofisionomias de cerrado ralo e rupestre, parque cerrado, campo sujo e varjão.

A classe de corpos d'água corresponde 0,78% da bacia, sendo composta por rios, ribeirões, córregos, lagos, lagoas e represas. Os rios principais são o Rio do Coco, o Ribeirão Piedade, o Ribeirão Surubim e o Ribeirão Prata. A área também conta com inúmeras represas distribuídas por toda bacia, nas quais prevalecem o uso para atividade agropecuária, que é dominante na região. Além das represas estão presentes lagos e lagoas naturais, principalmente, nas áreas próximas as planícies dos principais cursos d'água.

Não menos importante, destaca-se a classe de praias, que apesar de bastante reduzida (0,03%) estão presentes nas margens dos cursos d'água, especialmente, ao longo do Rio do Coco. Estas sofrem grande influência da sazonalidade, sendo expostas, em sua maioria, no período de estiagem. É uma característica na região a grande oscilação no nível dos corpos hídricos, fazendo com que nos meses mais secos haja a exposição de bancos de areias ou até mesmo o aparecimento de ilhas no meio dos canais de drenagem.

Na Figura 6.6 pode ser observada a distribuição da cobertura e uso da terra da bacia hidrográfica do Rio do Coco. Nela fica evidente o predomínio da classe de pastagem sobre as demais classes analisadas. Observa-se também a agricultura sendo implantada, especialmente nas regiões com relevo mais favorável, além de mostrar a arranjo da vegetação ainda existente em toda a bacia.

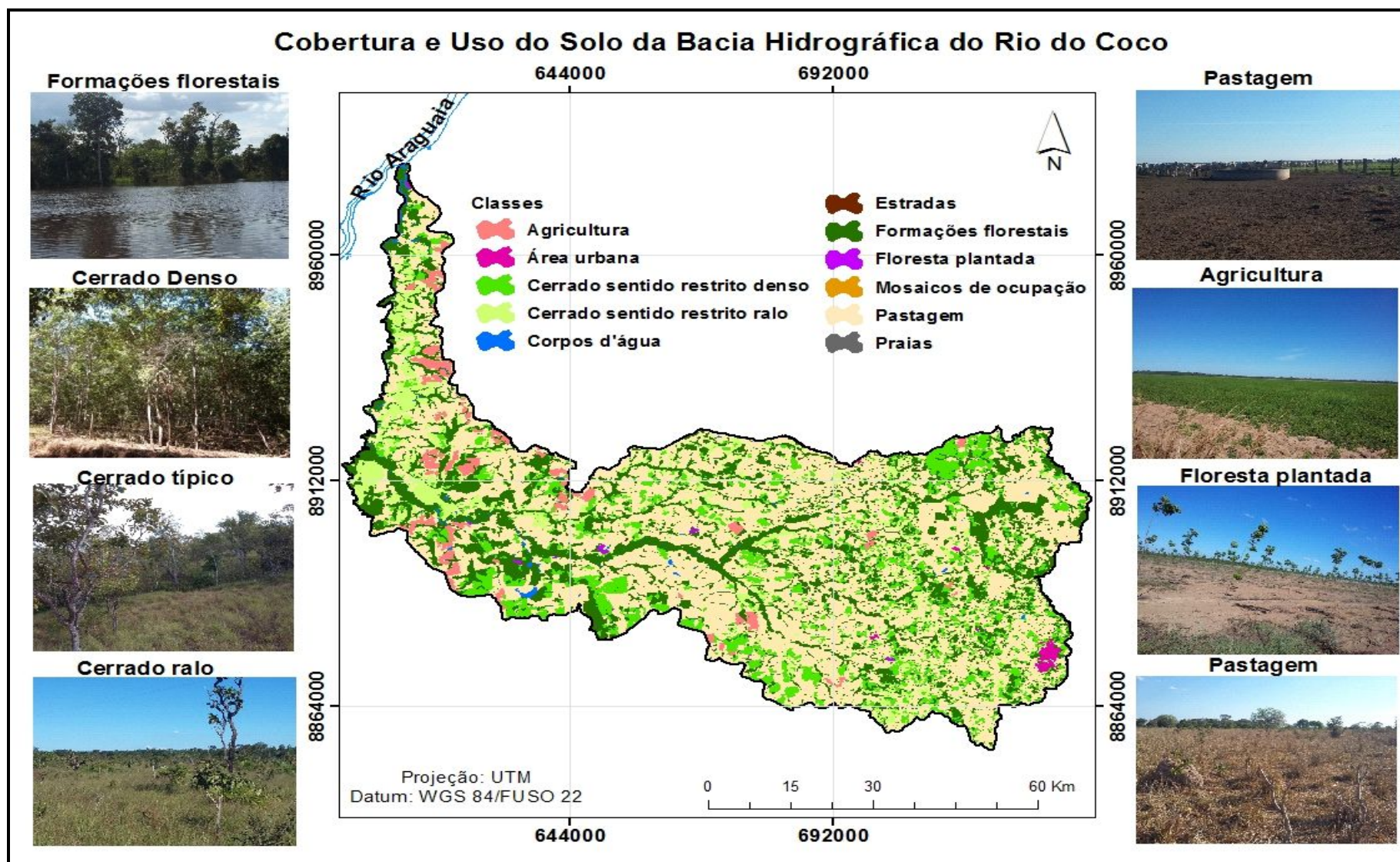


Figura 6.6 – Cobertura e uso da terra da bacia do Rio do Coco, com destaque para as principais formas de ocorrência das classes identificadas.  
Fonte: Elaborado pelo autor.

### 6.4.3 Cobertura e uso da terra nos compartimentos da bacia do Rio do Coco

Na Tabela 6.2 podem ser observados os percentuais de cobertura e uso da terra nos compartimentos da bacia hidrográfica do Rio do Coco.

Tabela 6.2 – Quantificação da área ocupada por cada classe de cobertura e uso da terra nos compartimentos da bacia do Rio do Coco.

| Cobertura e uso do solo          | Compartimento da Alta Bacia do Rio do Coco |              |                   |              |                  |              | Compartimento da Baixa Bacia Rio do Coco |              |                  |              |
|----------------------------------|--------------------------------------------|--------------|-------------------|--------------|------------------|--------------|------------------------------------------|--------------|------------------|--------------|
|                                  | Alto Rio do Coco                           |              | Ribeirão Piedade  |              | Ribeirão Surubim |              | Baixo Rio do Coco                        |              | Ribeirão Prata   |              |
| Classes                          | (ha)                                       | (%)          | (ha)              | (%)          | (ha)             | (%)          | (ha)                                     | (%)          | (ha)             | (%)          |
| Agricultura                      | 243,54                                     | 0,19         | 927,09            | 0,77         | 1.791,95         | 2,30         | 13.127,15                                | 6,36         | 2.209,07         | 2,32         |
| Área urbana                      | 1.979,99                                   | 1,51         | 120,26            | 0,10         | 33,81            | 0,04         | 137,81                                   | 0,07         | 7,29             | 0,01         |
| Floresta Plantada                | 112,01                                     | 0,09         | 25,29             | 0,02         | 146,65           | 0,19         | 595,08                                   | 0,29         | 0,00             | 0,00         |
| Estradas                         | 172,27                                     | 0,13         | 66,60             | 0,06         | 49,71            | 0,06         | 330,31                                   | 0,16         | 243,99           | 0,26         |
| Mosaicos de ocupação             | 5,36                                       | 0,00         | 0,00              | 0,00         | 7,24             | 0,01         | 39,78                                    | 0,02         | 11,25            | 0,01         |
| Pastagem                         | 76.380,28                                  | 58,08        | 67.856,06         | 56,40        | 48.111,12        | 61,84        | 86.795,89                                | 42,06        | 57.681,95        | 60,61        |
| <b>Total de áreas antrópicas</b> | <b>78.893,45</b>                           | <b>59,99</b> | <b>68.995,30</b>  | <b>57,35</b> | <b>50.140,48</b> | <b>64,45</b> | <b>101.026,01</b>                        | <b>48,95</b> | <b>60.153,55</b> | <b>63,21</b> |
| Cerrado Sentido Restrito Ralo    | 4.974,62                                   | 3,78         | 4.942,14          | 4,11         | 6.438,40         | 8,28         | 26.909,93                                | 13,04        | 8.670,91         | 9,11         |
| Cerrado Sentido Restrito Denso   | 24.043,34                                  | 18,28        | 18.737,28         | 15,57        | 11.855,37        | 15,24        | 20.589,08                                | 9,98         | 8.747,76         | 9,19         |
| Corpos d'água                    | 216,81                                     | 0,16         | 209,97            | 0,17         | 199,90           | 0,26         | 3.988,91                                 | 1,93         | 296,72           | 0,31         |
| Formações Florestais             | 23.379,72                                  | 17,78        | 27.420,84         | 22,79        | 9.163,22         | 11,78        | 53.683,77                                | 26,01        | 17.295,44        | 18,17        |
| Praias                           | 0,00                                       | 0,00         | 0,00              | 0,00         | 0,00             | 0,00         | 163,56                                   | 0,08         | 0,00             | 0,00         |
| <b>Total de áreas naturais</b>   | <b>52.614,49</b>                           | <b>40,01</b> | <b>51.310,23</b>  | <b>42,65</b> | <b>27.656,88</b> | <b>35,55</b> | <b>105.335,24</b>                        | <b>51,04</b> | <b>35.010,83</b> | <b>36,79</b> |
| <b>Total geral</b>               | <b>131.507,94</b>                          | <b>100</b>   | <b>120.305,53</b> | <b>100</b>   | <b>77.797,36</b> | <b>100</b>   | <b>206.361,26</b>                        | <b>100</b>   | <b>95.164,39</b> | <b>100</b>   |



O compartimento da alta bacia do Rio do Coco, representado pelas sub-bacias do Alto Rio do Coco, Ribeirão Piedade e Ribeirão Surubim apresentou 60,07% de áreas cobertas por algum tipo de uso, tendo o compartimento da baixa bacia do Rio do Coco (Baixo Rio do Coco e Ribeirão Prata) um percentual de 53,45%. Este maior percentual de áreas antropizadas no compartimento da alta bacia pode estar relacionado com o processo de desenvolvimento da região, como a maior proximidade de áreas urbanas importantes e como a disponibilidade de infra-estrutura (estradas para a circulação de bens e serviços).

Um ponto importante que merece ser destacado trata-se da criação do Estado do Tocantins e da construção da BR 153, tais atividades além de proporcionarem a criação e o desenvolvimento de algumas cidades importantes, como o caso de Paraíso do Tocantins (construída as margens da rodovia), conduziram ao aumento da população local e a consolidação de alguns aglomerados populacionais já existentes. Desse modo, pressupõe-se que todo esse processo de desenvolvimento proporcionou a abertura de áreas naturais para a implantação de diversas atividades, com destaque para a pastagem que se expandiu rapidamente na região.

No compartimento que compreende a baixa bacia do Rio do Coco o desmatamento e a implantação das atividades de uso do solo ocorreram mais lentamente. Uma das justificativas são a maior distância dos aglomerados urbanos mais desenvolvidos e a escassa disponibilidade de estradas e infra-estrutura. Além dos fatores relatados, há de se destacar a presença das unidades de conservação locais (Parque Estadual do Cantão e a APA Ilha do Bananal/Cantão), as quais podem ter inibido o processo de desenvolvimento comparado ao verificado na alta bacia, pois, cabe mencionar, que todo o compartimento da baixa bacia está inserido nas unidades de conservação citadas.

Especificamente, em relação às sub-bacias, observa-se que, praticamente, todas encontram-se com atividades de uso acima de 50%, exceto a sub-bacia do Baixo Rio do Coco que totalizou 48,95% de atividades antrópicas. Em se tratando de áreas com maiores percentuais de uso do solo, as sub-bacias do Ribeirão Surubim e Ribeirão Prata apresentaram resultados semelhantes, com 64,45% e 63,21%, consecutivamente.

No caso da sub-bacia do Alto Rio do Coco foram mapeadas 59,99% de áreas antrópicas e 40,01% de áreas naturais. O uso com a pastagem teve destaque com 58,08%, seguido pela área urbana com 1,51%, representando o município de Paraíso do Tocantins. Já em relação às áreas naturais, o Cerrado Sentido Restrito Denso se sobrepõe com 18,28%, seguido pela classe de Formações Florestais 17,78%.

Para a sub-bacia do Ribeirão Piedade observou-se 57,35% de uso antrópico e 42,65%

de áreas naturais. A pastagem nesta região também predominou com 56,4%, seguido por 0,77% de agricultura. As classes de cobertura vegetal dominantes são as Formações Florestais com 22,79% e Cerrado Sentido Restrito Denso com 15,57%.

A sub-bacia do Baixo Rio do Coco apresentou 48,95% de sua área com uso contra 51,04% com áreas naturais. Em relação ao uso, a pastagem se sobressai com 42,06%, seguida pela agricultura com 6,36%. Por outro lado, as áreas naturais se destacam com 26,01% de Formações Florestais, 13,04% de Cerrado Sentido Restrito Ralo e 9,98% de Cerrado Sentido Restrito Denso.

No geral, pode-se considerar a pastagem como atividade dominante em comparação com as outras classes de uso, se sobrepondo em todas as regiões, principalmente, nas sub-bacias do Ribeirão Surubim com 61,84%, Ribeirão Prata 60,61%, Alto Rio do Coco 58,08% e Ribeirão Piedade 56,4%. Já a agricultura apesar de incipiente, tem avançado bastante nos últimos anos nas áreas que abrangem as sub-bacias do Baixo Rio do Coco (6,36%), Ribeirão Prata (2,32%) e Ribeirão Surubim (2,3%).

O predomínio da pastagem em relação às outras atividades tem ligação com o histórico de ocupação do Estado. Lima (2014, p. 68) ressalta que no Tocantins, a pecuária é uma atividade que indiscutivelmente acompanhou a formação do espaço para a entrada do capital. Desde a abertura de caminhos nas matas e cerrados à espoliação e especulação de terras pelas elites que lideraram os movimentos de separação do estado de Goiás.

A prevalência da pastagem em bacias hidrográficas é também comumente encontrada em outros estudos de cobertura e uso da terra ao longo do país. Nunes et al. (2015, p. 695) ao realizarem pesquisas em uma microbacia no município de Alta Floresta (MT), observaram que 54,6% das áreas possuíam conflito de uso, sendo destes 47,7% representado pela pastagem.

#### **6.4.4 Conflitos de uso nas áreas de preservação permanente**

A Figura 6.7 apresenta uma análise dos conflitos de uso existente em relação às áreas de preservação permanente de cursos d'água da bacia hidrográfica do Rio do Coco e de suas sub-bacias. Nela é possível observar o percentual de APP preservada ainda presente para cada bacia e as áreas com presença de uso.



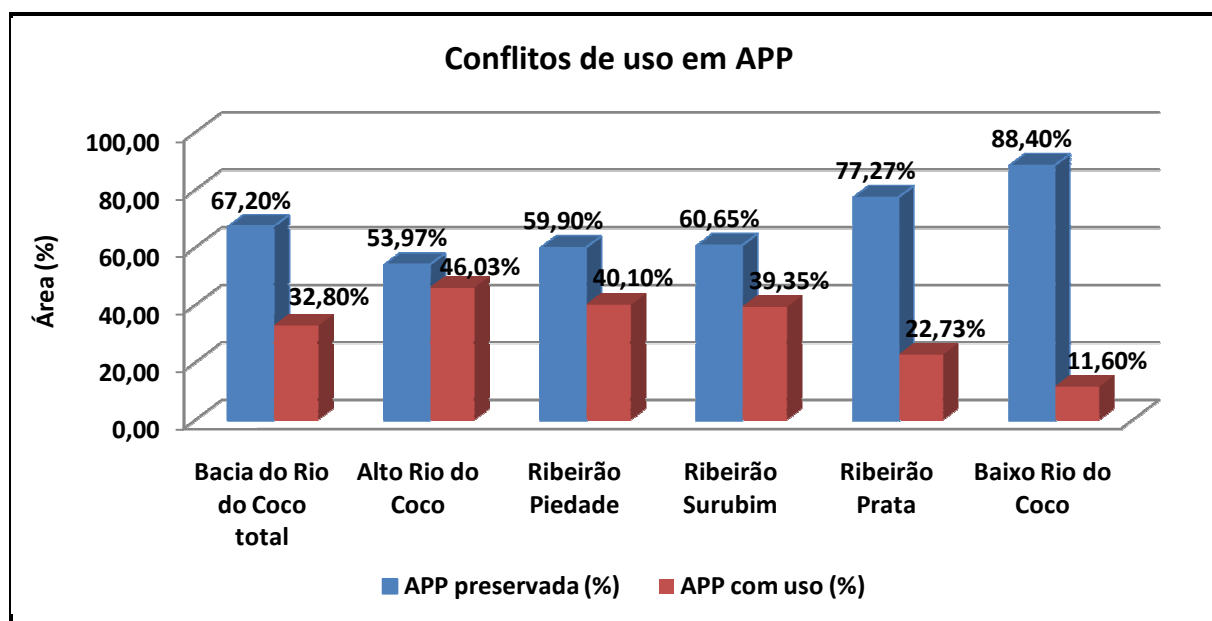


Figura 6.7 – Conflitos de uso em APPs nos compartimentos da bacia do Rio do Coco.

De acordo com a Figura 6.7, a bacia do Rio do Coco apresenta 32,8% de áreas com conflitos de uso em APP, sendo destes 32,37% representados pelos conflitos com a pastagem. Resultados semelhantes também foram encontrados por Pinto et al. (2011, p. 6.222) após estudos em áreas de preservação permanente nas cabeceiras do Alto Rio Paraguai, onde foram identificados 36,85% de áreas com conflitos de uso em APP e por Silva et al. (2016, p. 08) na bacia do Ribeirão dos Pinheirinhos em Brotas (SP) com 32,09% das APPs ocupadas com alguma atividade irregular. Nos estudos citados, as irregularidades foram representadas, principalmente, pela pastagem e agricultura.

O cenário apresentado é preocupante, especialmente, por ocuparem áreas destinadas à preservação. Segundo Rodrigues et al. (2015, p. 3.108), as áreas marginais de proteção dos rios são importantes elementos para a preservação e estabilidade do regime fluvial. Desse modo, a exposição do solo causada pela remoção da cobertura vegetal pode levar a compactação, que contribui para a diminuição da porosidade e da permeabilidade do solo, provocando a diminuição na retenção de água e, por conseguinte o assoreamento dos corpos d'água locais (GONÇALVES et al., 2016, p. 268). Durante a classificação observou-se um número elevado de cursos d'água com suas respectivas faixas de APPs totalmente destruídas pelos diversos tipos de usos desenvolvidos na região. Tal situação tende a potencializar a capacidade de produção de sedimentos na bacia, uma vez que pode haver constantes perdas de solos por erosão.

Quando se analisa separadamente as sub-bacias, conclui-se que os conflitos de uso da terra atingem percentuais variados, chegando até 46,03%, conforme apresentado para o Alto

Rio do Coco, a qual apresentou maior percentual de uso em APP, seguido pelas sub-bacias dos Ribeirões Piedade e Surubim com 40,1% e 39,35%, consecutivamente. Tais resultados confirmam o processo histórico de ocupação na região da alta bacia.

Em relação às demais áreas analisadas, a sub-bacia do Baixo Rio do Coco foi a que apresentou menor conflito em APP, com 11,6%, seguido pela sub-bacia do Ribeirão Prata com 22,73%.

No geral, o grupo de sub-bacias pertencentes ao compartimento da alta bacia do Rio do Coco apresentou mais uso em áreas de preservação permanente comparado as sub-bacias do compartimento da baixa bacia do Rio do Coco. Por sua vez, os resultados encontrados indicam uma ligação com o processo de uso e ocupação das terras na região, influenciados, principalmente, pela atividade agropecuária. Por outro lado, é interessante destacar também que o sistema de drenagem das bacias analisadas podem também ter influenciado nos resultados. A alta bacia possui maior número de canais por área e, consequentemente necessita de mais áreas destinadas a APP.

A Figura 6.8 mostra os conflitos de uso da terra identificados para as áreas de preservação permanente nas sub-bacias da bacia do Rio do Coco.

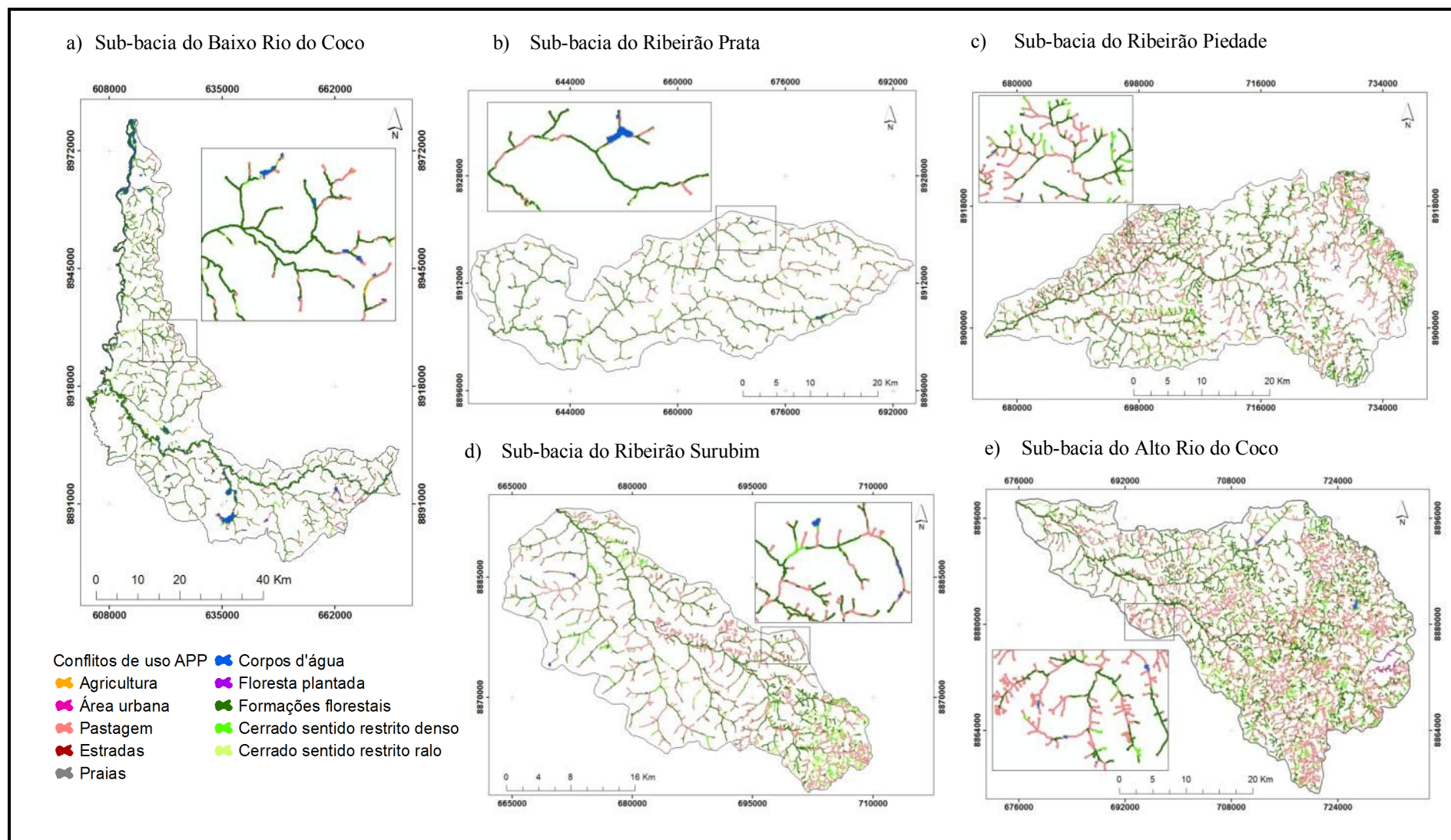


Figura 6.8 - Conflitos de uso da terra nas áreas de preservação permanente nas sub-bacias do Rio do Coco. Fonte: Elaborado pelo autor.

Conforme demonstrado na Figura 6.8, as sub-bacias da alta bacia do Rio do Coco (Alto Rio do Coco, Ribeirão Piedade e Ribeirão Surubim) possuem uma densidade de drenagem mais desenvolvida em relação às sub-bacias da baixa bacia do Rio do Coco (Baixo Rio do Coco e Ribeirão Prata). Essa assertiva pode ser confirmada pelos resultados obtidos por Almeida et al. (2016, p. 88) em estudos morfométricos realizados na bacia hidrográfica do Rio do Coco, a qual foi subdividida, quanto a sua drenagem em: a) bem drenada – sub-bacia do Alto Rio Coco (2,104 km/km<sup>2</sup>); b) drenagem média – sub-bacias do Ribeirão Piedade (1,55 km/km<sup>2</sup>) e Ribeirão Surubim (1,321 km/km<sup>2</sup>) e c) drenagem pobre – sub-bacias do Ribeirão Prata (0,62 km/km<sup>2</sup>) e Baixo Rio Coco (0,636 km/km<sup>2</sup>).

Por sua vez, o elevado conflito de uso em de APP para o compartimento da alta bacia (Alto Rio do Coco, Ribeirão Piedade e Surubim) sugere uma relação com o maior número de canais de primeira ordem. No geral, dentro do contexto histórico de ocupação do solo em propriedades rurais é dada pouca importância a estes canais, os quais, na maioria das vezes, são degradados pelo avanço das atividades antrópicas nas áreas destinadas a proteção.

Freitas et al. (2013, p. 445 e 448) chamam a atenção em relação as práticas de ocupação em canais de ordens inferiores, pois estas são áreas muito sensíveis e, em sua grande maioria, estão localizadas em relevo acidentado, com maior suscetibilidade aos processos erosivos. Os autores ao realizarem estudos na bacia hidrográfica do Rio Jundiá-Mirim constataram a presença de 55,4% de ocupações irregulares em APPs, centralizadas, principalmente nestes canais, concluindo que a concentração de usos nessas regiões tendem a potencializar os impactos gerados em toda a bacia

Outro aspecto que merece atenção em relação aos conflitos existentes nas áreas de preservação permanente refere-se a não garantia de recuperação das áreas degradadas pela legislação ambiental. A Lei n°. 12.651/2012 trouxe grandes mudanças nos processos de recuperação destas, pois desobriga as propriedades rurais que possuem área rural consolidada em APP de recuperarem a largura mínima exigida para o curso d'água, sendo a recuperação definida de acordo com o tamanho do imóvel e não de acordo com a largura do corpo hídrico.

Soares-Filho et al. (2014, p. 363) estimam uma redução de 22% dos passivos ambientais com áreas de preservação permanente em função das novas regras impostas pelo Código Florestal. Almeida e Vieira (2014, p. 484) constataram essa realidade ao analisarem 608 propriedades com CAR no município de Moju (PA), onde observaram 9.202,21 ha de passivo ambiental em APPs, entretanto, destes, somente 3.617,21 ha estão sujeitas à recomposição, ou seja, haverá uma perda de 60,69% da área total de APPs nessas propriedades, que legalmente deixarão de ser restauradas com a aplicação do novo código

florestal, uma vez que muitos usos existentes são considerados consolidados. Nesta perspectiva, Siqueira et al. (2016, p. 581) ao estudarem os aspectos ecológicos da vegetação lenhosa em áreas de preservação permanente observaram que a presença de áreas consolidadas podem trazer alterações na estrutura e funcionamento das APPs existentes no Brasil com perdas significativas de espécies e indivíduos, fazendo com que estas áreas deixem de cumprir as funções ambientais previstas na legislação.

Tendo em vista as discussões aqui apresentadas faz-se necessário o estabelecimento de um planejamento ambiental e territorial eficiente, voltado, principalmente, a efetiva proteção e conservação das áreas legalmente protegidas, de modo a garantir a manutenção da qualidade ambiental de toda a bacia, uma vez que as práticas de uso e ocupação do solo inadequado têm efeitos sobre todo o sistema hidrográfico.

## 6.5 CONCLUSÕES

Os resultados da análise da cobertura e uso da terra da bacia hidrográfica do Rio do Coco e suas implicações sobre as áreas de preservação permanente permitem concluir que:

- A bacia do Rio do Coco apresenta 56,91% de sua área total coberta por usos antrópicos, sendo a pastagem o uso predominante com 53,37%. Tal fato sugere grande relação com os processos de ocupação na região, sendo esta atividade, comparada às demais, com menor dependência topográfica e insumos;
- Apesar de dominante em toda a bacia, a pastagem, na maioria dos casos, apresenta baixa qualidade, uma vez que são poucos os investimentos financeiros e ambientais realizados, exigindo da atividade a ocupação de extensas áreas, nas quais muitas vezes o cerrado e as áreas de proteção se incluem;
- A atividade agrícola, embora ainda incipiente, representa 2,9% do uso na bacia. Esta tem avançado nos últimos anos, ocupando as áreas mais planas, especialmente nos municípios de Marianópolis, Caseara e Chapada de Areia, mantendo a pastagem nas regiões com relevo mais ondulado;
- Há ainda na bacia 43,1% de áreas naturais, representados pelos corpos d'água, pelas praias e pela cobertura vegetal, sendo a classe de Formações Florestais prevalecente, cobrindo 20,75% da área total da bacia;
- Todas as sub-bacias analisadas encontram-se com atividades de uso acima de 50%, exceto a sub-bacia do Baixo Rio do Coco que totalizou 48,95% de atividades antrópicas;

- As sub-bacias dos Ribeirões Surubim e Prata apresentaram maiores percentuais de uso do solo com 64,45% e 63,21%, respectivamente;
- A pastagem também se sobrepôs como atividade dominante nas sub-bacias avaliadas, com destaque para o Ribeirão Surubim com 61,84%, Ribeirão Prata 60,61%, Alto Rio do Coco 58,08% e Ribeirão Piedade 56,4%;
- Foi verificado 32,8% de conflitos de uso em áreas de preservação permanente de cursos d'água em toda a bacia do Rio do Coco, sendo destes 32,37% representados pelos conflitos com a pastagem;
- Comparativamente as demais sub-bacias analisadas, a sub-bacia do Alto Rio do Coco apresentou maior percentual de conflitos em APP (46,03%), seguido pelas sub-bacias dos Ribeirões Piedade, Surubim, Prata e Baixo Rio do Coco com 40,1%, 39,35%, 22,73% e 11,6%, consecutivamente.
- Os maiores percentuais de conflitos de uso em APP nas sub-bacias da alta bacia do Rio do Coco tendem a potencializar a ocorrência de processos erosivos e, por conseguinte influenciar no volume de sedimentos entregues por estas bacias;
- Os elevados percentuais de conflito para as áreas de preservação permanente de cursos d'água nas sub-bacias em estudo indicam ligação com as formas de uso e ocupação das terras na região, influenciados, principalmente, pela atividade agropecuária;
- Os maiores impactos sentidos pelas sub-bacias do compartimento da alta bacia do Rio do Coco (Alto Rio do Coco, Ribeirão Piedade e Surubim) sugerem grande relação com o sistema de drenagem destas, principalmente, pelo elevado número de canais de ordens inferiores, os quais, em sua maioria, são primeiramente degradados pelas atividades antrópicas;
- A flexibilização da legislação ambiental vigente, no que diz respeito à manutenção de áreas consolidadas em APPs tende agravar o quadro de degradação ambiental apresentado para a bacia do Rio do Coco e suas sub-bacias com efeitos diretos sobre a qualidade ambiental de todo o sistema.

Por fim, o estudo da cobertura e uso da terra da bacia do Rio do Coco mostrou-se relativamente eficiente no que diz respeito à identificação e quantificação de áreas naturais e antrópicas, bem como na quantificação dos conflitos de uso existentes em relação às áreas de preservação permanente de cursos d'água, sendo possível, desse modo, compreender a distribuição dos usos em toda a bacia e de que forma os mesmos tem afetado as áreas legalmente protegidas e poderão contribuir para o aumento na produção e transporte de sedimentos na bacia.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, Rejane Freitas Benevides; BAYER, Maximiliano; FERREIRA JÚNIOR, Laerte Guimarães. Compartimentação morfométrica da Bacia do Rio do Coco como subsídio a análise de fragilidade ambiental. **Mercator**, Fortaleza, v. 15, n. 4, p. 88, out./dez., 2016.

ALMEIDA, Arlete Silva; VIEIRA, Ima Célia Guimarães. Conflitos no uso da terra em Áreas de Preservação Permanente em um pólo de produção de biodiesel no Estado do Pará. **Rev. Ambient. Água**, v. 9, n. 3, p. 484 – 485, Taubaté (SP), jul./sep., 2014.

APARECIDO, Camila Fernandes Ferreira; VANZELA, Luiz Sergio; VAZQUEZ, Gisele Herbst; LIMA, Ronaldo Cintra. Manejo de bacias hidrográficas e sua influência sobre os recursos hídricos. **Irriga**, Botucatu, v. 21, n. 2, p. 241 e 250, maio - junho, 2016.

AQUINO, Sâmia; STEVAUX, José Cândido; LATRUBESSE, Edgardo Manuel. Regime hidrológico e aspectos do comportamento morfohidráulico do Rio Araguaia. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, ano 6, n. 2, p. 31, 2005.

BRASIL. **Lei nº. 12.651 de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa.

BRASIL. **Resolução Conama nº. 302/2002, de 20 de março de 2002**. Dispõe sobre os parâmetros, definições e limites de áreas de preservação permanente de reservatórios artificiais e o regime de uso do entorno.

CAMPOS, Sérgio; SILVEIRA, Gabriel Rondina Pupo da; PISSARRA, Teresa Cristina Tarlé; FELIPE, Andrea Cardador; GARCIA, Yara Manfrin; CAMPOS, Mariana. Diagnóstico do uso do solo em APP na microbacia do Córrego Santo Antonio - São Manuel (SP) em função da legislação ambiental. **Revista Eletrônica Geoaraguaia**, Barra do Garças – MT, v. 3, n.2, p. 200, agosto/dezembro. 2013.

CONGALTON, Russell G. Thematic and Positional Accuracy Assessment of Digital Remotely Sensed Data. In: Proceedings of the Seventh Annual Forest Inventory and Analysis Symposium. Portland, ME, October, 2005. p. 150.

DIAS-FILHO, M. B. Produção de bovinos a pasto na fronteira agrícola. In: RODRIGUES, K. F.; FERREIRA, W. M.; MACEDO JR, G. de L. (Org.). Zootec 2010 – XX Congresso Brasileiro de Zootecnia. 2010, Palmas. **Anais....** Palmas (TO), 2010. p. 132 e 135.

FERREIRA, E.; ZUANON, J.; SANTOS, G.; AMADIO, S. A ictiofauna do Parque Estadual



do Cantão, Estado do Tocantins, Brasil. **Biota Neotrop.** v. 11, n. 2, p. 278 – 279, 2011.

FREITAS, Eduardo P.; MORAES, Jener F. L. de; PECHE FILHO, Afonso; STORINO, Moisés. Indicadores ambientais para áreas de preservação permanente. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.17, n.4, p. 445 – 448, 2013.

GARCIA, Yara Manfrin. **Conflitos de uso do solo em APPs na bacia hidrográfica do Córrego Barra Seca (Pederneiras/SP) em função da legislação ambiental.** 86 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP - Campus de Botucatu (SP), 2014.

GONÇALVES, Douglas Santos; SOUZA, Patrícia Aparecida de; OLIVEIRA, Alessandro Lemos de; MARTINS, Thatyana Santiago. Diagnóstico ambiental e proposta de plano de recuperação da APP, Fazenda Santa Juliana, Cariri do Tocantins – TO. **Nucleus**, v.13, n.1, p. 268, abr, 2016.

GUIMARÃES, Clécia Cristina Barbosa; VALLADARES, Gustavo Souza; MARTINS, Claudia Miranda; SAYÃO, Veridiana Maria. Landscape structure in the upper course of the Banabuiú River, state of Ceará, Brazil. **R. Ra’e Ga** – Curitiba, v. 36, p. 132, abr., 2016.

GURNELL, A. M.; BUSSETTINI, M.; CAMENEN, B; DEL TÁNAGO, M. González; GRABOWSKI, R. C.; HENDRIKS, D.; HENSHAW, A; LATAPIE, A.; RINALDI, M.; SURIAN, N. (2014). **A hierarchical multiscale framework and indicators of hydromorphological processes and forms. Deliverable 2.1, Part 1, of REFORM (REstoring rivers FOR effective catchment Management), a Collaborative project (large-scale integrating project) funded by the European Commission within the 7th Framework Programme under Grant Agreement 282656.** 102 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Estimativas da população residente nos municípios brasileiros com data de referência em 1º de julho de 2016.** Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2016/estimativa>. Acesso em: 26 de outubro de 2016.

LIMA, Débora Assumpção. **A expansão da soja na fronteira agrícola moderna e as transformações do espaço agrário tocantinense.** 40, 42, 68 e 141 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual de Campinas/instituto de Geociências. Campinas (SP), 2014.

NUNES, Emanuel Junior da Silva; SILVA, Edgley Pereira da; SOUZA, Eliana de; ROCHA FILHO, Jesulino Alves da; SILVA, Diana Suzete Nunes da. Geotecnologias no diagnóstico de conflitos de uso do solo de uma microbacia do município de Alta Floresta – MT. **Ciência**

**Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 3, p. 695, jul./set., 2015.

PINTO, Carlos Eduardo Toniazzi; CURVO, Rodolfo José de Campos; ROSSETE, Amintas Nazareth; VIEIRA, Lucimar Rodrigues. Conflitos ambientais em áreas de preservação permanente nas cabeceiras do Alto rio Paraguai em Diamantino/MT e Alto Paraguai/MT – Brasil. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR. 2011, Curitiba. **Anais....** Curitiba (PR), Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011. p. 6.222.

PRADO, Licius de Albuquerque; MIZIARA, Fausto; FERREIRA, Manuel Eduardo. Expansão da fronteira agrícola e mudanças no uso do solo na região Sul de Goiás: ação antrópica e características naturais do espaço. **Boletim Goiano de Geografia**, Goiânia, v. 32, n. 1, p. 153 – 164, jan./jun., 2012.

PRINA, Bruno Zucuni; TRENTIN, Romário. GMC: Geração de Matriz de Confusão a partir de uma classificação digital de imagem do ArcGIS. In: XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR. 2015, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa (PB), Brasil, 25 a 29 de abril de 2015. p. 137.

RODRIGUES, A. da. C.; GARCIA, P, H. M.; PINTO, A. L. Diagnóstico da composição ripária na bacia hidrográfica do Córrego Taboca, no município de Três Lagoas – MS – 2014. **Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros**, Três Lagoas, v. 22, n. 12, p.179, nov. 2015.

RODRIGUES, A. J.et al. Diagnóstico ambiental de um trecho da área de preservação permanente (APP), margens do Córrego Pouso do Meio, em Gurupi - TO. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 11, n. 21, p. 3.108, jun. 2015.

ROMERO, Fabián I.; COZANO, Miguel A.; GANGAS, Rodrigo A.; NAULIM, Paulette I. Zonas ribereñas: protección, restauración y contexto legal en Chile. **Bosque** 35(1), p. 11. 2014.

SILVA, Gabriella Cynara Minora; COSTA JÚNIOR, Nivaldo Patrício; SILVA, Fernando Moreira. Caracterização do uso da terra no município de Areia Branca – RN, por técnicas de sensoriamento remoto. São Paulo, UNESP, **Geociências**, v. 33, n. 2, p. 315. 2014.

SILVA, Jéssica Luane; TONELLO, Kelly Cristina; VALENTE, Roberta Aversa; MINGOTI, Rafael. Diagnóstico ambiental como subsídio à restauração florestal e manutenção hidrológica da Bacia do Ribeirão dos Pinheirinhos, Brotas – SP. **Irriga**, Botucatu, v. 21, n. 1, p. 08, jan./mar., 2016.

SIQUEIRA, Mariana Nascimento; MORAIS, Alessandro Ribeiro; FARIA, Karla Maria da

Silva; CASTRO, Selma Simões. Ecological aspects related to ligneous vegetation in the permanent preservation areas of Mineiros, Goiás, in light of the new native vegetation protection policy - Law 12.651/2012. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.40, n.4, p.581, 2016.

SOARES-FILHO, Britaldo; RAJÃO, Raoni; MACEDO, Márcia; CARNEIRO, Arnaldo; COSTA, William; COE, Michael; RODRIGUES, Hermann; ALENCAR, Ane. Cracking Brazil's Forest Code. **Science**, v. 363, n. 25, p. 363, abril, 2014.

SOUSA, Silvio Braz de; FERREIRA, Laerte Guimarães. Mapeamento da cobertura e uso da terra: uma abordagem utilizando dados de sensoriamento remoto óptico multitemporais e provenientes de múltiplas plataformas. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 66, v. 2, p. 329, 2014.

SOUZA, Shislene Rodrigues; MACIEL, Maria de Nazaré Martins; OLIVEIRA, Francisco de Assis; JESUÍNO, Stephan de Almeida. Caracterização do conflito de uso e ocupação do solo nas áreas de preservação permanente do Rio Apeú, nordeste do Pará. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 42, n. 4, p. 705, out./dez. 2012.

STRAHLER, A. N. Hypsometric (area-altitude) analysis and erosional topography. **Geological Society of America Bulletin**, v. 63, p. 1117 – 1142. 1952.

VARGAS, Reinaldo Romero; SAAD, Antonio Roberto; DALMAS, Fabrício Bau; ROSA, Arnaldo; ARRUDA, Regina de Oliveira Moraes; MESQUITA, Marisa Vianna; ANDRADE, Márcio Roberto Magalhães de. Water Quality Assessment in the Córrego Taquara do Reino Hydrographic Basin, Guarulhos Municipality (São Paulo State - Brazil): Effects of Environmental Degradation. **Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ**, v. 38, n. 2, p. 138. 2015.

ZANATA, Marcelo; PISSARRA, Teresa Cristina Tarlé; FERRAUDO, Antonio Sergio; RANZINI, Mauricio; CAMPOS, Sergio. Effect of soil use on the quality of water resource in watershed using multivariate statistical analysis. **Irriga**, Botucatu, v. 20, n. 4, p. 787, out./dez., 2015.

## **7 PRODUÇÃO E TRANSPORTE DE SEDIMENTOS NA BACIA DO RIO DO COCO, TOCANTINS, BRASIL**

### **RESUMO**

Este trabalho teve como objetivo avaliar a produção e o transporte de sedimentos na bacia do Rio do Coco, localizada na margem direita da bacia hidrográfica do Rio Araguaia, no estado do Tocantins. Para tanto, foram realizadas medições de descargas líquidas e sólidas no Rio do Coco e no exutório dos canais principais de suas sub-bacias mais representativas. As medições das descargas sólidas foram iniciadas no mês de novembro de 2014, sendo as descargas líquidas iniciadas em abril de 2015, as quais se estenderam até abril de 2016, por meio de coletas bimestrais. A metodologia utilizada para quantificar a carga de sólidos foi a descrita por Carvalho (2000b), já as medições de vazão foram realizadas de duas maneiras, sendo: para os rios de pequeno porte utilizou-se o medidor de vazão ADV (Acoustic Doppler Velocimeter) FlowTracker e para os rios de maior porte utilizou-se o ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler). A determinação da descarga total de sedimentos teve como base o método simplificado de Colby (1957) in Carvalho (2000a) e a produção específica de sedimentos em suspensão seguiu a metodologia descrita por Carvalho (2008). Os resultados indicaram que a região da alta bacia é responsável pela maior produção e transporte de sedimentos, com destaque para as sub-bacias do Alto Rio do Coco e Ribeirão Piedade que apresentaram concentrações elevadas em relação às demais sub-bacias durante toda a pesquisa, o que sugere uma relação direta com as características morfométricas e com os conflitos de uso do solo em APP observados para estas bacias em estudos anteriores.

Palavras-chave: Produção; Transporte; Sedimentos; Bacia do Rio do Coco.

### **ABSTRACT**

The objective of this work was to evaluate the production and transport of sediments in the Coco River basin, located on the right bank of the Araguaia River basin in the state of Tocantins. For that, liquid and solid discharges were carried out in the Coco River and in the mouth of the main channels of its most representative sub-basins. Measurements of solid discharges were initiated in November 2014, with liquid discharges being initiated in April 2015, which were extended to April 2016 through bimonthly collections. The methodology used to quantify the solids loading was described by Carvalho (2000b), flow measurements were performed in two ways, being: for the small rivers used the flow meter ADV (Acoustic Doppler Velocimeter) FlowTracker and for the larger rivers was used the ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler). The determination of total sediment discharge was based on the simplified method of Colby (1957) in Carvalho (2000a) and the specific production of suspended sediments followed the methodology described by Carvalho (2008). The results indicated that the region of the high basin is responsible for the higher production and transport of sediments, especially in the Upper Rio do Coco and Ribeirão Piedade sub-basins, which presented high concentrations in relation to the other sub-basins during the survey, which suggests a direct relation with the morphometric characteristics and the conflicts of use of the soil in PPA observed for these basins in previous studies.

Keywords: Production; Transport; Sediments; Basin of the Coco River.

## 7.1 INTRODUÇÃO

Os sedimentos são componentes naturais dos rios e parte integrante do seu funcionamento geomorfológico e ecológico (GRABOWSKI e GURNELL, 2016, p. 95), fornecendo informações importantes sobre um canal fluvial a partir de sua concentração (SCHNEIDER et al., 2014, p. 33).

De acordo com Suárez et al. (2016, p. 02), a dinâmica de transporte de sedimentos e solutos é determinada por um conjunto complexo de variáveis como litologia, clima e topografia. Panwar et al. (2016, p. 04), citam que estes fatores somados com a perturbação antrópica podem controlar significativamente a variação espacial e temporal da carga de sedimentos nos rios, afetando toda a bacia hidrográfica. Frente a isso, Suárez et al. (2016, p. 02) chamam a atenção sobre a importância em estudar a origem e o destino dos materiais transportados (naturais e antropogênicos) pelos rios, especialmente quando os ecossistemas podem ser afetados negativamente.

O estudo do transporte de sedimentos e contaminantes dentro de bacias hidrográficas pode ajudar a identificar as possíveis fontes de contaminação, bem como estimar as quantidades entregues de materiais erodidos e contaminantes a eles associados (REIS et al., 2014, p. 1051). González e Jaramillo (2010, p. 15) descrevem que os sedimentos constituem uma interseção entre os recursos do solo e os recursos hídricos e que as mudanças nos padrões de sedimentos podem ser reflexos das alterações no uso do solo de uma bacia e aproveitamento da mesma.

Dentre as principais causas das perdas de solo em bacias hidrográficas, destaca-se a mobilização de sedimentos causados pela erosão de terras, fortemente ligada à mudança no uso do solo (Hartwig, et al., 2016, p. 03). Costa et al. (2016, p. 285) destacam como principais contribuintes para as perdas de solos, o manejo inadequado por meio de práticas agrícolas intensivas e a falta de manejo em áreas cultivadas com pastagens e o desmatamento.

Dentro desse processo, a vegetação tem um papel de fundamental importância, sendo a diminuição do escoamento superficial uma de suas principais funções hidrológicas (RODRIGUES et al., 2015, p. 08). Esta atua como um regulador de entrada e permanência de água no solo, sendo a sua remoção, um potencializador para os efeitos pluvioerosivos, uma vez que o solo fica exposto (ANTONELI, 2011, p. 39).

Segundo Hartwig, et al. (2016, p. 02), quando a degradação ocorre nas áreas de mata ciliar, a estabilidade das margens dos rios tende a ser tornar enfraquecidas, potencializando a entrada de sedimentos para o corpo hídrico. O problema se agrava, sobretudo, quando a área

apresenta naturalmente características topográficas e propriedades dos solos que favorecem as perdas por erosão que somados às práticas de uso inadequado do solo e o desmatamento acentuam todo o processo.

Portanto, o monitoramento do fluxo de sedimentos em um determinado local possibilita diagnosticar os impactos potenciais presentes na área de drenagem ao longo do tempo, o que pode ser um importante indicador ambiental (SCHNEIDER et al., 2014, p. 32). Assim, o entendimento da dinâmica de sedimentos é de fundamental importância para os estudos envolvendo bacias hidrográficas, uma vez que os resultados podem ser determinantes no processo da gestão adequada dos recursos hídricos. Neste sentido, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a produção e o transporte de sedimentos na bacia do Rio do Coco e de seus principais rios constituintes, identificando as áreas com maiores contribuições para o Rio do Coco e o papel das mesmas dentro do processo hidrossedimentológico na bacia.

## **7.2 ÁREA DE ESTUDO**

A bacia do Rio do Coco localiza-se na margem direita da bacia hidrográfica do Rio Araguaia (AQUINO et al., 2005, p. 31), no estado do Tocantins, entre os municípios de Caseara, Marianópolis do Tocantins, Divinópolis do Tocantins, Monte Santo, Paraíso do Tocantins, Chapada de Areia, Pium e Barrolândia. Esta bacia é classificada como de 7º ordem, de acordo com Strahler (1952) e ocupa uma área aproximada de 6.670 Km<sup>2</sup>. O principal curso d'água na bacia é o Rio do Coco, o qual possui um comprimento de aproximadamente 356 Km. As nascentes principais estão localizadas no município de Paraíso do Tocantins, nas proximidades da Serra do Estrondo e sua foz localiza-se na cidade de Caseara. Além do Rio do Coco, a bacia possui outros cursos d'água de grande relevância, dentre os quais destacam-se: o Ribeirão Piedade, o Ribeirão Surubim e o Ribeirão Prata.



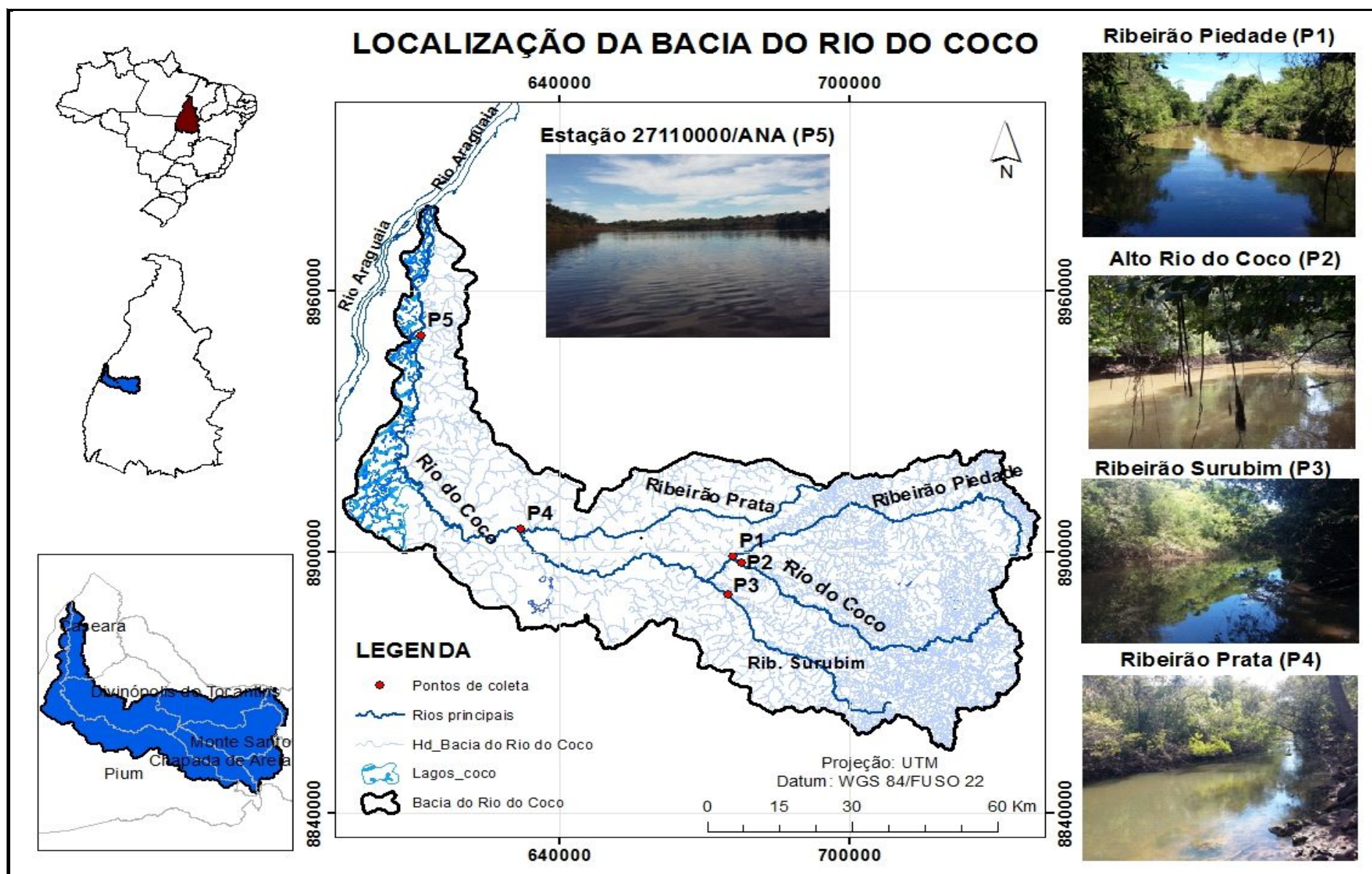


Figura 7.1 – Localização da bacia do Rio do Coco, com destaque para o posicionamento dos pontos de monitoramento. Fonte: Elaborado pelo autor.



### 7.3 METODOLOGIA

Os procedimentos metodológicos para o desenvolvimento do trabalho podem ser visualizados no resumo esquemático abaixo (Figura 7.2).

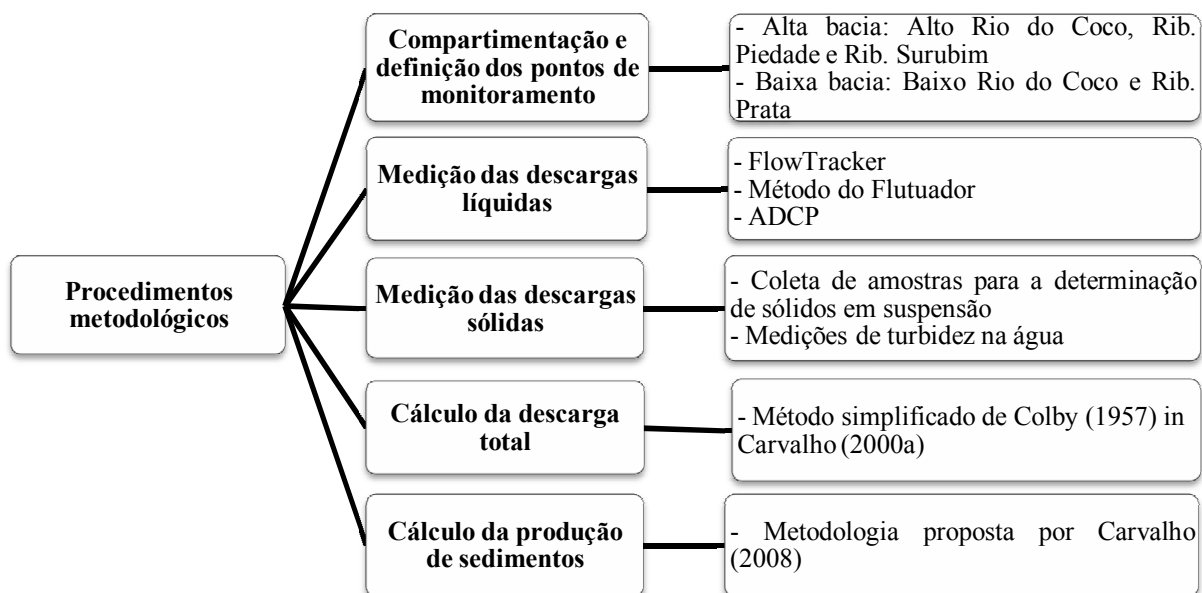


Figura 7.2 – Resumo esquemático dos procedimentos metodológicos utilizados no trabalho.

#### 7.3.1 Compartimentação da bacia e definição de pontos de monitoramento

A compartimentação da bacia do Rio do Coco foi realizada com base na divisão de suas sub-bacias principais, utilizando o critério de ordens das bacias analisadas, conforme classificação de Sthraler (1952). Na região da alta bacia ficaram as sub-bacias de 6º ordem: Alto Rio do Coco, Ribeirão Piedade e Ribeirão Surubim, já na região da baixa bacia foram incluídas as sub-bacias do Ribeirão Prata (5º ordem) e Baixo Rio do Coco (7º ordem).

Com a identificação das principais sub-bacias que integram a bacia do Rio do Coco foi possível identificar os principais canais de drenagem que contribuem com a produção e transporte de sedimentos para a mesma. Para cada canal foram definidas seções de medição, onde foram realizadas medições de descargas líquidas e sólidas.

Vale ressaltar que a seção de medição da sub-bacia do Baixo Rio do Coco está localizada em um trecho onde já recebeu toda a drenagem das sub-bacias analisadas neste estudo (Alto Rio do Coco, Ribeirão Piedade, Ribeirão Surubim e Ribeirão Prata), sendo considerado o exutório da grande bacia do Rio do Coco. Além disso, o local escolhido está localizado no ponto de monitoramento hidrológico da Agência Nacional de Águas (ANA)

(Estação 27110000). A escolha do mesmo foi intencional, uma vez que é o único ponto na bacia que possui um monitoramento sistemático.

No Quadro 7.1 estão descritas as seções utilizadas para as medições das descargas líquidas e sólidas na bacia do Rio do Coco com suas respectivas coordenadas em UTM.

Quadro 7.1 – Localização das seções utilizadas para as medições das descargas líquidas e sólidas na bacia do Rio do Coco.

| Pontos | Localização                            | Coordenadas (UTM) | Área Total (Km <sup>2</sup> ) | Área Incremental (Km <sup>2</sup> ) |
|--------|----------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-------------------------------------|
| P1     | Ribeirão Piedade                       | 676022/8899117    | 1.203,05                      | 1.202,046                           |
| P2     | Alto Rio do Coco                       | 677759/8897443    | 1315,07                       | 1.305,157                           |
| P3     | Ribeirão Surubim                       | 674964/8890329    | 777,97                        | 561,129                             |
| P4     | Ribeirão Prata                         | 632231/8905145    | 951,64                        | 950,997                             |
| P5     | Baixo Rio do Coco/Estação 27110000/ANA | 611484/8949788    | 2.063,61                      | 6.083,56                            |

Os trabalhos de campo foram iniciados em novembro de 2014 a partir de visitas nos pontos previamente selecionados para o reconhecimento e definição das seções de medição. Procurou-se em campo trechos retilíneos, sendo evitados locais perto de confluências (desembocadura de outros canais). As seções foram identificadas por coordenadas em UTM além de marcações em estruturas (rochas e árvores) que pudessem facilitar o acesso durante o período de monitoramento.

O critério utilizado para a escolha dos pontos de monitoramento foi o de maior proximidade com a foz das bacias analisadas, pois pretendia-se avaliar a contribuição de sedimentos de cada canal para o Rio do Coco. Dessa forma, buscaram-se trechos em que não houvessem mais contribuições de outros canais, porém, para a sub-bacia do Ribeirão Surubim isso não foi possível devido as peculiaridades identificadas em campo, onde observou-se que o exutório desta bacia, no período chuvoso, é bastante influenciado pela cheia do Rio do Coco, o qual transborda sua calha alagando uma área significativa, o que determinou a escolha de um ponto de medição um pouco mais distante em relação as outras sub-bacias.

### 7.3.2 Descargas líquidas

As medições das descargas líquidas foram realizadas no período de abril de 2015 a abril de 2016, considerando os períodos de estiagem e chuvoso da região, a partir de medições bimestrais. As seções analisadas exibiram características bem distintas entre si, apresentando os canais de drenagem uma variação significativa em função da sazonalidade. Observaram-se tanto situações de transbordamento da calha dos rios no período chuvoso, como a diminuição

considerável do volume de água, chegando até mesmo a condições de intermitência temporária em alguns canais durante o período seco. Em face disso, as medições de vazão foram realizadas obedecendo às peculiaridades apresentadas pelos canais em cada período analisado, o que exigiu um intenso esforço de campo com logística e equipamentos apropriados, além de uma diversificação metodológica. Vale ressaltar que o período de coleta entre os pontos não ultrapassavam quatro dias, ou seja, todos os pontos eram amostrados num intervalo máximo de quatro dias.

Para os casos em que o curso d'água apresentou baixo volume (profundidade inferior a 1,5 metros), a vazão foi obtida por meio do medidor de vazão ADV (Acoustic Doppler Velocimeter) FlowTracker da SONTEK (Figuras 7.3 e 7.4). Vale ressaltar que em algumas poucas situações foi necessário a adoção do Método do Flutuador, de acordo Palhares et al. (2007) devido as impossibilidades de medição com o FlowTracker em campo.



Figuras 7.3 e 7.4 – Medições de vazão utilizando o FlowTracker. Fonte: Fotos tiradas pelo autor.

A vazão obtida com o FlowTracker é realizada a partir da divisão do canal de drenagem em seções entre uma margem e outra e, em cada seção, o aparelho realiza a leitura das velocidades e profundidades, sendo gerados, dessa forma, a vazão média do canal, que neste caso foi calculada usando o método Seção-Meio, conforme ANA (2009, p. 33) a partir da configuração do medidor. Na Figura 7.5 pode ser observado um exemplo de relatório, contendo os resultados oriundos de uma medição com o FlowTracker.

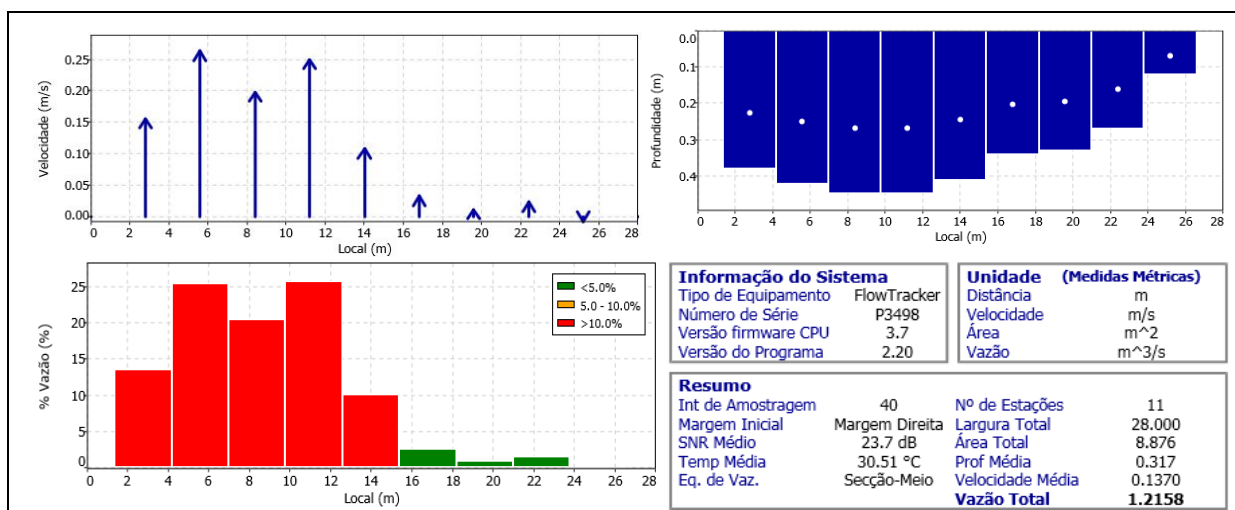
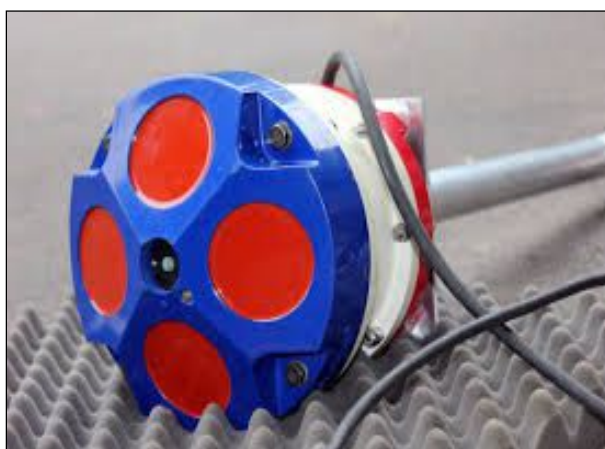


Figura 7.5 – Exemplo de relatório obtido a partir das medições com o FlowTracker.

Para as situações em que o canal de drenagem possuía maiores volumes, as medições de vazão foram realizadas por meio da utilização do ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler). Este é um aparelho utilizado tanto para medir a vazão dos cursos d'água a partir do Efeito Doppler, como também pode ser utilizado para medir o movimento com relação ao fundo do rio e a distribuição dos sedimentos em suspensão na seção de medição (ESTIGONI et al., 2009, p. 07).

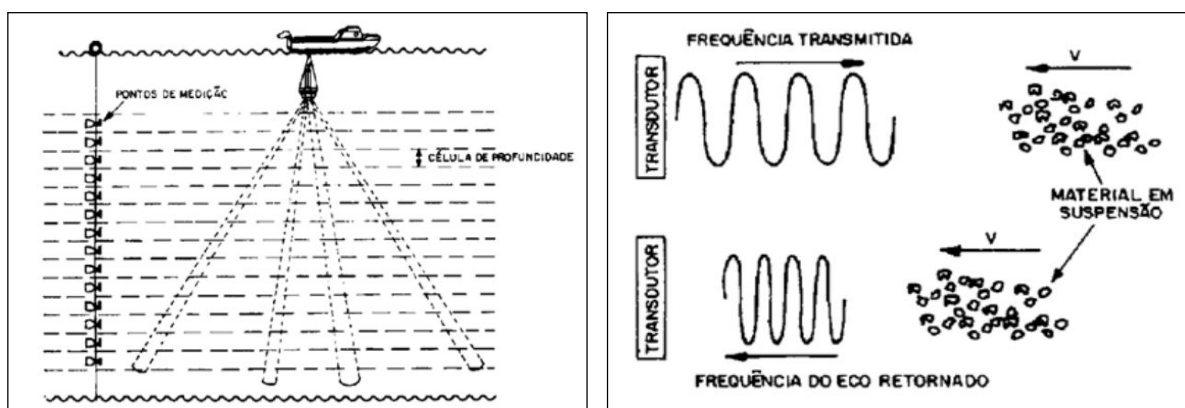


Figuras 7.6 e 7.7 – Medições de vazão utilizando ADCP. Fonte: Fotos tiradas pelo autor.

O ADCP transmite ondas sonoras através da água (Figura 7.8) e as partículas transportadas pela corrente refletem o som de volta. A diferença de frequências observadas tem o nome de pitch. Quando as partículas se afastam do local onde a onda sonora é emitida, o som refletido possui uma frequência e pitch inferior (doppler shift negativo) que é refletido quando a partícula se aproxima (doppler shift positivo). A mudança de frequência do sinal transmitido pelo transdutor (Figura 7.9), causada pelo movimento relativo entre o aparelho e o



material em suspensão na água sob a ação de feixes de ondas sonoras tem o nome de efeito doppler. Como o material em suspensão se desloca com a mesma velocidade da corrente, a magnitude do efeito doppler é diretamente proporcional a essa velocidade. Medindo a frequência dos ecos que retornam do material em suspensão e comparando com a frequência do som emitido, o ADCP determina, não apenas a velocidade da partícula, que é a mesma da corrente à mesma profundidade, mas também a respectiva profundidade (CUNHA, 2010, p. 46).



Figuras 7.8 e 7.9 – Técnica de leitura do ADCP. Fonte: CUNHA (2010, p. 46).

A Figura 7.10 apresenta o resultado de uma medição com o uso do ADCP. Como pode ser observado o aparelho permite a leitura de vazões ao longo de toda a seção, a partir das quais se obtém uma vazão média.

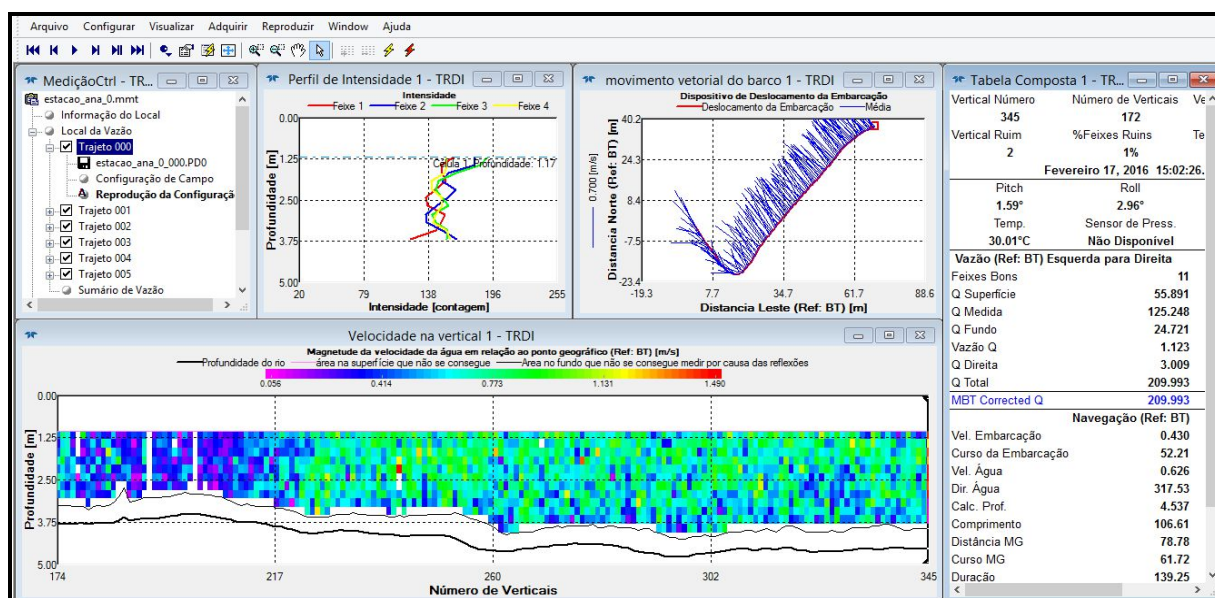


Figura 7.10 – Exemplo de informações geradas durante as medições de vazão com ADCP.

### 7.3.3 Descargas sólidas

As medições de descargas sólidas foram iniciadas em novembro de 2014 estendendo-se até abril de 2016. Ressalta-se que devido às peculiaridades da bacia em relação à exigência de estrutura e equipamentos específicos para as diferentes realidades encontradas em campo, só foi possível realizar as medições das descargas sólidas concomitantes com as descargas líquidas a partir de abril de 2015.

As descargas sólidas foram avaliadas por meio da coleta de amostras de água para a determinação dos sólidos em suspensão usando-se a técnica de amostragem por integração vertical com uso de amostradores (DH-48 e DH-59), de acordo com a metodologia descrita por Carvalho (1994).

Na amostragem por integração na vertical, a mistura água-sedimento é acumulada continuamente no recipiente, e o amostrador se move verticalmente em uma velocidade de trânsito constante entre a superfície e um ponto a poucos centímetros acima do leito, entrando a mistura numa velocidade quase igual à velocidade instantânea da corrente em cada ponto na vertical (CARVALHO, 2000b, p. 23).



Figuras 7.11 e 7.12 - Coleta de sedimentos em suspensão por integração vertical, com destaque para o amostrador (DH – 59). Fonte: Fotos tiradas pelo autor.

Após coletadas, as amostras foram acondicionadas e mantidas refrigeradas até serem encaminhadas ao Laboratório de Saneamento do Instituto Federal do Tocantins/Campus Paraíso onde foi executada a determinação da concentração dos sólidos em suspensão. Esta seguiu a metodologia proposta por Carvalho (2000b, p. 58 e 59), sendo realizada a filtragem de um volume de amostra conhecido utilizando-se uma bomba de sucção a vácuo e filtros em microfibras de vidro, com porosidade de 47  $\mu\text{m}$  de diâmetro. A concentração de sólidos totais

(mg/L) é o resultado da divisão da massa retida no filtro seco (em estufa 100-110°C durante 1 hora), pelo volume de amostra filtrada.



Figuras 7.13 e 7.14 – Análise de sólidos em suspensão, com destaque para o processo de filtragem das amostras com filtros de microfibra de vidro. Fonte: Fotos tiradas pelo autor.

A pesagem dos filtros foi realizada em balança de precisão, sendo os valores medidos em gramas (g). A concentração dos sólidos suspensos totais foi obtida a partir da seguinte fórmula:

$$C_{ss} = \frac{(P_1 - P_0) \times 1000000}{V_A} \quad (1)$$

Onde:

$C_{ss}$  = Concentração de sólidos suspensos totais (mg/L)

$P_0$  = Peso inicial do filtro em (g);

$P_1$  = Peso apresentado pelo filtro após a secagem em estufa (g)

Além das análises de concentração de sólidos em suspensão foram efetuadas, em campo, medições de turbidez da água durante todo o período de monitoramento. O equipamento utilizado para estas medições foi um turbidímetro portátil (Modelo AP2000/PoliControl).

#### 7.3.4 Cálculo da descarga suspensa

Para a determinação da descarga suspensa de sedimentos foi adotado o cálculo do transporte da descarga pelo método simplificado de Colby (1957) in Carvalho (2000a), onde são necessários os valores da descarga líquida (Q), profundidade média (p), velocidade média



da corrente ( $v$ ), largura da seção ( $L$ ) e concentração de sólidos em suspensão ( $C_{ss}$ ). A descarga suspensa é obtida conforme a equação abaixo:

$$Q_{ss} = 0,0864 \times Q \times C_{ss} \quad (2)$$

Onde:

$Q_{ss}$  – descarga em suspensão em ton/dia;

$Q$  – descarga líquida em  $m^3/s$ ;

$C_{ss}$  – concentração média em mg/L.

### 7.3.5 Cálculo da produção de sedimentos

A produção de sedimentos em suspensão ( $P_{ss}$ ) foi obtida pela equação 03 abaixo, conforme Carvalho (2008):

$$P_{ss} = \frac{Q_{ss}}{A} \quad (3)$$

Onde:

$P_{ss}$  = produção de sedimentos em suspensão ( $ton. km^{-2}. mês^{-1}$ )

$Q_{ss}$  = descarga sólida de sedimentos em suspensão ( $ton. mês^{-1}$ )

$A$  = área incremental da sub-bacia ( $km^2$ )

## 7.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 7.4.1 Concentração de sedimentos em suspensão e turbidez

A concentração de sólidos suspensos e turbidez são parâmetros importantes para a avaliação do transporte de sedimentos na água, possuindo comportamentos semelhantes, onde um parâmetro serve para validação do outro. Schneider et al. (2014, p. 35) citam que a determinação da turbidez é importante pela praticidade, menor custo e rapidez nas respostas que, apesar de não ser um dado preciso na quantificação das descargas sólidas, podem produzir informações na mesma ordem de grandeza que a determinação do transporte por quantificação de sólidos.

A Figura 7.15 apresenta a relação existente entre a concentração de sólidos suspensos totais ( $C_{ss}$ ) e turbidez nos pontos de monitoramento analisados durante o período de pesquisa.

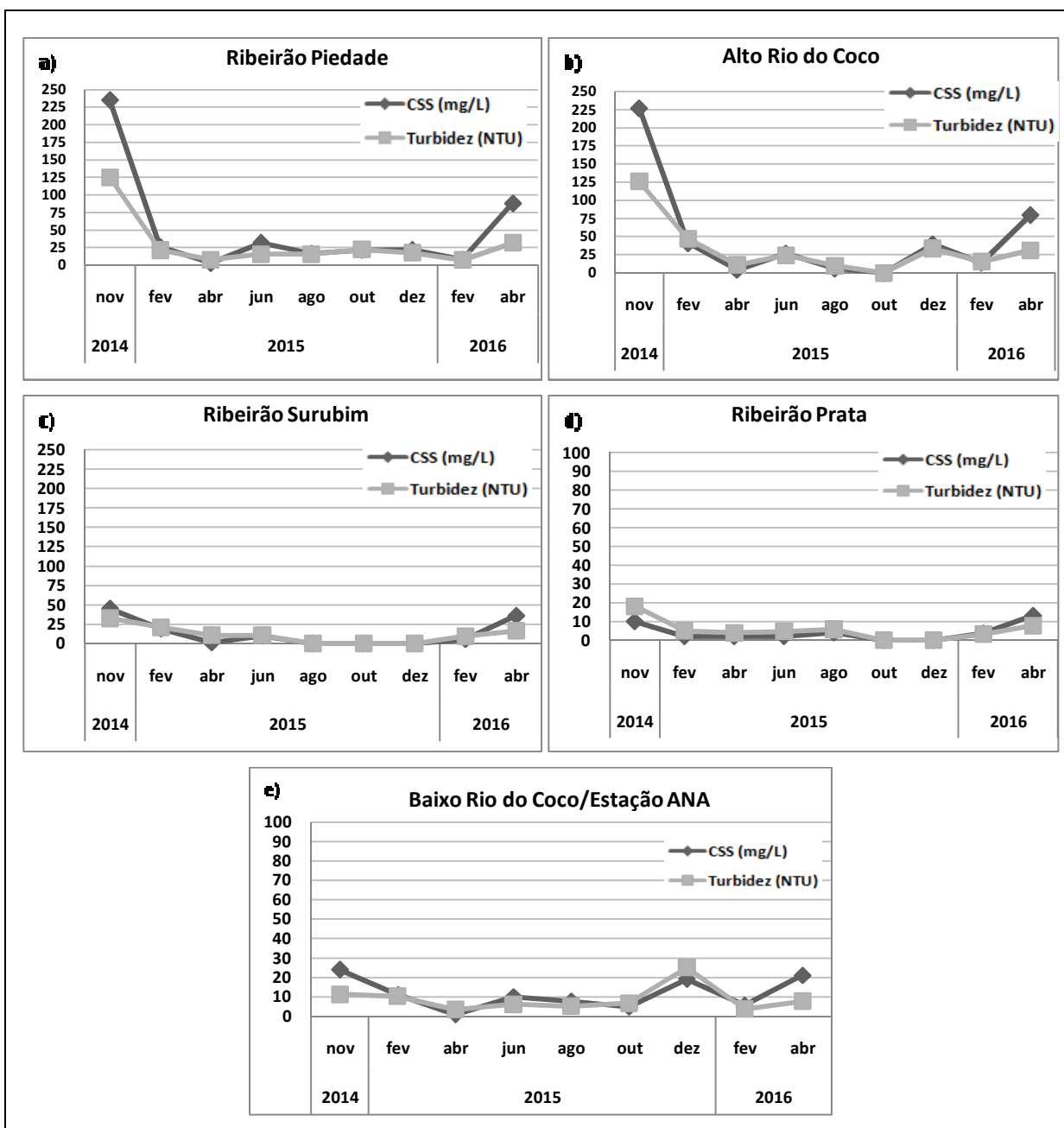


Figura 7.15 – Variação da concentração de sólidos em suspensão e turbidez nos pontos de monitoramento analisados durante o período de pesquisa.

Como pode ser observado, os pontos de monitoramento analisados tiveram comportamentos similares em relação a estes parâmetros. Verificou-se que tanto a concentração de sólidos suspensos totais como a turbidez foram influenciadas diretamente pela sazonalidade, sendo observadas elevações dos mesmos no início e fim do período chuvoso.

No que se refere à concentração de sedimentos nos compartimentos avaliados observou-se que as sub-bacias que compreendem a região da alta bacia do Rio do Coco são responsáveis pela maior produção e transporte de sedimentos, notadamente as sub-bacias do

Ribeirão Piedade e Alto Rio do Coco que apresentaram concentrações elevadas em todo o período de estudo. Tal cenário sinaliza uma relação estreita dos resultados com as características físicas destas bacias, principalmente, com densidade de drenagem das mesmas.

Santos et al. (2005, p. 42) chamam a atenção em relação a importância da densidade de drenagem no potencial de produção e transporte de sedimentos, segundo os autores, a densidade de drenagem não só apresenta uma relação direta com o potencial de transferência de sedimentos, mas também pode refletir nos outros fatores que condicionam o potencial de geração das partículas sedimentares ou erosão propriamente dita, ou seja, clima, relevo, solos, etc.

Em relação ao Ribeirão Surubim, apesar deste está inserido na alta bacia, o mesmo apresentou concentrações inferiores ao Ribeirão Piedade e Alto Rio do Coco, o que provavelmente está relacionado à diminuição das densidades de drenagem e hidrográfica desta bacia em relação às demais sub-bacias da região da alta bacia. Ressalta-se ainda que este manancial nos meses de agosto, outubro e dezembro de 2015 teve seu fluxo interrompido, impossibilitando a realização de coletas e medições de vazão. Segundo moradores locais, é comum a intermitência deste curso d'água no período seco.

Já a região que compreende a baixa bacia (sub-bacias do Ribeirão Prata e Baixo Rio do Coco) apresentou resultados de concentração de sólidos em suspensão e turbidez inferiores aos registrados para o compartimento da alta bacia, o que já era esperado. Tais sub-bacias, além de apresentarem amplitudes altimétricas inferiores, também possuem uma densidade de drenagem menor.

Resultados semelhantes foram encontrados por Hartwig et al. (2016, p. 04) ao estudarem as causas da degradação do Rio Kharaa na Mongólia em relação ao transporte de sedimentos. Os autores observaram uma mudança significativa no comportamento de erosão da área de montante para a jusante, concluindo que as áreas com inclinação elevada contribuíam mais significativamente para a carga de sedimentos em suspensão, no entanto, nas partes mais baixas da bacia, a maioria da entrada de sedimentos era gerada pela erosão marginal do rio, associada com a vegetação ciliar degradada.

A sub-bacia do Ribeirão Prata destaca-se por apresentar os menores valores em relação às demais sub-bacias analisadas. Nela também, nos meses de outubro e dezembro de 2015 não foi possível efetuar medições devido o corte de seu fluxo. Já a sub-bacia do Baixo Rio do Coco merece uma análise diferenciada, pois o ponto de monitoramento da mesma situa-se em uma região que já recebeu todos os rios principais analisados neste estudo (Alto Rio do Coco, Ribeirão Piedade, Ribeirão Prata e Ribeirão Surubim), além de situar-se em

uma área próxima aos lagos que compõem o Parque Estadual do Cantão, os quais se conectam ao Rio do Coco durante o período chuvoso. Assim, a grande oscilação apresentada nos resultados de sólidos em suspensão e turbidez em relação aos demais pontos se justificam.

Portanto, os resultados indicam uma estreita relação com as características morfométricas levantadas para a bacia do Rio do Coco, em estudos realizados por Almeida et al. (2016), confirmando que as sub-bacias da alta bacia possuem maiores suscetibilidades naturais, condicionadas por seus sistemas de drenagem e pelas características do relevo, fatores determinantes na produção e transporte de sedimentos.

#### **7.4.2 Descargas líquidas e sólidas**

As medições das descargas líquidas iniciaram-se em abril de 2015. Infelizmente, devido à logística de campo e às dificuldades encontradas em relação a equipamentos, não foi possível a realização de tais medições para os meses de novembro de 2014 e fevereiro de 2015. Contudo, a partir do mês abril de 2015 as medições de vazão começaram a ter uma melhor sistemática de coletas de dados nos pontos de monitoramento, sendo concomitantes com as medições das descargas sólidas, as quais foram realizadas até o mês de abril de 2016, com coletas de dados bimestrais.

A Tabela 7.1 apresenta os resultados das descargas líquidas e sólidas encontradas para os pontos de monitoramento analisados. Como pode ser observado, os valores são bastante variáveis entre os canais de drenagem em estudo.

Tabela 7.1 – Descargas líquidas e sólidas nas sub-bacias principais da bacia do Rio do Coco.

| Ano   | Mês | Ribeirão Piedade |             |                 | Alto Rio do Coco |             |                 | Ribeirão Surubim |             |                 | Ribeirão Prata |             |                 | Baixo Rio do Coco/Est. ANA |             |                 |
|-------|-----|------------------|-------------|-----------------|------------------|-------------|-----------------|------------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|-----------------|----------------------------|-------------|-----------------|
|       |     | Q<br>m³/s        | Css<br>mg/L | Qss<br>ton./dia | Q<br>m³/s        | Css<br>mg/L | Qss<br>ton./dia | Q<br>m³/s        | Css<br>mg/L | Qss<br>ton./dia | Q<br>m³/s      | Css<br>mg/L | Qss<br>ton./dia | Q<br>m³/s                  | Css<br>mg/L | Qss<br>ton./dia |
| 2015  | Abr | 15,8             | 3           | 4,10            | 23,2             | 4           | 8,01            | -                | 1           | -               | 10,3           | 2           | 1,77            | -                          | 1           | -               |
|       | Jun | 9,3              | 32          | 25,70           | 10,2             | 27          | 23,79           | 1,5              | 10          | 1,30            | 5,97           | 2           | 1,03            | 106,4                      | 10          | 91,96           |
|       | Ago | 1,02             | 16,8        | 1,47            | 0,27             | 6           | 0,14            | S                | S           | S               | 0,45           | 4           | 0,15            | 4,719                      | 7,6         | 3,10            |
|       | Out | 0,68             | 21,2        | 1,24            | S                | S           | S               | S                | S           | S               | S              | S           | S               | 1,13                       | 4,8         | 0,47            |
|       | Dez | 3,77             | 22          | 7,16            | 3,01             | 40          | 10,39           | S                | S           | S               | S              | S           | S               | 1,637                      | 19,2        | 2,72            |
| 2016  | Fev | 21,4             | 8           | 14,81           | 16,3             | 14          | 19,66           | 15,5             | 5,2         | 6,98            | 10,1           | 3,6         | 3,15            | 208,9                      | 5,6         | 101,07          |
|       | Abr | 13,8             | 88          | 105,00          | 7,35             | 80          | 50,80           | 4,93             | 36          | 15,33           | 8,23           | 13          | 9,24            | 105,1                      | 21          | 190,68          |
| Média |     | 9,4              | 27,29       | 22,78           | 10,04            | 28,5        | 18,8            | 7,32             | 13,05       | 7,87            | 7,00           | 4,92        | 3,07            | 71,32                      | 9,98        | 65,00           |

Nota: Q = vazão (m³/s); Css = concentração de sedimentos em suspensão (mg/L); Qss = descarga sólida em suspensão (ton./dia); S = curso d'água seco.

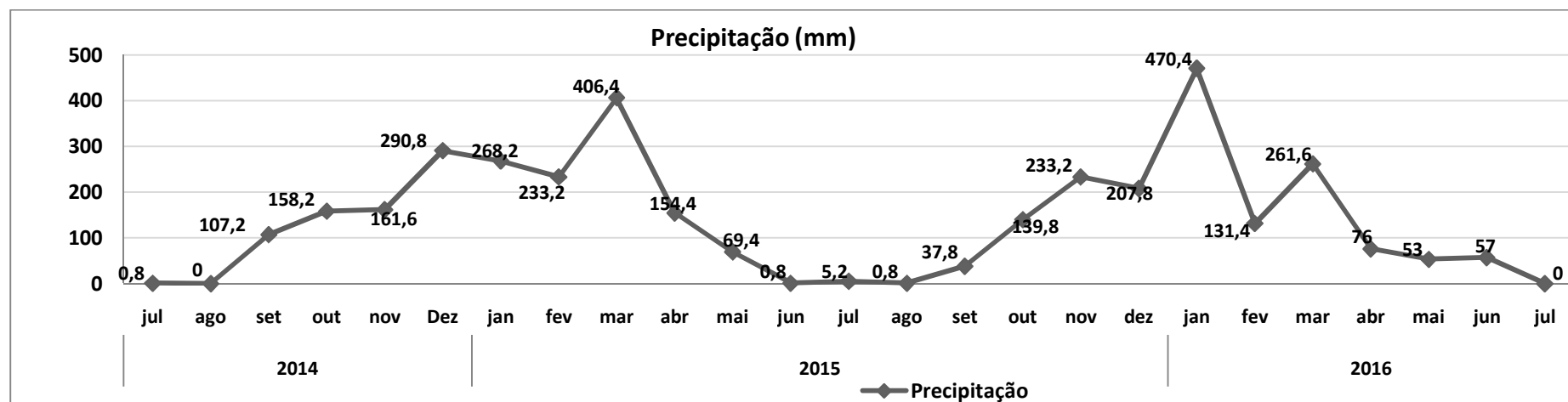


Figura 7.16 – Monitoramento da precipitação mensal na Estação 27110000 localizada na bacia do Rio do Coco entre os anos de 2014 a 2016.  
Fonte: ANA/Sistema de Monitoramento Hidrológico/Série Histórica/Estação 27110000 - Rio do Coco.

Os resultados sugerem uma relação estreita da vazão com a precipitação, onde observa-se que a diminuição dos índices pluviométricos tem efeitos diretos sobre a disponibilidade de água nos canais de drenagem avaliados. A exemplo disso, citam-se os Ribeirões Surubim e Prata, que apresentaram uma variação considerável entre as estações seca e chuvosa, sendo observado, em alguns meses de estiagem, a interrupção de seus fluxos.

As sub-bacias com maiores contribuições em volume de água para o Rio do Coco são representadas pelo Ribeirão Piedade e Alto Rio do Coco, sendo os Ribeirões Prata e Surubim responsáveis pelas menores parcelas de vazão, concordando com os resultados de transporte de sedimentos observados para essas sub-bacias. Medeiros et al. (2007, p. 223) citam que o aumento da vazão intensifica a velocidade do escoamento fluvial, a capacidade de transporte do rio e a lavagem das margens, incrementando o material transportado.

No Baixo Rio do Coco/Estação ANA 27110000 foi registrado uma grande variação nos resultados de vazão, tendo o menor valor observado no mês de outubro com 1,1304 m<sup>3</sup>/s e maior valor no mês de fevereiro de 2016 com 208,9 m<sup>3</sup>/s. Essa grande oscilação no volume de água para este ponto também pode ser resultante da conectividade do Rio do Coco com alguns lagos que compõem a região do Cantão no período chuvoso. Ressalta-se ainda que em várias amostragens, o volume de todos os quatros afluentes não representou mais do que 30 a 35% da vazão registrada neste ponto, evidenciando a grande influência dos lagos e do próprio Araguaia no incremento da vazão durante as cheias.

No que diz respeito à descarga sólida em suspensão, o quadro também sugere relação direta com a sazonalidade. Os meses que compreendem o período seco apresentaram os menores índices de descarga em relação aos demais meses avaliados, resultado das menores concentrações de sólidos em suspensão e vazão. Minela e Merten (2011, p. 426) descrevem que durante a cheia de uma bacia ocorre a maior parte da produção de sedimentos, sendo no momento das chuvas transportadas muitas partículas para o rio. Entretanto, após certo tempo, quando curso d'água atinge um volume considerável (vazão máxima), o carreamento tende a uma diminuição substancial. Em todas as sub-bacias foram observados esse comportamento, observando-se para no mês de abril de 2015 os menores valores registrados para a concentração de sedimentos em suspensão, o que pressupõe que o pico de transporte de sedimentos ocorre nos meses iniciais e finais do período chuvoso, estando adiantado do pico de vazão máxima.

Notou-se ainda uma estreita relação dos resultados com as características morfológicas da bacia, tendo os canais da alta bacia apresentado as maiores descargas em relação aos demais canais analisados, com destaque para o Ribeirão Piedade e o Alto Rio do



Coco que no mês de abril de 2016 lançaram no Rio do Coco uma descarga sólida em suspensão de 105 e 50,80 ton./dia. Resultados semelhantes a estes foram encontrados por Santos et al. (2013, p. 159) ao avaliarem a produção e o aporte de sedimentos para o Rio Potengi. Os autores verificaram que as porções da alta bacia produzem maiores quantidades de sedimentos em relação às demais áreas, tendo a porção central da bacia menores contribuições, assim, concluíram que a deposição de sedimentos ao longo da bacia é promovida, principalmente, pela redução brusca das declividades.

Feitosa e Iost (2011, p. 128) enfatizam a importância das características morfométricas na produção e transporte de sedimentos, os autores ao estudarem a dinâmica hidrossedimentológica de duas bacias próximas com características físicas distintas concluíram que a morfometria das bacias resultam em graus de interferência diferentes, mesmo sob condições de precipitação semelhantes.

As sub-bacias dos Ribeirões Surubim e Prata apresentaram as menores descargas para o Rio do Coco em relação aos demais canais avaliados, sobretudo o Ribeirão Prata, o qual se destacou com os resultados mais baixos, o que pode ser justificado pelos baixos resultados de sólidos em suspensão e vazão.

No tocante ao Baixo Rio do Coco/Estação ANA 27110000, verificaram-se descargas mais elevadas nos meses de fevereiro e abril de 2016, onde foram registrados 101,07 e 190,68 ton./dia, respectivamente. Ressalta-se que este ponto diferencia-se dos demais, sendo considerado o exutório da bacia do Rio do Coco, assim, os resultados apresentados indicam as descargas lançadas por esta bacia no Rio Araguaia.

Na Tabela 7.2 estão representados os dados de monitoramento hidrossedimentológico realizado pela ANA no Rio do Coco/Estação 27110000 no período de 2008 a 2015.

Tabela 7.2 – Descarga sólida em suspensão do Rio do Coco/Estação ANA 27110000.

| Data<br>medição | Cota<br>(cm)  | Vazão<br>(m <sup>3</sup> /s) | Área molhada<br>(m <sup>2</sup> ) | Largura<br>(m) | Velocidade<br>média (m/s) | Concentração<br>(ppm) | Descarga sólida<br>(ton./dia) |
|-----------------|---------------|------------------------------|-----------------------------------|----------------|---------------------------|-----------------------|-------------------------------|
| 26/04/2008      | 538           | 245                          | 522                               | 115            | 0,47                      | 2,75                  | 58,212                        |
| 07/08/2008      | 53            | 7,85                         | 30,7                              | 72,5           | 0,255                     | 7,51                  | 5,093                         |
| 29/05/2009      | 480           | 282                          | 450                               | 115            | 0,627                     | 4,495                 | 109,519                       |
| 08/09/2009      | 50            | 8,278                        | 28,1                              | 65             | 0,295                     | 8,776                 | 6,276                         |
| 17/03/2010      | 491           | 254                          | 462                               | 115,8          | 0,549                     | 6,235                 | 136,83                        |
| 06/07/2010      | 75            | 15,1                         | 46,9                              | 84,6           | 0,322                     | 16,89                 | 22,035                        |
| 22/07/2011      | 79            | 15,2                         | 44,8                              | 75             | 0,34                      | 8,43                  | 11,07                         |
| 25/02/2012      | 667           | 263,66                       | 615,26                            | 114,4          | 0,428                     | 164,1                 | 3.738,27                      |
| 06/06/2012      | 180           | 62,67                        | 134,4                             | 92             | 0,466                     | 9,3                   | 50,356                        |
| 27/11/2012      | 115           | 27,842                       | 54,58                             | 87,5           | 0,51                      | 20,2                  | 48,592                        |
| 30/03/2013      | 548           | 228,49                       | 504                               | 114            | 0,453                     | 2,92                  | 57,646                        |
| 05/07/2013      | 120           | 28,331                       | 77,76                             | 88             | 0,364                     | 10,2                  | 24,967                        |
| 26/03/2014      | 646           | 227,7                        | 623,35                            | 115,5          | 0,365                     | 48,9                  | 962,01                        |
| 23/07/2014      | 73            | 12,011                       | 39,039                            | 66,9           | 0,305                     | 11,6                  | 12,037                        |
| 25/03/2015      | 471           | 247,75                       | 421,23                            | 112,01         | 0,632                     | 4,6                   | 98,464                        |
| 31/10/2015      | 21            | 0,99                         | 7,99                              | 26,8           | 0,124                     | 14,1                  | 1,206                         |
| <b>Média</b>    | <b>287,94</b> | <b>120,43</b>                | <b>253,88</b>                     | <b>91,25</b>   | <b>0,41</b>               | <b>21,31</b>          | <b>333,91</b>                 |
| <b>Máxima</b>   | <b>667</b>    | <b>263,66</b>                | <b>615,26</b>                     | <b>115,8</b>   | <b>0,632</b>              | <b>164,1</b>          | <b>3.738,27</b>               |
| <b>Mínima</b>   | <b>21</b>     | <b>0,99</b>                  | <b>7,99</b>                       | <b>26,8</b>    | <b>0,124</b>              | <b>2,75</b>           | <b>1,206</b>                  |

Fonte: Sistema de Informações Hidrológicas – HidroWeb/ANA.

Como pode ser observado na Tabela 7.2, os dados coletados tiveram uma variação significativa em função da sazonalidade ao longo dos oito anos de monitoramento de descarga de sedimentos na estação 27110000 pela ANA, sendo registrado os maiores valores de descarga nos meses chuvosos.

A vazão média calculada para a estação foi de 120,43 m<sup>3</sup>/s. Já as vazões máxima e mínima foram: 263,66 m<sup>3</sup>/s (fevereiro de 2012) e 0,99 m<sup>3</sup>/s (outubro de 2015), respectivamente. Nota-se que existe uma oscilação significativa nos resultados de vazão no ponto monitorado pela ANA, sugerindo grande interferência do ambiente de planície durante a estação chuvosa. Tal situação coloca a escolha da localização da estação (27110000) em questionamento, uma vez que esta pode não representar a real vazão produzida pelo Rio do Coco.

A concentração de sedimentos em suspensão apresentou uma média de 21,31 mg/L, tendo a mínima de 2,75 mg/L em abril de 2008 e máxima de 164,01 mg/L em fevereiro de 2012. Em relação à descarga sólida de sedimentos em suspensão o valor médio encontrado foi de 333,91 ton./dia, variando de 1,206 ton./dia (valor mínimo) no mês de outubro de 2015 e 3.738,27 ton./dia no mês de fevereiro de 2012 (valor máximo). O mês de março de 2014

também merece destaque, pois a descarga sólida chegou a 962,01 ton./dia. Essa variação no transporte de sedimentos também foi observada por Garrido et al. (2014, p. 07) na bacia do Rio Piancó-Piranhas-Açu, onde constatou-se que a maiores descargas ocorridas na bacia estavam relacionadas com os maiores índices pluviométricos, concordando com Carvalho (2000b, p. 17), o qual cita que, para muitos cursos d'água, o período chuvoso representa uma média de 70 a 90% na quantidade de carga sólida transportada em todo o ano hidrológico.

É importante mencionar ainda que os dados coletados pela ANA possuem inúmeras limitações, principalmente em relação à frequência das coletas ao longo dos anos. Para a maioria dos anos avaliados foram registradas somente duas coletas, uma no período seco e outra no período chuvoso. Há ainda casos, como o ano de 2011 em que só foram coletados dados para um período sazonal. Tais fatos comprometem um pouco os resultados, sobretudo quando se pretende estimar a descarga sólida de uma bacia. Rodrigues et al. (2013, p. 489) citam que a produção de informações qualitativas e quantitativas consistentes que possam descrever com precisão os processos é um dos maiores desafios nos estudos hidrossedimentológicos. Entretanto, essa é a realidade observada em relação ao monitoramento para maioria das estações existentes no país.

Ressalta-se ainda que o monitoramento hidrológico é um processo longo e caro, dependente de vários equipamentos e estruturas para a produção de resultados de qualidade. Segundo Gurnell et al. (2014, p. 55 e 109), as informações sobre as variações espaciais e temporais no nível e descarga de um rio são vitais para qualquer análise histórica de mudança temporal, sendo necessários, no mínimo, 10 anos de monitoramento em um segmento de rio. Há que se destacar, portanto, que os processos de monitoramento hidrológico e sedimentológico de bacias no país precisam evoluir bastante, produzindo dados confiáveis e que representem a dinâmica existente nos canais com mais fidelidade, pois só assim, o país produzirá informações de qualidade essenciais para a gestão de bacias.

#### **7.4.3 Produção de sedimentos na bacia do Rio do Coco**

A Tabela 7.3 apresenta os resultados obtidos para a produção de sedimentos em suspensão nas principais sub-bacias da bacia do Rio do Coco entre os anos de 2015 e 2016.

Tabela 7.3 – Produção de sedimentos em suspensão nas sub-bacias principais da bacia do Rio do Coco.

| Ano   | Meses | Sub-bacias da Alta Bacia                       |        |              |        |              |        | Sub-bacias da Baixa Bacia |        |                   |        |
|-------|-------|------------------------------------------------|--------|--------------|--------|--------------|--------|---------------------------|--------|-------------------|--------|
|       |       | Alto Rio do Coco                               |        | Rib. Piedade |        | Rib. Surubim |        | Rib. Prata                |        | Baixo Rio do Coco |        |
|       |       | Qss                                            | Pss    | Qss          | Pss    | Qss          | Pss    | Qss                       | Pss    | Qss               | Pss    |
|       |       | <i>(t . km<sup>-2</sup>. mês<sup>-1</sup>)</i> |        |              |        |              |        |                           |        |                   |        |
| 2015  | abr   | 240,3                                          | 0,1841 | 123          | 0,1023 | -            | -      | 53,1                      | 0,0558 | -                 | -      |
|       | jun   | 713,7                                          | 0,5468 | 771          | 0,6414 | 39           | 0,0695 | 30,9                      | 0,0325 | 2.758,80          | 0,4535 |
|       | ago   | 4,2                                            | 0,0032 | 44,1         | 0,0367 | S            | S      | 4,5                       | 0,0047 | 93                | 0,0153 |
|       | out   | S                                              | S      | 37,2         | 0,0309 | S            | S      | S                         | S      | 14,1              | 0,0023 |
|       | dez   | 311,7                                          | 0,2388 | 214,8        | 0,1787 | S            | S      | S                         | S      | 81,6              | 0,0134 |
| 2016  | fev   | 589,8                                          | 0,4519 | 444,3        | 0,3696 | 209,4        | 0,3731 | 94,5                      | 0,0993 | 3.032,10          | 0,4984 |
|       | abr   | 1.524                                          | 1,1676 | 3.150        | 2,6205 | 459,9        | 0,8196 | 277,2                     | 0,2915 | 5.720,40          | 0,9403 |
| Anual |       | 3.384                                          | 2,5924 | 4.784        | 3,980  | 708,3        | 1,2622 | 460,2                     | 0,4838 | 11.700            | 1,9232 |

Nota: Qss = descarga sólida em suspensão (ton./mês); Pss = produção de sedimentos em suspensão (ton. km<sup>-2</sup>. mês<sup>-1</sup>); S = curso d'água seco.

Conforme observado na Tabela 7.3 a produção de sedimentos em suspensão nas sub-bacias analisadas é influenciada diretamente pela sazonalidade. Nos meses de junho de 2015, dezembro, fevereiro e abril de 2016 foram observados os maiores valores na produção de sedimentos em todas as sub-bacias, o que já era esperado. Nestes meses, provavelmente, houve um maior desprendimento de partículas sólidas em função do aumento do escoamento superficial ocorrido no período.

As sub-bacias da alta bacia do Rio do Coco (Alto Rio do Coco, Ribeirão Piedade e Ribeirão Surubim) produziram mais sedimentos por área em relação às sub-bacias da baixa bacia, com destaque as sub-bacias do Ribeirão Piedade e Alto Rio do Coco. A primeira produziu 3,98 t.km<sup>-2</sup>.ano<sup>-1</sup>, enquanto que a segunda produziu 2,59 t. km<sup>-2</sup>.ano<sup>-1</sup>. Resultados semelhantes foram encontrados por Souza (2011, p. 60 e 61) ao estudar a produção de sedimentos na bacia do Rio Capibaribe, onde observou, para o período chuvoso, valores de 3,42 t. km<sup>-2</sup>. ano<sup>-1</sup> em 2009 e 3,75 t. km<sup>-2</sup>. ano<sup>-1</sup> em 2010.

A sub-bacia do Ribeirão Surubim apesar de localizar-se na região da alta bacia produziu 1,26 t.km<sup>-2</sup>.ano<sup>-1</sup>, o que pode estar relacionado com sua densidade hidrográfica comparada as demais bacias da alta bacia, bem como com suas características de relevo locais. Além disso, para esta bacia foi observada a interrupção do fluxo hídrico do canal principal em alguns meses do período seco.

A sub-bacia do Ribeirão Prata apresentou os resultados de produção mais baixos em relação as demais bacias estudadas, sendo observado um valor de 0,48 t.km<sup>-2</sup>.ano<sup>-1</sup> de sedimentos produzidos, o que pode estar associado com as características do relevo, refletindo

em suaves declives, com presença de poucos canais por área.

Para a sub-bacia do Baixo Rio do Coco observou-se uma descarga de sólidos suspensos de 11.700 ton./ano, porém, a produção de sedimentos suspensos correspondente a área incremental dessa descarga é de somente  $1,92 \text{ t.km}^{-2}.\text{ano}^{-1}$ . Vale ressaltar que esse ponto é considerado o exutório da grande bacia do Rio do Coco, ou seja, os resultados encontrados indicam a produção de sedimentos em toda a bacia e o que está sendo entregue para a bacia do Rio Araguaia. Esse valor de produção é considerado baixo diante da produção de sedimentos suspensos em outras bacias brasileiras.

Destaca-se ainda que o cronograma das medições, as quais ocorreram bimestralmente, podem ter influenciado nos resultados. Acredita-se que medições mensais poderiam representar melhor a realidade de campo, entretanto, esse processo é muito complexo, o que exige grande logística e recursos financeiros. Conforme Carvalho (2000a, p. 19), resultados de produção de sedimentos em suspensão de até  $35 \text{ t.km}^{-2}.\text{ano}^{-1}$  ainda são considerados baixos. Para ser considerada uma produção alta a bacia deverá produzir  $175 \text{ t.km}^{-2}.\text{ano}^{-1}$ .

Feitosa e Iost (2011, p. 127) encontraram valores de produção específica de sedimentos em suspensão para as bacias dos Rios Manuel Alves Grande e Manuel Alves Pequeno de  $21,94 \text{ t.km}^{-2}.\text{ano}^{-1}$  e  $25,05 \text{ t.km}^{-2}.\text{ano}^{-1}$ , respectivamente. Melo et al. (2008, p. 11) registraram  $456,6 \text{ t.km}^{-2}.\text{ano}^{-1}$  de produção de sedimentos em suspensão em estudos na microbacia do Riacho Jacu no semi-árido pernambucano, valores estes considerados altos. Os autores atribuíram os resultados como o reflexo das práticas agrícolas empregadas na área da bacia. Resultados moderados de produção de sedimentos foram encontrados por Andrade (2013, p. 06) ao estudar o Alto Rio São Francisco, onde foi registrado  $101,84 \text{ t.km}^{-2}.\text{ano}^{-1}$  e Rodrigues et al. (2013, p. 495) em pesquisa realizada em duas microbacias no semiárido sobre manejos diferentes, onde obtiveram valores de produção de 145 e 139  $\text{ton t.km}^{-2}$ , respectivamente.

Após somar as produções de todas as sub-bacias, exceto a da sub-bacia do Baixo Rio do Coco verifica-se um total de  $8,31 \text{ t.km}^{-2}.\text{ano}^{-1}$  de sedimentos em suspensão sendo produzidos pelas sub-bacias do Alto Rio do Coco, Ribeirão Piedade, Ribeirão Surubim e Ribeirão Prata e lançados no Rio do Coco, porém, esse quantitativo diverge bastante do que está sendo medido no ponto do Baixo Rio do Coco ( $1,92 \text{ t.km}^{-2}.\text{ano}^{-1}$ ), desse modo, os resultados indicam que aproximadamente  $6,39 \text{ t.km}^{-2}.\text{ano}^{-1}$  de sedimentos estão sendo depositados ao longo dos canais de drenagem. Tal quadro confirma a tendência para acúmulo de sedimentos no Rio do Coco apresentado pelo índice de sinuosidade do canal calculado durante a análise morfométrica da bacia. Em síntese, os resultados indicam que a alta bacia é

responsável por grande parte dos sedimentos produzidos, ocorrendo na baixa bacia a deposição das partículas transportadas.

Os resultados desse cenário sugerem que a bacia do Rio do Coco pode ser agrupada em dois conjuntos: alta bacia e baixa bacia, onde o primeiro grupo é determinante na produção e transporte de sedimentos e no segundo grupo estes processos atuam de forma mais tímida. Tais resultados tem como elementos chave as características do relevo, o sistema de drenagem e os conflitos de uso do solo em APP. A região da alta bacia apresentou características naturais indicativas de maiores suscetibilidades e, também ao analisar a cobertura e uso da terra nestas regiões, principalmente ao longo das áreas de preservação permanente foi verificado que as bacias da alta bacia do Rio do Coco possuem os maiores percentuais de áreas com conflito de uso, o que também pode ter influenciado nos resultados de produção e transporte de sedimentos para estas bacias. Portanto, os processos devem ser avaliados conjuntamente, buscando entender a forma como os mesmos estão influenciando nos resultados de descarga da bacia e quais os efeitos de todo esse cenário.

## 7.5 CONCLUSÕES

Os resultados encontrados com o estudo da produção e transporte de sedimentos na bacia do Rio do Coco permitem concluir que:

- Os efeitos da sazonalidade interferiram diretamente nos resultados, influenciando os valores de turbidez, sólidos suspensos totais e vazão, sendo observadas elevações destes parâmetros nos meses de maiores índices pluviométricos;
- O transporte de sedimentos na bacia do Rio do Coco é influenciado por suas características morfométricas, confirmando que as sub-bacias com maiores suscetibilidades naturais (Ribeirão Piedade e o Alto Rio do Coco) são as que mais transportam sedimentos;
- A região da alta bacia foi responsável pela maior produção e transporte de sedimentos, com destaque as sub-bacias do Ribeirão Piedade e Alto Rio do Coco que apresentaram concentrações elevadas durante toda a pesquisa;
- Os resultados mais representativos em relação à produção e transporte de sedimentos para as sub-bacias do Ribeirão Piedade e do Alto Rio do Coco apontam uma relação com o sistema de drenagem e com as características de relevo, além dos elevados percentuais de conflitos de uso do solo em APP identificados para estas bacias;
- A região da alta bacia é responsável pelo maior aporte de sedimentos, ocorrendo na



baixa bacia grande deposição dos materiais transportados, assim, os sedimentos produzidos pelas sub-bacias da bacia do Rio do Coco não chegam em sua totalidade no Rio Araguaia, provavelmente estes estão sendo depositados ao longo do canal de drenagem.

Portanto, o estudo realizado sugere que o transporte de sedimentos na bacia do Rio do Coco tem relação direta com suas características físicas, assim, o canal que mais transporta sedimentos coincide com o ambiente que sinaliza maior suscetibilidade, sendo o uso antrópico considerado potencializador desse processo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, Rejane Freitas Benevides; BAYER, Maximiliano; FERREIRA JÚNIOR, Laerte Guimarães. Compartimentação morfométrica da Bacia do Rio do Coco como subsídio a análise de fragilidade ambiental. **Mercator**, Fortaleza, v. 15, n. 4, p. 88, out./dez., 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **HidroWeb - Sistema de Informações Hidrológicas**. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br/Estacao.asp?Codigo=27110000>. Acesso em: 25 de novembro de 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Sistema de Monitoramento Hidrológico/Série Histórica**. Disponível em: <http://mapas-hidro.ana.gov.br/Usuario/Exportar.aspx?bac=2&sub=27&est=93049580>. Acesso em: 25 de novembro de 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Medição de descarga líquida em grandes rios: manual técnico**. Brasília: ANA/Superintendência de Gestão da Rede Hidrometeorológica, 2009. 33 p.

ANTONELI, Valdemir. **Dinâmica do uso da terra e a produção de sedimentos em diferentes áreas fontes na Bacia Hidrográfica do Arroio Boa Vista – Guamiranga – PR**. 39 f. Tese (Doutorado em Geografia) Universidade Federal do Paraná – UFPR. 2011.

ANDRADE, Márcio Adalberto. Análise da dinâmica hidrossedimentológica na estação de porto das andorinhas no Rio São Francisco, Minas Gerais. In: XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. 2013, Bento Gonçalves. **Anais....** Bento Gonçalves (RS), 2013. p. 06.

AQUINO, Sâmia; STEVAUX, José Cândido; LATRUBESSE, Edgardo Manuel. Regime hidrológico e aspectos do comportamento morfohidráulico do Rio Araguaia. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, ano 6, n. 2, p. 31. 2005.

CARVALHO, N. O. et al. **Guia de Avaliação de Assoreamento de Reservatórios**. Brasília: ANEEL. 2000a. 92 p.

CARVALHO, N. O. et al. **Guia de Práticas Sedimentométricas**. Brasília: ANEEL. 2000b. 23 - 59 p.

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia Prática**. 1ed. Rio de Janeiro:CPRM, 1994. 372p.

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia prática**. 2. ed. Rio de Janeiro: CPRM, 2008.

COSTA, Carla Deisiane de Oliveira; ALVES, Marlene Cristina; SOUSA, Antônio De Pádua; SILVA, Hélio Ricardo; GONZÁLES, Antonio Paz; AVALOS, José Manuel Mirás. Produção e deposição de sedimentos em uma sub-bacia hidrográfica com solos suscetíveis à erosão. **Irriga**, Botucatu, v. 21, n. 2, p. 285, mai./jun., 2016.

CUNHA, Pedro Nuno Barros Devesa. Medição de Caudais em Rios - **Métodos Tradicionais versus Novos Equipamentos**. 46 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia - Universidade do Porto, Portugal, 2010.

ESTIGONI, Marcus Vinícius, MIRANDA, Renato Billia; MATOS, Artur José Soares; MAUAD, Frederico Fábio. Levantamento batimétrico em reservatório de grande porte destinado a usos múltiplos, estudo de caso: UHE Nova Avanhandava (São Paulo, Brasil). In: IX SEREA Seminario Iberoamericano sobre Planificación, Proyecto y Operación de Sistemas de Abastecimiento de Agua. 2009, Valencia. **Anais...** Valencia (Espanña), noviembre de 2009. p. 07

FEITOSA, Thaiana Brunes; IOST, Caroline. Dinâmica hidrossedimentológica de duas sub-bacias hidrográficas localizadas no Estado do Tocantins. **Rev. Acad., Ciênc. Agrár. Ambient.**, Curitiba, v. 9, n. 2, p. 127 e 128, abr./jun., 2011.

GARRIDO, José Wagner Alves; SOUSA, Thâmara Martins Ismael de; ISMAEL, Luara Lourenço; CRISPIM, Diêgo Lima; FERREIRA, Paloma Mara de Lima; QUEIROZ, Manoel Móises Ferreira. Transporte de sedimento suspenso na bacia hidrográfica do Rio Piancó-Piranhas-Açu. In: XI Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos. 2014, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa (PB), 2014. p. 07.

GONZÁLEZ, Juan Esteban; JARAMILLO, Luis Javier Montoya. Propuesta metodológica para el análisis morfosedimentológico en cuencas altamente urbanizadas. Caso de estudio quebrada Doña María (Colombia). **Revista Ingenierías Universidad de Medellín**, v. 9, n. 16, p. 15, enero-junio de 2010.

GRABOWSKI, R. C.; GURNELL, A. M. Diagnosing problems of fine sediment delivery and

transfer in a lowland catchment. **Aquat Sci**, 78, p. 95. 2016.

GURNELL, A.M.; BUSSETTINI, M.; CAMENEN, B.; DEL TÁNAGO, M. González; GRABOWSKI, R.C.; HENDRIKS, D.; HENSHAW, A.; LATAPIE, A.; RINALDI, M.; SURIAN, N. (2014). **A hierarchical multiscale framework and indicators of hydromorphological processes and forms. Deliverable 2.1**, Part 1, of REFORM (REstoring rivers FOR effective catchment Management), a Collaborative project (large-scale integrating project) funded by the European Commission within the 7th Framework Programme under Grant Agreement 282656. 55 e 109 p.

HARTWIG, M.; SCHAFFER, M.; THEURING, P.; AVLYUSH, S.; RODE, M.; BORCHARDT, D. Cause–effect–response chains linking source identification of eroded sediments, loss of aquatic ecosystem integrity and management options in a steppe river catchment (Kharaa, Mongolia). **Environ Earth Sci**, 75:855, p. 02 - 04. 2016.

MEDEIROS, P. R. P.; KNOPPERS, B. A.; SANTOS JÚNIOR, R. C.; SOUZA, W.F.L. Aporte fluvial e dispersão de matéria particulada em suspensão na zona costeira do Rio São Francisco (SE/AL). **Geochimica Brasiliensis**, v. 21, n. 2, p. 223. 2007.

MELO, Rogério Oliveira de; CANTALICE, José Ramon Barros; ARAÚJO, Alex Maurício; CUNHA FILHO, Moacyr. Produção de sedimento suspenso de uma típica bacia hidrográfica semi-árida. In: VIII Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos. 2008, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande (MS), 2008. p. 11.

MINELLA, Jean Paolo Gomes; MERTEN, Gustavo Henrique. Monitoramento de bacias hidrográficas para identificar fontes de sedimentos em suspensão. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n.3, p. 426, mar., 2011.

PALHARES, Julio C.P.; RAMOS, Cristiano; KLEIN, Jaqueline B.; LIMA, João M.M.; MULLER, Susana Muller; CESTONARO, Taiana. **Medição da Vazão em Rios pelo Método do Flutuador. EMBRAPA/Comunicado Técnico nº. 455**. Concórdia, SC, julho, 2007. p. 01 e 02.

PANWAR, S.; KHAN, M. Y. A.; CHAKRAPANI, G. J. Grain size characteristics and provenance determination of sediment and dissolved load of Alaknanda River, Garhwal Himalaya, India. **Environ Earth Sci**, 75:91, p. 04. 2016.

REIS, A. R.; LOURENÇO, J. M. M.; PARKER, A.; ALENCOÃO, A. Estimative of sediment yield in mountainous catchments: a pilot study in a meso-scale catchment of the Douro Basin, Northern Portugal. **Comunicações Geológicas**, 101, Especial II, p. 1051. 2014.

RODRIGUES, Joseilson Oliveira; ANDRADE, Eunice Maia de; PALÁCIO, Helba Araújo

Queiroz; MENDONÇA, Luiz Alberto Ribeiro; SANTOS, Júlio César Neves dos. Sediment loss in semiarid small watershed due to the land use. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 3, p. 489 e 495, jul./set., 2013

RODRIGUES, Valdemir Antônio; SÁNCHEZ-ROMÁN, Rodrigo M.; TARJUELO, José Maria; SARTORI, Maria Márcia Pereira; CANALES, Antônio Ruiz. Avaliação do Escoamento e interceptação da água das chuvas. **Irriga**, Botucatu, Edição Especial, p. 08. 2015.

SANTOS, Antônio Manoel dos; ALVES, Carlos Frederico de Castro; GAMA, Rogério Gutierrez; FERRACINI, Mirna Mangini; PERRELLA, Murilo César Vieira; CARVALHO, Newton Oliveira; CELER, Aloisio. Densidade de drenagem da bacia incremental do reservatório de Porto Primavera, rio Paraná (SP/MS): perspectiva de sua adoção como indicador de produção de sedimentos das bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Ano 6, n. 1, p. 42. 2005.

SANTOS, Manoel Luís dos; MORAIS, Eduardo Souza de. Produção de sedimentos em bacia hidrográfica de pequena ordem: uso de modelos matemáticos, bacia do Ribeirão Maringá, Paraná - Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.13, n.2, p. 140. abr./jun., 2012.

SANTOS, Rodrigo de Oliveira; SCUDELARI, Ada Cristina; CUNHA, Cynara de Lourdes da Nobrega; RIGHETTO, Antonio Marozzi. Avaliação da Produção e Aporte de Sedimentos para o Rio Potengi, RN. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 18, n. 3, p. 159, jul./set., 2013.

SCHNEIDER, Roselene Maria; FREIRE, Rosane; BOINA, Welliton Leandro de Oliveira; COSSICH, Eneida Sala; SOARES, Paulo Fernando; TAVARES, Célia Regina Granhen. Assessment of turbidity as a quick tool to quantify the sediment transport. **Nativa**, Sinop, v. 02, n. 01, p. 32 - 35, jan./mar. 2014.

SOUZA, Wagner Luís da Silva. Produção de sedimentos da bacia hidrográfica do Rio Capibaribe para zona costeira da região Metropolitana do Recife. 60 e 61 f. **Dissertação** (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife (PE), 2011.

STRAHLER, A. N. Hypsometric (area-altitude) analysis and erosional topography. **Geological Society of America Bulletin**, v. 63, p. 1117 – 1142. 1952.

SUARÉZ, Paola A.; VEGA, Marisol; PARDO, Rafael; ORFEO, Oscar; CUESTA, José Luis Garcia; RONCO, Alicia. Hydrochemical and sedimentological dynamics in a subtropical plain river: assessment by multivariate statistical analysis. **Environ Earth Sci**, 75:1004, p. 02. 2016.

## 8 CONSIDERAÇÕES FINAIS DA TESE

Os resultados apresentados nos três artigos que consistem a presente tese demonstraram que a bacia do Rio do Coco apresenta áreas mais suscetíveis às atividades de uso e ocupação do solo, que são definidas em função de suas características morfométricas, conforme apresentado no artigo 01. O referido artigo mostrou que na bacia as áreas mais suscetíveis estão localizadas na região da alta bacia (Ribeirão Piedade, Alto Rio do Coco e Ribeirão Surubim), sendo esta tendência resultante de fatores naturais relacionados às características do relevo e a morfometria da rede de drenagem.

Observou-se também que o processo histórico de ocupação da bacia, influenciado principalmente pela criação do Estado do Tocantins e pela construção da BR – 153 direcionaram a ocupação das terras nas localidades próximas às cidades mais desenvolvidas, o que resultou no avanço do desmatamento para a região da alta bacia, tendo a pastagem como atividade dominante. As atividades antrópicas, além de proporcionarem o desmatamento de extensas terras, também favoreceram a intensa ocupação das áreas de preservação permanente de cursos d'água, refletindo em percentuais elevados de áreas com conflitos de uso do solo.

Foi possível observar que a alta bacia além de apresentar aspectos naturais indicativos de maior suscetibilidade também apresenta um maior percentual de conflitos de uso em APPs. Esse quadro sugere que esta área é responsável pelo maior aporte de sedimentos lançados no Rio do Coco, o que foi confirmado nos resultados apresentados no terceiro artigo. Assim, o uso da terra nas APPs pode ter influenciado no volume de material transportado pelos canais, contudo, não se devem esquecer as características naturais da bacia, pois os resultados indicaram que as formas do relevo e as características morfométricas foram responsáveis por grande parte da dinâmica de sedimentos existentes, funcionando o uso e cobertura do solo como maximizador de todo o processo.

Apesar dos estudos terem apresentado essa relação, os resultados produzidos ainda demonstram necessidade de investigações futuras, principalmente no que se refere à periodicidade e o tempo de monitoramento hidrossedimentológico, pois as informações sobre as variações temporais de descarga dos canais são fundamentais para uma análise histórica de mudança temporal. Assim, os resultados produzidos para os cursos d'água analisados necessitam de continuidade, sobretudo porque no período analisado, o ciclo sazonal apresentou algumas variações em relação aos anos anteriores, podendo não representar um ano hidrológico regular, o que reforça a necessidade de monitoramentos futuros.

É importante mencionar ainda que a região que compreende a baixa bacia, apesar de ter apresentado menor suscetibilidade natural em relação à alta bacia, demonstra características naturais também relevantes que devem ser consideradas durante a implantação das atividades de uso. Sobretudo pela presença de extensas áreas de planície que sofrem influência direta das cheias dos canais de drenagem locais. Tais regiões vêm sendo bastante utilizadas, principalmente após a aprovação do novo código florestal (Lei 12.651/2012) que alterou o parâmetro de medição das áreas de preservação permanente, as quais passaram a ser computadas a partir da calha do leito regular do curso d'água e não de sua cota máxima como estabelecia a legislação anterior. Esta mudança cria um novo cenário para a utilização das APPs, tornando possível que o uso chegue mais próximo do corpo hídrico com consequências diretas sobre toda a dinâmica hidrológica, inclusive com alterações no volume de sedimentos transportados.

Outro ponto interessante a respeito da bacia do Rio do Coco refere-se à presença de uma área (aproximadamente 359 km<sup>2</sup>) significativa de lagos e lagoas, formados pelas planícies dos rios Javaés, Araguaia e do Coco, compondo a região do Cantão. Estas áreas precisam ser estudadas, pois exercem influência direta sobre a cheia do Rio do Coco, uma vez que no período chuvoso a região se conecta ao rio, fazendo com que haja um trânsito de sedimentos, tanto dos lagos para o Rio do Coco, como do Rio do Coco para os lagos, contribuindo de alguma forma para a dinâmica hidrossedimentológica do canal de drenagem.

Por fim, embora haja necessidade de estudos complementares para um entendimento mais abrangente do funcionamento dos processos de produção e transporte de sedimentos na bacia do Rio do Coco, os resultados produzidos são de suma relevância, pois permitiram compreender melhor os processos determinantes na descarga sedimentológica da bacia, fundamentais para o planejamento e gestão do uso do solo de forma mais adequada.



# APÊNDICES

**APÊNDICE A – Memorial fotográfico dos pontos de monitoramento de descargas líquidas e sólidas, com ênfase na variação do nível do curso d'água entre os meses secos e chuvosos.**

**Ponto 01 - Ribeirão Piedade**



Fonte: Fotos tiradas pelo autor.

**Ponto 02 - Alto Rio do Coco**



Fonte: Fotos tiradas pelo autor.



**Ponto 03 - Ribeirão Surubim**

Fonte: Fotos tiradas pelo autor.

**Ponto 04 - Ribeirão Prata**

Fonte: Fotos tiradas pelo autor.

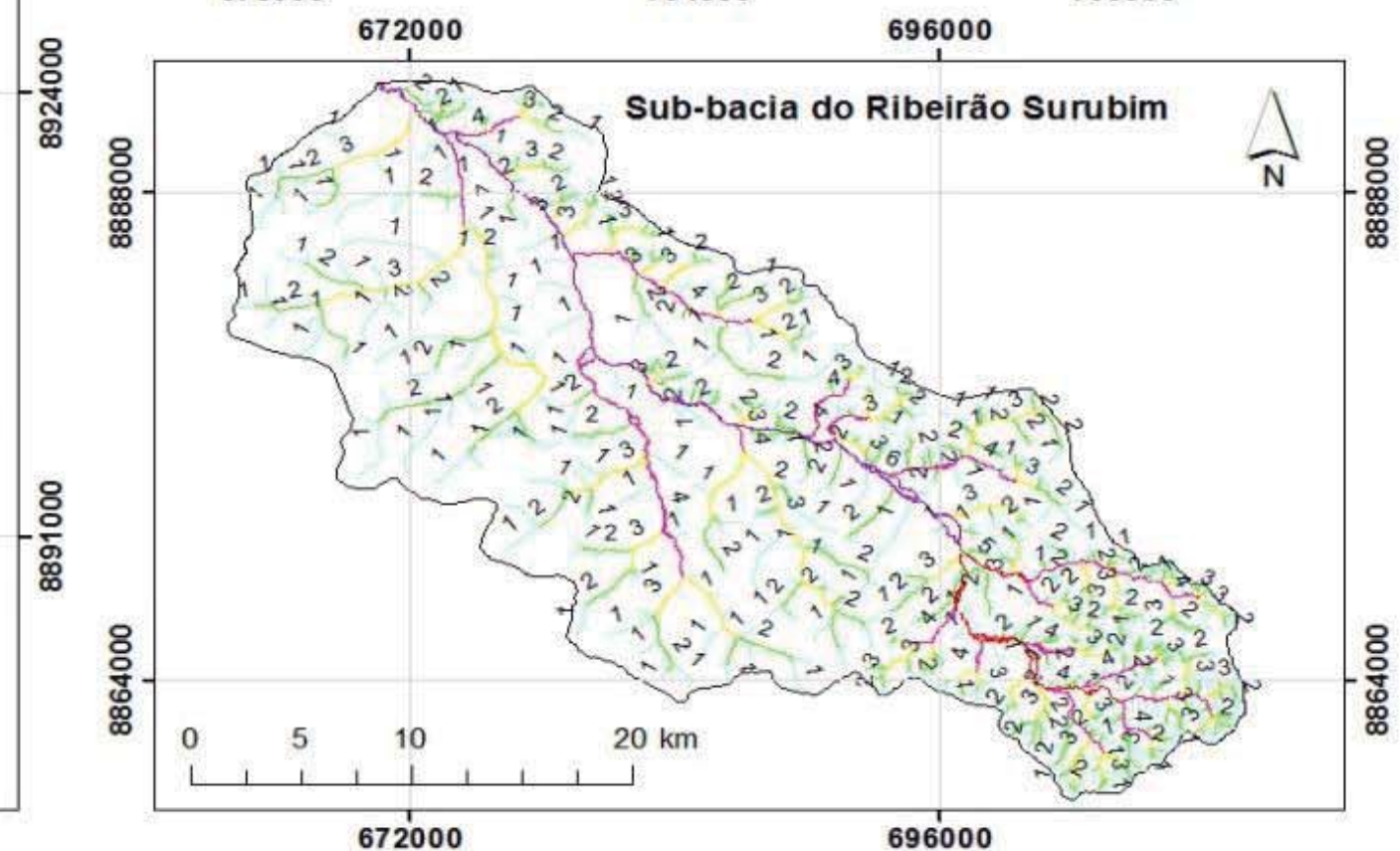
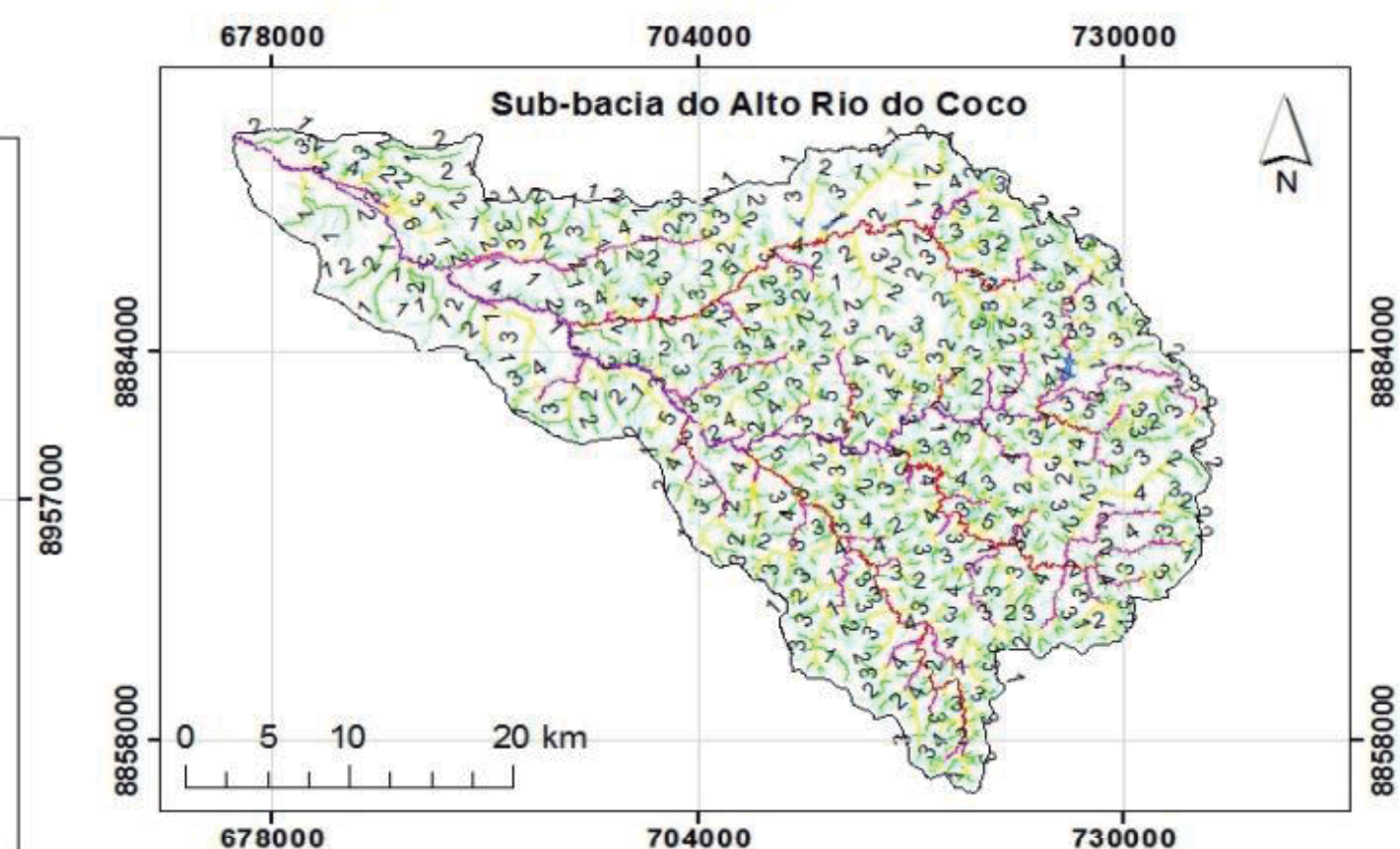
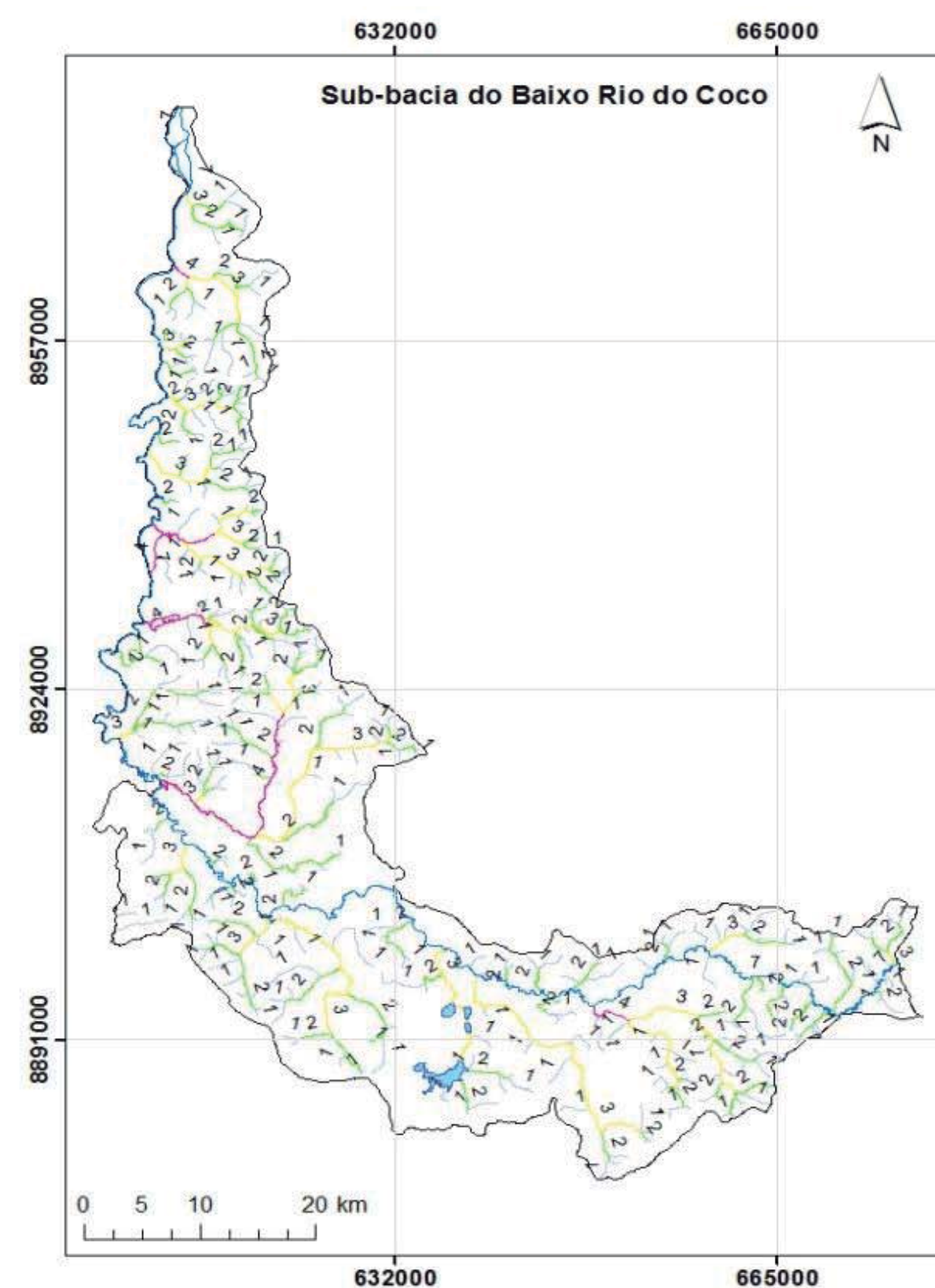
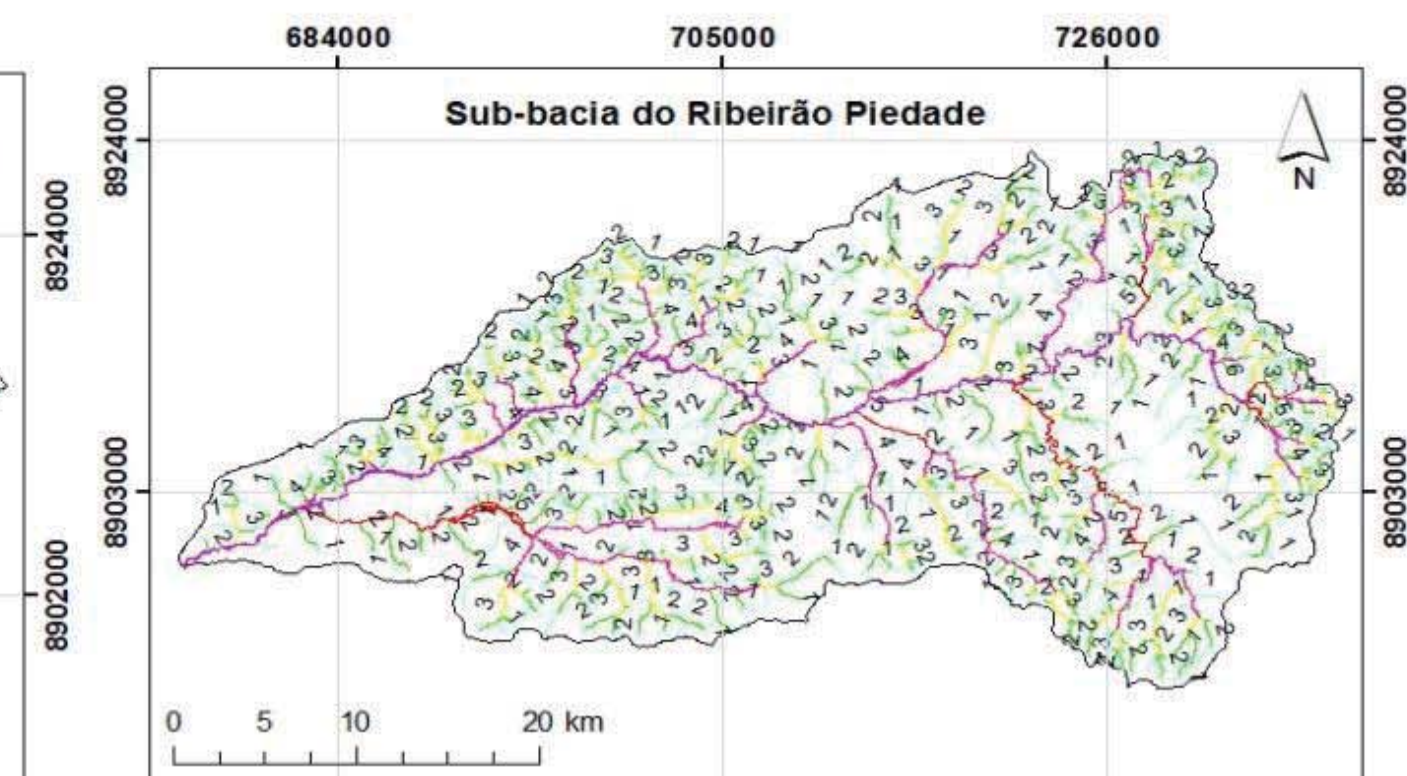
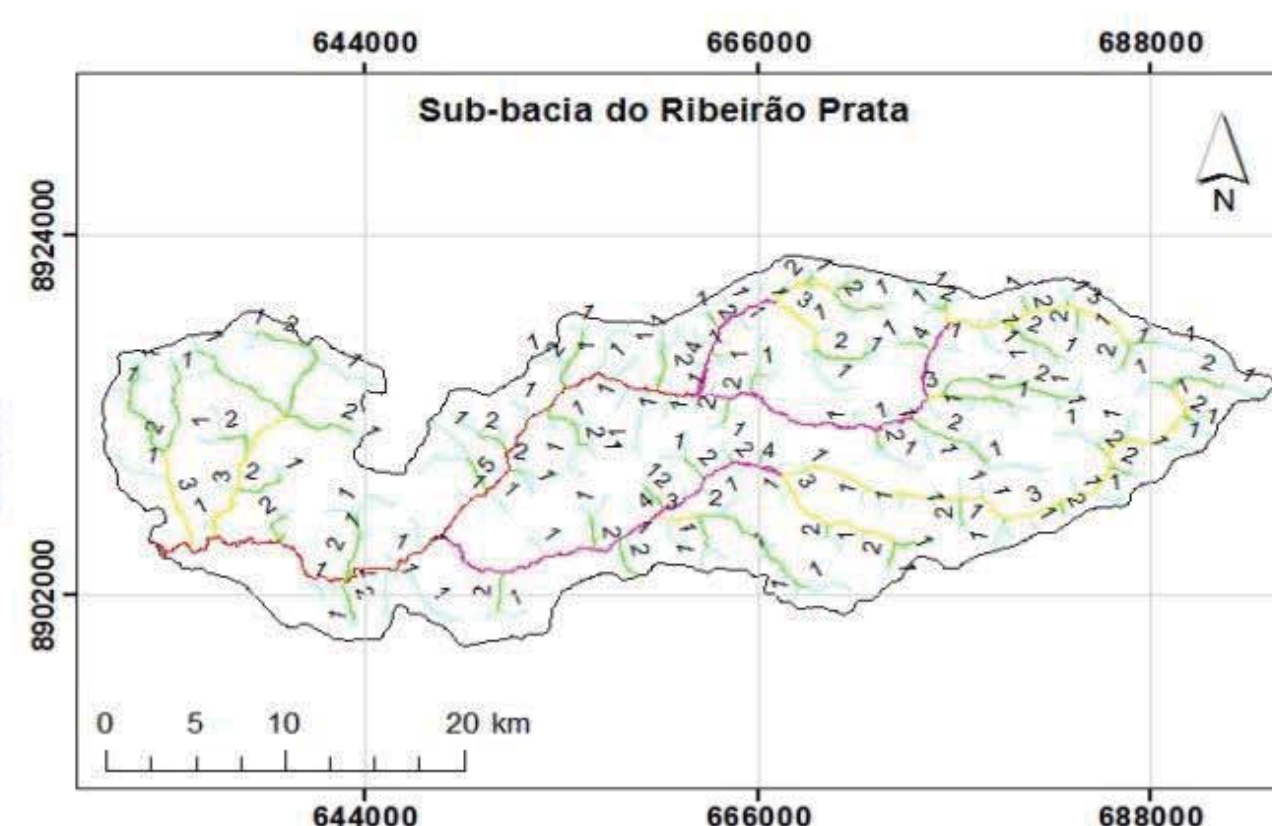
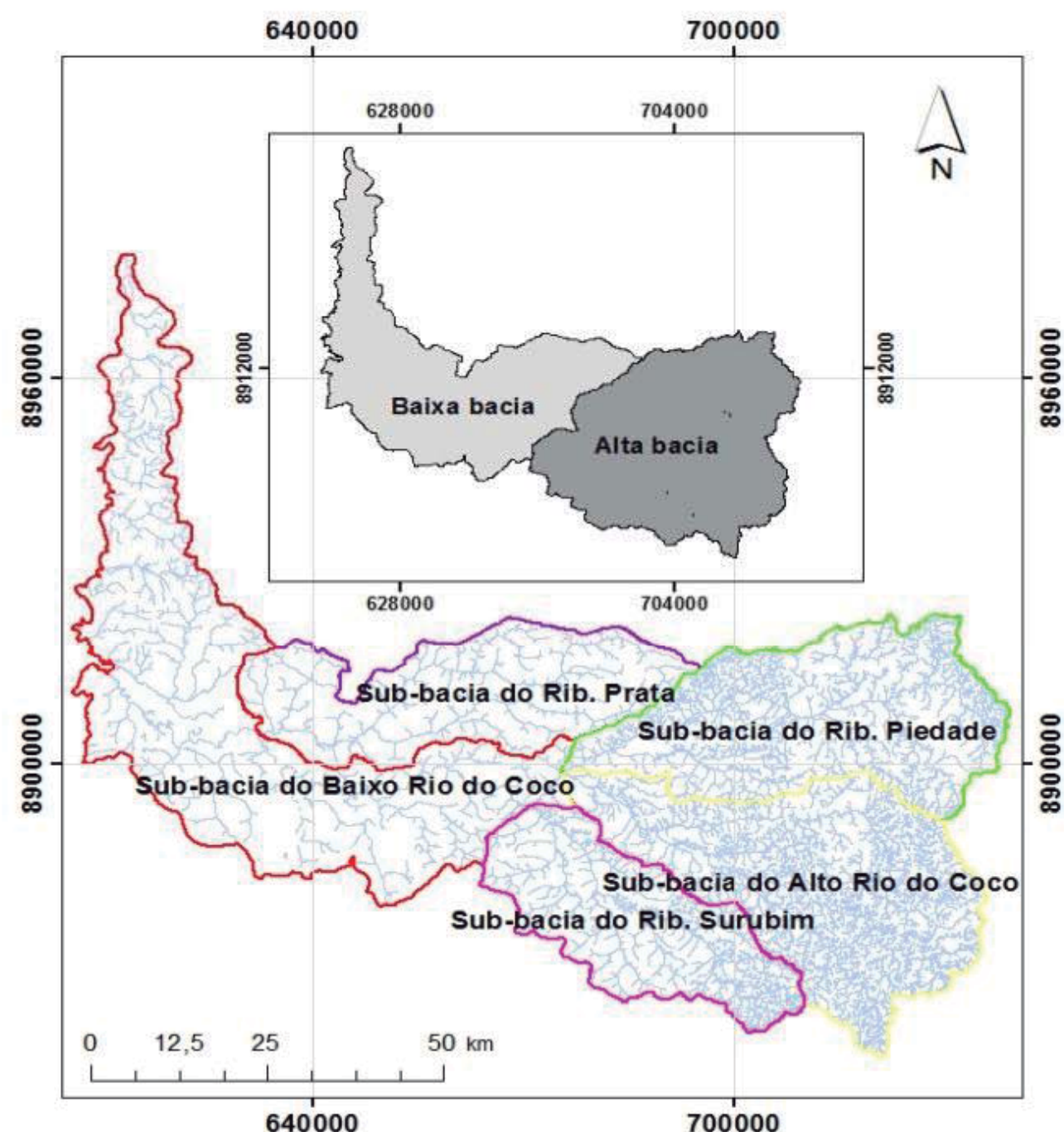
**Ponto 05 - Baixo Rio do Coco/Estação ANA 27110000**



Fonte: Fotos tiradas pelo autor.



## APÊNDICE B – Classificação dos corpos d'água da bacia do Rio do Coco e de suas sub-bacias principais.



### LEGENDA

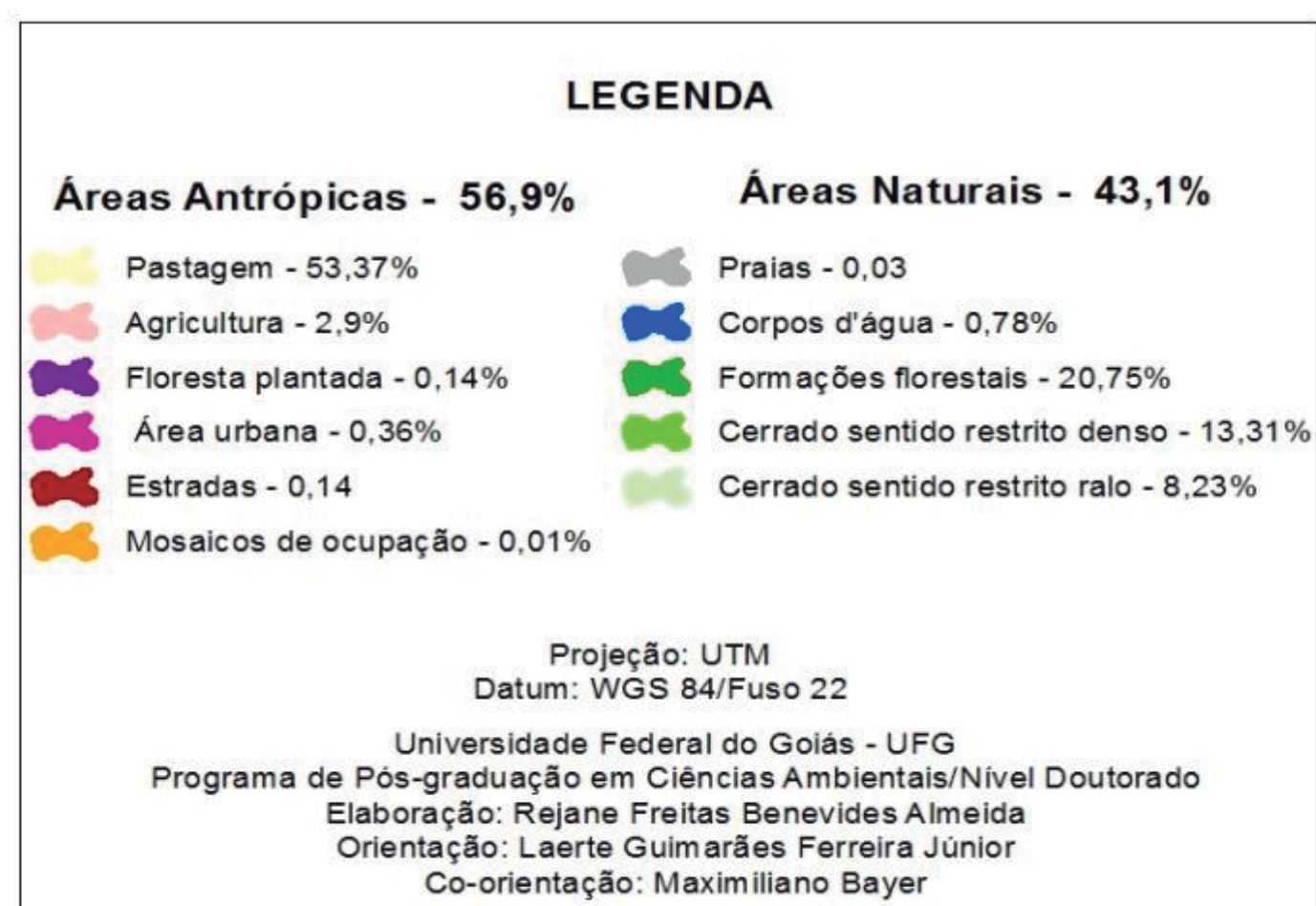
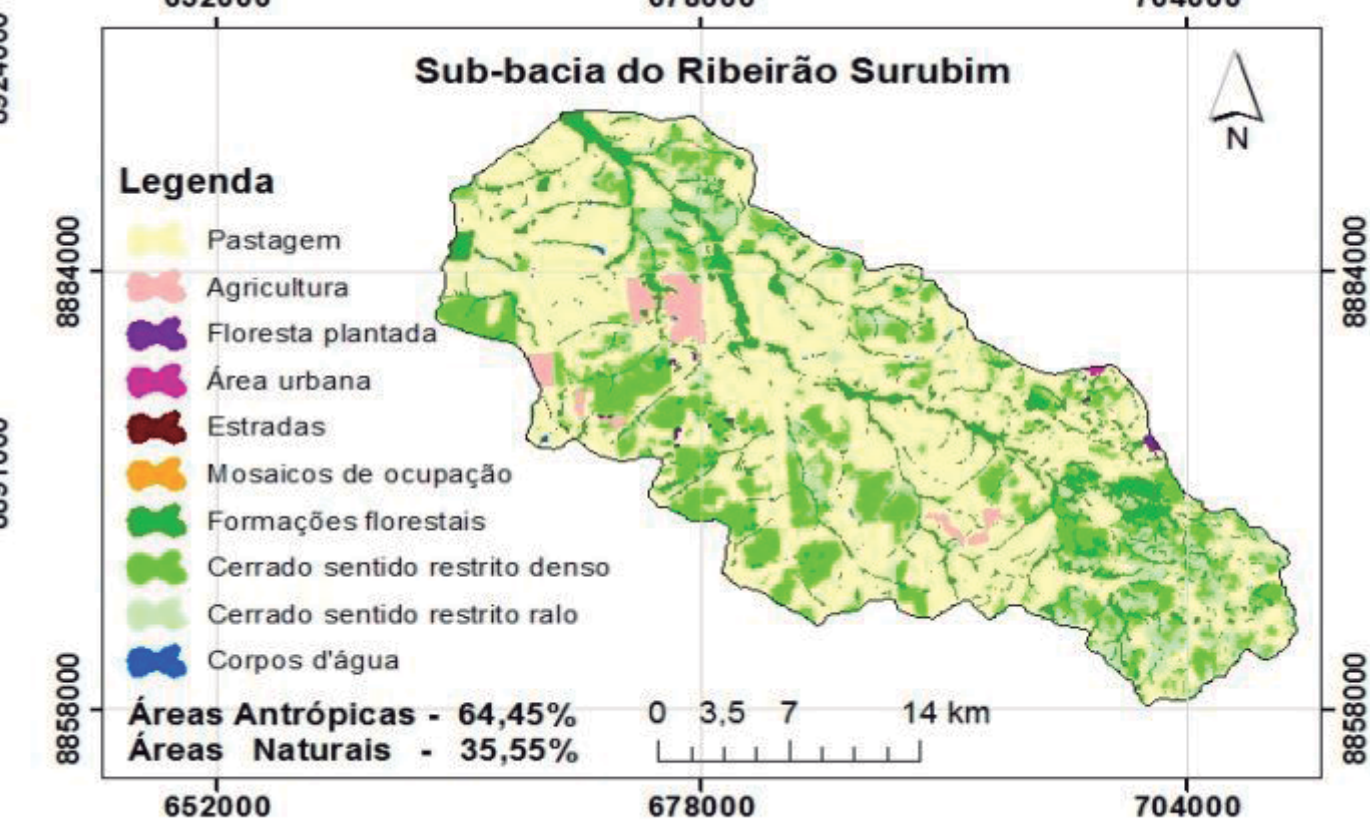
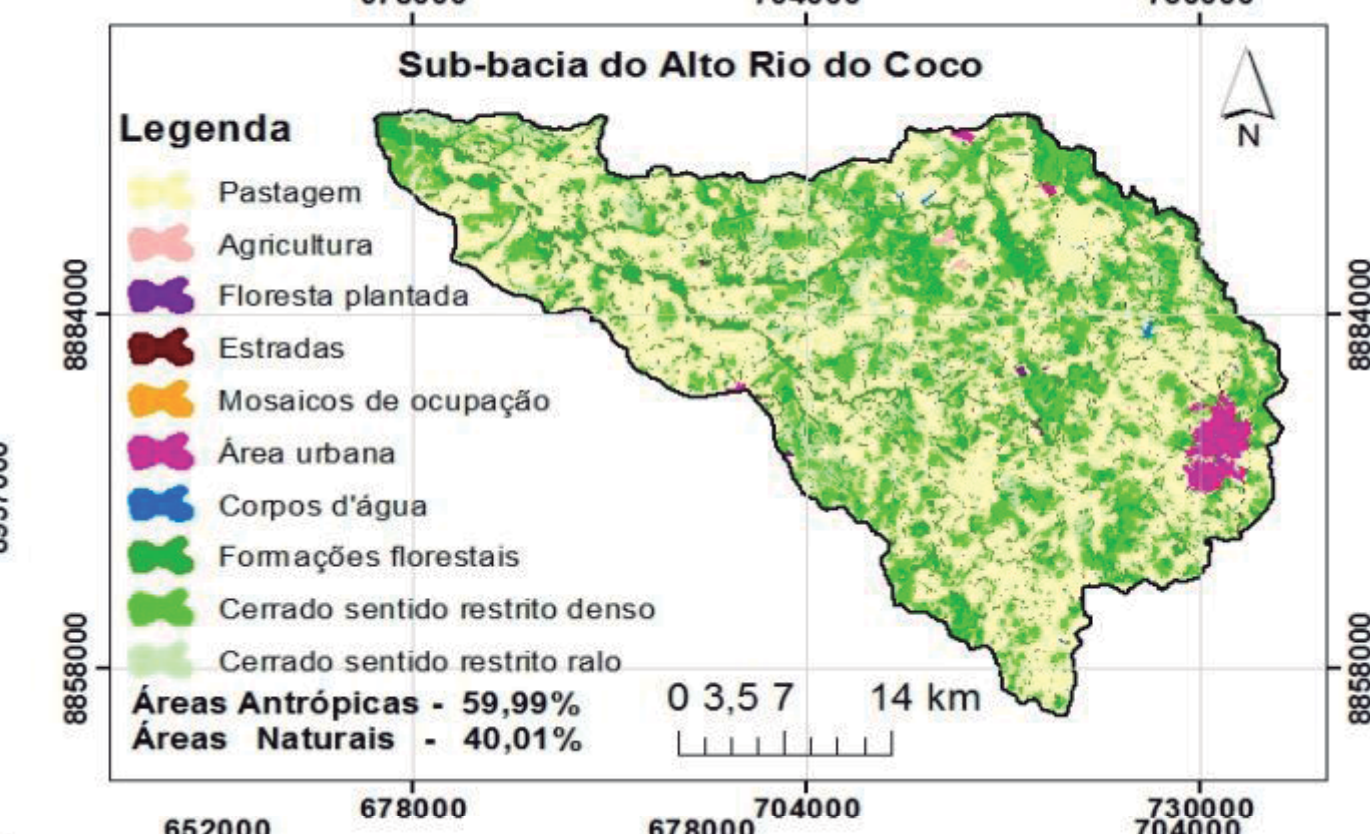
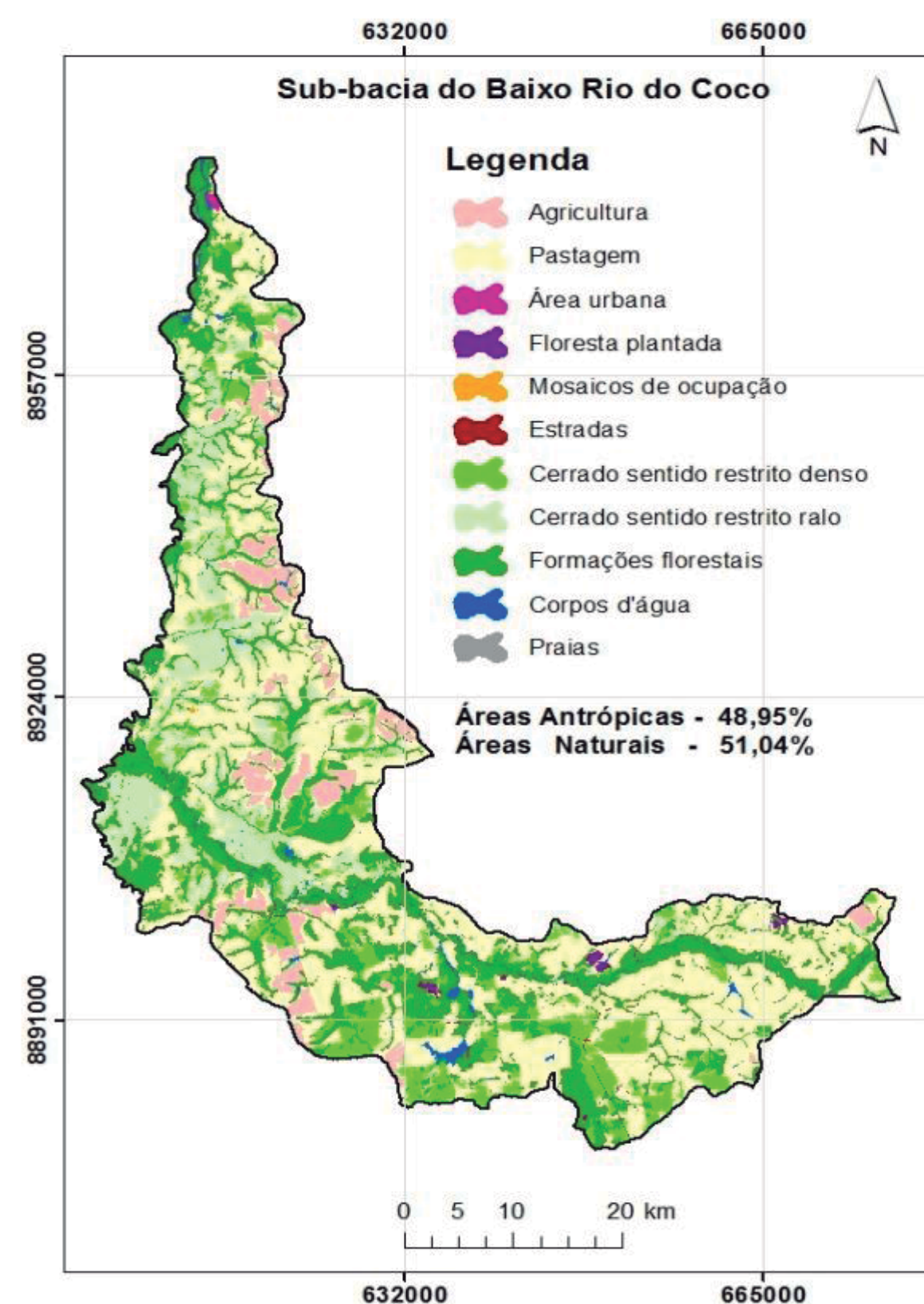
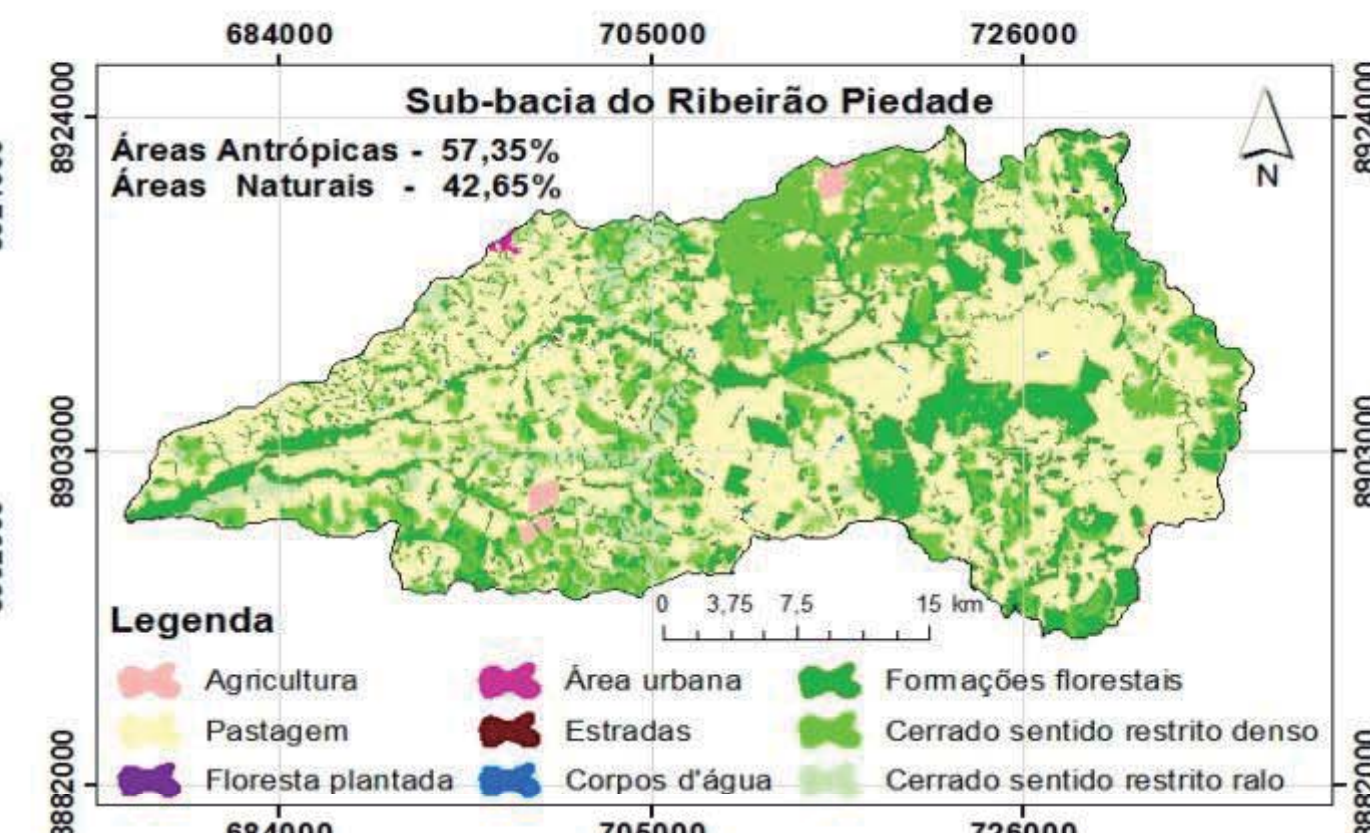
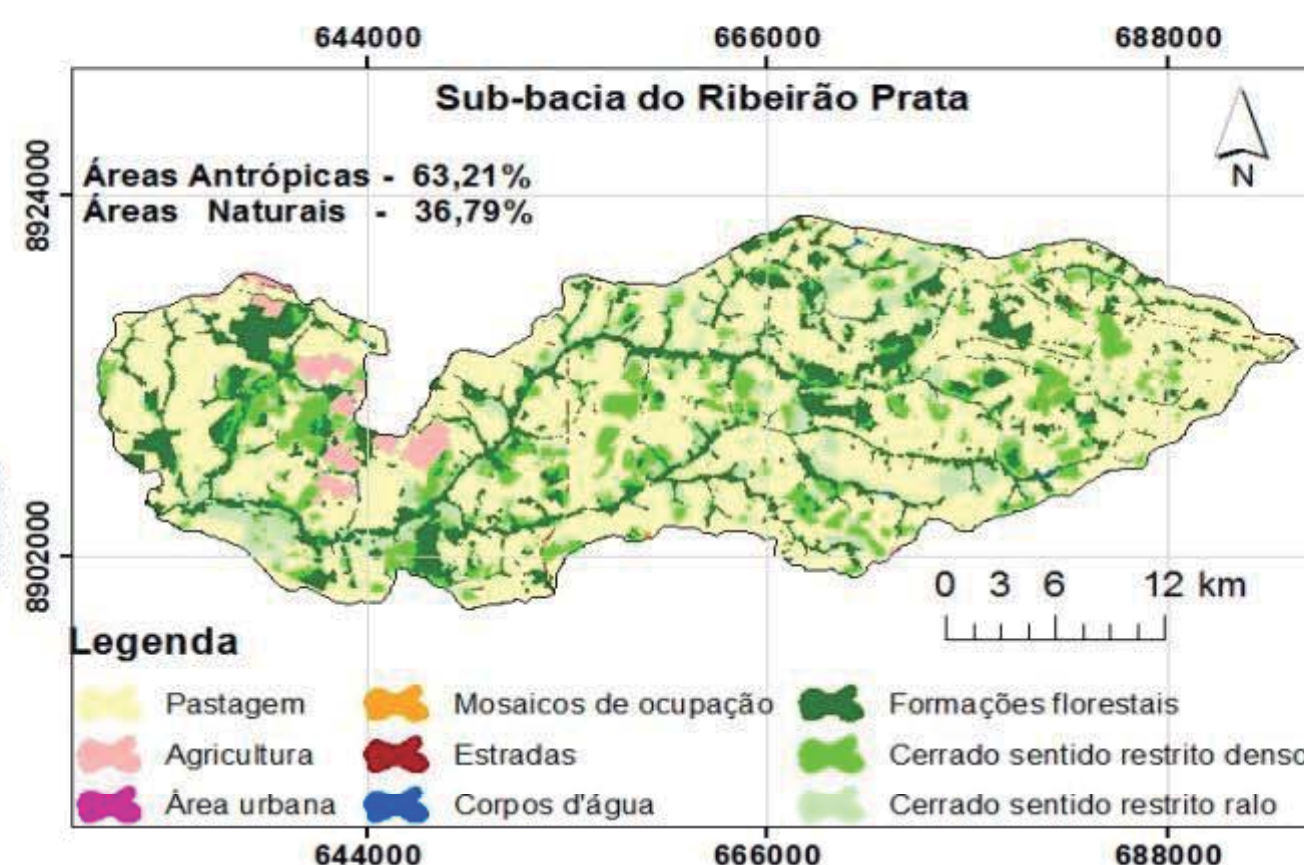
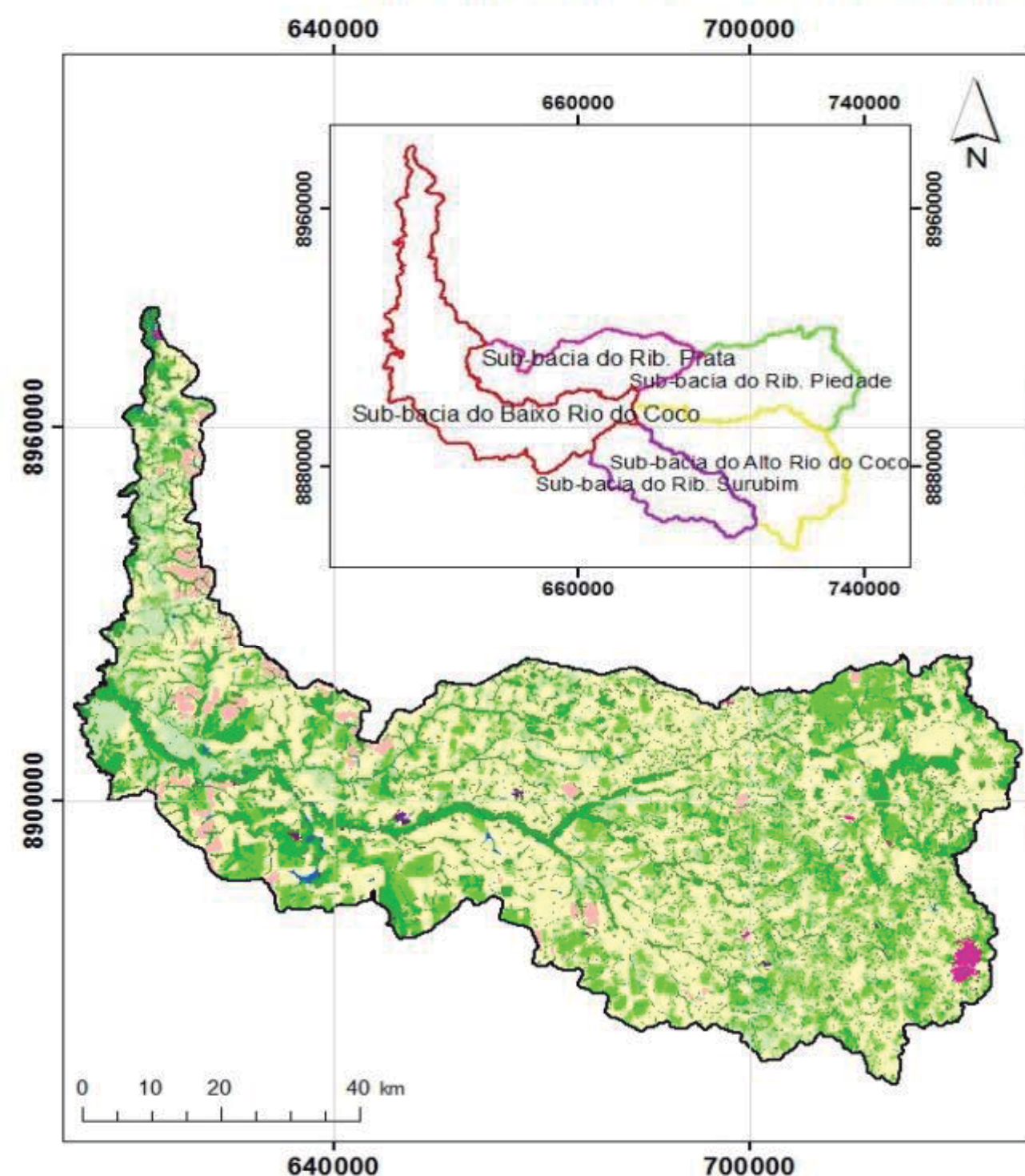
- |  |                                |                                           |
|--|--------------------------------|-------------------------------------------|
|  | Limite da bacia                | <b>Ordem dos cursos d'água (Strahler)</b> |
|  | Cursos d'água                  |                                           |
|  | Alta bacia do Rio do Coco      |                                           |
|  | Sub-bacia do Alto Rio do Coco  | Hd_Ordem_1                                |
|  | Sub-bacia do Rib. Piedade      | Hd_Ordem_2                                |
|  | Sub-bacia do Rib. Surubim      | Hd_Ordem_3                                |
|  | Baixa bacia do Rio do Coco     | Hd_Ordem_4                                |
|  | Sub-bacia do Baixo Rio do Coco | Hd_Ordem_5                                |
|  | Sub-bacia do Rib. Prata        | Hd_Ordem_6                                |
|  |                                | Hd_Ordem_7                                |

Projeção: UTM  
Datum: WGS 84/Fuso 22

Universidade Federal do Goiás - UFG  
Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais/Nível Doutorado  
Elaboração: Rejane Freitas Benevides Almeida  
Orientação: Laerte Guimarães Ferreira Júnior  
Co-orientação: Maximiliano Bayer

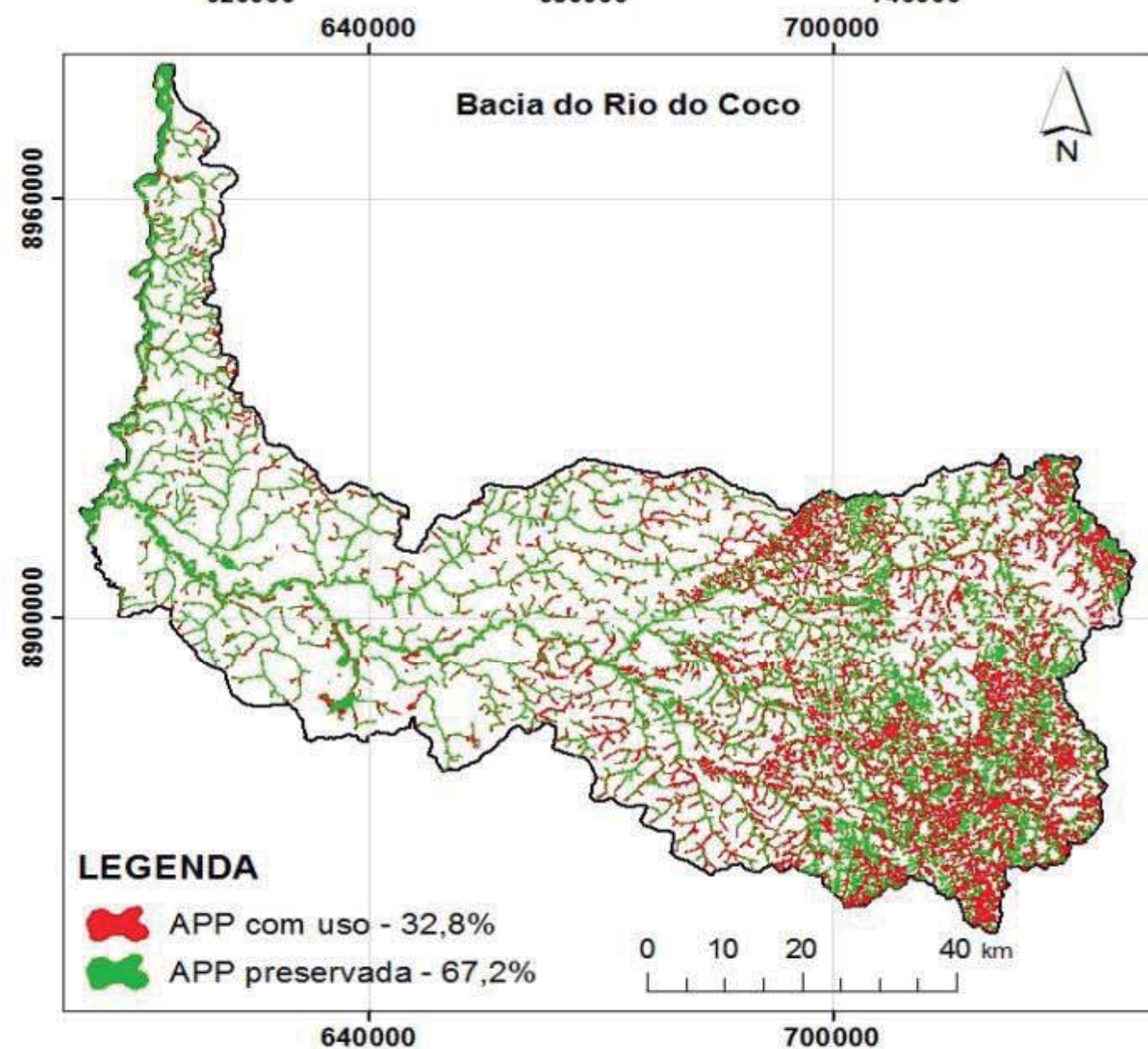
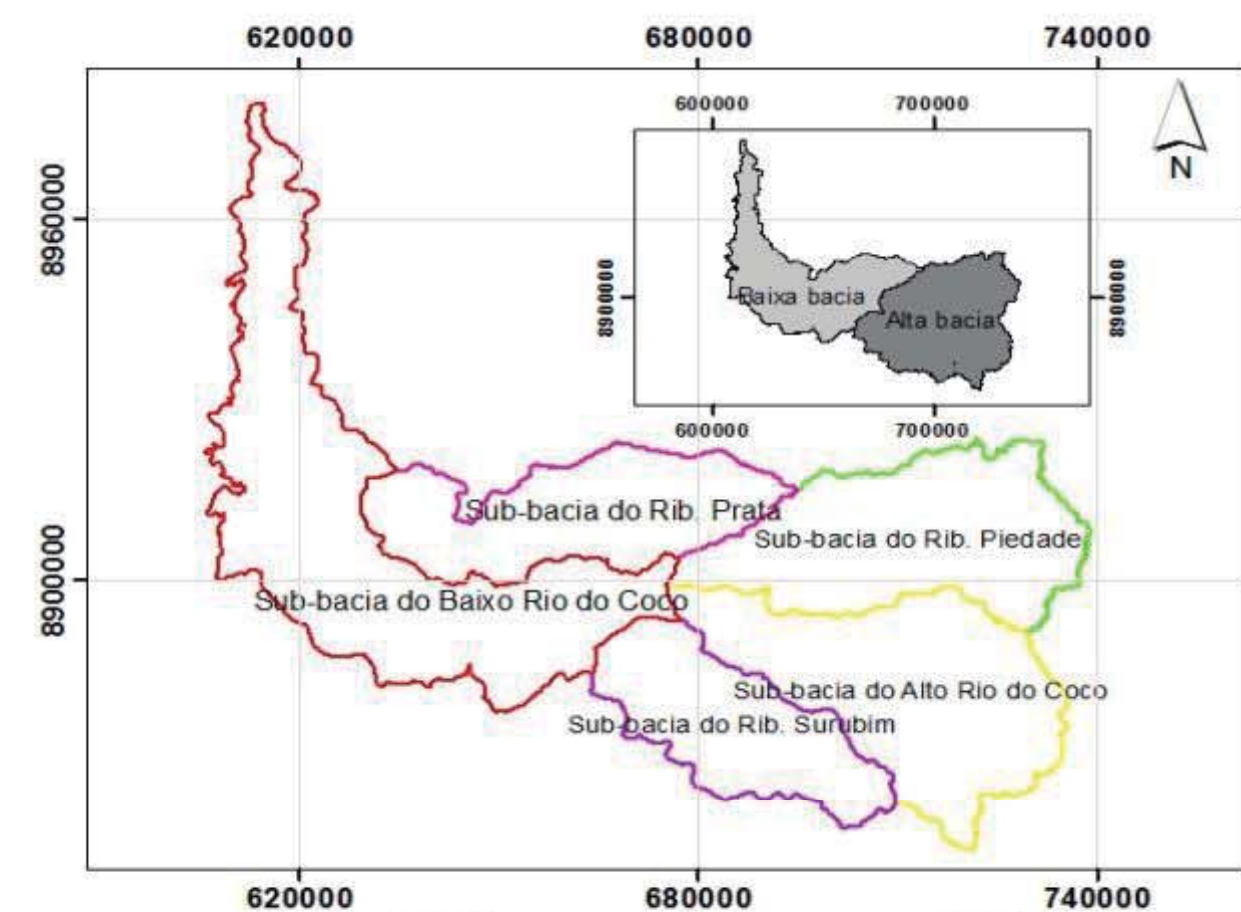


## APÊNDICE C – Uso e cobertura da terra da bacia do Rio do Coco e de suas sub-bacias principais.

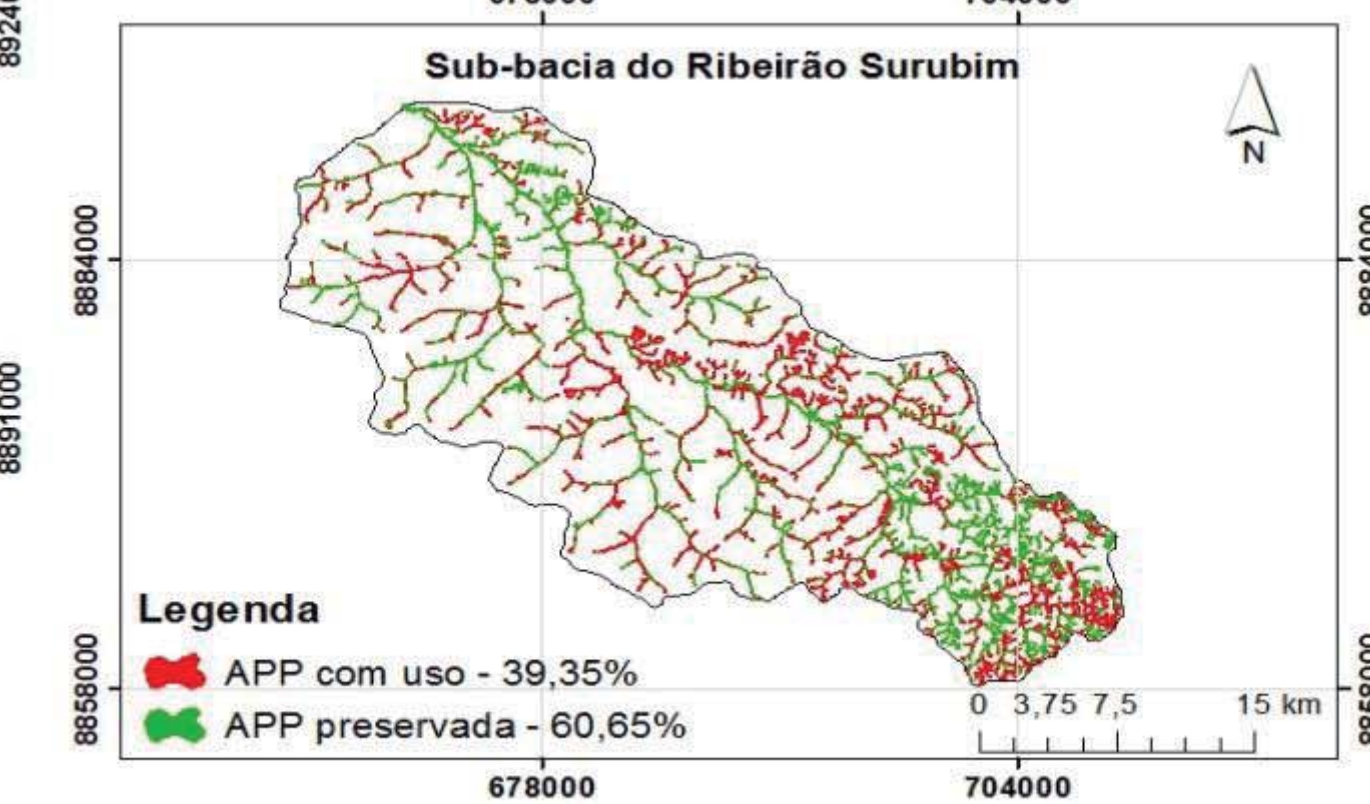
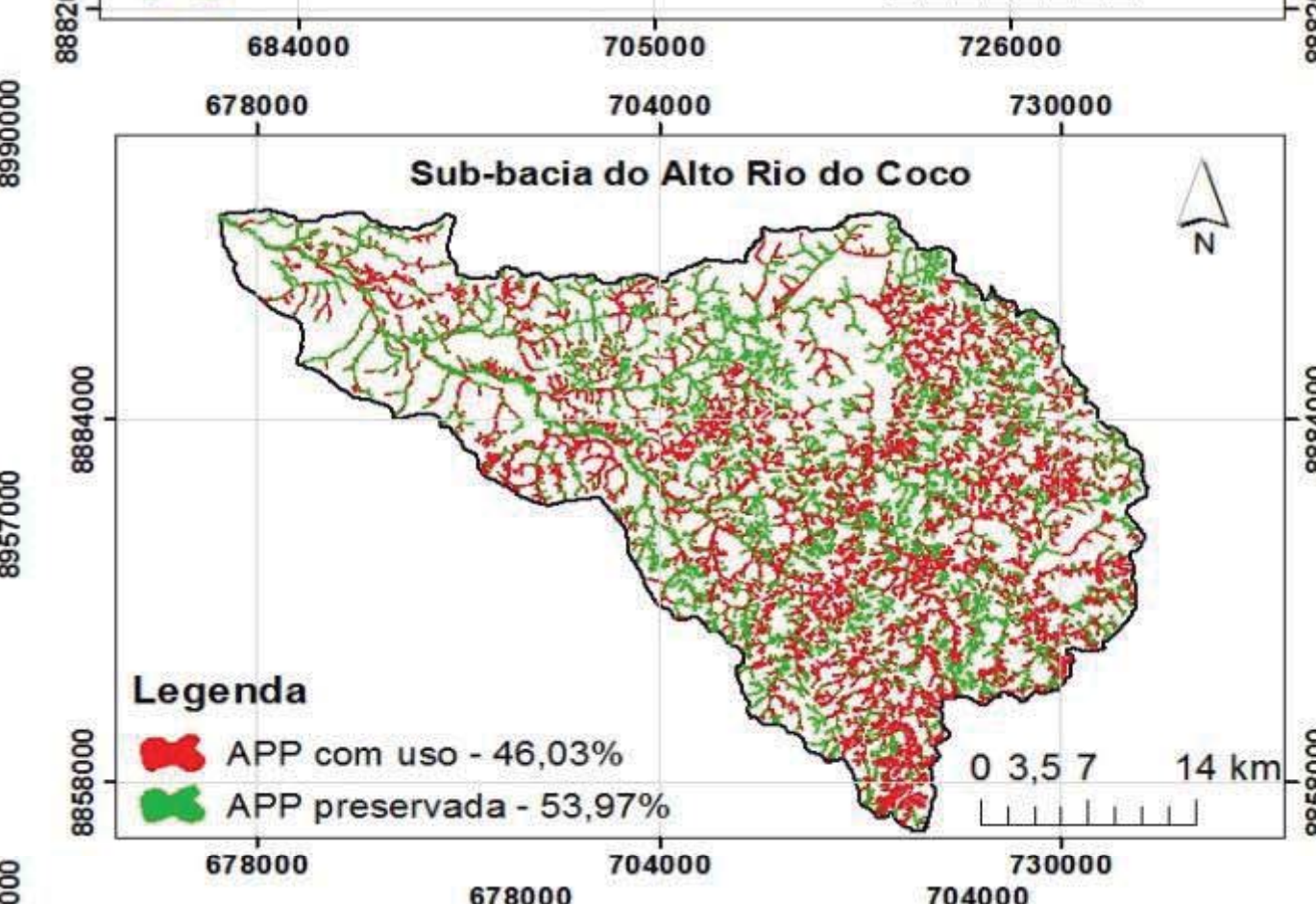
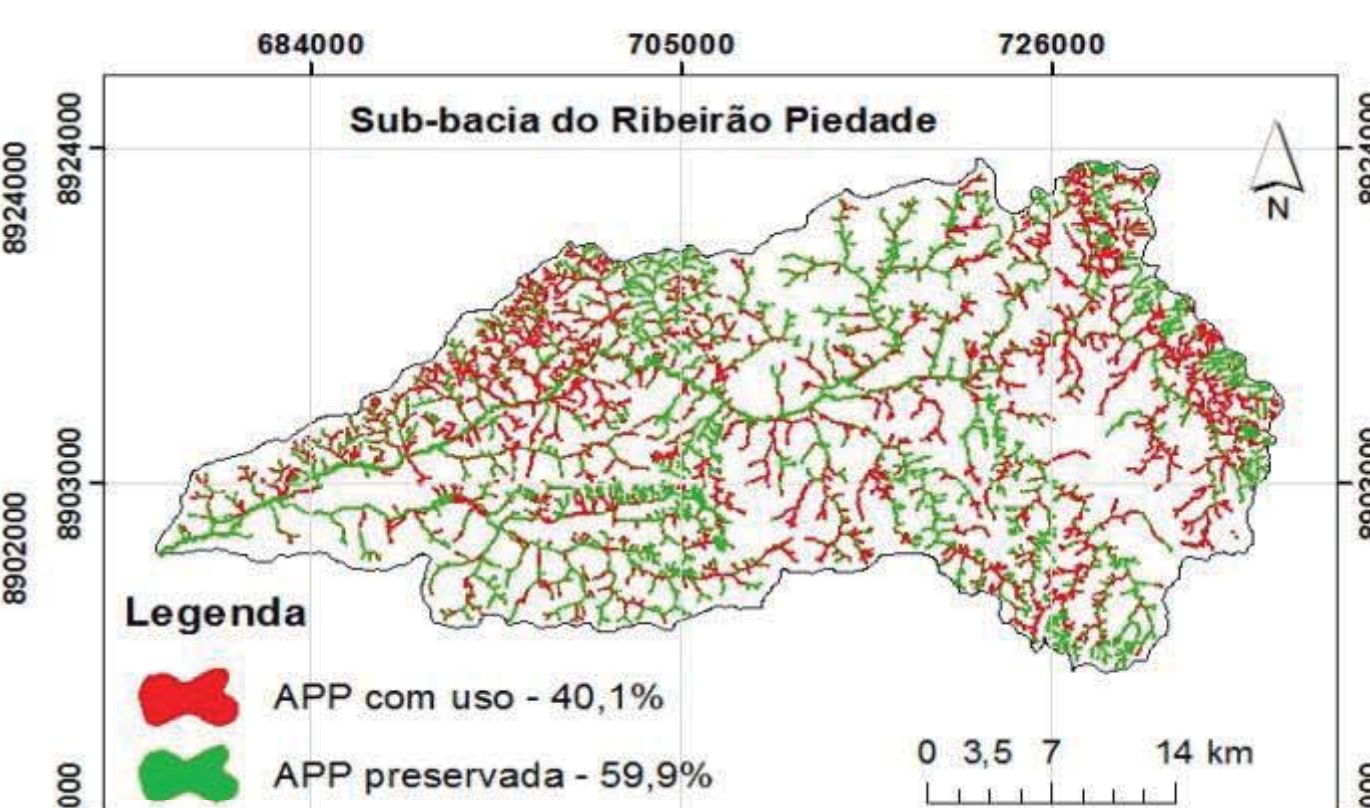
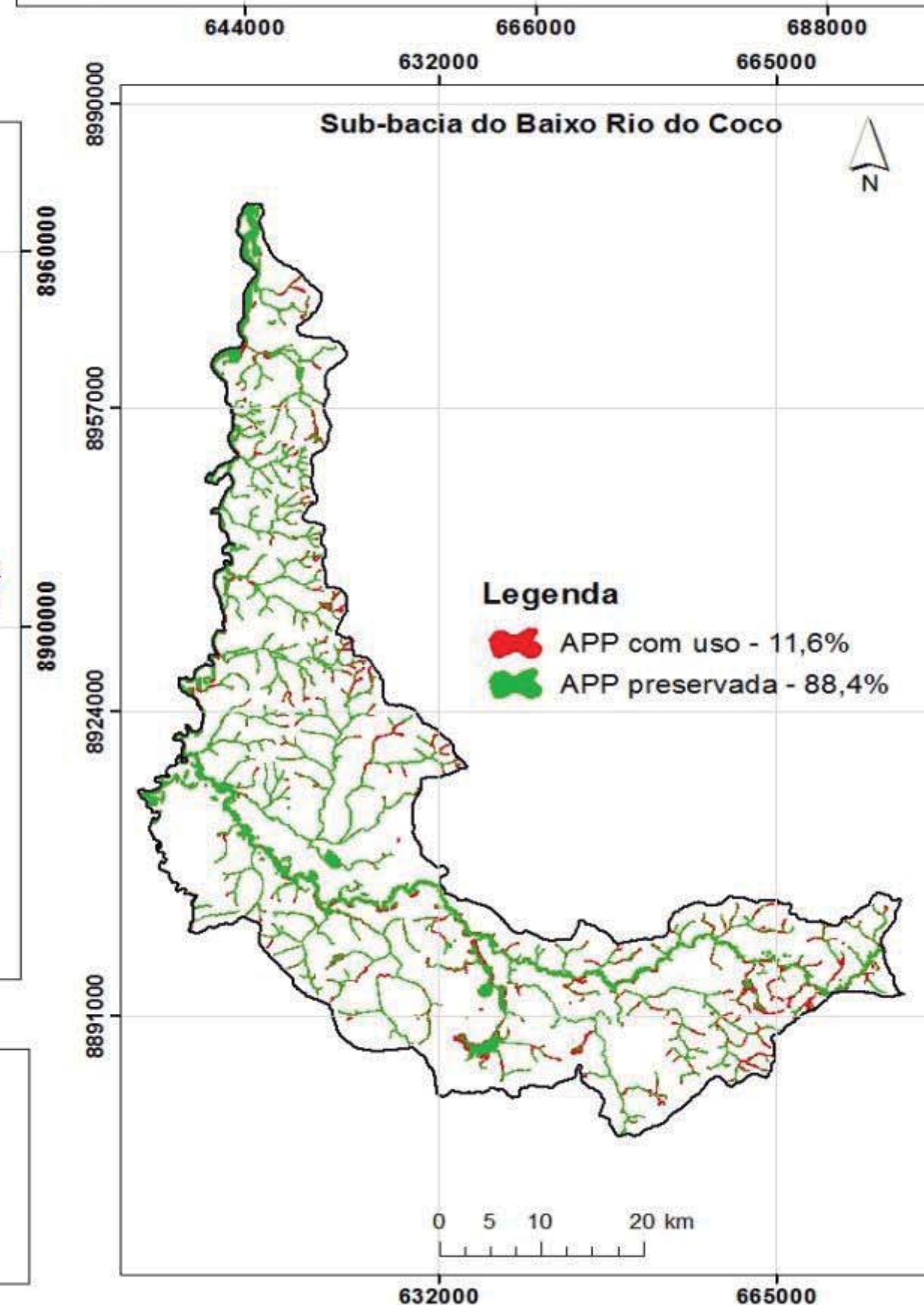
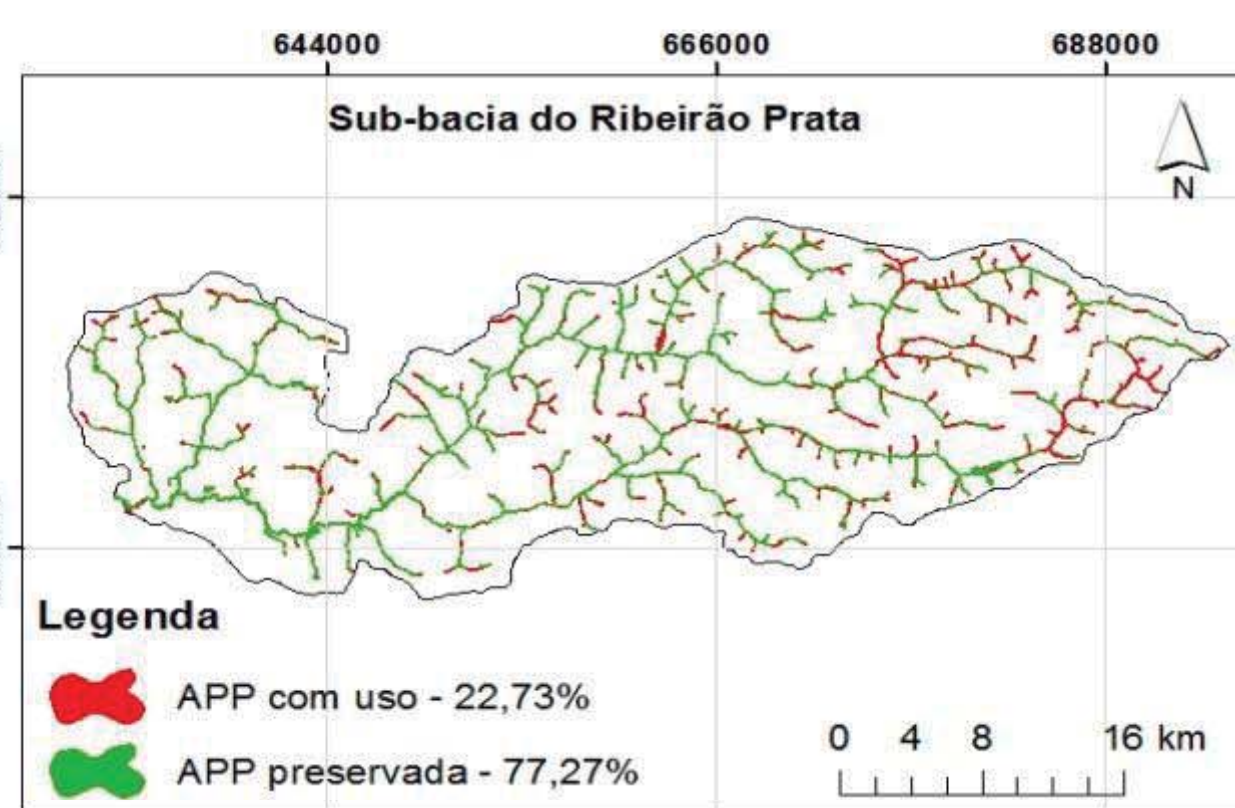




# APÊNDICE D – Conflitos de uso nas áreas de preservação permanente de cursos d'água da bacia do Rio do Coco e de suas sub-bacias principais

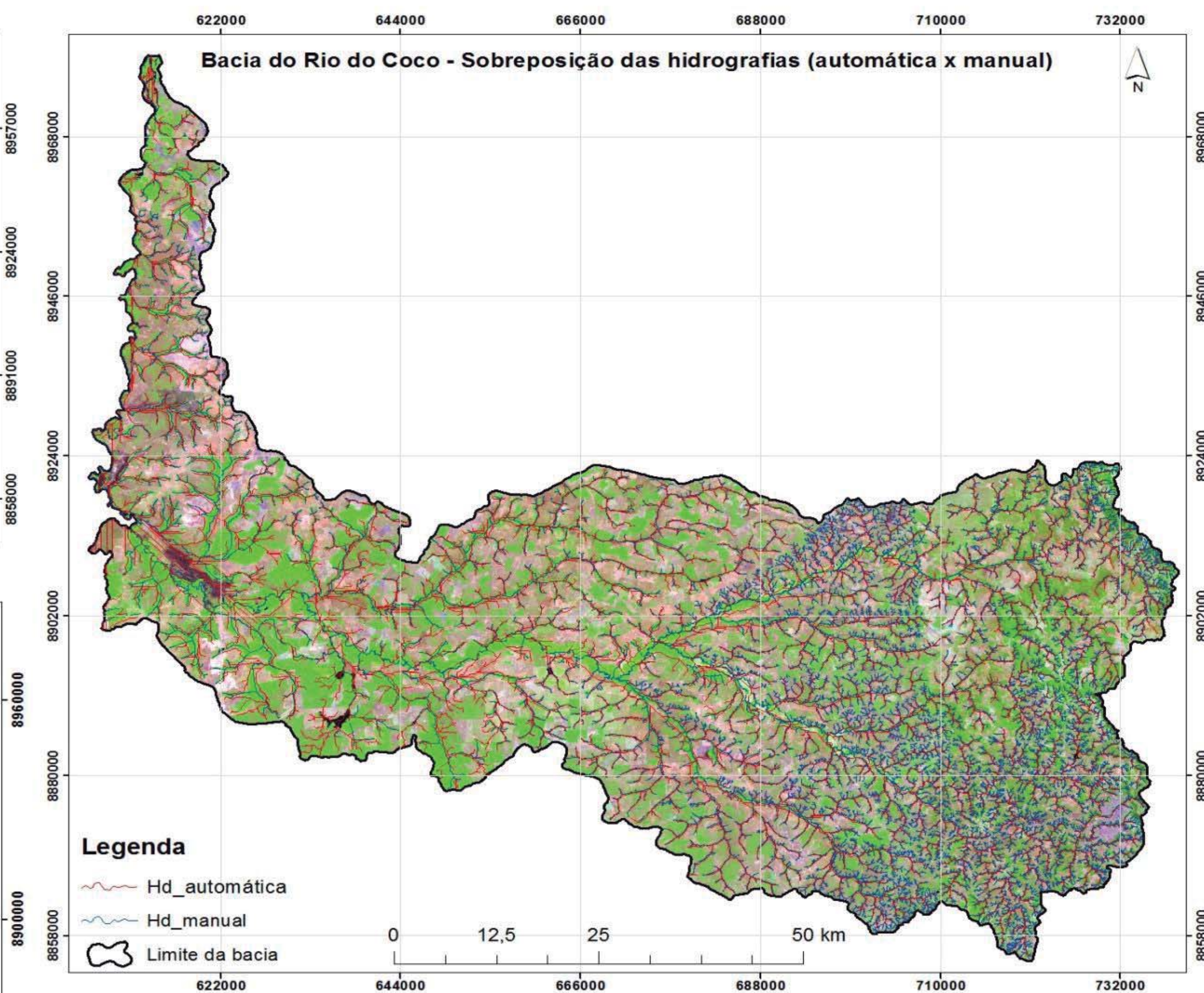
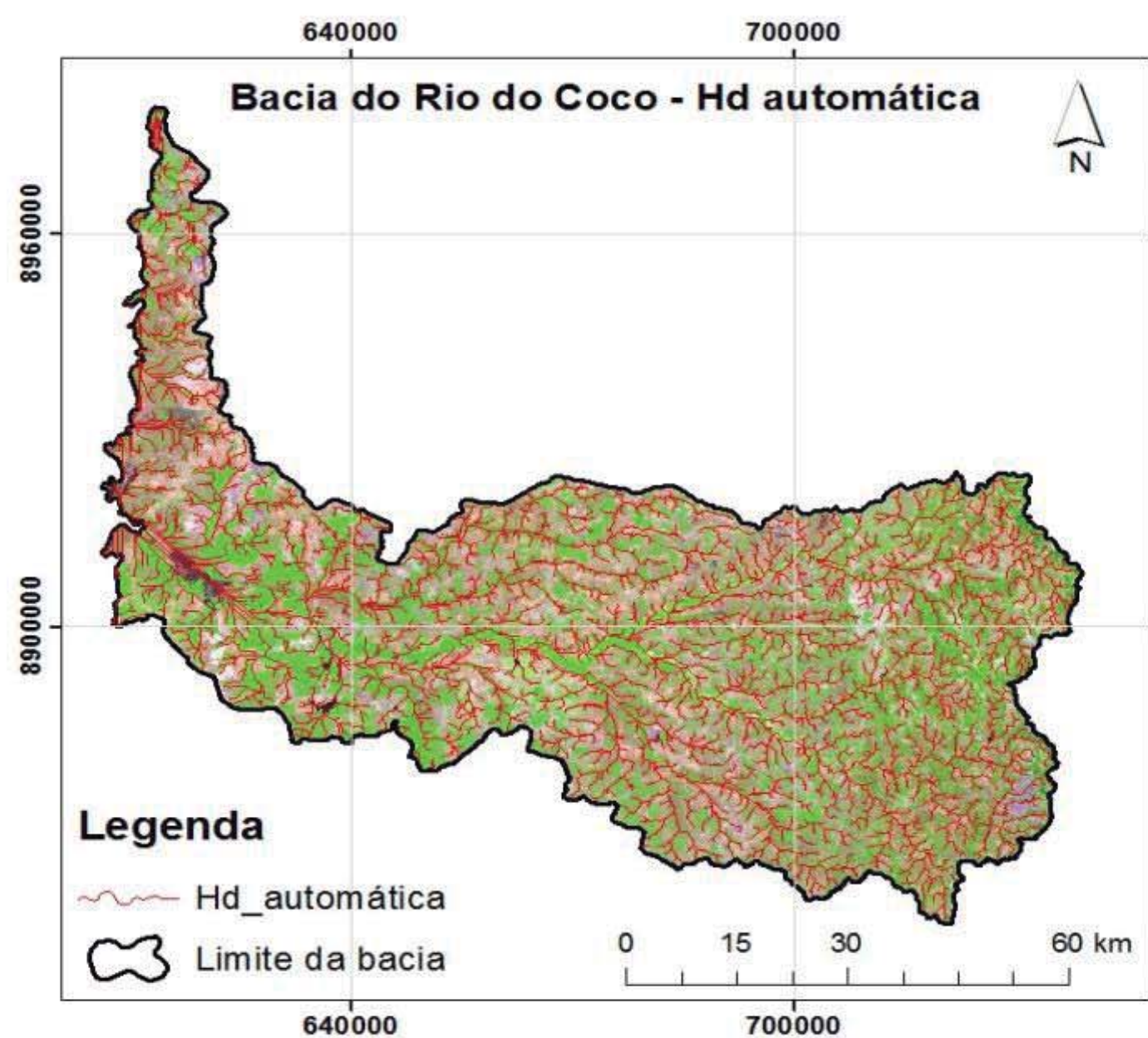
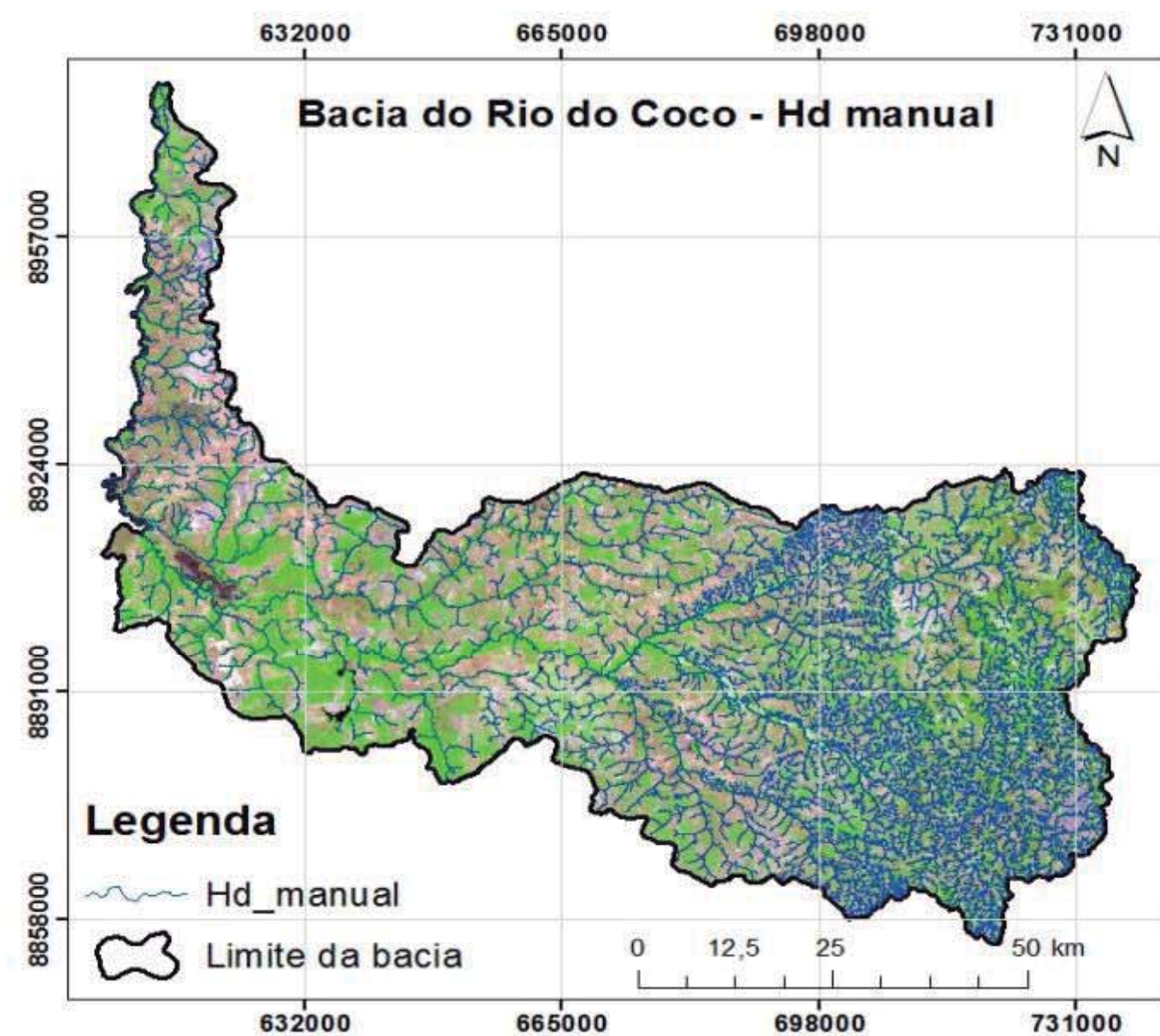


Projeção: UTM  
Datum: WGS 84/Fuso 22  
Universidade Federal do Goiás - UFG  
Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais/Nível Doutorado  
Elaboração: Rejane Freitas Benevides Almeida  
Orientação: Laerte Guimarães Ferreira Júnior  
Co-orientação: Maximiliano Bayer





# APÊNDICE E – Diferenças entre as hidrografias obtidas por meio da digitalização manual e automática com MDE



Projeção: UTM  
 Datum: WGS 84/Fuso 22  
 Universidade Federal do Goiás - UFG  
 Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais/Nível Doutorado  
 Elaboração: Rejane Freitas Benevides Almeida  
 Orientação: Laerte Guimarães Ferreira Júnior  
 Co-orientação: Maximiliano Bayer