



## **Análise e Compartimentação Morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú – Pernambuco/Alagoas**

**Gomes<sup>1</sup>, Daniel Dantas Moreira; Duarte<sup>2</sup>, Cynthia Romariz; Veríssimo<sup>2</sup>, César Ulisses Vieira; Lima<sup>3</sup>, Djenane Regina Maia**

**Resumo:** O objetivo deste trabalho é avaliar a morfometria da bacia hidrográfica do Rio Mundaú, localizada na mesorregião do Agreste Pernambucano e do Leste Alagoano. As características morfométricas foram agrupados segundo suas características em: análise linear, análise areal e análise hipsométrica, onde os atributos lineares envolvem a rede de drenagem e seu arranjo espacial dentro da bacia. Para detalhar o estudo foi considerada a caracterização da bacia do rio Mundaú e suas sub-bacias, onde cada uma foi analisada individualmente. A bacia hidrográfica em questão abrange uma área de 4101,90 km<sup>2</sup>, com um perímetro de 506,99 km, podendo ser dividida em seis sub-bacias, Mundaú (alto, médio e baixo), Canhoto, Inhaúma e Satuba. Seu canal principal da sua nascente até seu exutório percorre cerca de 195,073 km. Possui uma declividade variável com uma predominância de um relevo fortemente ondulado (11,31 - 24,23° / 20-45%), todas suas sub-bacias apresentam formas alongadas, proporcionado pela sua variação altimétrica. Apresenta uma hierarquia fluvial variada chegando a 7<sup>a</sup> ordem. Os resultados obtidos com a análise morfométrica da bacia hidrográfica do Rio Mundaú contribuem para a compreensão das características físico-naturais e geomorfológicas, além da sua dinâmica hidrológica que torna-se fundamental para o entendimento de seu comportamento erosivo.

**Palavras-chave:** Bacia Hidrográfica, Morfometria, Análise Geomorfológica, Rio Mundaú.

**Abstract:** *The objective of this study is to evaluate the morphology of the river basin Mundaú, located in the middle region of the Wasteland Pernambuco and Alagoas Eastern. Morphometric characteristics were grouped according to their characteristics: linear analysis, areal analysis and hypsometric analysis, where the linear attributes involve the drainage network and their spatial arrangement within the basin. To detail the study was considered the characterization of the river basin Mundaú and its sub-basins, each of which was individually analyzed. The catchment area in question covers an area of 4101.90 km<sup>2</sup>, with a perimeter of 506.99 km and can be divided into six sub-basins,*

1 Professor Assistente da Universidade de Pernambuco – UPE – Campus Garanhuns

2 Universidade Federal do Ceará – Departamento de Geologia

3 Programa de Pós-Graduação em Geologia – Universidade Federal do Ceará

Autor para correspondência: Daniel Dantas Moreira Gomes

Universidade de Pernambuco – UPE / Campus Garanhuns, Rua Cap. Pedro Rodrigues, 105, Garanhuns – PE. CEP.: 55294-902. E-mail: [daniel.gomes@upe.br](mailto:daniel.gomes@upe.br)

Recebido em 03 de Novembro de 2014 / Aceito em 28 de Dezembro de 2014

*Mundaú (high, medium and low), Canhoto, Inhaúma and Satuba. Its main channel from its source to its exutório travels about 195.073 km. Has a variable slope with a predominance of a relief strongly corrugated (11.31 - 24,23° / 20-45%), all its sub-basins have elongated shapes, provided by its altimetric variation. Presents a varied fluvial hierarchy coming to 7th order. The results of the morphometric analysis of river basin Mundaú contribute to the understanding of the physical-natural and geomorphological characteristics, besides its hydrological dynamics is fundamental to understanding its erosive behavior.*

**Keywords:** Watershed, Morphometry, Geomorphological analysis, River Mundaú.

## 1. INTRODUÇÃO

A análise da morfometria da bacia hidrográfica do Rio Mundaú contribui para a compreensão de suas características físico-naturais e hidrológicas, tornando-se um instrumento fundamental para o entendimento de sua dinâmica morfogenética e subsidia um mapeamento geomorfológico mais detalhado. Segundo Christofolletti (1980) os cursos de água constituem processos morfogenéticos dos mais ativos na esculturação da paisagem terrestre, onde os padrões de drenagem referem-se ao arranjo espacial dos cursos fluviais, que influencia e é influenciado por atividades morfogenéticas, pela natureza e disposição das camadas rochosas e suas resistências e também pelas diferenças de declividade e evolução geomorfológica da região.

Para Machado & Torres (2012) a análise morfométrica abrange um grande número de parâmetros que permitem caracterizar o ambiente da bacia, sua predisposição a ocorrência de eventos hidrológicos e a incompatibilidade de certas atividades humanas de uso e ocupação do solo. Fritzsos & Mantovani (2010) ressaltam que os estudos de morfometria de bacias hidrográficas têm contribuído de forma significativa para a compreensão da evolução da paisagem e da hidrologia.

Já Barros et al. (2010) exemplificam que a leitura de alguns índices morfométricos podem revelar anomalias na rede de drenagem, as quais

decorrentes de fatores tectônicos, estruturais, climáticos e antrópicos, e que a aplicação desses parâmetros morfométricos é uma das principais formas de se avaliar quantitativamente o comportamento das bacias hidrográficas diante dos diferentes condicionantes geomorfológicos atuantes nas mesmas.

Nesse sentido é importante considerar as características morfométricas, das bacias hidrográficas analisando-as de forma sistêmica e considerando-a de forma integrada, pois essas características refletem inúmeros processos de sua evolução e determinam sua capacidade de suporte a ocupação, possibilitando o melhor aproveitamento dos recursos naturais e um diagnóstico adequado sobre os mesmos. Correlacionar a hidrografia com seu arranjo espacial permite identificar o grau de desenvolvimento de todo o sistema hidrológico da bacia, caracterizando seus aspectos geomorfológicos.

A bacia em estudo possui uma extensa área, o que tornou necessária a utilização de um modelo digital de elevação, que viabilizasse os cálculos altimétricos e morfométricos, sendo utilizadas cenas do Shuttle Radar Topography Mission – SRTM (VALERIANO, 2002; 2003; 2004), dentre as análises morfométricas pode-se agrupar-las segundo suas características em: análise linear, análise areal e análise hipsométrica, onde os atributos lineares

envolvem a rede de drenagem e seu arranjo estrutural dentro da bacia.

## 2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Localizada entre a mesorregião do Agreste Pernambucano e o Leste Alagoano, com as coordenadas 8°42' e 9°36' de latitude Sul e 36°39' e 35°47' de longitude Oeste (Figura 1), a bacia hidrográfica do Rio Mundaú ocupa uma área de 4.101,90 km<sup>2</sup> e abrange 16

municípios do Estado de Pernambuco (Angelim, Brejão, Caetés, Calçado, Canhotinho, Capoeiras, Correntes, Garanhuns, Jucati, Jupi, Jurema, Lagoa do Ouro, Lajedo, Palmeirina, Quipapá e São João) e 17 municípios do Estado de Alagoas (Atalaia, Branquinha, Capela, Chã Preta, Flexeiras, Ibateguara, Maceió, Messias, Murici, Pilar, Quebrangulo, Rio Largo, Santa Luzia do Norte, Santana Do Mundaú, São José da Laje, Satuba, União Dos Palmares).

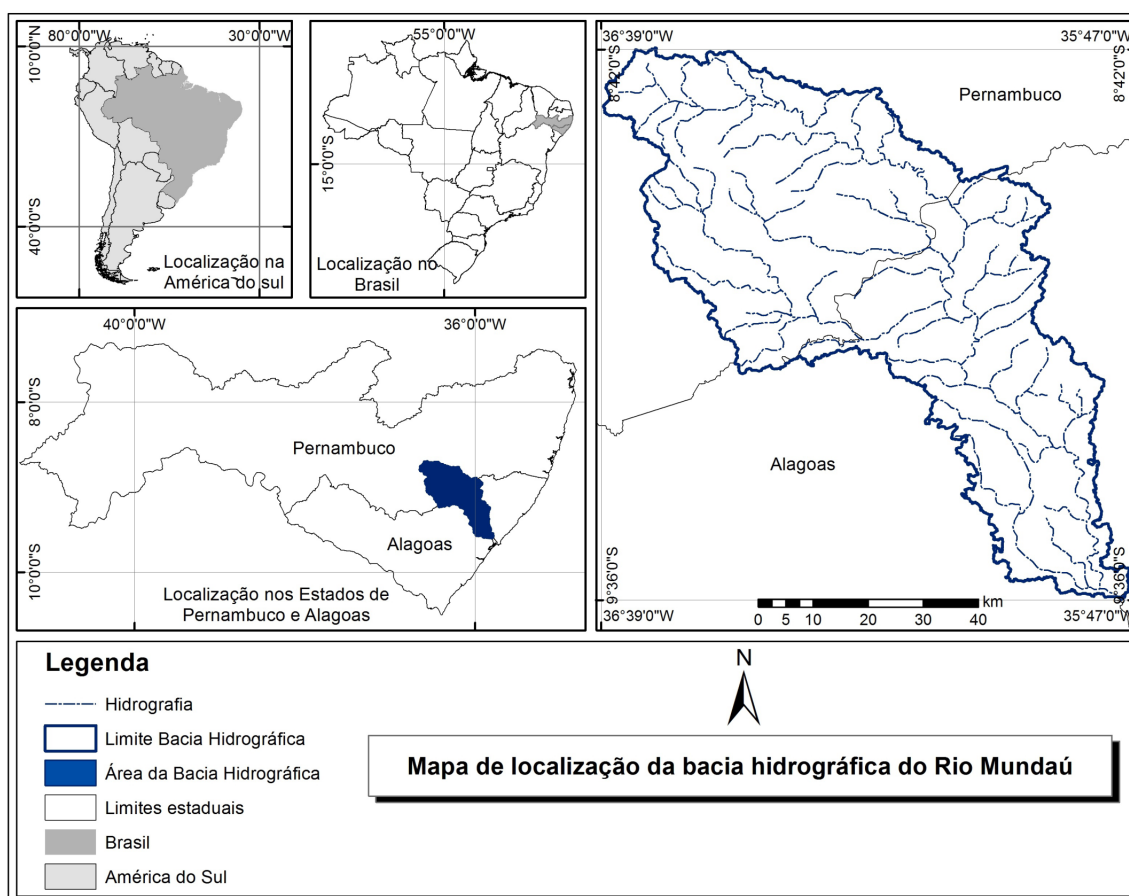


Figura 1: Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú.

Segundo Da Silva (2009) o clima da bacia hidrográfica é do tipo Köppen, Aw (Tropical, onde o inverno é a estação seca). A precipitação média na bacia é de 900 mm anual, podendo atingir até 2000 mm anual próximo a região litorânea, devido à influência das brisas marítimas e de sistemas atmosféricos globais que transportam mais umidade para o continente, provocando maior

concentração de chuvas nessa área. Os maiores índices pluviométricos concentram-se nos meses de fevereiro a julho correspondendo à aproximadamente 73% de toda precipitação anual local.

Analisando as características morfoestruturais da Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú podemos compartimentá-la em três grandes unidades: Planalto da Borborema onde localiza-se suas

nascentes (sub compartimentadas em bacias do alto curso, Inhaúma e Canhoto), seguindo seu curso pela Depressão Periférica da Borborema (bacia do médio curso), atravessando os Depósitos sedimentares do Quaternário até desaguar na Lagoa Mundaú (bacia do baixo curso e Satuba), percorrendo em seu canal principal da sua nascente até seu exutório aproximadamente 195,073 km em seu percurso.

No Planalto da Borborema, as terras altas estão situadas acima de 200 metros de altitude, ao norte do rio São Francisco, estruturado nos diversos litotipos cristalinos correspondentes aos maciços arqueanos remobilizados, sistemas de dobramentos brasileiros e intrusões ígneas neoproterozóicas sintardi- e pós-orogênicas (CORRÊA *et al.*, 2010).

A Depressão Periférica da Borborema está situada entre 90 e 200 metros de altitude, estruturado no Complexo Belém do São Francisco, com predominância de rochas metamórficas do domínio dos complexos gnaiss-migmatíticos e granulitos, apresentando um arcabouço moderadamente a intensamente fraturada (distribuição irregular).

Os depósitos sedimentares do Quaternário com altitude variada, situados entre 10 e 180 metros, estão estruturados no Complexo Arapiraca, na transição da depressão periférica da Borborema. Na porção mais ao sul, próximo a Lagoa mundaú, o Grupo Barreiras, possui predominância de rochas sedimentares do Cenozoico, que estão pouco a moderadamente consolidados. Podemos observar também depósitos flúvio-lagunares, de material superficial inconsolidado e depositadas em meio aquoso (CPRM, 2010).

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Materiais

A pesquisa teve início com o levantamento de material bibliográfico e dos dados cartográficos e de imagens de satélite da área de estudo. Também foram consultados artigos, livros, monografias, dissertações, teses e trabalhos técnicos, para dar sustentação teórica da pesquisa.

Foram utilizados dados altimétricos da missão SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*), reamostrados de 90 para 30 metros pelo método da Krigagem (VALERIANO & ROSSETTI, 2011), detalhados por Valeriano (2008) e disponíveis em <http://www.dsr.inpe.br/topodata/>, sendo as cenas utilizadas foram: 08S375ZN, 09S375ZN, 08S36\_ZN e 09S36\_ZN correspondendo ao Modelo Digital de Elevação (MDE) no formato *GeoTiff* (.tif).

O material cartográfico foi organizado e gerenciado em um Geodatabase, e os dados foram baseados em arquivos do ArcGIS® 10.2 permitindo assim sua integração, armazenamento e operações em um sistema de informações geográficas (SIG). O banco de dados criado permitiu integrar todas as cenas e outros insumos cartográficos levantados.

Na adequação dos documentos cartográficos adquiridos no levantamento e gerado na pesquisa, foi levado em consideração o efeito limitante do fator de escala, onde foram observadas as escalas originais de cada base cartográfica. Objetivando a adequação e a padronização da mesma, foi determinado para a pesquisa a escala de 1:100.000, já que os dados do SRTM estão limitados a essa escala, devido a natureza do desenho da drenagem, cujas características variam com a escala de análise/representação (FERNÁNDEZ *et al.*, 2012).

### 3.2 Processamento dos dados

As cenas altimétricas obtidas pela missão SRTM foram mosaicadas utilizando-se para tanto os módulos disponíveis no ArcGis 10.2 com o *ArcToolbox*, ferramenta *Raster Dataset e Mosaic To New Raster*, onde a mesma passou a formar uma única cena contendo o Modelo Digital de Elevação (MDE). Para facilitar e diminuir o tempo de processamento a nova cena mosaicada foi convertida para o formato GRID (.grid).

O processamento dos dados foi desenvolvido visando realçar as informações relativas à morfometria e hidrografia da bacia, sendo aplicada a técnica de filtragem média (EASTMAN, 2006), que serviu para promover uma expressiva melhoria das características morfológicas e visuais da drenagem (FERNÁNDEZ *et al.*, 2012), onde os resultados gerados com esses filtros apresentam modificações dos níveis de cinza, valorizando e suavizando os detalhes da hidrografia.

Para a delimitação da bacia hidrográfica e sub-bacias também foi utilizado no ArcGis 10.2, o *ArcToolbox*, ferramentas *Spatial Analyst Tools (Hidrology e Conditional)*, seguindo metodologia utilizadas por Medeiros, Ferreira, Ferreira (2009), Schuch & Loch (2011), Góes & Cirilo (2011), Leite, Almeida, Ferreira da Silva (2012), onde foi possível gerar automaticamente sua delimitação e sua hidrografia, permitindo gerar os dados morfométricos.

Segundo Fernández *et al.* (2012) a extração automática de drenagens é baseado na estimativa da área de captação, onde a mesma é definida como a soma de todas as áreas superficiais das células, cujo escoamento contribui para o ponto em questão. O algoritmo de fluxo utilizado é do tipo Determinístico de

Infinitas Direções (TARBOTON *et al.*, 1991) já que o mesmo apresenta nas redes de drenagem extraídas (FERNÁNDEZ *et al.*, 2012).

### 3.3 Análise morfométrica das bacias hidrográficas

A análise morfométrica serve como instrumento para levantamento de informações necessárias, que subsidiam o planejamento e gestão de bacias hidrográficas e possibilitam um diagnóstico aprofundado. Para Christofolletti (1980) a análise morfométrica pode ser agrupada segundo suas características em: análise linear, análise areal e análise hipsométrica, onde os atributos lineares envolvem a rede de drenagem e seu arranjo espacial dentro da bacia. Na análise areal são levadas em consideração as características da rede de drenagem e superfície da bacia hidrográfica. Já as hipsométricas são associadas às características tridimensionais da bacia, tratando do relevo correlacionando-o à rede de drenagem.

Relacionando os parâmetros lineares e quantificando a rede hidrográfica por meio de seus atributos e da relação existente entre elas, foram observados os seguintes padrões: Hierarquia fluvial; Padrões da drenagem; Relação de bifurcação (Rb); Comprimento do curso principal; Índice de sinuosidade do canal principal (Is) (Tabela 1).

A análise areal consiste em correlacionar os atributos da rede de drenagem e as áreas não drenadas do relevo, tendo como referência as características de sua área e a forma da bacia hidrográfica. Para determinar essa análise são observadas as seguintes características (Tabela 2): Área da bacia; Perímetro (P); Índice de circularidade (Ic); Densidade

de drenagem (Dd); Coeficiente de manutenção (Cm).

A análise hipsométrica busca correlacionar os atributos da rede de drenagem e a variação altimétrica do relevo, permitindo observar as

variáveis fisiográficas da bacia. Para determinar essa análise são observadas as seguintes características: Amplitude altimétrica; Hipsometria; Declividade; Perfil longitudinal.

Tabela 1: Características Observadas / Fórmulas e descrições das análises lineares (Hierarquia fluvial; Padrões da drenagem; Relação de bifurcação (Rb); Índice de sinuosidade do canal principal (Is); Comprimento do curso principal).

Análises		Características Observadas / Fórmulas e descrições
Análises lineares	Hierarquia fluvial	Consiste no processo de estabelecer a classificação de determinado curso de água no conjunto total da bacia hidrográfica, onde os canais de primeira ordem são os menores identificáveis caracterizados por drenagens intermitentes. Já nos de segunda ordem são formados pela confluência de dois canais de primeira ordem, seguindo essa lógica para as demais, onde a confluência de dois canais de ordem N resulta em um canal de ordem N+1 a jusante (STRAHLER, 1952; CHRISTOFOLETTI, 1980; TUCCI, 2004).
	Padrões da drenagem	Representa o arranjo espacial dos cursos fluviais. Dendrítica é a drenagem que se une formando ângulos agudos, sem chegar a ângulos retos; Paralela é a drenagem controlada por declividade acentuada e pelo controle da estrutura; Trelça é a drenagem com ângulos retos (Christofoletti, 1980).
	Relação de bifurcação (Rb)	É a razão entre o número total de canais de certa ordem e o número total de canais de ordem imediatamente superior cujos valores estão dentro de uma mesma bacia (CHEREM; MAGALHÃES; FARIA, 2008; STRAHLER, 1952). Sendo utilizado a seguinte equação: $Rb = Nw / Nw+1 \quad (1)$ Onde: Rb é a Relação de bifurcação; Nw é o número total de canais de uma ordem; e Nw+1 é o número total de canais de ordem imediatamente superior (LEITE; ALMEIDA; FERREIRA DA SILVA, 2012).
	Comprimento do curso principal	É o comprimento do canal principal, se estendendo da nascente até o exutório medido em km.
	Índice de sinuosidade do canal principal (Is)	Relaciona o comprimento verdadeiro do canal principal com o comprimento em linha reta entre os pontos extremos do canal principal. Sendo utilizado a seguinte equação: $Is = L / Dv \quad (2)$ Onde: Is é o Índice de sinuosidade do canal principal; L é o comprimento do canal principal em km; Dv é a distância vetorial entre os extremos do mesmo canal em km.

Fonte: Adaptado pelos autores a partir de Strahler (1952); Christofoletti (1980); Tucci (2004); Cherem, Magalhães, Faria (2008) e Leite, Almeida, Ferreira da Silva (2012).

Tabela 2: Características Observadas / Fórmulas e descrições da análise Areal (Área da bacia; Perímetro (P); Índice de circularidade (Ic); Densidade de drenagem (Dd); Coeficiente de manutenção (Cm)).

	Análises	Características Observadas / Fórmulas e descrições
Análise areal	Área da bacia	É toda a área drenada pelo conjunto do sistema fluvial. Delimitado pelos divisores topográficos.
	Perímetro (P)	Corresponde à extensão da linha que limita a bacia, correspondendo ao comprimento dos limites estabelecidos pelos divisores de água.
	Índice de circularidade (Ic)	Determinado pelos Índice de circularidade (Christofolletti, 1980), variando de 0 a 1,0, quanto mais próximo de 1 mais circular será a bacia, e assim mais susceptível a inundação. Sendo utilizado a seguinte equação: $Ic = A/ac \quad (3)$ Onde: Ic é o índice de circularidade; A é a área da bacia; ac é a área do círculo.
	Densidade de drenagem (Dd)	Correlaciona o comprimento total dos canais de escoamento e a área da bacia. Sendo utilizado a seguinte equação: $Dd = Ct/A \quad (4)$ Onde: Dd é a densidade da drenagem; Ct é o comprimento total dos canais; A é a área da bacia.
	Coeficiente de manutenção (Cm)	Indica a área mínima necessária para existir um metro de canal de escoamento, sendo determinante na manutenção da perenidade dos canais. Sendo utilizado a seguinte equação: $Cm = 1/Dd * 1000 \quad (5)$ Onde: Cm é o Coeficiente de manutenção; Dd é a densidade da drenagem.

Fonte: Adaptado de Christofolletti (1980).

Tabela 3: Características Observadas / Fórmulas e descrições das análises hipsométricas (Amplitude altimétrica; Hipsometria; Declividade; Perfil longitudinal).

	Análises	Características Observadas / Fórmulas e descrições
Análises hipsométricas	Amplitude altimétrica	É determinado pela diferença altimétrica entre a foz e a maior altitude situada na área da bacia.
	Hipsometria	É um importante instrumento para identificação de superfícies balizadas em níveis altimétricos (IBGE, 2013), corresponde a variação altimétrica do relevo através de informações quantitativas.
	Declividade	Representa a variação dos gradientes do terreno em intervalos previamente estabelecidos segundo sua finalidade, sendo útil na caracterização e delimitação das unidades e Regiões geomorfológicas (IBGE, 2013), classes e gradientes observados em, LEMOS & SANTOS (1996) e GOMES <i>et. al</i> (2014).
	Perfil longitudinal	É a representação gráfica de uma rio principal das variações da declividade do canal SILVA, GOMES, GOLDFARB (2014).

Fonte: Adaptado pelos autores a partir de Leite, Almeida, Ferreira da Silva (2012); IBGE (2013); Lemos & Santos (1996), Gomes *et al.* (2014); Silva, Gomes, Goldfarb (2014).

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Buscando compreender a dinâmica /evolução da paisagem, o estudo da morfometria de bacias hidrográficas e o seu comportamento da rede hidrográfica torna-se um importante instrumento de análise dos principais eventos hidrológicos e serve de subsídio para estudos geomorfológicos mais detalhados. Para a bacia hidrográfica do rio Mundaú objetivou-se analisar os parâmetros de forma agrupada conforme suas características lineares, areal e hipsométricas (CHRISTOFOLETTI, 1980), podendo assim, correlacionar a hidrografia com seu arranjo estrutural.

Considerando que as técnicas utilizadas para extração de drenagem nos permite subdividir a bacia hidrográfica em

diversas sub-bacias, foi utilizada sua hierarquia fluvial, determinando que as sub-bacias de sexta ordem seria a escala adotada para compartimentação. Desta forma a bacia hidrográfica do rio Mundaú pode ser compartimentada em seis sub-bacias, a principal, do Mundaú subdividida em alto, médio e baixo curso, e as sub-bacias do Canhoto, Inhaúma e Satuba (Fig. 2 - C).

Em sua extensão total a bacia do Mundaú apresenta uma grande quantidade de ramificação da sua hidrografia, sendo assim, bem drenada e classificada em sua hierarquia fluvial como de sétima ordem (Fig. 2 - C), esse padrão é bastante influenciado pela impermeabilidade das rochas presentes no Planalto da Borborema.

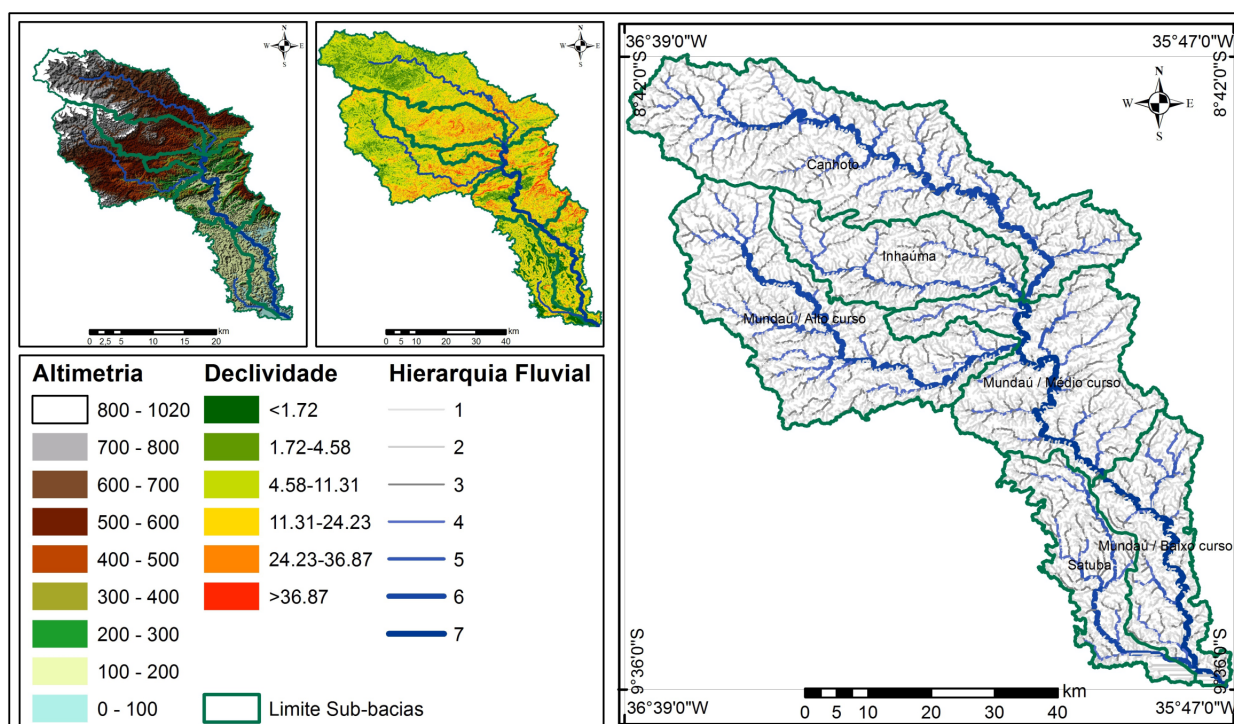


Figura 2: Características morfométricas da bacia: A) Altimetria da área em estudo; B) Declividade em graus bacia e sub-bacias; C) Hierarquia fluvial, chegando a 7 ordem em seu canal principal. Fonte: Elaborado pelos autores levando em consideração MDE desenvolvido.



O mesmo ocorre nos padrões de drenagem das sub-bacias do alto curso (Alto Mundaú, Canhoto e Inhaúma), onde o arranjo espacial é influenciado pelo seu arcabouço estrutural, que possui a predominância de cristas e relevos residuais, apresentando um padrão de drenagem dendrítica, onde seus tributários se unem sem formar ângulos retos. Já o médio curso (sub-bacia do médio Mundaú) apresenta um padrão treliça de drenagem, estruturado no Complexo Belém do São Francisco, onde há uma predominância de rochas metamórficas e seu arcabouço é

moderadamente a intensamente fraturado influenciando diretamente a disposição da rede de drenagem.

As sub-bacias do Satuba e Baixo Mundaú por estarem situadas na transição da Depressão Periférica da Borborema e os Depósitos sedimentares do Quaternário, apresentam uma altitude variada com predominância de rochas sedimentares moderadamente consolidadas, influenciando seus padrões de drenagem, onde ora apresentam-se como paralela, ora treliça. Na tabela 4 podemos observar os resultados das análises lineares desenvolvidas.

Tabela 4: Características Observadas / Fórmulas e descrições das análises lineares (Hierarquia fluvial; Padrões da drenagem; Relação de bifurcação (Rb); Índice de sinuosidade do canal principal (Is); Comprimento do curso principal).

Análises	Unidades de Medidas	Bacias							
		Mundaú			Baixo	Canhoto	Inhaúma	Satuba	
		Total	Alto	Médio					
Hierarquia fluvial	Ordem	7	6	6	7	6	6	6	
Análises lineares	Padrões da drenagem	Classe	Dendrítica / Paralela / Treliça	Dendrítica	Treliça	Paralela / Treliça	Dendrítica	Dendrítica	Paralela / Treliça
		1 <sup>o</sup> - 2 <sup>o</sup> ordem	4,62	4,763	4,56	4,38	4,70	4,448	4,644
	Relação de bifurcação (Rb)	2 <sup>o</sup> - 3 <sup>o</sup> ordem	3,66	3,435	3,59	3,91	3,66	3,422	4,324
		3 <sup>o</sup> - 4 <sup>o</sup> ordem	4,77	4,381	5,69	4,18	4,46	5,625	5,286
		4 <sup>o</sup> - 5 <sup>o</sup> ordem	3,91	4,200	3,25	5,50	3,71	4,000	3,500
		5 <sup>o</sup> - 6 <sup>o</sup> ordem	5,50	5,000	-	-	7,00	2,000	2,000
		6 <sup>o</sup> - 7 <sup>o</sup> ordem	4,00	-	-	-	-	-	-
		Comprimento do curso principal	km	195,073	92,304	46,881	55,886	121,002	61,325
	Índice de sinuosidade do canal principal (Is)	Is	1,72	1,61	1,93	1,47	1,79	1,45	1,57

Na relação de bifurcação os resultados podem ser agrupados em cinco classes distintas para cada sub-bacia e seis classes para a bacia toda (tabela 4), a quantidade de seguimentos da hidrografia gerados será diretamente proporcional à escala de análise e mapeamento, essa relação também

reflete diretamente a permeabilidade da estrutura e dos solos, quanto mais alto os valores obtidos, maior será a impermeabilidade local. Nessa lógica a bacia do rio Canhoto apresenta o maior valor obtido na relação de bifurcação de 7<sup>o</sup> na 5<sup>o</sup> - 6<sup>o</sup> ordem, os restantes das sub-bacias apresentam valores situados entre

duas (2) (sub-bacias do Inhaúma e Satuba) e sete (7) para relação de bifurcação 5º - 6º ordem.

Analisando o comprimento dos cursos principais da bacia e levando em consideração a variação altimétrica percorrida por esses cursos, a bacia do Mundaú (Alto, médio e baixo Mundaú) apresentou da sua nascente até seu exutório 195,073 km de percurso, já as sub-bacias do Canhoto, Inhaúma e Satuba apresentaram respectivamente 121,002; 61,325 e 59,747 km de percurso, sendo assim, a sub-bacia de maior extensão é a do Canhoto.

Ainda observando o canal principal e o índice de sinuosidade, somente duas sub-bacias não possuem características meandantes, a do Inhaúma e a do baixo Mundaú, já que apresentaram valores inferiores a 1,5, a do Inhaúma se deve pela grande influência da declividade, já que a mesma apresenta quase 50% de sua área

(classificada como fortemente ondulada declividade variando entre 11,31-24,23 graus, tabela 6) e pela sua estrutura de diversos litotipos cristalinos. Já a do baixo curso do Mundaú é bastante influenciado pela permeabilidade dos tabuleiros costeiros.

Sendo um elemento básico para várias análises da morfometria, a área e o perímetro da bacia, foram calculados levando em consideração os divisores topográficos, onde foram avaliadas as maiores cotas altimétricas do MDE da área em estudo (tabela 5). A área da bacia do Mundaú abrange uma superfície de 4101,90 km<sup>2</sup> em sua extensão total, com um perímetro de 506,99 km, possuindo como maior sub-bacia a do Canhoto (banhando onze municípios) com 1.199,36 km<sup>2</sup> e menor a do Satuba (Banhando seis municípios) com 373,92 km<sup>2</sup> de área.

Tabela 5: Análises dos parâmetros da rede de drenagem (densidade da drenagem, padrões da drenagem, hierarquia fluvial, ordenamento de canais, coeficiente de manutenção, perfil longitudinal de cada subbacia).

Análises	Unidades de Medidas	Bacias							
		Mundaú				Canhoto	Inhaúma	Satuba	
		Total	Alto	Médio	Baixo				
Área da bacia	Km <sup>2</sup>	4101,90	895,03	741,05	440,13	1.199,36	452,40	373,92	
Perímetro (P)	km	506,99	205,31	191,27	149,67	262,84	130,62	168,26	
Índice de circularidade (Ic)	Ic	0,20	0,27	0,25	0,25	0,22	0,33	0,17	
Densidade de drenagem (Dd)	Km/km <sup>2</sup>	1,97 Mediana	1,92 Mediana	1,98 Mediana	2,12 Alta	1,88 Mediana	4,97 Muito Alta	2,19 Alta	
Coeficiente de manutenção (Cm)	Km <sup>2</sup>	507,97	519,61	505,28	472,80	533,03	201,06	455,82	

O índice de circularidade (Ic) é uma relação entre o perímetro da bacia que corresponde a sua circunferência e a circunferência de um círculo. Quanto mais próximos de 1,0 Ic forem os valores obtidos, mais circular será a forma da bacia e mais vulnerável essa bacia será a eventos de enchentes, pois grande parte do escoamento superficial chegará quase de forma uniforme ao canal principal

reduzindo a capacidade de infiltração da água no solo. A bacia apresentou uma homogeneidade em todas as suas sub-bacias com valores de Ic variando entre 0,17 e 0,33, podendo dessa forma caracterizar as sub-bacias como alongadas.

Avaliando a densidade da drenagem podemos conhecer o potencial do escoamento superficial da bacia e

e conseqüentemente a intensidade dos processos erosivos na esculturação dos canais (BELTRAME, 1994). Segundo a mesma autora podemos classificar os valores da densidade de drenagem da seguinte forma: Valores de Dd menores que 0,50 a densidade é classificada como baixa; Valores situados entre 0,50 e 2,00 classificada como mediana; De 2,01 a 3,50 a densidade é classificada como alta e maior que 3,5° muito alta. Nos resultados apenas a sub-bacia do Inhaúma foi classificada com uma densidade de drenagem como muito alta, já o baixo curso e Satuba possuem uma densidade alta.

O Coeficiente de manutenção fornece a área mínima necessária para manutenção de um metro de canal de escoamento (CHRISTOFOLETTI, 1980), como as sub-bacia possuem densidade de drenagem variando entre mediana e muito alta, a mesma influencia diretamente o coeficiente de manutenção, onde nos resultados obtidos todas as sub-bacias possuem a área mínima para manutenção de um canal principal perene.

As análises hipsométricas são de fundamental importância para o conhecimento do arranjo estrutural e o comportamento da erosão, pois a variação da altimetria e da declividade nos permite identificar os locais mais suscetíveis para que a erosão ocorra e as áreas de maior deposição de sedimentos. Em seu contexto total a bacia do Mundaú apresentou altitudes variadas, entre 1010 metros e 6 metros de altitude, e uma declividade extremamente variada em todas as suas sub-bacias, essa variação pode ser caracterizada pelas estruturas residuais mais resistentes ao intemperismo e a erosão principalmente em seu alto curso (Planalto da Borborema).

Observando as classes geradas,

maior parte da bacia apresenta uma declividade classificada como ondulada (4,58 -11,31 graus), representando 34,61% da área da bacia, já a segunda classe com maior presença é a fortemente ondulada (11,31-24,23 graus) 33,45%. Na tabela 6 apresentam-se os resultados relativos às análises hipsométricas.

O perfil longitudinal representa um gráfico das variações altimétricas do canal principal, sendo cotado da nascente até seu exutorio. Esse perfil forma uma linha irregular permitindo avaliar os locais onde curso de água possui maior energia para transporte de sedimentos. Aumentando a declividade também aumentara a energia para o transporte e maior será a erosão local. Da mesma forma quanto mais suave e constante o perfil, menor será a energia de transporte de sedimento e maior será a deposição dos mesmos, refletindo diretamente na morfogênese local.

O perfil longitudinal do Mundaú (Fig. 3 – A) apresentou 195,073 km de extensão, podendo ser subdividido em três sub-bacias (alto, médio e baixo curso). Possuindo como seu ponto mais alto, na cidade de Garanhuns, a 880 metros de altitude, o primeiro trecho do perfil que se estende por mais 92,304 km até o município de União dos Palmares, correspondendo ao alto curso do rio, percurso de maior energia, já que apresenta uma altimetria bastante variada.

O segundo trecho do perfil (médio curso), se estende de União dos Palmares até Murici, percorrendo 46,881 km. Esse percurso por possuir uma menor declividade se caracteriza como uma área de deposição dos sedimentos trazidos do alto curso. O terceiro trecho do perfil se estende do município de Murici até Maceió onde o canal principal desagua na Lagoa Mundaú, percorrendo

Tabela 6: Análises dos parâmetros da rede de drenagem (densidade da drenagem, padrões da drenagem, hierarquia fluvial, ordenamento de canais, coeficiente de manutenção, perfil longitudinal de cada subbacia).

Análises	Unidades de Medidas	Bacias								
		Mundaú				Canhoto	Inhaúma	Satuba		
		Total	Alto	Médio	Baixo					
Análise hipsométrica	Amplitude altimétrica	m	1.004	836	647	154	750	660	347	
	Hipso-metria	Altitude mínima (m)	6	174	83	6	220	880	10	
		Altitude máxima (m)	1010	1010	730	160	970	220	357	
Classes de Declividade	Superfície	Declividade em	% total da bacia							
		Graus	%							
	Relevo Plano	< 1,72	< 3%	5,49	2,32	4,29	13,68	2,41	1,05	21,03
	Suave ondulado	1,72 - 4,58	3-8%	15,83	13,17	12,54	17,40	21,93	6,22	18,96
	Ondulado	4,58 - 11,31	8-20%	34,61	40,37	24,24	27,34	44,90	27,09	26,02
	Fortemente Ondulado	11,31 - 24,23	20-45%	33,45	34,14	38,20	32,30	25,06	49,82	30,81
	Montanhoso	24,23 - 36,87	45-75%	8,61	8,52	15,05	7,40	5,08	13,67	2,65
	Escarpado	>36,87	>75%	2,02	1,49	5,68	1,89	0,63	2,15	0,54

55,886 km, nesse trecho podemos observar os problemas relatados por Fernández et. al (2012) relativos ao fator de escala do SRTM, onde nas áreas mais planas e de menor cota altimétrica o perfil fica prejudicado.

O perfil do Canhoto (Fig. 3 – B) possui uma extensão de 121 km, situando seu ponto mais alto na cidade de Capoeiras a 905 metros de altitude e se estende até o município de São Jose da Laje a 230 metros de altitude, local de deságua no médio curso do rio Mundaú. De todos os perfis este se apresenta como mais suave e constante em sua declividade, possuindo uma topografia mais homogênea, em que o processo de morfogênese é mais lento.

Situado nos patamares de cimeira da Borborema o perfil longitudinal do Inhaúma (Fig. 3 – C) possui uma

extensão de 61,325 km e apresenta três patamares e duas áreas de escarpas: o primeiro patamar possui uma altitude média de 720 metros de altitude e serve como limite territorial entre os municípios de Garanhuns e São João; o segundo patamar determina o limite territorial de Canhotinho e Palmeirina e é no terceiro patamar no município de São José da Laje onde ocorre a deságua no médio Mundaú.

Possuindo suas nascentes em uma área de cristas residuais, no município de Capela, o perfil do rio Satuba (Fig. 3 – D) continua seu percurso em tabuleiro costeiro, com uma topografia suave e constante em sua declividade. Nesse perfil também podemos observar os problemas relativos ao fator de escala do SRTM (FERNÁNDEZ et al., 2012).

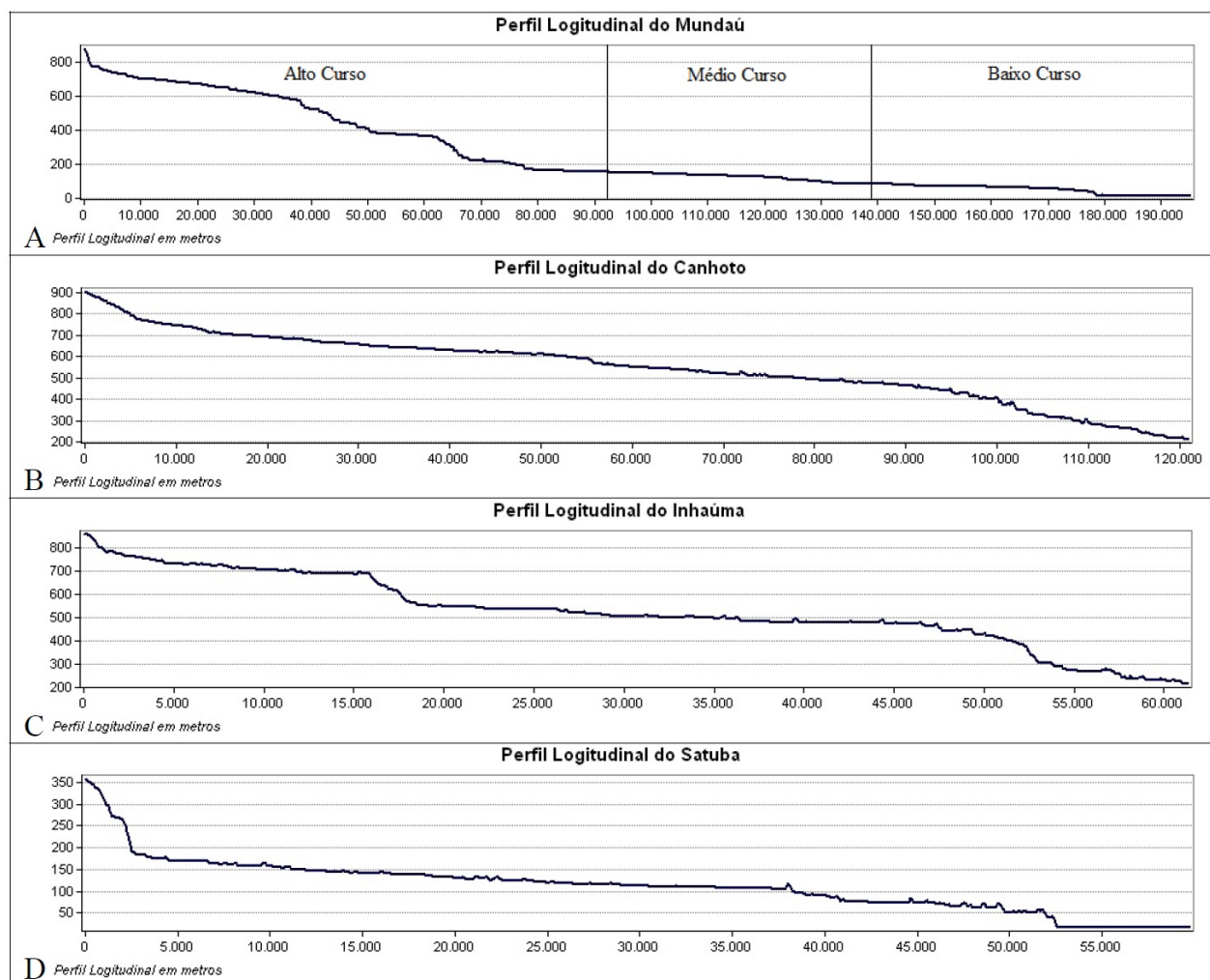


Figura 3: Perfis longitudinais da bacia em estudo: A) Representa o perfil do canal principal do Mundaú, podendo ser subdividida em alto, médio e baixo curso; B) Perfil do canal principal do Rio Canhoto; C) Perfil do canal principal do Rio Inhaúma; D) Perfil do canal principal do Rio Satuba. Fonte: Elaborado pelos autores levando em consideração MDE desenvolvido.

## 5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos com a análise morfométrica da bacia hidrográfica do Rio Mundaú contribuem para a compreensão das características físico-naturais e geomorfológicas, além da sua dinâmica hidrológica. Agrupadas, segundo suas características lineares, de área e hipsométrica, as análises permitiram correlacionar a hidrografia com seu arranjo espacial, identificando o grau de desenvolvimento de todo o sistema hidrológico da bacia.

Pode-se compartimentar a bacia do rio Mundaú em seis sub-bacias (alto,

médio e baixo curso, do Canhoto, Inhaúma e Satuba) utilizando critérios de sua hierarquia fluvial, onde a mesma apresentou uma grande quantidade de ramificação da sua hidrografia, e uma hierarquia fluvial como de sétima ordem de grandeza.

As estruturas geológicas presentes nas suas morfoestruturas (Planalto da Borborema, Depressão Periférica da Borborema e Depósitos sedimentares do Quaternário) influenciaram diretamente a distribuição e os padrões de drenagem. Os mesmos foram classificados em

dendrítica, paralela, treliça. Foi possível também através da relação de bifurcação dos canais determinar os locais de maior impermeabilidade da estrutura.

O comprimento do curso principal da bacia apresentou da sua nascente até seu exutório 195,073 km de percurso e um índice de sinuosidade com características meandranes. Somente duas sub-bacias não apresentaram essa característica a do Inhaúma, devido à influência da declividade e pela sua estrutura dos seus litotipos cristalinos e o baixo curso do Mundaú, influenciado pela permeabilidade dos Depósitos sedimentares do Quaternário.

Correlacionar a hidrografia com seu arranjo espacial nos permitiu identificar o grau de desenvolvimento de todo o sistema hidrológico da bacia, caracterizando seus aspectos físico-naturais e enriquecendo o conhecimento da sua geomorfologia regional, atendendo assim, ao objetivo proposto de analisar sua morfometria e fornecer informações de forma qualitativa / quantitativa da bacia em estudo. Esse estudo torna-se assim o ponto inicial para um diagnóstico aprofundado para a bacia do Rio Mundaú servindo de base para um planejamento do manejo e gestão territorial e ambiental apropriada.

### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às seguintes instituições: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pela bolsa de doutorado e mestrado concedida aos autores; ao Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal do Ceará – UFC; à Universidade de Pernambuco – UPE pelo apoio a pesquisa; e aos revisores anônimos que contribuíram com suas considerações.

### REFERÊNCIAS

- BARROS, L. F. DE P.; BARROS, P. H. C. DE A.; MAGALHÃES JR, A. P. Condicionamento litológico e tectônico na morfometria da bacia do Rio Conceição – Quadrilátero Ferrífero/MG. *Revista de Geografia*. Recife: UFPE – DCG/NAPA, v. especial VIII SINAGEO, Nº 1, Set. 2010.
- BELTRAME, A. da V. Diagnóstico do meio físico de bacias hidrográficas: modelo e aplicação. Florianópolis. Ed. Da UFSC, 1994.
- CORRÊA, A. C. DE B.; TAVARES, B. DE A. C.; MONTEIRO, K. DE A.; CAVALCANTI, L. C. DE S.; LIRA, D. R. DE. Megageomorfologia e Morfoestrutura do Planalto da Borborema. *Revista do Instituto Geológico, São Paulo*, 31 (1/2), 35-52, 2010.
- CHEREM, L. F. S.; MAGALHÃES JR, A. P.; FARIA, S. D. Análise e compartimentação morfométrica da bacia hidrográfica do Alto Rio das Velhas – região central de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 12, Nº 1, p. 11-21, 2011.
- CHRISTOFOLETTI, A. *Geomorfologia*. São Paulo: Edgard Blücher, 1980, 186p.
- COMPANHIA de PESQUISA de RECURSOS MINERAIS - CPRM. Geobank. Disponível: <<http://geobank.sa.cprm.gov.br/>>. Acesso: outubro 2014.
- DA SILVA, D. F. Análise de aspectos climatológicos, agroeconômicos, ambientais e de seus efeitos sobre a bacia hidrográfica do Rio Mundaú (AL e PE). Campina Grande, PB, 209 p. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, 2009.
- EASTMAN, R. IDRISI ANDES 15. Clark Labs, Clark University, 2006.
- FERNÁNDEZ, D. C. J.; VALERIANO, M. DE M.; ZANI, H.; ANDRADES FILHO, C. de O. Extração automática de redes de

- drenagem a partir de modelos digitais de elevação. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 64, n 5, p. 619 – 634, 2012.
- FRITZSONS, E.; MANTOVANI, L. E. Os Substratos Geológicos e os Coeficientes Morfométricos em Bacias Hidrográficas do Carste Dolomítico no Estado do Paraná. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 3, Nº 3, p.181-189, 2010.
- GÓES, V. C.; CIRILO, J. A. Geração de base de dados espaciais para estudos de drenagem urbana na região metropolitana de Recife, Pernambuco. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 63, Nº 4, p. 555 - 565, 2011.
- GOMES, D. D. M.; LIMA, D. R. M.; DUARTE, C. R.; VERÍSSIMO, C. U. V.; GOLDFARB, M. C. Análise morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú - PE/AL. In: *Anais do XXVI Congresso Brasileiro de Cartografia, V Congresso Brasileiro de Geoprocessamento e XXV Expositiva*, 2014, Gramado: Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto, 2014. v. 1.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Manual técnico de geomorfologia. Manuais técnicos em geociências. 2ª. Ed., Rio de Janeiro: IBGE, 2009. Disponível em <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: Julho. 2014.
- LEITE, M. E.; ALMEIDA, J. W. L.; FERREIRA DA SILVA, R. Geotecnologias aplicadas à extração automática de dados morfométricos da bacia do rio Pacuí/MG. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 64, Nº 5, p. 677-691, 2012.
- LEMOS, R.C.; SANTOS, R.D. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 3ª. Ed. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. 84p.
- MACHADO, P. J. O.; TORRES, F. T. P. *Introdução à Hidrogeografia*. São Paulo: Cengage Learning, 2012. 178p.
- MEDEIROS, L. C.; FERREIRA, N. C.; FERREIRA, L. G. Avaliação de modelos digitais de elevação para delimitação automática de bacias hidrográficas. *Revista Brasileira de Cartografia* Nº 61 / 02, 2009.
- SILVA, R. N.; GOMES, D. D. M.; GOLDFARB, M. C. Determinação e análise do perfil longitudinal do Rio Ipojuca (PE). In: *Anais do XXVI Congresso Brasileiro de Cartografia*, 2014, Gramado: Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto, 2014.
- SCHUCH, F. S.; LOCH, C. Determinando a variação do padrão fractal de rede de drenagem utilizando dados SRTM, laser scanning e base cartográfica. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 63, Nº 3, p. 377 – 386, 2011.
- STRAHLER, A. N. Dynamic basis of geomorphology. *Geol. Soc. America Bulletin*, Nº 63, p. 923-938, 1952.
- TARBOTON, D. G.; BRAS, R. F.; ITURBE, I.R. On extraction of channel networks from digital elevation data. *Hidrological Processes*. v.5, Nº., p. 81-100,1991.
- TUCCI, C. E. M. *Hidrologia: ciência e aplicação*. 3ª.Ed. Porto Alegre: ABRH, 2004. 943 p.
- VALERIANO, M. de M. Dados topográficos. In: FLORENZANO, T. G. *Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais*. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. cap. 3, p. 72-104.
- VALERIANO, M. de M. *Modelo Digital de Elevação com dados SRTM disponíveis para a América do Sul*. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2004. 72 p.
- VALERIANO, M. de M. Curvatura vertical de vertentes em microbacias pela análise de modelos digitais de elevação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 7, Nº. 3, p. 539-546, 2003.
- VALERIANO, M. de M. *Modelos Digitais de Elevação de microbacias elaborados com krigagem*. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2002. 56 p.

VALERIANO, M. M.; ROSSETTI, D. F. Topodata: Brazilian full coverage refinement of SRTM data. *Applied Geography*, v.32, p.300-309, 2011.