



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

**CENTRO ACADEMICO DO AGreste
NÚCLEO DE TECNOLOGIA
ENGENHARIA CIVIL**

**USO DE MODELO DIGITAL DE TERRENO PARA
CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DE BACIAS
URBANAS NA CIDADE DE CARUARU**

ABRAÃO ALVES VILA NOVA

CARUARU

2018

ABRAÃO ALVES VILA NOVA

**USO DE MODELO DIGITAL DE TERRENO PARA
CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DE BACIAS
URBANAS NA CIDADE DE CARUARU**

Proposta de trabalho a ser apresentado ao
Curso de Engenharia Civil do Centro
Acadêmico do Agreste - CAA, da
Universidade Federal de Pernambuco -
UFPE, como requisito para a disciplina
Trabalho de conclusão de Curso.

Área de concentração: Recursos Hídricos
Orientador: Prof.Dr. Artur Paiva Coutinho

CARUARU

2018

Catalogação na fonte:
Bibliotecária – Simone Xavier - CRB/4 - 1242

V696u Vila Nova, Abraão Alves.
Uso de modelo digital de terreno para caracterização morfométrica de bacias urbanas
na cidade de Caruaru. / Abraão Alves Vila Nova. – 2018.
52 f. il. : 30 cm.

Orientador: Artur Paiva Coutinho.
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de
Pernambuco, CAA, Engenharia Civil, 2018.
Inclui Referências.

1. Sensoriamento remoto. 2. Geoprocessamento. 3. Recursos hídricos. 4. Planejamento urbano. 5. Bacias hidrográficas. I. Coutinho, Artur Paiva (Orientador). II. Título.

CDD 620 (23. ed.)

UFPE (CAA 2018-352)

ABRAÃO ALVES VILA NOVA

**USO DE MODELO DIGITAL DE TERRENO PARA
CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DE BACIAS URBANAS NA
CIDADE DE CARUARU**

Proposta de trabalho a ser apresentado ao
Curso de Engenharia Civil do Centro
Acadêmico do Agreste - CAA, da
Universidade Federal de Pernambuco -
UFPE, como requisito para a disciplina
Trabalho de conclusão de Curso.

Área de concentração: Recursos Hídricos

A banca examinadora composta pelos professores abaixo, considera o candidato
ALUNO APROVADO COM NOTA_____.

Caruaru, 21 de Dezembro de 2018.

Banca examinadora:

Prof. Drº. Artur Paiva Coutinho _____
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Orientador)

Prof. MSc. Larissa Fernandes Costa _____
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Avaliadora)

Prof. MSc. Thiago Campos Vasconcelos _____
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Avaliador)

Lucas Ravellys Pyrrho de Alcântara _____
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Avaliador)

Ialy Rayane de Aguiar Costa _____
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Avaliadora)

*Dedico às mulheres da minha vida:
Ana, Maria, Carminha e Princesa.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho, em especial:

A Ana Paula, minha esposa e amiga, por ter me ajudado diariamente no processo de escrita deste trabalho, me aconselhando, corrigindo e dando dicas e sugestões e acima de tudo inspiração e força para que eu continuasse escrevendo.

Eu também gostaria de agradecer ao meu Professor Orientador Arthur Paiva Coutinho pelo suporte e por ter me orientado em um tempo recorde, aceitando as mudanças de ultima hora e me acalmando quando os prazos foram se encurtando.

Agradeço aos meus amigos de graduação Lucas, Jonhantam (Buxinho/Abusada), Aline e Jefferson, por estarem ali comigo nos momentos de alegria, tristeza e cachaça, por que universitário sóbrio não é universitário.

Agradeço a Maria do Socorro, minha mãe, por ter me acalmado e ajudado com as crises de ansiedade, e ficar me lembrando semanalmente que eu tinha que terminar o TCC.

RESUMO

Caruaru é uma das principais cidades do estado de Pernambuco, localizada na bacia do rio Ipojuca, e sofre periodicamente com os danos causados a população ribeirinha devido a chuvas intensas e a falta de planejamento territorial da ocupação de áreas de risco em regiões ribeirinhas. Um dos maiores desafios para o planejamento territorial eficaz é a falta de informações adequadas sobre o uso e a ocupação do solo e suas características físicas. Sendo assim este trabalho tem como objetivo caracterizar três principais bacias urbanas da cidade de Caruaru a partir de MDT com resoluções diferentes (TOPODATA e PE3D), analisar essas diferenças. As bacias geradas pelos MTD foram a do Salgadinho com área aproximadamente de 2,0 km², a da Vila Kennedy com área de 15,0 km² e a do Mocó com área de 60,0 km², foi possível identificar o comportamento hídrico das bacias estudadas e verificar que os danos causados a população em regiões ribeirinha é devido a uma falta de planejamento urbano, pois suas bacias não possuem tendência a grandes enchentes. Foi constatado também que o Pernambuco tridimensional (PE3D) permite a obtenção de dados de maneira automática com maior precisão e mais características do relevo que o TOPODATA, o nível de detalhamento do PE3D também é refletido no tempo de concentração calculado para as bacias estudadas, pois seus valores foram superiores ao do TOPODATA.

Palavras Chaves: Sensoriamento Remoto. Geoprocessamento. Recursos Hídricos.
Planejamento Urbano.

ABSTRACT

Caruaru is one of the main cities of the state of Pernambuco, located in the Ipojuca river basin, and periodically suffers from the damage caused to the riverine population due to heavy rains, most of the data is due to a lack of territorial planning of the occupation of areas in riverine regions. One of the greatest challenges for effective territorial planning is the lack of adequate information on land use and occupation and its physical characteristics. Thus, this work aims to characterize three major urban basins of the city of Caruaru from DEM with different resolutions (TOPODATA and PE3D), to analyze these differences, , the basins generated by the DEM were the Salgadinho with an area of approximately 2.0 km², the Villa Kennedy with an area of 15.0 km² and Mocó with an area of 60.0 km², it was possible to identify the water behavior of the studied basins and to verify that the damage caused to the population in riverside regions is due to a lack of urban planning, because their basins do not have tendency to great floods. It was also observed that the Pernambuco tridimensional (PE3D) allows the automatic data acquisition with more precision and more relief characteristics than TOPODATA, the level of detail of the PE3D is also reflected in the calculated concentration time for the studied basins , because their values were superior to that of TOPODATA.

Keyword: Remote sensing; Geoprocessing; Water Resources; Urban Planning.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Bacia de Forma Circular	16
Figura 2 - Bacia de forma Elíptica.....	17
Figura 3 – Esboço do ordenamento de canais	19
Figura 4 – Perfil longitudinal típico de um canal.	20
Figura 5 – Esquema da obtenção de dados por sensoriamento remoto	23
Figura 6 – Distância entre o sensor e a superfície terrestre	24
Figura 7 – Diversos pontos de alagamento na cidade de Caruaru durante a cheia do rio Ipojuca em 2004	26
Figura 8 - Danos causados pela cheia do rio Ipojuca no ano de 2018.....	27
Figura 9 - Áreas de estudo 1, 2 e 3	31
Figura 10 - Sub- bacias derivadas da área de estudo1 (Salgadinho)	32
Figura 11 - Sub- bacias derivadas da área de estudo1 (Salgadinho)	33
Figura 12 - Bacias de drenagem delimitada utilizando diferentes MDT para o Canal do Salgadinho.	33
Figura 13 - Redes de Drenagem	34
Figura 14 - Formato obtido para as bacias derivadas do TOPODATA e PE3D 1:5000	39
Figura 15 - Redes de drenagem para a bacia do canal da Vila Kennedy utilizando o TOPODATA.....	40
Figura 16 - Redes de drenagem para a bacia do canal da Vila Kennedy utilizando o PE3D 1:5000	40
Figura 17 - Formato da bacia do Canal do Mocó	43
Figura 18 - Rede de drenagem da bacia do canal do Mocó utilizando o TOPODATA	44
Figura 19 - Rede de drenagem da bacia do canal do Mocó utilizando o PE3D	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Intervalos para a classificação do fator forma de uma bacia.....	17
Tabela 2 - Intervalos de classificação dos coeficientes de compacidade	18
Tabela 3 - Classificação da rede de drenagem	19
Tabela 4 - Classificação da sinuosidade de um canal.....	21
Tabela 5 - Threshold para cada modelo digital do terreno analisado.....	29
Tabela 6 - Coordenadas em SIRGAS 2000 25s dos exutórios para cada banco de dados analisados	29
Tabela 7 - Aspectos Lineares (Canal do Salgadinho).....	35
Tabela 8 - Aspectos de Área (Canal do Salgadinho).....	36
Tabela 9 - Aspectos de relevo (Canal do Salgadinho).....	38
Tabela 10 - Aspectos lineares (Canal da Villa Kennedy).....	41
Tabela 11 - Aspectos de Área (Canal da Villa kennedy)	41
Tabela 12 - Aspectos de relevo (Canal da Villa kennedy)	42
Tabela 13 - Aspectos lineares (Canal do Mocó).....	45
Tabela 14 - Aspectos de Área (Canal do Mocó)	45
Tabela 15 - Aspectos de relevo (Canal do Canal do Mocó).....	46
Tabela 16 - Tempo de concentração para a bacia do canal do Salgadinho	46
Tabela 17 - Tempos de concentração calculados para a bacia do canal da Vila Kennedy.....	47
Tabela 18 - Tempos de concentração calculados para a bacia do canal do Mocó	47

SUMÁRIO.

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Justificativa	13
1.2	Objetivos	14
1.2.1	<i>Objetivo geral</i>	14
1.2.3	<i>Objetivos específicos</i>	14
2	REFERENCIAL TEÓRICO E REVISÃO DA LITERATURA	15
2.1	Bacia hidrográfica	15
2.1.2	<i>Morfometria da bacia hidrográfica</i>	15
2.2	Sensoriamento remoto	23
2.2.1	<i>Modelo Digital do Terreno</i>	24
2.3	Eventos de chuvas intensas em Caruaru	25
2.3.1	<i>Cheia do Rio Ipojuca 2004</i>	26
2.3.2	<i>Cheia do Rio Ipojuca 2009</i>	26
2.3.3	<i>Cheia do Rio Ipojuca 2017 e 2018</i>	27
3	METODOLOGIA	28
3.1	Escolha das bacias de drenagem mais relevantes na cidade de caruaru	28
3.2	Aquisição de modelos digitais de terreno	28
3.3	Aplicar a ferramenta de SIG GRASS para a obtenção das bacias de drenagem, rede de drenagem, direção do fluxo de água	28
3.4	Calcular os parâmetros morfométricos das bacias encontradas para cada MDT analisado e comparar os resultados	29
4	ÁREA DE ESTUDO	31
4.1	Área de estudo 1	31
4.2	Área de estudo 2	31
4.3	Área de estudo 3	31

5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
5.1	Canal do Salgadinho (área de estudo 1)	32
5.1.1	<i>Bacias derivadas dos MDT</i>	32
5.1.2	<i>Rede de drenagem derivadas dos MDT</i>	34
5.1.3	<i>Caracterização da bacia</i>	35
5.2	Canal da Villa Kennedy (área de estudo 2)	38
5.2.1	<i>Bacias Derivadas dos MDT</i>	38
5.2.2	<i>Rede de Drenagem derivada MDT</i>	39
5.2.3	<i>Caracterização da Sub bacia</i>	40
5.3	CANAL DO MOCO (ÁREA DE ESTUDO 3)	42
5.3.1	<i>Bacias derivadas dos MDT</i>	42
5.3.2	<i>Rede de drenagem derivada MDT</i>	43
5.3.3	<i>Caracterização da sub bacia</i>	45
5.4	TEMPO DE CONCENTRAÇÃO	46
6	CONCLUSÃO	48
	REFERÊNCIAS	49

1 INTRODUÇÃO

Periodicamente o município de Caruaru sofre com enchentes nos períodos de chuvas intensas e a população que mais sofre é a que vive nas margens do rio Ipojuca e seus afluentes, principalmente na zona urbana, como nos canais do Salgadinho, Kennedy ou Mocó. Para mitigar os danos causados pelas enchentes é necessário um planejamento urbano, esta ação pode prever enchentes e informar a população nas áreas de risco sobre os perigos envolvidos na ocupação de áreas sujeitas a inundações em épocas de chuvas intensas (CIRILO ET. AL, 2014).

Um dos maiores desafios para o planejamento territorial é a falta de informações adequadas sobre o uso e a ocupação do solo e suas características físicas. Um banco de dados geoespaciais precário associado a uma falta de fiscalização urbana deriva em uma proliferação de habitações em ambientes de risco nas margens de rios. Uma das soluções para amenizar os danos causados por enchentes a população que vive em regiões ribeirinhas é a caracterização e gestão eficiente dos recursos hídricos, fazendo com que a população possa se conscientizar e se preparar para os eventos de chuvas intensas (CIRILO et. al., 2014). Porém o gerenciamento de recursos hídricos e sua caracterização normalmente requerem investigação de aspectos hidrológicos e relevo, tais como inclinação do terreno, redes de drenagem, divisores de água e limites de captação (LIU et al., 2005). Tradicionalmente essas características são obtidas por meio de mapas topográficos, levantamentos de campo, ou interpretação de fotografias (GARBRECHT & MARTZ, 1999). Segundo Starks et al. (2003) o uso de tais dados para a obtenção das características hidrológicas e informações sobre o relevo é demorado e propenso a erros. A extração automática de parâmetros hidrológicos a partir de Modelo Digital de Terreno (MDT) é rápida e menos propícia a erros que as formas tradicionais (TRIBE, 1992). Entretanto, deve-se notar que a qualidade e a resolução de um MDT afeta na precisão dos parâmetros hidrológicos derivados automaticamente (KENWARD et al., 2000). A resolução de um MDT deve ser planejada para ser compatível com a informação hidrológica que precisa ser obtida automaticamente, por exemplo, a delimitação do formato de uma bacia não precisa de uma resolução de MDT alta quanto se é analisada sua sua rede de drenagem (LIU et al., 2005).

Um dos principais MDT utilizados pela literatura é a *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) (KABITE & GESSESSSE, 2018; POONGODI & VENKATESWARAN, 2018; YABIKE, 2013). Essa missão foi realizada em 2000 e a tecnologia utilizada a bordo da

nave Endeavour foi a *InSAR (Interferometric Synthetic Aperture Radar)*, ou seja, a missão utilizou de radares orbitando sobre o globo terrestre para obter as elevações da sua superfície. O produto da missão é um MDT com pixel de resolução de 90 x 90 m e pode ser obtido gratuitamente no site da USGS, que é fonte de dados de diversas pesquisas que pretendem analisar os comportamentos hidrológicos do terreno.

Em uma escala menor, o estado de Pernambuco possui o Pernambuco Tridimensional (PE3D) que de acordo com Cirilo et al. (2014) o programa foi iniciado pela SEINFRA (Secretaria de Infraestrutura de Pernambuco), no primeiro semestre de 2014, sendo o objetivo principal do programa, realizar uma varredura a laser e obter ortoimagens de toda a superfície territorial do estado de Pernambuco utilizando o LiDAR (*Light Detection And Ranging*), com os dados sendo captados por sensores e câmeras instaladas em aviões. Entre os produtos derivados do PE3D estão os MDT em escala 1:5000 com pixel de resolução 1 x 1 m e 1:1000 com pixel de resolução 0,5 m x 0,5 m.

Sendo assim, esse trabalho tem o objetivo de gerar automaticamente parâmetros hidrológicos e morfométricos de três bacias urbanas na cidade de Caruaru, localizadas na bacia do rio Ipojuca e analisar a diferença dos resultados derivados de MDT de resoluções e sensores diferentes (SRTM e PE3D).

1.1 Justificativa

A caracterização das bacias de drenagem urbana é de suma importância para o planejamento urbano, principalmente em cidades como Caruaru, que sofrem com enchentes de forma periódica, os aspectos hidrológicos como a rede de drenagem, formato da bacia, classificação do uso e ocupação do solo poderão ajudar a planejar e fiscalizar as regiões atingidas pelas enchentes, norteando e conscientizando a população ribeirinha que vive nessas áreas e sofrem com riscos dado a ocupação indevida dessas regiões.

Determinar os aspectos hidrológicos por meio dos MDT para estas bacias possibilitam uma análise do comportamento das chuvas intensas em áreas urbanas de Caruaru e verifica se as enchentes são causas naturais ou de interferência da ocupação urbana, fazendo com que os projetos de engenharia hidráulica possam ser realizados de maneira rápida e eficiente, reduzindo custos e gerando modelos hidrológicos mais próximos da realidade.

1.2 Objetivos

1.2.1 *Objetivo Geral*

Classificar morfometricamente três principais bacias urbanas na cidade de Caruaru e comparar os resultados obtidos de MDT derivados do SRTM e do Pernambuco Tridimensional.

1.2.3 *Objetivos Específicos*

- Extrair automaticamente das bacias urbanas a partir de modelos digitais de terreno derivados do SRTM e do Pernambuco tridimensional;
- Classificar e categorizar as bacias urbanas, de três dos principais canais do perímetro urbano do rio Ipojuca, extraídas automaticamente dos MDT estudados;
- Calcular os parâmetros morfométricos para os MDT de resoluções diferentes das bacias dos três canais estudados;
- Analisar as diferenças dos resultados para os MDT de diferentes resoluções;
- Calcular o tempo de concentração para cada bacia urbana estudada.

2 REFERENCIAL TEÓRICO E REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Bacia hidrográfica

Tendo em vista que uma bacia hidrográfica é um dos principais elementos da hidrologia e engenharia hidráulica (TUCCI, 1993), o objetivo dessa seção é fixar algumas definições e conceitos referentes às bacias hidrográficas além de expor suas principais características e a importância da sua caracterização morfométrica.

Segundo Tucci (1993) uma bacia hidrográfica é a área de captação de água proveniente de precipitação que converge o escoamento para um único ponto, denominado de exutório. A linha da fronteira ao longo de uma crista topográfica, que separa duas bacias hidrográficas adjacentes, é chamada de divisor de águas. As bacias hidrográficas podem ser chamadas de bacia de drenagem, área de drenagem, bacia de contribuição, ou apenas bacia (CHIN, 2006).

Além dos elementos descritos acima a caracterização morfométrica de bacias hidrográficas é de grande importância no processo do ciclo hidrológico, influenciando, dentre outros fatores, a infiltração, evapotranspiração, o escoamento superficial e subterrâneo (TONELLO et al., 2006). Logo, o conhecimento dos parâmetros obtidos pela caracterização morfométrica de uma bacia hidrográfica são importantes para elaboração de anteprojetos de engenharia hidráulica.

Para esse trabalho será importante também a definição de microbacia, que segundo Cruciani (1976) uma microbacia hidrográfica é a área de formação natural drenada por um curso d'água e seus afluentes a montante de uma seção transversal, para onde converge toda a água da área considerada. A área da microbacia depende do objetivo do trabalho que se pretende realizar. Para diversos projetos de engenharia hidráulica se fazem necessários a caracterização e a delimitação de uma microbacia, como por exemplo, projetos de drenagem urbana.

2.1.2 *Morfometria da bacia hidrográfica*

2.1.2. *Área da Bacia*

A área de uma bacia é o elemento básico para o cálculo das outras características físicas, e pode ser definida como a projeção horizontal, ou seja, uma área plana inclusa entre seus divisores de água (TUCCI, 1993). Logo se os outros fatores forem desconsiderados, quanto maior a área de uma bacia, menor será a tendência de existir picos de cheias, isto é, em

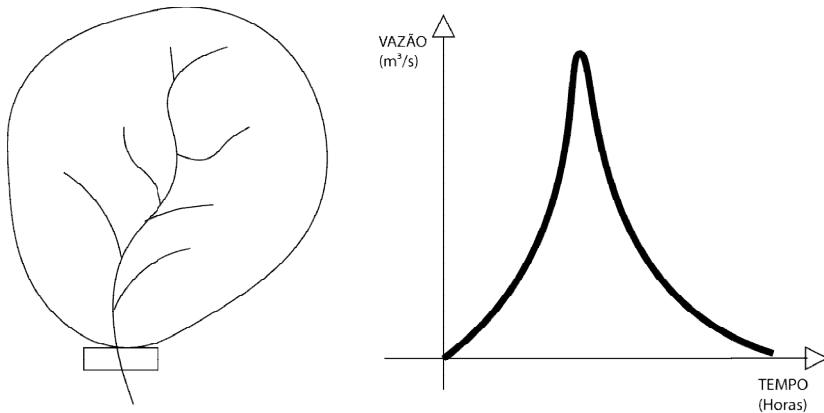
uma dada seção, as variações das vazões instantâneas são tanto maiores, quanto menor for à área da bacia (PINTO, 1976).

2.1.2.2 Forma da Bacia

As bacias hidrográficas têm uma variedade infinita de formas, e segundo Soliman (2010) seu formato refletem diretamente no comportamento hidrológico da bacia e se assemelha a um formato de uma pêra.

Soliman (2010) afirma que uma bacia circular, Figura 1, produz um pico de vazão alto, pois toda a água escoada tende a alcançar o exutório da bacia ao mesmo tempo, devido ao seu formato os seus afluentes e tributários possuírem os mesmos tamanhos. O hidrograma presente na Figura 1 demonstra o comportamento da vazão em bacias com forma circular.

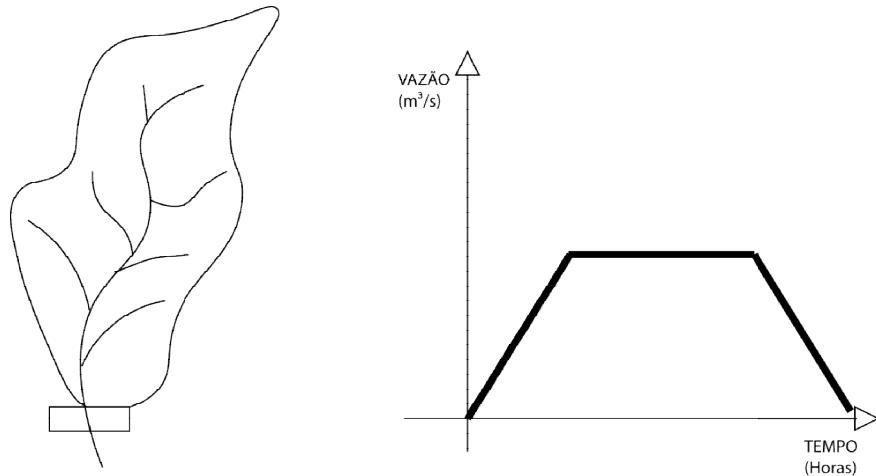
Figura 1- Bacia de Forma Circular.



Fonte: Autor (2018)

Para Soliman (2010) uma bacia elíptica, Figura 2, possui um tempo de concentração maior que uma bacia de forma circular, ou seja, sendo a área igual a da bacia circular, terá o escoamento mais distribuído no tempo, produzindo uma vazão máxima menor, como pode ser observado na Figura 2.

Figura 2 - Bacia de forma Elíptica.



Fonte: Autor (2018)

2.1.2.3 Fator de Forma

O fator de forma proposto por Wisler e Brater (1964) é a relação entre a largura média e o comprimento axial da bacia, mede-se o comprimento da bacia (L) quando se segue o curso d'água mais longo desde o exutório até a cabeceira mais distante da bacia. A largura média ($L_{méd}$) é obtida quando se divide a área pelo comprimento da bacia.

$$K_f = \frac{L_{méd}}{L} = \frac{A}{L^2} \quad (1)$$

Para Vilella e Mattos (1975) uma bacia com fator de forma baixo indica que a mesma possui uma probabilidade menor a enchentes que outra, de mesma área, porém com fator de forma maior. Na Tabela 1 são apresentados os intervalos de classificação para o fator de forma de uma bacia.

Tabela 1 - Intervalos para a classificação do fator forma de uma bacia

Intervalo	Classificação
Entre 1,00 e 0,75	Sujeita a enchentes
Entre 0,75 e 0,50	Tendência mediana
Menores que 0,50	Não sujeito a enchentes

Fonte: Adaptado de Vilella e Mattos (1975)

2.1.2.4 Coeficiente de Compacidade

O coeficiente de compacidade ou índice de Gravelius, K_c , é a relação entre o perímetro da bacia e o perímetro de um círculo de área igual a bacia.

$$A = \pi r^2 \quad (2)$$

$$K_c = \frac{P}{2\pi r} = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (3)$$

Onde P e A são respectivamente o perímetro em Km e a área da bacia em Km^2 . Este coeficiente é um número adimensional que varia com a forma da bacia, independentemente do seu tamanho; quanto mais irregular for a bacia, maior será o coeficiente de compacidade, ou seja, quanto mais próximo da unidade, mais circular será a bacia e será mais sujeita a enchentes (VILELLA E MATTOS, 1975). Na Tabela 2 são apresentados os intervalos de classificação dos coeficientes de compacidade.

Tabela 2 - Intervalos de classificação dos coeficientes de compacidade

Intervalo	Classificação
Entre 1,00 e 1,25	Bacia com alta propensão a grandes enchentes
Entre 1,25 e 1,50	Bacias com tendência mediana a grandes enchentes;
Maiores que 1,5	Bacias não sujeitas a grandes enchentes

Fonte: Adaptado de Vilella e Mattos (1975)

2.1.2.5 Índice de Circularidade

Para Vilella e Matos (1975) o índice de Circularidade tende para a unidade à medida que a bacia se aproxima da forma circular, podendo ser calculado pela seguinte equação:

$$IC = 12,57 \frac{A}{P^2} \quad (4)$$

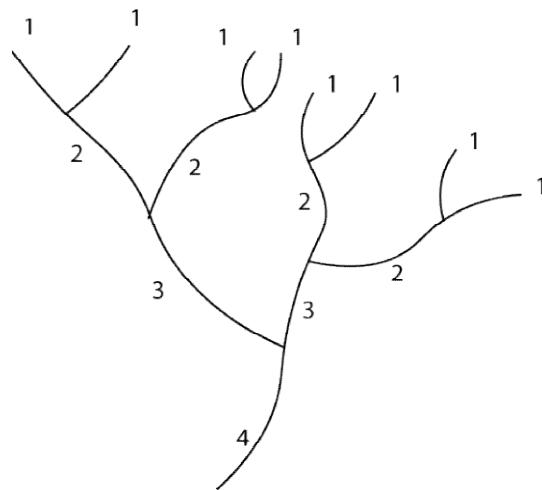
Onde A é a área em Km^2 e P é o perímetro em Km, bacias com índice de circularidade próximo a unidade tendem a ser propícias a enchentes.

2.1.2.6 Sistema de Drenagem (ordenamento de canais)

Uma bacia compreende o rio principal e os seus tributários ou afluentes. A ordem dos rios é uma classificação que reflete o grau de ramificação ou bifurcação dentro de uma bacia. Horton (1945) sugere que todos os canais sem tributários são de primeira ordem, os segmentos que recebem apenas tributários de primeira ordem são classificados como de

segunda ordem, segmentos que recebem tributários de primeira e segunda ordem são classificados como segmentos de terceira ordem e assim por diante, ou seja, a ordem da bacia hidrográfica será determinada pelo canal de maior ordem, na Figura 3 é apresentada uma representação da ordenação de canais em uma bacia.

Figura 3 – Esboço do ordenamento de canais



Fonte: Autor (2018)

2.1.2.7 Densidade de Drenagem

A densidade de drenagem (Dd) é a razão entre o comprimento total dos cursos de água pela área da bacia (LINSLEY et al., 1949). Na Tabela 3 a seguir está apresentada a classificação de Horton (1945) para as bacias com relação a sua densidade de drenagem.

$$Dd = \frac{Lt}{A} \quad (5)$$

Tabela 3 - Classificação da rede de drenagem

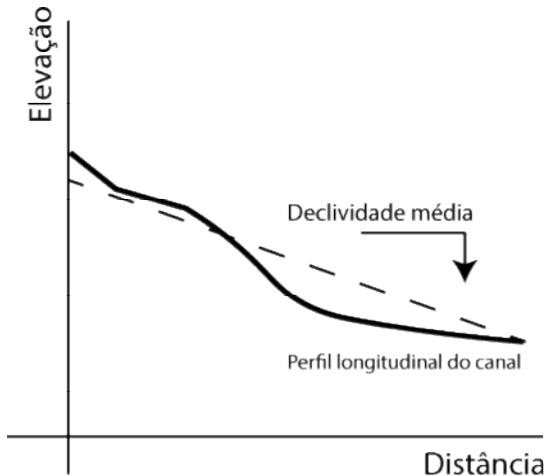
Classificação	Intervalo
Bacias com drenagem pobre	$Dd < 0,5 \text{ km/km}^2$
Bacias com drenagem regular	$0,5 \leq Dd \leq 1,5 \text{ km/km}^2$
Bacias com drenagem boa	$1,5 \leq Dd \leq 2,5 \text{ km/km}^2$
Bacias com drenagem muito boa	$2,5 \leq Dd \leq 3,5 \text{ km/km}^2$
Bacias excepcionalmente bem drenadas	$Dd \geq 3,5 \text{ km/km}^2$

Fonte: Adaptado de Horton (1945)

2.1.2.8 Declividade do Canal

Segundo Soliman (2010) a declividade de um canal afeta diretamente na velocidade do escoamento. Tipicamente os canais possuem o perfil apresentado na Figura 4, isto é, uma curva côncava para cima.

Figura 4 – Perfil longitudinal típico de um canal.



Fonte: Autor (2018)

Assim, para Soliman (2010) quanto maior a declividade, maior será a velocidade de escoamento e mais pronunciada e estreita serão os gráficos vazão x tempo das enchentes. Obtém-se a declividade de um curso d'água, entre dois pontos, dividindo-se a diferença total de elevação do leito pela extensão horizontal do curso d'água entre esses dois pontos. A declividade do canal pode ser descrita como:

$$S = \frac{\Delta H}{L} \quad (6)$$

Na qual S é a declividade (m/m), ΔH é a diferença de cota (m) entre os pontos que definem o início e o fim do canal, L é o comprimento do canal entre estes pontos.

2.1.2.9 Coeficiente de Manutenção

Schumm (1956) determina o coeficiente de manutenção de uma bacia a partir de sua densidade de drenagem pela equação:

$$CM = \frac{1}{Dd} \quad (7)$$

Sendo CM é o coeficiente de manutenção em km^2/km e Dd é a densidade de drenagem em km/km^2 . Esse parâmetro representa, segundo o autor, a área necessária que a bacia deve ter para manter seus canais perenes, isto é, manter sempre com água cada metro de canal de drenagem.

2.1.2.10 Índice de sinuosidade

Horton (1945) descreve o índice de sinuosidade (Is) como a relação entre o comprimento do canal principal e a distância axial do canal principal. Quanto maior a sinuosidade, maior será a dificuldade de se atingir o exutório do canal, portanto, a velocidade de escoamento será menor, ou seja, quanto maior a sinuosidade de um canal maior o número de curvas que este possui.

$$Is = \frac{L - Lt}{Lt} \quad (8)$$

Na Tabela 4 são apresentadas as classes que Mansikkaniemi (1970) estabeleceu para a sinuosidade da rede de drenagem.

Tabela 4 - Classificação da sinuosidade de um canal

Classe	Classificação	Sinuosidade
I	Muito Reto	< 20%
II	Reto	20 – 29,9 %
III	Divagante	30 – 39,9 %
IV	Sinuoso	40 – 49,9 %
V	Muito Sinuoso	A partir de 50%

Fonte: Adaptado de Mansikkaniemi (1970)

2.1.2.11 Tempo de Concentração

Segundo Silveira (2005) o tempo de concentração é um parâmetro hidrológico que surge da hipótese que a bacia hidrográfica responde como sistema linear para o escoamento superficial direto, ou seja, é o tempo necessário para que toda a bacia esteja contribuindo na seção de saída, para bacias de drenagem urbana três metodologias se destacam na estimativa do tempo de concentração: Kirpich, Carter e Desbordes.

Kirpich (1940) relaciona o tempo de concentração de uma bacia de drenagem urbana com o comprimento do segmento principal (L) e o a declividade da bacia (S). Segundo Kirpich (1940) o tempo de concentração é dado por:

$$Tc = \frac{0,0663 L^{0,77}}{S^{0,385}} \quad (9)$$

O cálculo do tempo de concentração utilizando essa metodologia deve ser feito para bacias de área menores que 27000 hectares (SILVEIRA, 2005).

O método de Carter foi adaptado por McCuen et al (1984) e pode ser calculado pela equação a seguir.

$$Tc = \frac{0,0977 L^{0,6}}{S^{0,3}} \quad (10)$$

Na qual L é o comprimento do segmento principal e S é a declividade da bacia. Silveira (2005) afirma que o cálculo do tempo de concentração utilizando essa metodologia deve ser feito para bacias de área menores que tenham área menores que 1100 hectares.

Conforme Desbordes (1974) o tempo de concentração pode ser descrito pela seguinte equação:

$$Tc = \frac{0,0869 A^{0,3039}}{S^{0,3832} A_{imp}^{0,453}} \quad (11)$$

Sendo A é a área total da bacia em km^2 , A_{imp} é o percentual de área impermeável, e S é a declividade da bacia. Para Silveira (2005) a metodologia de Desbordes (1974) deve ser utilizada para bacias menores que 5100 hectares.

A obtenção dos parâmetros apresentados neste item foi facilitada com o avanço do sensoriamento remoto e dos produtos gerados a partir desta tecnologia.

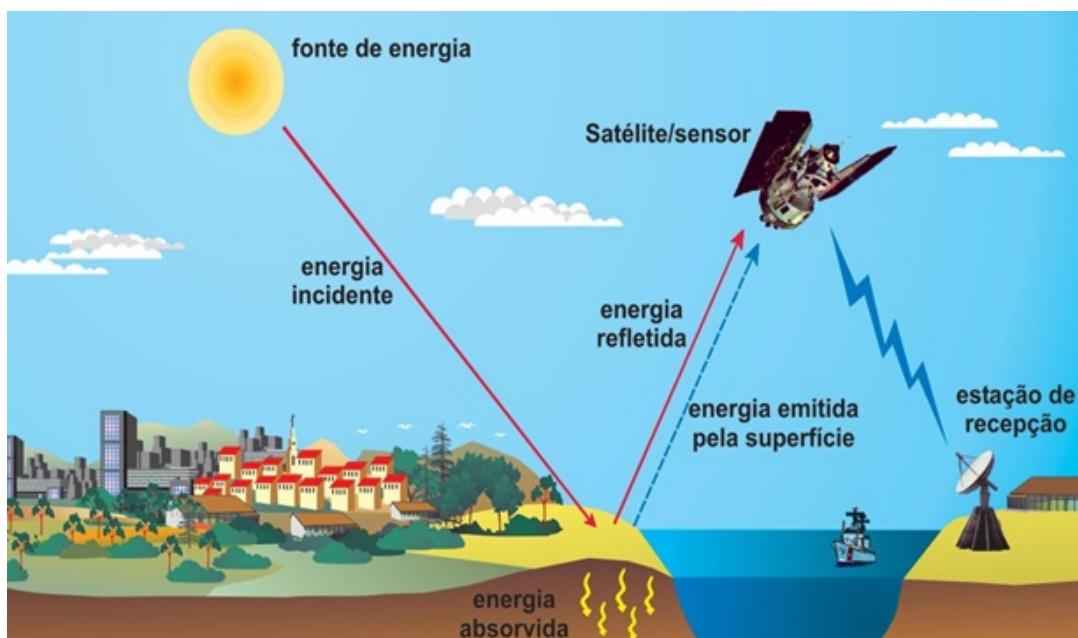
2.2 Sensoriamento remoto

Os sensores instalados em satélites artificiais são o resultado da evolução da ciência e da tecnologia espacial. As imagens obtidas destes satélites e aviões até fotografias de paisagens quaisquer podem ser classificadas como dados obtidos por sensoriamento remoto.

Segundo Elachi (1987) sensoriamento remoto é a aquisição de informações sobre um objeto sem que se entre em contato físico com ele. No entanto essa definição é muito ampla e então o autor sugere uma definição mais enxuta, na qual afirma que o sensoriamento remoto implica na obtenção de informação a partir da detecção e mensuração das mudanças que um determinado objeto impõe aos campos de força que circundam, sejam esses campos eletromagnéticos, acústicos ou potenciais.

Para Florenzano (2007) o sensoriamento remoto é a tecnologia que permite obter imagens e outros tipos de dados, da superfície terrestre, por meio da captação e do registro da energia refletida ou emitida pela superfície. O termo sensoriamento refere-se à obtenção dos dados remotos, que significa distante, ou seja, sem o contato físico entre o sensor e a superfície terrestre, como ilustrado na Figura 5.

Figura 5 – Esquema da obtenção de dados por sensoriamento remoto

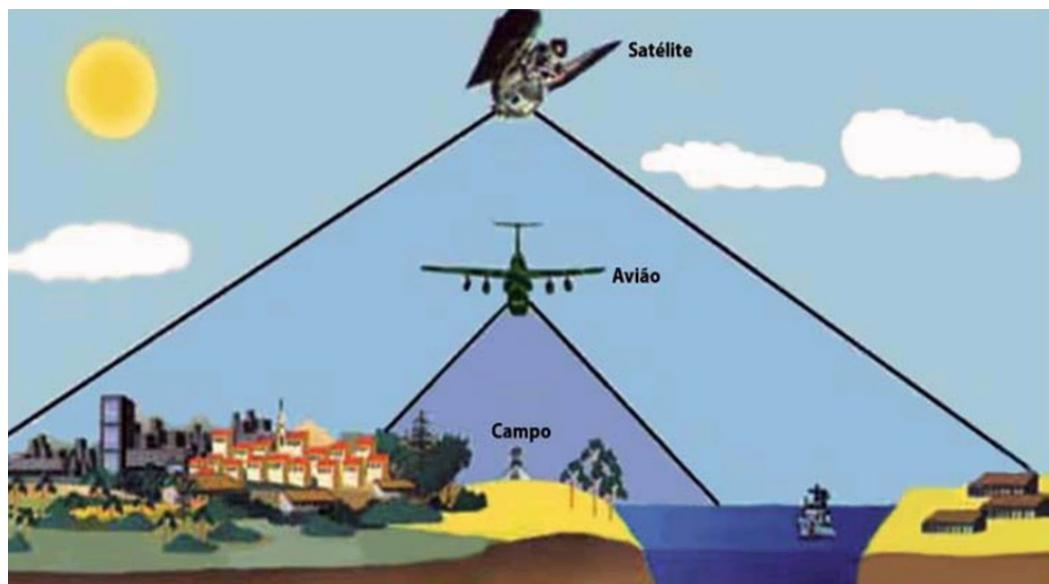


Fonte: Florenzano (2007)

Na Figura 5 podemos observar que o sol ilumina a superfície terrestre. A energia é refletida pela superfície em direção ao sensor e captada e registrada por este. Podemos observar que na sua trajetória, a energia refletida atravessa a atmosfera, que interfere na

energia final registrada pelo sensor. Quanto mais distante o sensor estiver da superfície terrestre, maior será essa interferência (FLORENZANO, 2007). A presença da nuvem na atmosfera, por exemplo, pode impedir que a energia refletida pela superfície terrestre chegue ao sensor a bordo de um satélite. Nesse caso, o sensor registra apenas a energia proveniente da própria nuvem. A Figura 6 ilustra a distância dos principais meios de obtenção de dados por sensoriamento remoto da superfície terrestre.

Figura 6 – Distância entre o sensor e a superfície terrestre



Fonte: Florenzano (2007)

Podemos perceber pela Figura 6 que quanto mais próximo da superfície menor é a interferência da atmosfera, porém menor é a área captada pelo sensor. A utilização de sensoriamento remoto para o desenvolvimento de estudos de grande escala resulta em mapeamento e análise de grande importância para o planejamento urbano (YABIKU, 2013). Um dos principais produtos do sensoriamento remoto é o Modelo Digital do Terreno.

2.2.1 *Modelo Digital do Terreno*

É uma representação matemática da distribuição espacial da característica de um fenômeno vinculada a uma superfície real. A superfície é em geral contínua e o fenômeno que representa pode ser variado (BURROUGH, 1986). Os MDT são um dos produtos que podem ser obtidos pelo sensoriamento remoto (CIRILO et al., 2014). A seguir serão apresentados alguns dos modelos digitais de terreno estudados por diversos autores nos últimos anos.

2.2.1.1 SRTM/TOPODATA

De acordo com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE (2008), o projeto TOPODATA oferece o MDT e suas derivações locais básicas em cobertura nacional, que foram derivados a partir dos dados SRTM disponibilizados pelo USGS .

Desde que o TOPODATA foi lançado pela primeira vez, em agosto de 2008, o processamento dos dados foi sucessivamente inspecionado e revisado, visando aprimoramentos e correções de falhas.

2.2.1.2 Pernambuco Tridimensional (PE 3D)

Segundo Cirilo et al. (2014) o programa Pernambuco Tridimensional (PE 3D), foi iniciado pela SEINFRA, no primeiro semestre de 2014, o objetivo principal do programa é realizar uma varredura a laser e obter ortoimagens de toda a superfície territorial do estado de Pernambuco. Utilizando o LiDAR (Light Detection And Ranging), com os dados sendo captados por sensores e câmeras instaladas em aviões. O trabalho cobriu as 12 regiões de desenvolvimento do estado de Pernambuco.

Os Produtos derivados do PE3D segundo Cirilo et al. (2014) são: (1) Recobrimento aerofotogramétrico e geração de ortoimagens (1:5000) com GSD de 50 cm; (2) Recobrimento aerofotogramétrico e geração de ortoimagens (1:1000) com GSD de 12 cm; (3) Perfilamento a laser e geração de modelos digitais de terreno (1:5000) com erro altimétrico menor que 25 cm; (4) Perfilamento a laser e geração de modelos digitais de terreno (1:1000) com erro altimétrico menor que 10 cm; (5) Implantação de 40 marcos geodésicos distribuídos em todo o território do estado de Pernambuco. Os levantamentos com escala de 1:1000 foram considerados no projeto para auxiliar no planejamento de obras urbanas nas principais cidades de Pernambuco como Caruaru, Belo Jardim, Petrolina, Arcos, Vitoria de Santo Antão e etc, e o levantamento com escala de 1:5000 cobriu todo o estado de Pernambuco e pode ser usado para diversos projetos de obras hidráulicas, construção civil e estradas.

2.3 Eventos de chuvas intensas em Caruaru

As inundações fazem parte de um ciclo dinâmico que uma bacia hidrográfica possui, esse processo natural ganha dimensões de desastre por causa da interferência humana na ocupação irregular das margens dos rios e dos seus tributários (CANHOLI, 2005).

2.3.1 Cheia do Rio Ipojuca 2004

Um dos maiores problemas do Rio Ipojuca é a ocupação irregular de suas margens nos centros urbanos. Em épocas de cheia quando o rio reocupa seu espaço natural, causam morte e danos às propriedades da população ribeirinha. (FRAGOSO, 2013). Segundo notícias de diversos jornais da época uma das maiores inundações aconteceu em 2004, onde pelo menos 30 pessoas morreram e mais de três mil ficaram desabrigadas devido às chuvas intensas. O rio Ipojuca elevou o nível d'água em cerca de dois metros. Entre os municípios mais prejudicados estavam Caruaru, Gravatá e Escada. Na Figura 7 estão algumas imagens que demonstram o nível de destruição da cidade de Caruaru após a cheia de 2004.

Figura 7 – Diversos pontos de alagamento na cidade de Caruaru durante a cheia do rio Ipojuca em 2004



Fonte: Youtuber (2010)

2.3.2 Cheia do Rio Ipojuca 2009

No ano de 2009 as cheias voltaram a causar danos à população que mora as margens do rio Ipojuca nas áreas urbanas de Caruaru, desta vez com menor intensidade, o rio subiu menos de um metro e os estragos foram menores que em 2004 (O GLOBO, 2009).

O principal motivo dessa cheia foram às chuvas em Belo Jardim que fizeram a barragem Pedro Moura Júnior sangrar e um grande volume de água seguiu em direção a Caruaru, fazendo o nível do rio Ipojuca subir e causar danos a população ribeirinha (O GLOBO, 2009).

2.3.3 *Cheia do Rio Ipojuca 2017 e 2018*

Segundo dado da APAC em 2017 choveu 220 mm em um dia, dezenas de bairros foram afetados, uma mulher morreu afogada ao ser arrastada pela correnteza do riacho do Mocó.

Em 2018 Caruaru registrou uma média de 66 mm de chuva em um período de 24 horas. Em apenas três horas choveu 80% da precipitação esperada para todo o mês de Abril que era 82,5 mm. Vários danos ocorreram a moradores que vivem em bairros próximos ao rio ou de seus afluentes, no bairro Petrópolis, o muro de uma casa localizada na Rua Sanharó caiu. No mesmo local, residências ficaram parcialmente destruídas, um carro foi levado de um lado da rua para outro com a força da água, assim como móveis de um estabelecimento e objetos dos moradores foram arrastados. Segundo a Defesa Civil, nove famílias ficaram desalojadas após as chuvas, como pode ser visto na Figura 8 (G1, 2018).

Figura 8 - Danos causados pela cheia do rio Ipojuca no ano de 2018



Fonte: G1 (2018)

3 METODOLOGIA

3.1 Escolha das bacias de drenagem mais relevantes na cidade de caruaru

Nessa etapa as bacias de drenagens escolhidas refletem uma necessidade existente na zona urbana de planejar a ocupação de áreas ribeirinhas do rio Ipojuca e de seus canais contribuintes, visto que a ocupação irregular dessas áreas causa danos a população em épocas de chuvas intensas.

Os canais escolhidos foram três, o primeiro e menor de todos é o do Salgadinho, o segundo, possuindo um tamanho intermediário é o da Vila Kennedy, e o terceiro e maior de todos é o canal do Mocó. O fato da escolha dos canais com perímetros e áreas diferentes foi proposital para analisar o comportamento do modelo digital de terreno com diferentes resoluções para diferentes tamanhos de bacias urbanas. Além dos tamanhos, outro fator que influenciou a escolhas dessas três áreas de estudo é o dano causado a população em épocas de cheias.

3.2 Aquisição de modelos digitais de terreno

Para este trabalho foram utilizados três MDT de diferentes resoluções, o primeiro utilizado foi o TOPODATA com escala de 1:125.000 fornecido *online* e gratuitamente pelo Instituto Nacional De Pesquisas Espaciais (INPE).

O segundo MDT pode ser baixado pelo portal Pernambuco Tridimensional e possui duas escalas, 1:5000 e 1:1000. Os arquivos foram recortados para o processamento acontecer mais rápido e a partir desses recortes de MDT foram extraídas as bacias de drenagem urbana para que se possa obter as suas características físicas e hidrológicas.

3.3 Aplicar a ferramenta de SIG GRASS para a obtenção das bacias de drenagem, rede de drenagem, direção do fluxo de água

GRASS é um *plug in* do QGIS capaz de obter parâmetros hidrológicos a partir de MDT, a ferramenta utilizada é a *r.watershed*, mas é necessário calibrar o parâmetro *Minimum size of exterior watershed basin*, comumente chamado de *threshold*, para o tipo de informação que se deseja obter. Neste trabalho a área mínima das sub bacias escolhida foi de 0,5 km², logo para cada resolução de MDT o valor do *threshold* foi calibrado para essa restrição ser obedecida. Na Tabela 5 estão apresentados os valores utilizados nos *threshold* de cada modelo digital do terreno analisado.

Tabela 5 - Threshold para cada modelo digital do terreno analisado.

MDT	Tamanho do Pixel	THRESHOLD	Área mínima (Km ²)
TOPODATA	90 m x 90 m	62	0,5022
PE3D 1:5000	1 m x 1 m	500.000	0,5000
PE3D 1:1000	0,5 m x 0,5 m	2.000.000	0,5000

Fonte: Autor (2018)

Para obter o valor da área mínima apresentado na Tabela 5 multiplicamos a área do pixel pelo parâmetro threshold. Após a aplicação da ferramenta *r.watershed* os seguintes resultados são obtidos;

- Sub bacias derivadas do MDT maiores que 0,5 km² (*Half Basin*)
- Rede de drenagem (*Stream Segments*)
- Direção do fluxo d'água (*Drainage Direction*)

A próxima etapa é a aplicação de outra ferramenta do GRASS, o *r.watershed.outlet*, para aplicar essa ferramenta é necessário se conhecer o exutório de cada bacia analisada, a Tabela 6 a seguir possui as coordenadas em SIRGAS 2000 25s dos exutórios para cada banco de dados analisados e suas devidas bacias.

Tabela 6 - Coordenadas em SIRGAS 2000 25s dos exutórios para cada banco de dados analisados

Bacia	TOPODATA		PE3D 1:5000		PE3D 1:1000	
	X	Y	X	Y	X	Y
Salgadinho	172784,79	9082262,76	172885,33	9082416,83	172857,90	9082426,73
Kennedy	170347,85	9082546,23	170788,33	9082419,95	-	-
Mocó	170716,33	9082546,23	170789,50	9082419,88	-	-

Fonte: Autor (2018)

A partir dos valores das coordenadas apresentados na Tabela 5, é possível obter o formato da bacia de drenagem do canal com a ferramenta *r.watershed.outlet*.

3.4 Calcular os parâmetros morfométricos das bacias encontradas para cada MDT analisado e comparar os resultados.

Nesta etapa foram calculados os parâmetros morfométricos das três bacias estudadas, as equações utilizadas para os cálculos a partir dos dados obtidos automaticamente pelo QGis foram citadas nas equações 1 a 8.

3.5 Calcular o tempo de concentração para cada bacia

Nessa etapa foi calculado o tempo de concentração para cada bacia estudada utilizando os parâmetros obtidos anteriormente, e foram utilizados os métodos de Kirpich, Carter e Desbordes, citados nas equações 9, 10 e 11 deste trabalho. Os valores obtidos para as diferentes resoluções de MDT foram comparados para analisar a interferência destes na modelagem hidrológica das bacias.

4 ÁREA DE ESTUDO

4.1 Área de estudo 1

A área de estudo 1 está localizado na região da zona sul de Caruaru, e representada na Figura 9, os bairros que estão contidos nessa região são os bairros Petrópolis, Vassoural e o Bairro Agamenon, que apresentam características similares, onde todos são bairros residenciais, e uma das principais fontes econômicas da cidade está localizado nessa área de estudo, a feira de Caruaru, assim como o mercado Atacadão e a Faculdade FAFICA. Na fronteira entre os bairros Petrópolis e Vassoural existe um canal conhecido como Canal do Salgadinho que em épocas de chuvas intensas causa danos a população carente que vive no seu entorno, principalmente na Rua Sanharó onde algumas casas foram construídas em cima do curso principal do canal.

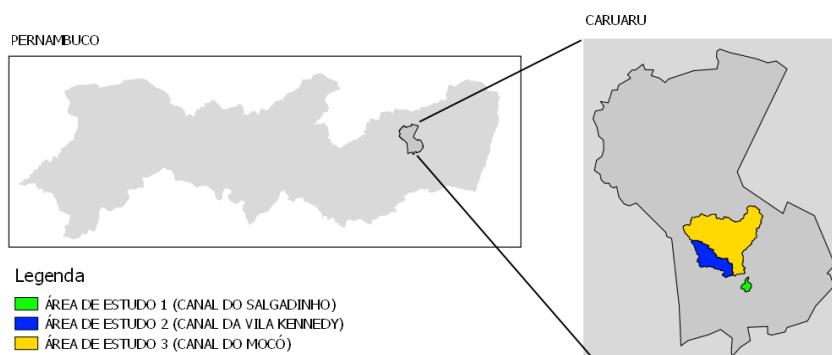
4.2 Área de estudo 2

A área de estudo 2 está localizado na região oeste de Caruaru e contem os bairros, Vila Kennedy, Jose Carlos de Oliveira e Boa Vista 1, a região é um misto entre zona urbana, industrial e rural. É nessa área que está localizado o pólo industrial da cidade e seu principal canal é o da Vila Kennedy. A área de estudo pode ser visualizada na Figura 9.

4.3 Área de estudo 3

A área de estudo 3 está localizado na zona norte de Caruaru e é um misto entre zona urbana e rural, essa área contem os bairros, Boa vista 2, João Mota, Nova Caruaru e Maurício de Nassau. Está ocupada por dois hospitais da cidade (Hospital Mestre Vitalino e o Hospital Santa Efigenia), além do Polo Comercial de Caruaru e a Universidade Federal de Pernambuco. Seu principal canal é o Mocó, um dos principais afluentes do Rio Ipojuca. A área de estudo pode ser visualizada na Figura 9.

Figura 9 - Áreas de estudo 1, 2 e 3



Fonte: Autor (2018)

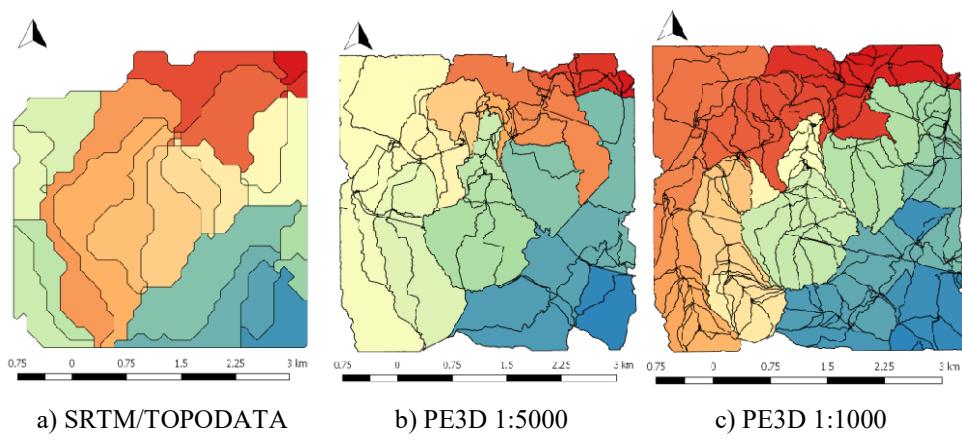
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Canal do Salgadinho (área de estudo 1)

5.1.1 *Bacias derivadas dos MDT*

Foram delimitadas todas as bacias presentes na área de estudo 1 que possuem dimensões maiores $0,5 \text{ km}^2$, para verificar a influência dos MDT com resoluções diferentes na quantidade de sub bacias geradas automaticamente. Os resultados obtidos são apresentados na Figura 10.

Figura 10 - Sub- bacias derivadas da área de estudo 1 (Salgadinho)

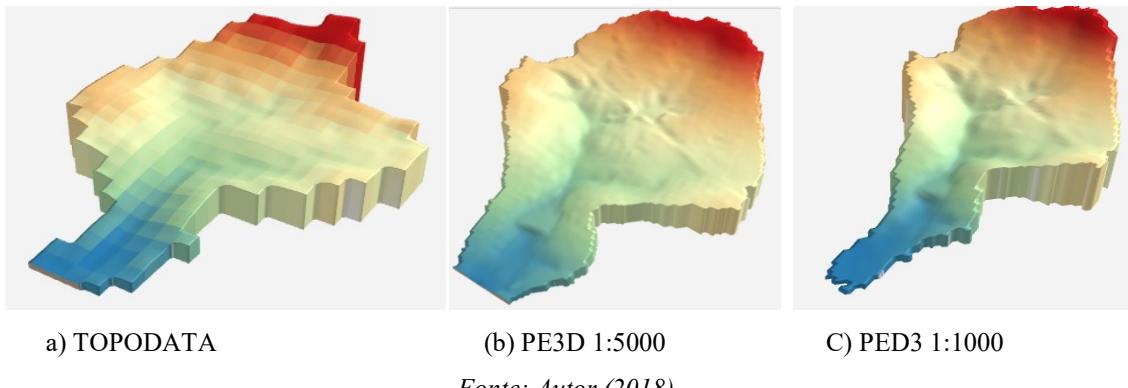


Fonte: Autor (2018)

Verificamos na Figura 10 que quanto melhor for a resolução do MDT maior é o número de Sub bacias encontradas, para o TOPODATA, que possui a pior resolução entre os MDT analisados, o número de sub-bacias encontrados foi 24, para o PE3D 1:5000 foi e para o PE3D 1:1000 foram 364 e 556 respectivamente. Um resultado similar foi encontrado por Liu et al. (2005) para a Victoria na Austrália, o autor constatou que quanto melhor a resolução do MDT criado a partir de sensores LiDAR maior o numero de Bacias geradas, e para MDT de mesmas resoluções provenientes de sensores diferentes, o LiDAR continuou gerando automaticamente uma quantidade maior de sub bacias.

Entre as micro bacias apresentadas na Figura 10, as que contribuem com escoamento superficial para o canal do Salgadinho foram delimitada e separadas para poder serem caracterizadas. A micro bacia de drenagem para o canal do Salgadinho utilizando o MDT derivado do TOPODATA e utilizando os dois MDT do PE3D com as escalas de 1:1000 e 1:5000 são apresentadas na Figura 11 em um esquema tridimensional da topografia das micro bacias de drenagem.

Figura 11 - Sub- bacias derivadas da área de estudo1 (Salgadinho)

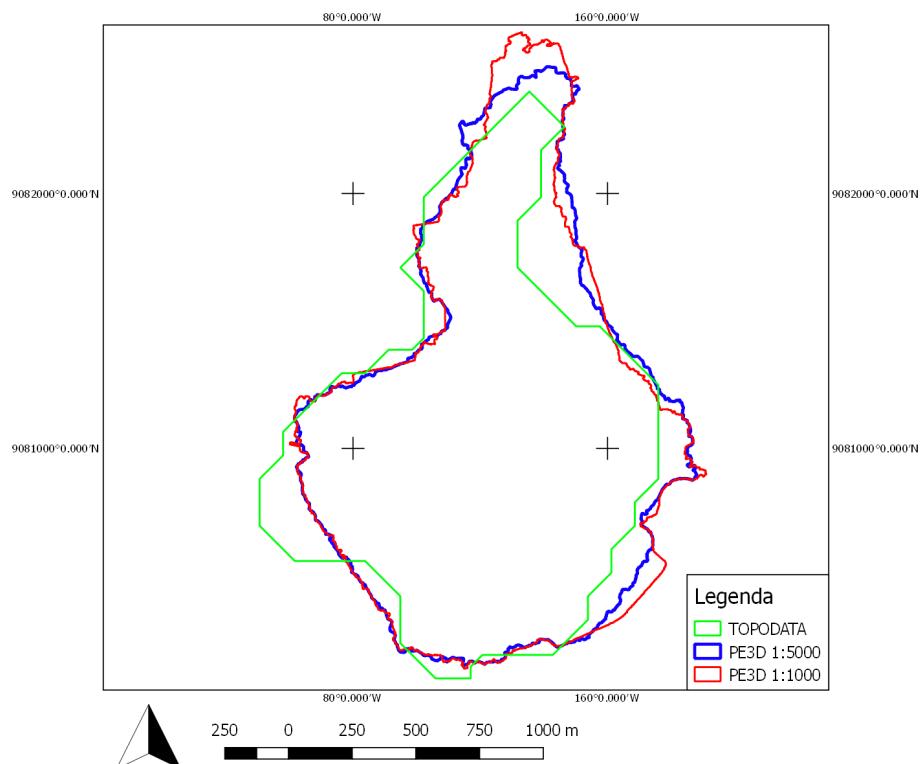


Fonte: Autor (2018)

A superfície gerada tridimensionalmente no PE3D, Figura 11b e Figura 11c é mais refinada e próxima da realidade do que a do TOPODATA, Figura 11a que apresenta uma superfície simplificada da elevação do terreno.

A delimitação da bacia de drenagem para o canal do Salgadinho foi gerada automaticamente com o *plug in* GRASS, do software QGis, para os MDT derivados do TOPODATA e o PE3D. Na Figura 12 é apresentado o formato das bacias geradas.

Figura 12 - Bacias de drenagem delimitada utilizando diferentes MDT para o Canal do Salgadinho.



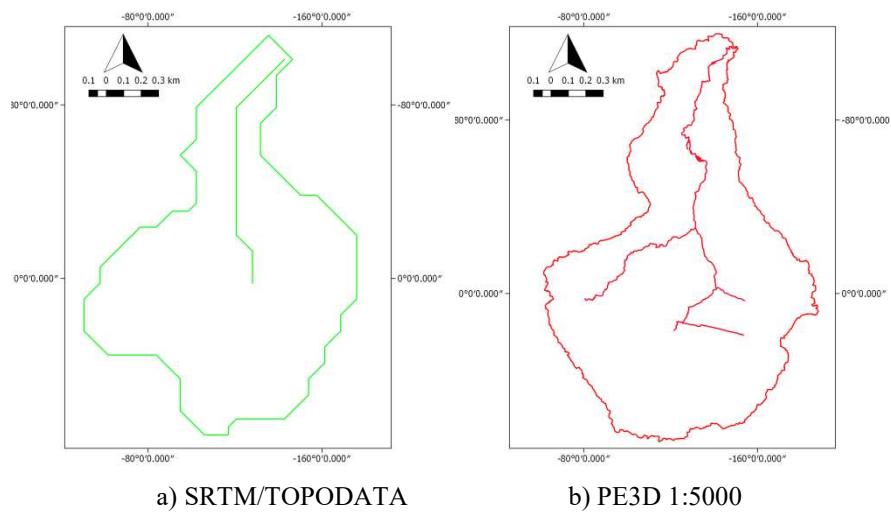
Fonte: Autor (2018)

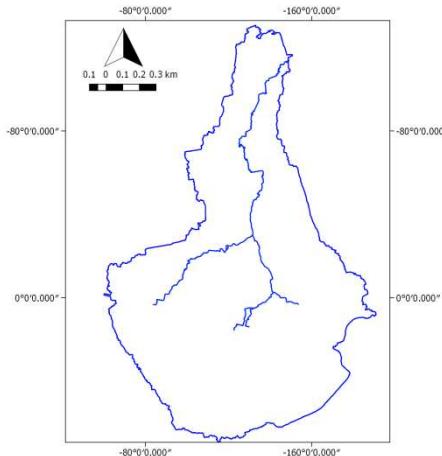
Os resultados presentes na Figura 12 demonstram a diferença no formato e tamanho das bacias de drenagem provenientes de bancos de dados distintos. O TOPODATA, que possui uma menor precisão, obteve uma bacia com uma área de 1,82 km² e com um formato menos suave nos divisores de água, praticamente retas, devido à interpolação dos pontos ser a cada 90 metros. Do PE3D 1:5000 foi derivada uma bacia maior que a anterior, com divisores de água mais suavizados e próximos da realidade, a área encontrada foi de 1,98 km², resultado muito semelhante a Bacia derivada do PE3D 1:1000, que entre os três bancos de dados foi o que obteve uma maior área da bacia de drenagem com 2,02 km². De acordo com Wisler e Brater (1964), as bacias encontradas são classificadas como pequenas, se desconsiderarmos outros fatores mormométricos as bacias pequenas possuem risco de enchentes, pois seu pico de vazão acontece muito rápido.

5.1.2 *Rede de drenagem derivadas dos MDT*

Na Figura 13 foi apresentada a rede de drenagem para os três bancos de dados. Pode-se observar que o TOPODATA não gerou um resultado satisfatório, apenas foi obtido o fluxo principal do canal. Para o PE3D 1:5000 e 1:1000 além do segmento principal foi derivado do MDT outro canal presente na bacia que pode ser observado na parte inferior direita da Figura 13b e Figura 13c.

Figura 13 - Redes de Drenagem





c) PE3D 1:1000

Fonte: Autor (2018)

5.1.3 Caracterização da bacia

Na Tabela 7 foram apresentados os aspectos lineares como ordem dos rios, comprimento do segmento principal, comprimento total de canais e índice de sinuosidade. Todos os cálculos foram baseados nas micro bacias de drenagem obtidas pelo TOPODATA e PE3D.

Tabela 7 - Aspectos Lineares (Canal do Salgadinho)

Parâmetro	Unidade	TOPO DATA	PE3D 1:5000	PE3D 1:1000
Ordem do curso d'água	-	1	2	2
Comprimento Total da rede de drenagem	km	1,44	4,12	4,45
Comprimento do Segmento Principal	km	1,44	2,79	2,92
Sinuosidade do Segmento Principal	%	10,68	64,89	74,23

Fonte: Autor (2018)

Em relação a ordem do curso d'água, para a micro bacia derivada do TOPODATA a delimitação automática apenas gerou o curso principal do canal, deste modo, segundo a classificação de Strahler (1957) a bacia é de primeira ordem. O Pernambuco tridimensional com escala 1:5000 e 1:1000 gerou automaticamente além do curso principal do canal outros efluentes que o abastecem o curso principal, dessa maneira obtivemos uma ordem para bacia maior que no caso anterior, de acordo com Strahler (1957) a ordem encontrada para o PE3D 1:5000 e 1:1000 foi de segunda ordem.

O segundo parâmetro apresentado na Tabela 7 é o comprimento total dos canais, sendo o valor obtido pelo MDT do TOPODATA de 1,44 km, ou seja, igual ao comprimento do segmento principal, como pode ser visto na Figura 13 o banco de

dados não gerou nenhum outro segmento de canal para a rede de drenagem, por outro lado, o Pernambuco Tridimensional para suas duas resoluções de MDT obtiveram um resultados de 4,12 km para a escala de 1:5000 e de 4,45 km para a escala de 1:1000. Como pode ser observado na Figura 13 o PE3D derivou uma rede de drenagem maior para a bacia com um canal principal e um braço menor, o que contribui para a vazão final da bacia.

O terceiro parâmetro apresentado na Tabela 7 é o comprimento do segmento principal, ou seja, o comprimento total do trecho que vai da nascente ao exutório da bacia. Para o TOPODATA o valor encontrado foi 1,44 km e para o Pernambuco Tridimensional os valores encontrados para as escalas de 1:5000 e 1:1000 respectivamente são 2,79 km e 2,92 km.

O último parâmetro apresentado na Tabela 7 é o índice de sinuosidade, que para o TOPODATA foi 97,08 %, ou seja, o curso principal obtido tem poucas curvas, já para o Pernambuco tridimensional os valores encontrados para a escala de 1:5000 e 1:1000 são respectivamente 48,77% e 54,99, isto é, o curso principal do canal possui mais curvas que o canal derivado do TOPODATA.

Na Tabela 8 são apresentados os aspectos de área como área total da bacia, perímetro da bacia, densidade de drenagem, coeficiente de manutenção, fator de forma, coeficiente de compacidade e índice de circularidade. Todos os cálculos foram baseados nas micro bacias de drenagem obtidas pelo TOPODATA e PE3D.

Tabela 8 - Aspectos de Área (Canal do Salgadinho)

Parâmetro	Unidade	TOPO DATA	PE3D 1:5000	PE3D 1:1000
Área Total da Bacia	km ²	1,85	1,98	2,02
Perímetro	km	6,70	8,89	10,18
Densidade de drenagem	km/km ²	0,78	2,08	2,20
Coeficiente de Manutenção	km ² /km	1,28	0,43	0,54
Fator de Forma	-	0,35	0,35	0,32
Coeficiente de Compacidade	-	1,38	1,77	2,01
Índice de Circularidade	-	0,52	0,31	0,25

Fonte: Autor (2018)

O primeiro parâmetro apresentado na Tabela 8 é a área das micro bacias, comparando os resultados do TOPODATA e PE3D 1:5000 com a área da bacia do PE3D 1:1000 percebemos que a diferença foi sutil, onde a área da primeira é da

segunda é 98%, ou seja, a delimitação da área de uma bacia não varia muito entre o banco de dados utilizado.

Diferentemente da área, os perímetros das bacias apresentados na Tabela 8 possuem uma variação maior entre os MDT utilizados. Isso acontece pelas curvas existentes nos divisores de água das bacias derivadas do Pernambuco tridimensional, em contraste com o do TOPODATA que possuem mais retas, como pode ser visto na Figura 12.

A densidade de drenagem para o TOPODATA foi de 0,78, ou seja, de acordo com a classificação de Horton (1945), é considerada uma bacia com drenagem regular. Para o PE3D com escalas 1:5000 e 1:1000 as densidades de drenagem foram 2,02 km/km² e 2,20 km/km² que segundo a classificação do autor são bacias com boa drenagem.

O coeficiente de compacidade encontrado para o TOPODATA foi 1,38 e para os MDT do PE3D 1,77 e 2,01 para as escalas de 1:5000 e 1:1000. De acordo com a classificação de Vilella e Mattosm (1975), a bacia derivada do TOPODATA tem um formato mais próximo ao circular do que as bacias derivadas do PE3D isso torna ela mais propícia a grandes enchentes, já as bacias do PE3D, que possuem o coeficiente de compacidade maior que 1,5, são bacias não sujeitas a enchentes.

O fator de forma encontrado para a sub bacia derivada do TOPODATA foi 0,35 para o PE3D os valores encontrados para a escala de 1:5000 e 1:1000 foram respectivamente 0,35 e 0,32, ou seja, de acordo com a classificação de Vilella e Mattos (1975), por possuírem o fator de forma menor que 0,7 seriam bacias com formato elíptico e não sujeitas a enchente. Todas as bacias possuem um índice de circularidade menor que 0,7, ou seja, possuem forma alongada.

Na Tabela 9 foram apresentados os aspectos de relevo como altitude máxima da bacia, altitude da nascente, altitude do exutório, desnível da nascente ao exutório, índice de declividade global e o comprimento axial. Os parâmetros apresentados na Tabela 9 são importantes para a determinação do tempo de concentração para o cálculo do histograma da bacia. Todos os cálculos foram baseados nas micro bacias de drenagem obtidas pelo TOPODATA e PE3D.

Tabela 9 - Aspectos de relevo (Canal do Salgadinho)

Parâmetro	Unidade	TOPO DATA	PE3D 1:5000	PE3D 1:1000
Altitude Máxima	m	652	652,96	653,73
Altitude Exutório	m	524,2	519,37	523,29
Altitude Nascente	m	568,47	575,97	575,70
Desnível da nascente ao exutório	m/m	56,6	56,60	52,41
Índice de Declividade Global	m/m	0,031	0,032	0,023

Fonte: Autor (2018)

Em relação a altitude máxima da bacia, a diferença entre os MDT é pequena, cerca de 1,73m. Já em relação ao o índice global de declividade, o TOPODATA e o PE3D 1:5000 foram bem próximos, porém relacionando o primeiro com PE3D 1:1000 o valor foi menor, implicando que a bacia possui um perfil mais suavizado.

Foi visto que os valores obtidos pelo PE3D na escala de 1:1000 e o índice de declividade global em relação ao PE3D escala de 1:5000 não variam significativamente, pois a classificação morfométrica para as duas bacias derivadas de resoluções diferentes foi a mesma. Para as próximas bacias serão apenas comparados o MDT do TOPODATA com o PE3D 1:5000.

5.2 Canal da villa kennedy (área de estudo 2)

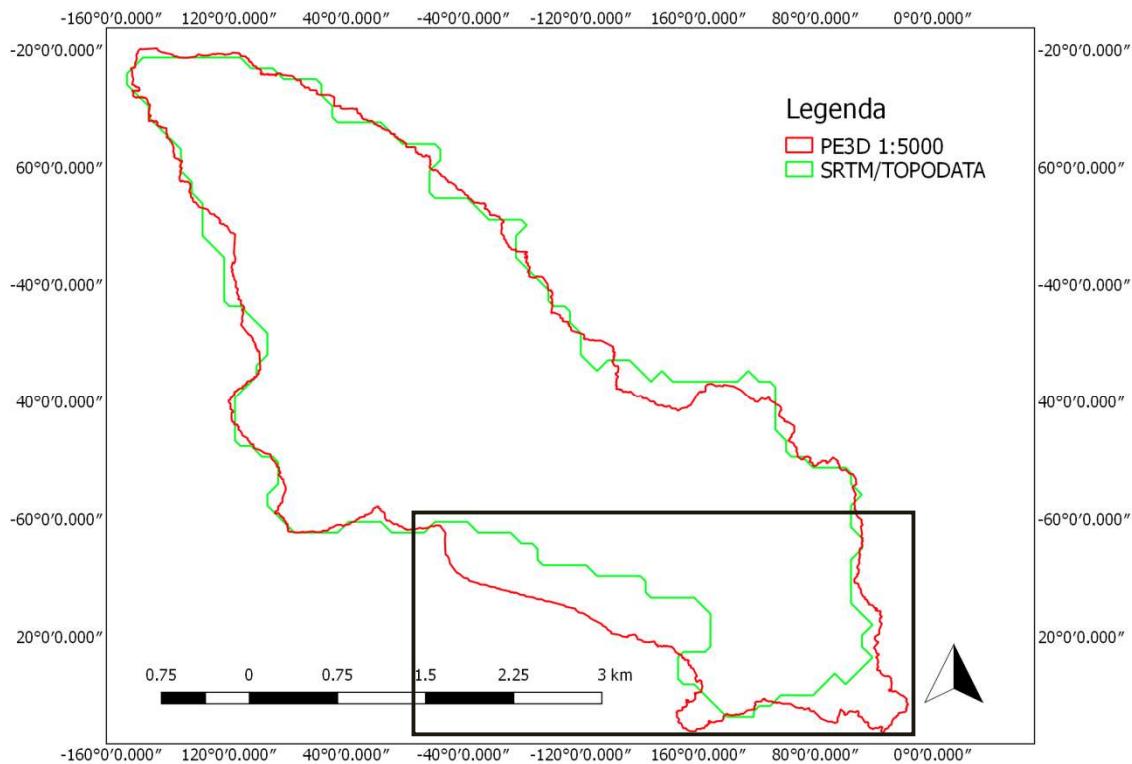
Nessa seção serão apresentados os resultados obtidos automaticamente com a ferramenta GRASS par a área de estudo 2, ou seja, o canal da Vila Kennedy, assim como os parâmetros morfométricos calculados com os dados obtidos a partir dos MDT do TOPODATA e PE3D.

Como no item anterior os valores entre o PE3D 1:5000 e 1:1000 não foram muito distantes, e custo computacional de gerar automaticamente parâmetros hidrológicos a partir de MDT de áreas extensas é alto, para a está bacia só foram utilizados os MDT do TOPODATA e PE3D 1:5000.

5.2.1 Bacias derivadas dos MDT

A área onde fica localizado o canal da vila Kennedy é 1,19 km² maior que a bacia do salgadinho e envolve vários bairros na cidade de Caruaru. Na Figura 14 é ilustrado o formato obtido para as bacias derivadas do TOPODATA e PE3D 1:5000.

Figura 14 - Formato obtido para as bacias derivadas do TOPODATA e PE3D 1:5000



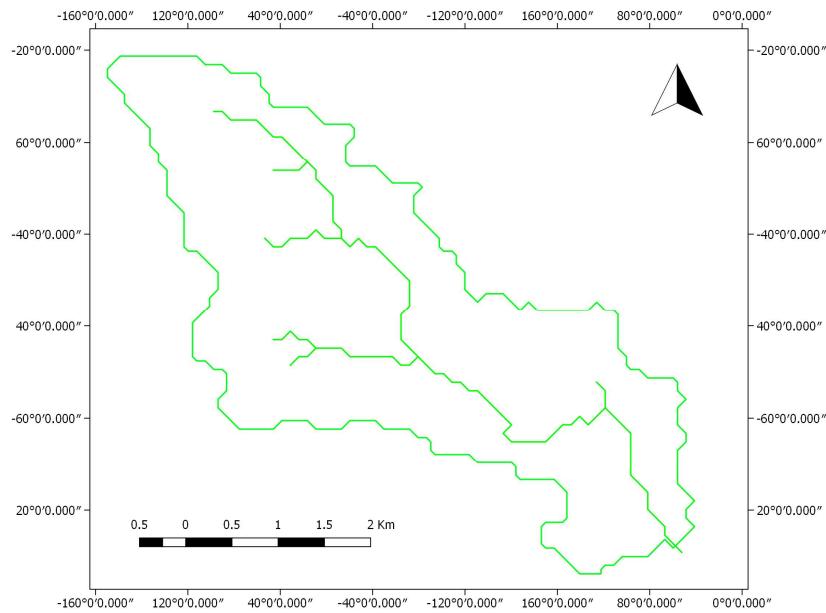
Fonte: Autor (2018)

Podemos observar que o formato das duas bacias é semelhante, porém na parte destacada da figura existe uma discrepância entre o formato, o banco de dados do TOPODATA afunila o contorno da bacia enquanto que o PE3D 1:5000 continua com um traçado mais contínuo.

5.2.2 Rede de drenagem derivada MDT

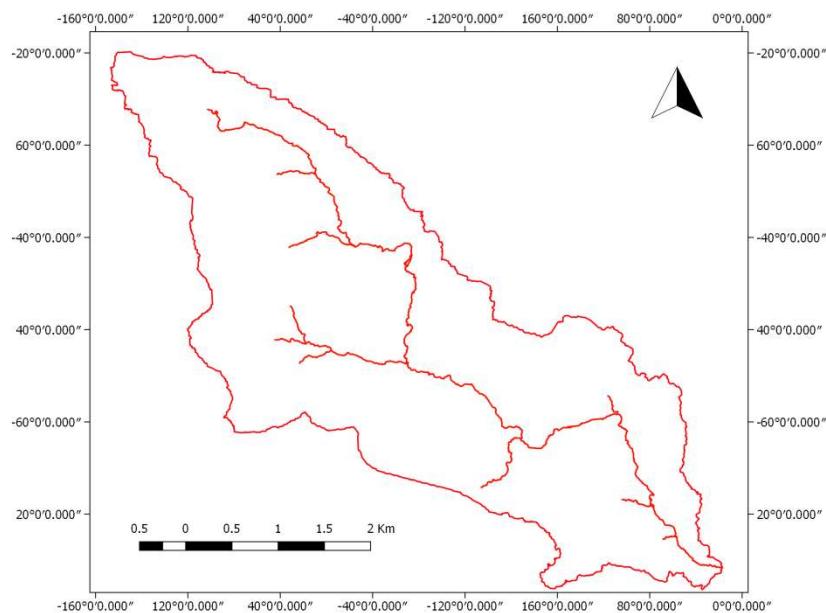
Nas Figuras 15 e 16 são ilustradas as redes de drenagem para a bacia do canal da Vila Kennedy para os dois bancos de dados estudados, respectivamente. A rede de drenagem derivada do MDT do TOPODATA foi bem próxima a gerada pelo PE3D 1:5000, a maior diferença foi em alguns canais de primeira ordem na rede de drenagem do PE3D 1:5000 e na sua riqueza em detalhar o relevo, pois é possível observar curvas nos cursos d'água existentes no TOPODATA.

Figura 15 - Redes de drenagem para a bacia do canal da Vila Kennedy utilizando o TOPODATA



Fonte: Autor (2018)

Figura 16 - Redes de drenagem para a bacia do canal da Vila Kennedy utilizando o PE3D 1:5000



Fonte: Autor (2018)

5.2.3 Caracterização da sub bacia

Na Tabela 10 são apresentados os aspectos lineares para a caracterização da bacia do Canal da Villa Kennedy para o MDT derivado do TOPODATA e do PE3D 1:5000. Podemos observar que a ordem da bacia segundo a classificação de Strahler (1957) para ambos os bancos de dados foram iguais, o comprimento total de rede de drenagem e o comprimento do segmento principal para o MDT do PE3D foi maior que

a do TOPODATA. O índice de sinuosidade do canal principal também foi maior para o PE3D, o que demonstra que este MDT deriva segmentos com mais curvas que o TOPODATA.

Tabela 10 - Aspectos lineares (Canal da Villa Kennedy)

Parâmetro	Unidade	TOPODATA	PE3D 1:5000
Ordem do curso d'água	-	3	3
Comprimento Total da rede de drenagem	km	12,75	20,02
Comprimento do Segmento Principal	km	8,90	12,96
Sinuosidade do Segmento Principal	%	28,84	73,56

Fonte: Autor (2018)

A Tabela 11 é apresentada os aspectos de área para a classificação da bacia da Villa Kennedy. Novamente o PE3D apresentou valores maiores para a área total da bacia, perímetro, densidade de drenagem, fator de forma, coeficiente de compacidade, porém, na classificação qualitativa, ambas as bacias foram categorizadas como bacias pequenas, bem drenadas, de formato elíptico e pouco sujeitas a enchentes.

Tabela 11 - Aspectos de Área (Canal da Villa kennedy)

Parâmetro	Unidade	TOPODATA	PE3D 1:5000
Área Total da Bacia	km ²	14,88	16,07
Perímetro	km	22,98	32,13
Densidade de drenagem	km/km ²	0,86	1,25
Coeficiente de Manutenção	km ² /km	1,17	0,80
Fator de Forma	-	0,23	0,22
Coeficiente de Compacidade	-	1,67	2,24
Índice de Circularidade	-	0,35	0,20

Fonte: Autor (2018)

Os aspectos de relevo para a classificação da bacia da Villa Kennedy estão apresentados na Tabela 12. Neste caso os valores são bem próximos para ambos os MDT, pois segundo Yabiku (2013) a aplicação do TOPODATA em relevos de declividade baixa até 3%, fornece uma qualidade alta nos resultados altimétricos, assim como o PE3D que de acordo com Cirilo et al. (2014) possui um erro altimétrico de apenas 12 cm. Deste modo o índice de declividade calculado para as duas bacias foram bastante próximos.

Tabela 12 - Aspectos de relevo (Canal da Villa kennedy)

Parâmetro	Unidade	TOPODATA	PE3D 1:5000
Altitude Máxima	m	672,00	674,83
Altitude Exutório	m	526,00	521,13
Altitude Nascente	m	627,00	614,78
Desnível da nascente ao exutório	m/m	101,00	93,65
Índice de Declividade Global	m/m	0,025	0,022

Fonte: Autor (2018)

5.3 Canal do Mocó (área de estudo 3)

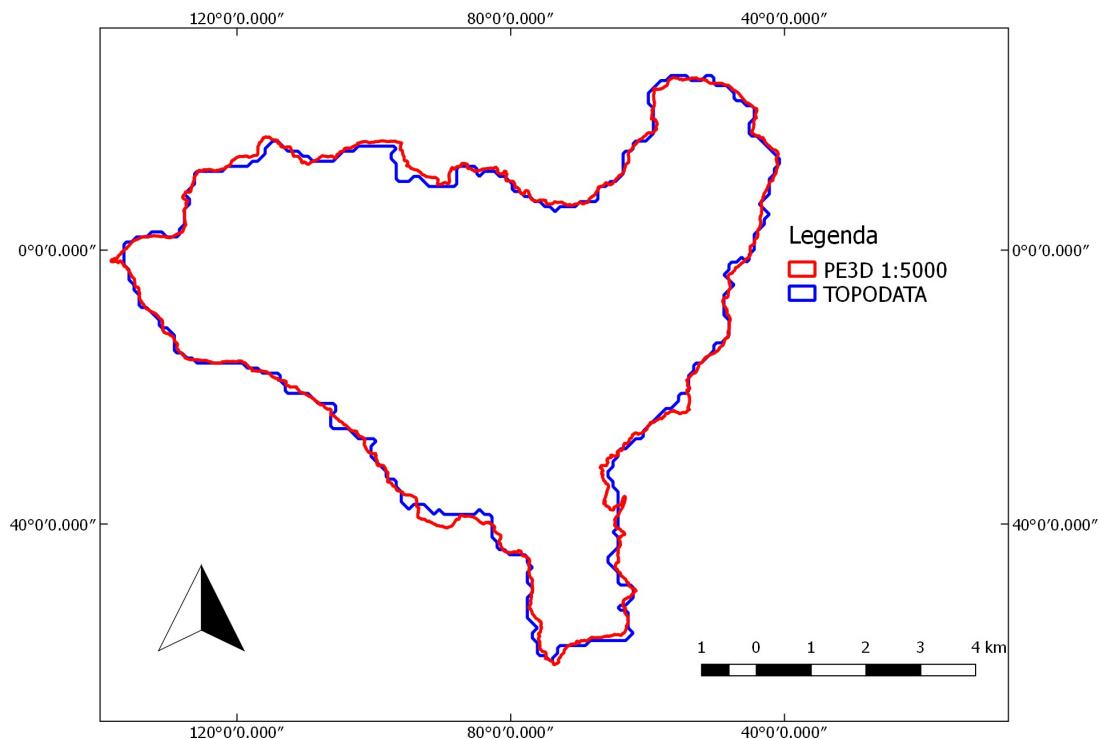
Nessa seção serão apresentados os resultados obtidos automaticamente com a ferramenta GRASS para a área de estudo 3, o canal do Mocó, assim como os parâmetros morfométricos calculados com os dados obtidos a partir dos MDT do TOPODATA e PE3D.

Assim como no item anterior, nesta seção apenas serão utilizados os MDT do TOPODATA e do PE3D 1:5000 para os cálculos.

5.3.1 *Bacias derivadas dos MDT*

Na Figura 17 é apresentado o formato da bacia do Canal do Mocó, podemos perceber que o contorno derivado do TOPODATA se assemelha bastante com o do PE3D, demonstrando que ambos os bancos de dados apresentam resultados satisfatórios para a delimitação de bacias de grande porte, ou seja, maiores que 25 km².

Figura 17 - Formato da bacia do Canal do Mocó

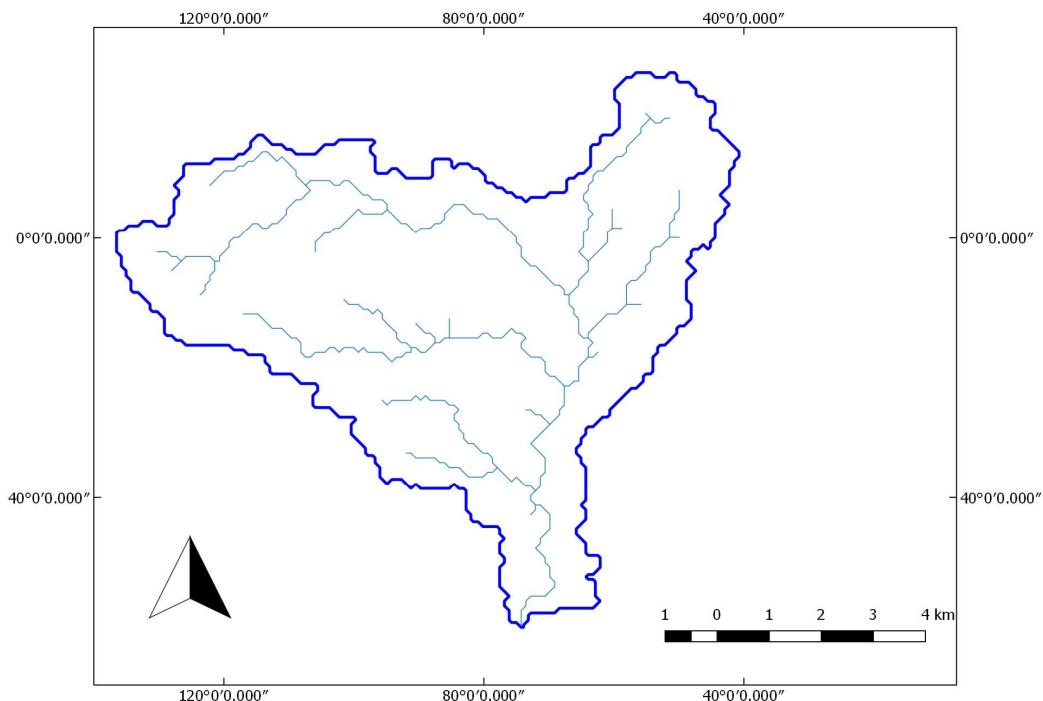


Fonte: Autor (2018)

5.3.2 *Rede de drenagem derivada MDT*

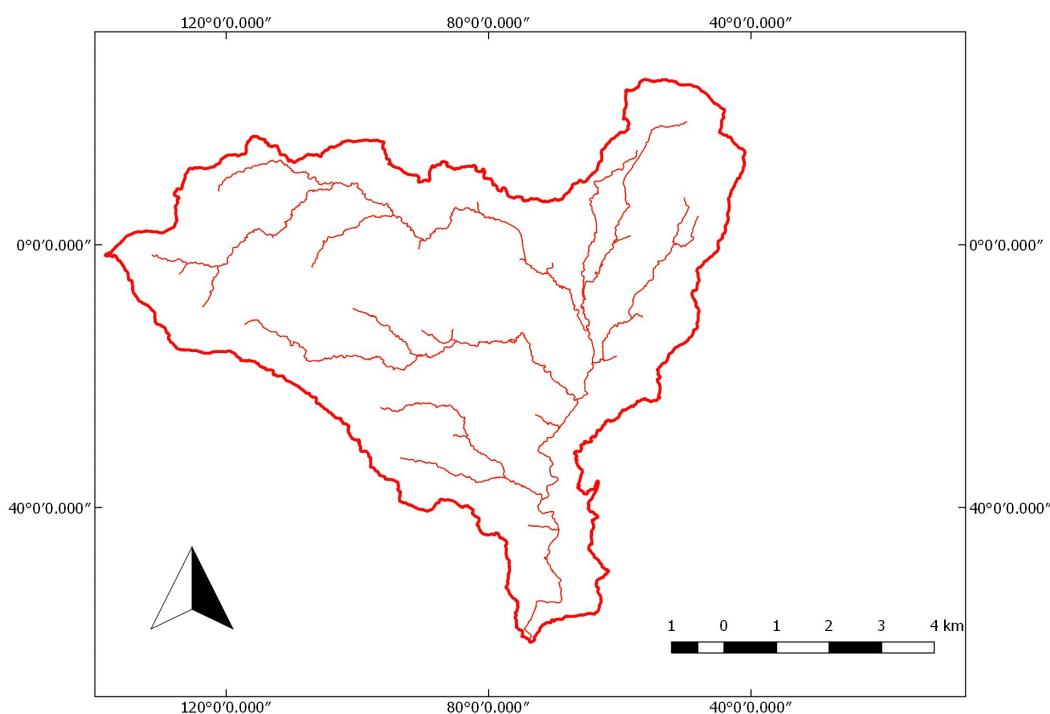
O resultado obtido automaticamente para a rede de drenagem da bacia do canal do Mocó para o TOPODATA e PE3D é apresentado nas Figuras 18 e 19, respectivamente, podemos perceber analisando a figura que o PE3D apresenta uma rede de drenagem mais detalhada, principalmente nos tributários de primeira ordem, além de uma sinuosidade maior em seus canais. Por outro lado, o TOPODATA apresenta um resultado satisfatório, pois chega a um formato de rede de drenagem muito semelhante ao PE3D e com um custo computacional bem menor.

Figura 18 - Rede de drenagem da bacia do canal do Mocó utilizando o TOPODATA



Fonte: Autor (2018)

Figura 19 - Rede de drenagem da bacia do canal do Mocó utilizando o PE3D



Fonte: Autor (2018)

5.3.3 Caracterização da sub bacia

Os resultados obtidos para a bacia do canal do Mocó a partir dos MDT estudados são apresentados na Tabela 13, podemos observar que assim como nas bacias do Canal da Vila Kennedy e do Salgadinho os resultados obtidos para o PE3D geraram dados mais detalhados que o TOPODATA, principalmente com relação à rede de drenagem das bacias.

Tabela 13 - Aspectos lineares (Canal do Mocó)

Parâmetro	Unidade	TOPO DATA	PE3D 1:5000
Ordem do curso d'água	-	3	3
Comprimento Total da rede de drenagem	km	56,85	81,86
Comprimento do Segmento Principal	km	19,26	26,42
Sinuosidade do Segmento Principal	%	91,8	156,2

Fonte: Autor (2018)

Com relação à área da bacia delimitada automaticamente para a bacia do Canal do Mocó, o valor para TOPODATA é de 59,64 km² e o PE3D 1:5000 foi de 60,15 km², ou seja, valores muito próximos. De acordo com a Tabela 14, podemos analisar as relações dos coeficientes obtidos em ambas as bacias, e foram classificadas como bacias de drenagem regular (densidade de drenagem), com tendência média a enchentes (fator de forma), bacias não sujeitas a grandes enchentes (Coeficiente de compacidade), bacias de forma alongadas (índice de circularidade).

Tabela 14 - Aspectos de Área (Canal do Mocó)

Parâmetro	Unidade	TOPO DATA	PE3D 1:5000
Área Total da Bacia	km ²	59,64	60,15
Perímetro	km	46,34	62,82
Densidade de drenagem	km/km ²	0,95	1,36
Coeficiente de Manutenção	km ² /km	1,05	0,73
Fator de Forma	-	0,56	0,52
Coeficiente de Compacidade	-	1,68	2,27
Índice de Circularidade	-	0,35	0,19

Fonte: Autor (2018)

Na Tabela 15 é apresenta os aspectos de relevo para o canal do Mocó, os valores de altitude máxima, altitude do exutório, altitude da nascente e desnível da nascente ao exutório e não tiveram muitas variações entre o MDT proveniente do TOPODATA e do PE3D, porém o índice de declividade global do TOPODATA foi 5% enquanto que o do PE3D 1:5000 foi de apenas 2,3 %. Este parâmetro é um dos que mais afeta o tempo de

concentração, logo, se uma modelagem hidrológica for feita para esses bancos de dados os histogramas vão possuir picos de vazão em momentos diferentes.

Tabela 15 - Aspectos de relevo (Canal do Canal do Mocó)

Parâmetro	Unidade	TOPO DATA	PE3D 1:5000
Altitude Máxima	m	692,00	690,44
Altitude Exutório	m	525,00	521,13
Altitude Nascente	m	636,00	635,25
Desnível da nascente ao exutório	m/m	111,00	114,12
Índice de Declividade Global	m/m	0,050	0,023

Fonte: Autor (2018)

5.4 Tempo de concentração

Na Tabela 16 são apresentados os valores calculados para o tempo de concentração para a bacia do canal do Salgadinho. Para as três metodologias utilizadas o PE3D 1:1000 apresentou valores maiores, ou seja, o pico de vazão segundo os dados obtidos por esse MDT vai demorar mais a acontecer. Os valores obtidos pelo PE3D 1:5000 foram bem próximos aos do PE3D 1:5000 com uma diferença média de 4 minutos entre eles. Para o TOPODATA os valores encontrados para o tempo de concentração foram muito inferiores aos do PE3D nas metodologias que apenas levam em consideração o comprimento do segmento principal e o índice de declividade total (Kirpitch e Carter), porém, na metodologia de Desbordes que também leva em consideração a área impermeável da bacia e não o comprimento, Os valores das áreas impermeáveis foram obtidas utilizando as ortoimagens do Pernambuco tridimensional na escala de 1:5000, os valores do TOPODATA foram próximos aos do PE3D.

Tabela 16 - Tempo de concentração para a bacia do canal do Salgadinho

Método	Unidade	TOPODATA	PE3D 1:5000	PE3D 1:1000
Kirpitch	min	20,1	33,0	38,8
Carter	min	20,7	30,5	34,6
Desbordes	min	33,0	33,49	36,77

Fonte: Autor (2018)

Na Tabela 17 estão apresentados os tempos de concentração calculados para a bacia do canal da Vila Kennedy, podemos analisar que por essa ser uma bacia maior que a do Salgadinho, os resultados obtidos para o TOPODATA e o PE3D 1;5000 começaram a ser ainda mais visíveis, para o método de Kirpitch essa diferença foi de 35 minutos, para Carter foi de aproximadamente 20 minutos, e novamente o método de

Desbordes apresentou uma diferença menor no tempo de concentração por sua metodologia considerar mais parâmetros que as anteriores.

Tabela 17 - Tempos de concentração calculados para a bacia do canal da Vila Kennedy

Método	Unidade	TOPODATA	PE3D 1:5000
Kirpitch	min	89,0	124,3
Carter	min	66,0	85,7
Desbordes	min	84,3	90,2

Fonte: Autor (2018)

Os tempos de concentração calculados para a bacia do canal do Mocó estão apresentados na Tabela 18, por se uma bacia grande segundo a classificação de Wisler e Brater (1964) e o índice de declividade global do TOPODATA ser o dobro do encontrado pelo PE3D 1:5000 os valores para o tempo de concentração foram bastante diferente para todas as metodologias utilizadas.

Tabela 18 - Tempos de concentração calculados para a bacia do canal do Mocó

Método	Unidade	TOPO DATA	PE3D 1:5000
Kirpitch	min	123,0	211,5
Carter	min	84,9	129,6
Desbordes	min	158,5	214,8

Fonte: Autor (2018)

6 CONCLUSÃO

Verificou-se que é possível obter bacias de drenagem urbanas, sua rede de drenagem, aspectos relacionados à sua área e relevo de maneira automática a partir de MDT de diferentes resoluções disponíveis *online*.

Foi possível calcular os parâmetros morfométricos para os três principais canais urbanos de Caruaru, e foi constatado que o PE3D obtém dados mais precisos que o TOPODATA com relação à classificação quantitativa. Para todas as bacias estudadas os valores obtidos pelo PE3D de área, comprimento do segmento principal, densidade de drenagem, índice de sinuosidade foram maiores que o TOPODATA, porém em relação à classificação quantitativa todas as bacias se enquadram no mesmo patamar de bacias não sujeitas a grandes enchentes, ou seja, os danos causados a população em épocas de chuvas intensas é devido a ocupação indevida do leito dos canais.

Na escala de bacias de drenagem urbanas maiores que 0,5 km² com declividades baixas, os três MDT analisados geram informações suficientes para a classificação das bacias e obtenção de parâmetros morfométricos. Dependendo do nível de precisão necessária para o projeto, deve se usar um banco de dados mais preciso, como o PE3D, mas em escalas maiores o TOPODATA é suficiente.

Por fim foi verificado que os tempos de concentração calculados utilizando o PE3D 1:5000 e PE3D 1:1000 são bem semelhantes, entretanto esses valores divergem dos encontrados pelo TOPODATA a medida que o tamanho da bacia cresce.

REFERÊNCIAS

APAC – Agência de Pernambucana de Águas e Clima. **Monitoramento Hidrológico.** Disponível em < <http://www.apac.pe.gov.br/monitoramento/>>. Acessado em 02 de Dezembro de 2018. 2017.

BURROUGH, P.A. *Principles of geographical information systems for land resources assessment.* Oxford, Clarendon Press, 1986.

CANHOLI, A.P., **Drenagem urbana e controle de enchentes.** Oficina de Textos, São Paulo. 2005.

CHIN, D. A.; *Water-Resources Engineering.* Ed. Pearson Prentice Hall. 2 ed. Upper saddle River, New Jersey. 2006.

CIRILO, J. A.; ALVES, F. H.B.; SILVA, L. A. C.; CAMPOS, J. H. A. L. **Suporte de Informações Georreferenciadas de Alta Resolução para Implantação de Infraestrutura e Planejamento Territorial.** Revista Brasileira de Geografia Física, vol 07, n.04. 2014.

CRUCIANE, D. E. **Hidrologia.** Editora Piracicaba: ESALQ. 1976.

DESBORDES, M.; *Réflexions sur lês methodes de calcul dês reseaux urbains d'assainissement pluvial.* Université dês Sciences e Techniques Du Languedoc, Montpellier, França. 1974.

ELACHI, C. *Introduction to the Physics and Techniques of Remote Sensing,* New York, Wiley, 1987.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em sensoriamento remoto.** Editora Oficina de textos. São Paulo, 2007.

FRAGOSO, M. L. C.; **Desastre, risco e vulnerabilidade socioambiental no território da mata sul de Pernambuco/Brasil.** Dissertação do programa de pós graduação em desenvolvimento e meio ambiente. UFPE. Recife. 2013.

G1. Caruaru registra média de 43 mm de chuva em uma hora diz APAC. Disponível em <<https://g1.globo.com/pe/caruaru-regiao/noticia/caruaru-registra-media-de-43-mm-de-chuva-em-uma-hora-diz-apac-video.ghtml>>. Acessado em 03 de Dezembro de 2018.

GARBRECHT, J. MARTZ, L.W. *Digital Elevation Model Issues in Water Resources Modeling*. 19th ESRI International User Conference, Environmental Systems Research Institute. 1999.

HORTON, R. E. *Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology*. Geological Society of America Bulletin. 1945.

INPE - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **TOPODATA**. 2008. Disponível em <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/>> acessado em 10 de outubro de 2018. KABITE, G.; GESSESE, B.; *Hydro-geomorphological characterization of Dhidhessa River Basin, Ethiopia*. Journal International Soil and Water Conservation Research. n.06. 2018.

KENWARD, T.; LETTENMAIER, D. P.; WOOD, E. F.; FIELDING, E. *Effects of Digital Elevation model Accuracy on hydrologic Prediction*. Remote Sensing o Environment. 2000.

KIRPICH, T.P. *Time of Concentration of Small Agricultural Watersheds*. Journal of Civil Engineering, v.10, n.6, 1940.

LINSLEY, R. K. Jr.; KOHLER, M. A.; PAULHUS, J. L. H. *Applied Hydrology*. New York: McGraw-Hill, 1949.

LIU, X.; PETERSON, J.; ZHANG,Z. *High-Resolution DEM Generated from LiDAR Data for Water Resource Management*. Centre foro GIS, School of Geography and Environment Science Monash University. 2005.

MANSIKKANIEMI, H. *The sinuosity of rivers in northern Finland*: Publicationes Instituti Geographici Universitatis Turkuensis, 16-32. 1970.

McCUEN, R.H.; WONG, S.L.; RAWLS, W.J. *Estimating urban time of concentration*. *Journal Hydraulic Engineering*, v.110, n.7, p. 887-904, 1984.

O GLOBO. Rio Ipojuca transborda e invade oito bairros de Caruaru, em Pernambuco. Disponível em < <https://oglobo.globo.com/brasil/rio-ipajuca-transborda-invade-oito-bairros-de-caruaru-em-pernambuco-3158307> >. Acessado em 02 de Dezembro de 2018. 2009.

PINTO, N. L. de S.; HOLTZ, A. C. T.; MARTINS, J. A.; GOMIDE, F. L. S. **Hidrologia básica**. São Paulo: Edgard Blücher, 1976.

POONGODI, R.; VENKATESWARAN, S.; *Prioritization of the Micro-watersheds through morphometric analysis in the Vasistha Sub Basin of the Vellar River, Tamil Nadu using ASTER Digital Elevation Model (DEM) data*. *Journal Data in Brief*. n.20. 2018.

SCHUMM, S. A. *Evolution of drainage systems and slope in badlands of Perth Amboy*. *Geological Society of America Bulletin*, v.67, n.05. 1956.

SILVEIRA, A. L. L.; Desempenho de fórmulas de tempo de concentração em bacias urbanas e rurais. RBRH Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.10, n.01, Porto Alegre. 2005.

SOLIMAN, M. M. *Engineering Hydrology of Arid and Semi-arid Regions*. CRC Press. New York. 2010.

STARKS, P. J.; GARBREACH, J. D.; SCHIEBE, F. R.; SALISBURY, J. M.; WAITS, D.A. *Selection, Development and User of GIS Coverages for the Little Washita River Research Watershed*. Water Resources and Watershed Management. London and New York. 2003.

STRAHLER, A. N. *Quantitative analysis of watershed geomorphology*. Transaction of American Geophysical Union, v.38. 1957.

TONELLO, K. C.; DIAS, H. C. T.; SOUZA, A. L.; ALVARES, C. A.; RIBEIRO, S.; LEITE, F. P. **Morfometria da bacia Hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães – MG.** Revista Árvore, v.30, n.05. 2006.

TRIBE, A. *Automated recognition of Valley Heads from Digital Elevation Models. Earth Surface Processes and Landforms.* 1992.

TUCCI, C. E. M; (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação.** Editora da Universidade, Porto Alegre. 943p. 1993.

VILELLA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada,** Editora McGraw-Hill. São Paulo. 1975.

WISLER, C. O.; BRATER, E. F.; **Hidrologia.** Editora Missão Norte-Americana e pela cooperação Econômica e técnica no Brasil. Rio de Janeiro. 1964.

YABIKU, V. M.; **Análise de dados SRTM e ASTER para trecho na cidade de São Miguel do oeste/SC.** VIII Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas. Curitiba. 2013.

YOUTUBE. **Enchente no rio Ipojuca Caruaru 2004.** Disponível em <<https://www.youtube.com/watch?v=UzXYbwPU-ic>> Acessado em 02 de Dezembro de 2018. 2010.