

*Dedico este trabalho aos meus pais e irmã,
por sempre dar apoio nos dias ruins e
entusiasmo para melhorar e seguir em frente
dando um passo por vez a cada nova jornada
da vida.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por todos os dias em vida e força entusiasmadora.

A Secretaria de Recursos Hídricos e Energéticos de Pernambuco (SRHE-PE) na pessoa de Terezinha Uchôa por ter indicado a minha participação no curso de especialização em Geoprocessamento oferecido por esta instituição de ensino.

A SRHE-PE pela concessão do material utilizado para o desenvolvimento deste trabalho.

A orientadora Prof^a. Dra. Iana Rufino da Universidade Federal de Campina Grande pelas opiniões e sugestões no desenvolvimento do presente estudo.

Ao co-orientador Prof. Dr. José Almir Cirilo da Universidade Federal de Pernambuco pelos esclarecimentos e acompanhamento da metodologia do trabalho.

A Maria Lúcia Ferreira da Costa Lima, Gerente de Planos e Sistema de Informações (APAC) pela compreensão e auxílio durante o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Carlos Eduardo, Engenheiro Civil do Serviço Geológico do Brasil (CPRM) pela ajuda no desenvolvimento da metodologia da parte prática do trabalho.

As pessoas que conheci no andamento do curso e se tornaram amigas permitindo que a participação do curso se passasse de forma mais agradável e divertida.

A todos aqueles que de forma direta ou indireta contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

“Se você não quer ser esquecido quando morrer, escreva coisas que valham a pena serem lidas ou faça coisas que valham a pena escrever a respeito”.

Benjamin Franklin

RESUMO

Atualmente tem sido verificado que a ocorrência de eventos hidrológicos extremos, como as inundações estão ocorrendo com maior frequência e intensidade, afetando uma maior área de abrangência. Isto se deve provavelmente a ocupação desordenada ao longo do rio, bem como, de sua calha, haja vista que não há uma política de ordenamento urbano nos municípios, nem tampouco fiscalização da ocupação do solo. Dessa forma, basta iniciar o período chuvoso para surgir à notícia de mais uma enchente e suas conseqüências, que vão desde a perda material até o sofrimento ocasionado a população ribeirinha. O estado de Pernambuco tem histórico de enchentes que remontam desde o século passado, sendo assim, medidas estruturais e não estruturais que visem evitar e/ou mitigar os efeitos das enchentes são de extrema importância, a exemplo da construção de barragens de contenção de cheias. Para tanto, a escolha do local do eixo barrável deve ser analisada cuidadosamente levando-se em consideração local que permita acumulação de água, bem como, menor área de inundação. Diante disso, este trabalho objetivou identificar possíveis eixos barráveis por meio de geoprocessamento, a fim de sugerir locais para construção de barragens de controle de cheias. Para tanto, foram utilizadas ortofotos digitais e Modelo Digital de Terreno (MDT) obtidos a partir do perfilamento a laser LIDAR em escala igual a 1:5.000. A partir das estimativas obtidas nos resultados pode-se observar que os eixos inseridos nas partes 1 e 5 do rio Mundaú; parte 6 do rio Canhoto, assim como os eixos localizados nas partes 3 e 4 do rio Paraíba; apresentaram elevado volume de acumulação e menor área de inundação, sendo boas sugestões para possível construção de barragem de controle de cheias.

Palavras-chave: Rio Mundaú, Rio Paraíba, Rio Canhoto, controle de enchentes, eixo barrável.

ABSTRACT

Nowadays have been found that the occurrence of extreme hydrological events, such as the flooding is occurring with greater frequency, intensity and affecting a greater area of covered. This is probably due to sprawl along the river, as well as, the river channel, because there isn't policy of urban planning in the municipalities, or supervision of land use. So, just starting rainy period to emerge the news of a flood and its consequences, ranging from material loss to the suffering caused the riverside population. The state of Pernambuco has a history of flooding dating back since the last century, so non-structural and structural measures aimed at preventing and / or mitigate the effects of floods, are of extreme importance, such as the construction of dams to contain flood. For this purpose, the choice of location of the axis should be carefully examined taking into account that allows local accumulation of water, as well as lower flood area. Therefore, this study aimed to identify possible axis through the geoprocessing, order to suggest locations for construction of dams for flood control, for that, have been used digital orthophotos and Digital Terrain Model (DTM) obtained from laser profiling LIDAR on a scale of 1:5.000. Based on the results of the estimates can be seen that the axes inserted in parts 1 and 5 Mundau River, part 6 in Canhoto River, as well as, the axes located in parts 3 and 4 of the Paraiba River; showed a high volume of accumulation and lower flood are abeing good suggestions for possible construction of flood control dam.

Keywords: Mundau River, Paraiba River, Canhoto River, flood control, axis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Componentes do sistema LIDAR.	19
Figura 2 - Modelo Digital de Terreno (MDT). Fonte: ESTEIO, 2011.....	20
Figura 3 - Modelo digital de elevação (MDE). Fonte: AGRISAT, 2011.....	20
Figura 4 - Bacia hidrográfica do rio mundaú	24
Figura 5 - Bacia hidrográfica do grupo de pequenos rios interiores (GII).....	26
Figura 6 - Modelo Digital de Terreno (MDT) do rio Mundaú em território pernambucano. ...	28
Figura 7 - Modelo Digital de Terreno (MDT) do rio Canhoto em território pernambucano. ...	28
Figura 8 - Modelo Digital de Terreno (MDT) do rio Paraíba em território pernambucano.....	29
Figura 9 - Fluxograma contendo as etapas metodológicas do estudo.	30
Figura 10 - Perfil do rio Mundaú (1ª parte) e localização do possível eixo.	31
Figura 11 - Perfil do rio Mundaú (2ª parte).....	31
Figura 12 - Perfil do rio Mundaú (3ª parte) e localização do possível eixo.	32
Figura 13 - Perfil do rio Mundaú (4ª parte) e localização do possível eixo.	32
Figura 14 - Perfil do rio Mundaú (5ª parte) e localização do possível eixo.	32
Figura 15 - Perfil do rio Mundaú (6ª parte).....	33
Figura 16 - (A) Cota máxima de 797 m; (B) Cota máxima de 545 m; (C) Cota máxima de 463 m; (D) Cota máxima de 286 m, dos eixos barráveis identificados no rio Mundaú.....	34
Figura 17 - Curva cota x área x volume do rio Mundaú (1ª parte).....	34
Figura 18 - Curva cota x área x volume do rio Mundaú (3ª parte).....	35
Figura 19 - Curva cota x área x volume do rio mundaú (4ª parte).	35
Figura 20 - Curva cota x área x volume do rio mundaú (5ª parte).	35
Figura 21 – Delimitação das áreas de inundação nas ortoimagens para as cotas máximas de 797 m (A); 545 m (B); 463 m (C); 286 m (D) dos eixos barráveis identificados no rio Mundaú.....	36
Figura 22 - Perfil do rio Canhoto (1ª parte).....	37
Figura 23 - Perfil do rio Canhoto (2ª parte).....	37
Figura 24 - Perfil do rio Canhoto (3ª parte) e localização do possível eixo.....	38

Figura 25- Perfil do rio Canhoto (4ª parte).....	38
Figura 26- Perfil do rio Canhoto (5ª parte).....	38
Figura 27- Perfil do rio Canhoto (6ª parte) e localização do possível eixo.	39
Figura 28 - (A) Cota máxima de 613 m; (B) Cota máxima de 418 m dos eixos barráveis identificados no rio Canhoto.	39
Figura 29 - Curva cota x área x volume do rio canhoto (6ª parte).	40
Figura 30 - Delimitação das áreas de inundação nas ortoimagens para as cotas máximas de 613 m (A); 418 m (B) dos eixos barráveis identificados no rio Canhoto.....	40
Figura 31- Perfil do rio Paraíba (1ª parte) e localização do possível eixo.....	41
Figura 32- Perfil do rio Paraíba (2ª parte) e localização do possível eixo.....	42
Figura 33- Perfil do rio Paraíba (3ª parte) e localização do possível eixo.....	42
Figura 34- perfil do rio Paraíba (4ª parte) e localização do possível eixo.....	42
Figura 35 - (A) Cota máxima de 726 m; (B) Cota máxima de 568 m; (C) Cota máxima de 527 m; (D) Cota máxima de 442 m dos eixos barráveis identificados no rio Paraíba.	43
Figura 36 - Curva cota x área x volume do rio Paraíba (1ª parte).	44
Figura 37 - Curva cota x área x volume do rio Paraíba (2ª parte).	44
Figura 38 - Curva cota x área x volume do rio Paraíba (3ª parte).	45
Figura 39 - Curva cota x área x volume do rio Paraíba (4ª parte).	45
Figura 40 - Delimitação das áreas de inundação nas ortoimagens para as cotas máximas de 726 m (A); 568 m (B); 527 m (C); 442 m (D) dos eixos barráveis identificados no rio Paraíba.	46

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ALTM - *Airborne Laser Terrain Mapper*

CODECIPE – Secretaria Nacional de Defesa Social

COTEC - Consultoria Técnica

GI - Grupo de Pequenos Rios Interiores

LACTEC – Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento

LADAR - *Laser Detection and Ranging*

LASER - *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*

LIDAR - *Light Detection and Ranging*

MDE - Modelo Digital de Elevação

MDT - Modelo Digital de Terreno

SRHE – Secretaria de Recursos Hídricos e Energéticos do estado de Pernambuco

UP - Unidade de Planejamento Hídrico

UTM - *Universal Transversa de Mercator*

SUMÁRIO

RESUMO.....	8
ABSTRACT	9
LISTA DE FIGURAS.....	10
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	12
CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO.....	14
1.1 INTRODUÇÃO	14
1.2 JUSTIFICATIVA.....	15
1.3 OBJETIVOS.....	16
CAPÍTULO II – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	17
2.1 REVISÃO DE LITERATURA.....	17
2.1.1 Problemas com cheias, inundações e alagamentos.....	17
2.1.2 Geoprocessamento em recursos hídricos	18
2.1.3 Imagens adquiridas por meio de perfilamento a laser (LIDAR).....	19
2.1.4 Barragens para contenção de cheias.....	21
CAPÍTULO III – ÁREA DE ESTUDO	23
3.1 BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MUNDAÚ.....	23
3.2 BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA.....	25
CAPÍTULO IV – METODOLOGIA	27
4.1 ÁREA DE ESTUDO.....	27
4.2 MATERIAL.....	27
4.3 MÉTODOS	27
CAPÍTULO V – RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
5.1 BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MUNDAÚ.....	31
5.2 BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA.....	41
CAPÍTULO VI – CONCLUSÃO	47
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48

CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO

1.1 INTRODUÇÃO

A água é essencial para o desenvolvimento de qualquer povo, sendo considerada vital a saúde humana, desde os tempos mais remotos, logo o homem entendeu que fixar sua moradia e estabelecer comunidades próximas aos cursos de rios ou de alguma fonte de água garantia seu sustento e de sua família.

Sendo assim, desastres naturais, principalmente os relacionados com água sempre ocorreram, contudo, os crescimentos demográficos, associados à degradação do meio ambiente, fizeram com que esses desastres tomassem proporções gigantescas, com um elevado custo social, econômico e ambiental (MENESCAL et al., 2005).

A ocorrência de enchentes encontra-se associada, a priori, a duas causas básicas, os fatores climáticos, ou seja, intensidade e duração das precipitações que ocorrem na área das bacias, e os fatores fisiográficos, que determinam o maior ou menor grau com que são sentidos os efeitos da precipitação nas bacias hidrográficas. Outro fator determinante para a manifestação de enchentes é o desmatamento e a ocupação das áreas de várzeas, degradação muito comum em áreas urbanas (MENESCAL et al., 2001).

Segundo Bortoluzzi & Bardini (2007) o problema das inundações em cidades brasileiras tem se tornado frequente e intenso, devido à ocupação do solo com superfícies impermeáveis e construções inadequadas, de forma desordenada no espaço urbano. Aliado a isto, vale ressaltar que enchentes, inundações, enxurradas e alagamentos afetam todos os Estados brasileiros, pouquíssimos municípios não fazem parte desta lista. As perdas econômicas e os danos materiais as propriedades, bem como o sofrimento das populações atingidas alcançam volume impossível de ser mensurado.

Dessa maneira, devem ser analisadas medidas estruturais e não-estruturais que possam viabilizar a atenuação dos efeitos das cheias, lembrando que a solução ideal deve ser definida para cada caso em função das características do rio, do benefício da redução das enchentes e dos aspectos sociais de seu impacto. Uma das medidas estruturais utilizada no Brasil é a

construção de barragens para controle de cheias, haja vista que às vezes há a necessidade de reter temporariamente grandes volumes de água de modo a evitar inundações nas cidades e transtornos a população. Porém, a determinação do local para a construção de barragem para amortecimento de cheias deve ser analisada cuidadosamente, pois para a escolha do possível eixo barrável é necessário levar em consideração ponto que proporcione maior volume de armazenamento, menor área inundável e a existência de um eixo que possa servir como barramento natural. É nesta situação, que ferramentas como sensoriamento remoto, geoprocessamento, Modelo Digital de Terreno, etc. podem ser extremamente úteis, pois auxiliam as autoridades competentes a planejar ações de forma a prevenir e mitigar os efeitos dos eventos hidrológicos extremos, evitando catástrofes e gastos públicos.

Recentemente, surgiu no mercado uma nova tecnologia que possibilita a aquisição de informações espaciais através de um sistema Laserscanning aerotransportado denominado de LIDAR (Light Detection and Ranging), o qual fornece dados altimétricos que possibilitam a geração de Modelos Digitais de Terreno com alto nível de detalhamento. Dados estes, que servirão para identificar possíveis eixos barráveis nos rios Mundaú, Canhoto e Paraíba, fornecendo aos órgãos institucionais informação útil, para caso haja necessidade, posterior implantação de barragem de controle de cheia, a qual amenizará constantes sofrimentos ocasionados as populações ribeirinhas.

1.2 JUSTIFICATIVA

A erosão em áreas urbanas é um problema que persiste na maioria das bacias hidrográficas atualmente, devido ao processo de urbanização, o que acarreta no assoreamento dos corpos d'água e dos reservatórios, prejudicando suas vazões. A ocupação concentrada na calha e ao longo do rio é demasiadamente perigosa, pois se deposita diariamente determinada quantidade de rejeitos que se acumulam com o tempo e tendem a sedimentar no fundo do leito do rio, diminuindo a capacidade da calha de receber grandes volumes no período chuvoso, ocasionando a entrada de água na residência das populações ribeirinhas. Isto ocorre, pois não há medidas preventivas e fiscalizadoras dos municípios quanto ao uso e ocupação do solo, o que favorece a erosão urbana e rural incontrolável, nessas áreas.

Atualmente, observa-se que os eventos extremos vêm aumentando sua intensidade e frequência, e diminuindo o intervalo de tempo. Dessa forma, evidenciaram-se sucessivas ocorrências de

eventos extremos nos anos de 2000, 2004, 2010 e 2011 na região das bacias hidrográficas de Mundaú e Paraíba, levantando a necessidade da construção de obras para contenção de cheias, haja vista que a cada período chuvoso as inundações estão aumentando suas áreas de abrangência, trazendo transtornos e prejuízos à população ribeirinha. Aliado a isto, é de extrema relevância, medidas de reordenamento que visem à desocupação desordenada no leito do rio, bem como, a realocação da população para áreas mais elevadas dos municípios o que garantirá a sua estadia sem prejuízos quando da ocorrência das chuvas, juntamente com o disciplinamento e fiscalização do uso do solo visando garantir a distribuição espacializada dessas pessoas.

No estado de Pernambuco os problemas decorridos de enchentes são antigos, o levantamento histórico descreve que as cheias consideradas catastróficas foram às ocorridas em 1842, 1854, 1866, 1819, 1897, 1924, 1965, 1966, 1970, 1975, 2000, 2010 e 2011.

Dessa forma, medidas que visem auxiliar a tomada de decisões de forma preventiva e mitigadoras são cruciais, a exemplo do geoprocessamento, que poderá fornecer subsídios adequados para planejamento futuro acerca de eventos hidrológicos extremos. A identificação de possíveis eixos barráveis que visem a proposição de locais para construção de obras de contenção de cheias poderá fazer com que repetitivos transtornos na época chuvosa sejam diminuídos e/ou até evitados, a exemplo da bacia do rio Capibaribe, após a construção de barragens de controle de cheia.

1.3 OBJETIVOS

Identificar a localização de possíveis eixos barráveis nas bacias dos rios Mundaú e Paraíba em território pernambucano, por meio de geoprocessamento com o intuito de sugerir a construção de barragens para contenção de cheias.

Para atingir tal objetivo será necessária a realização das seguintes etapas:

- ✓ Obtenção de perfil do rio Mundaú e o seu principal afluente o rio Canhoto, bem como, o rio Paraíba;
- ✓ Identificar a localização de possíveis eixos barráveis nos rios Mundaú, Canhoto e Paraíba;
- ✓ Identificar as áreas inundáveis e quantificar os volumes acumuláveis;
- ✓ Determinar as curvas cota x área x volume para os eixos barráveis identificados.

CAPÍTULO II – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 REVISÃO DE LITERATURA

2.1.1 Problemas com cheias, inundações e alagamentos

De acordo com Tucci (2003) a inundação urbana é uma ocorrência tão antiga quanto as cidades ou qualquer aglomeramento urbano. A inundação ocorre quando as águas dos rios, riachos, galerias pluviais saem do leito de escoamento devido a falta de capacidade de transporte de um destes sistemas e ocupa áreas onde a população utiliza para moradia, transporte (ruas, rodovias e passeios), recreação, comercio, industria, entre outros.

No estado de Pernambuco os problemas com enchentes atingem fundamentalmente as áreas inseridas nas bacias hidrográficas dos rios Capibaribe, Beberibe, Jaboatão, Tejipió, Una, Goiana, Ipojuca, Mundaú, Paraíba e algumas áreas urbanas da zona da Mata e Agreste. O período das grandes enchentes em Pernambuco tem ocorrido comumente no período de junho a agosto, quando ocorre a intensificação das chuvas (PERNAMBUCO de A-Z, 2011).

De acordo com COTEC (1999) as maiores enchentes da bacia do rio Mundaú ocorreram nos trechos baixo e médio da bacia. O maior registro de cheia do rio canhoto ocorreu em 1969, no município de São José da Laje, e em 1988, no município de União dos Palmares, causando destruição de muitas edificações. No município Em Santana do Mundaú, o registro da maior cheia no rio Mundaú, é de 1993.

Conforme COTEC (2001) as enchentes na bacia do rio Paraíba têm sido freqüentes, com características semelhantes às que são registradas no rio Mundaú. Assim, no trecho alto da bacia do Paraíba, tem-se a máxima cota em 1993, enquanto que nos trechos médio e baixo do rio, as maiores enchentes ocorreram em 1988 e 1989, e recentemente no ano de 2000. Todos os registros são do mês de julho. A vazão média mensal de julho de 1988 (238,9 m³/s) no município de Atalaia representa 56% do total anual, indicando, portanto a excepcionalidade das cheias em 1988.

A Coordenação da Defesa Civil - CODECIPE (2010) emitiu boletim informando que na cheia de junho de 2010, Pernambuco teve 59 municípios afetados, dos quais foram decretados oficialmente 27 em Situação de Emergência (SE) e 12 em Estado de Calamidade Pública (ECP). Segundo o referido boletim, ocorreram as seguintes estimativas: população afetada de 156.720; 26.966 mil desabrigados; 55.643 mil desalojados; 20 óbitos; 14.136 casas destruídas ou danificadas; 4.478 Km de estradas danificadas e 142 pontes destruídas.

Segundo o jornal Gazeta de Alagoas (2000) o rio Mundaú no estado de Alagoas provocou vários prejuízos, ocasionando 36 mortes, 70 mil desabrigados, Situação de Emergência (SE) em 26 municípios e 8 pontes destruídas que impediram o acesso por terra aos municípios da Região Norte.

2.1.2 Geoprocessamento em recursos hídricos

Conforme Silva (2006) o termo geoprocessamento denota a disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica e que vem influenciando de maneira crescente as áreas de cartografia, recursos hídricos, transportes, comunicações, energia, planejamento urbano, etc. Segundo Silva (2005) a bacia hidrográfica pode ser avaliada como um todo ou quanto a um sistema em particular, esta definição vai refletir na escala de trabalho, o que tem implicações diretas nas técnicas de geoprocessamento, assim como, nos tipos de dados e o seu grau de detalhamento.

No campo dos recursos hídricos, o geoprocessamento é uma ferramenta que pode ser utilizada na análise espacial, na modelagem e simulação de cenários hidrológicos, como subsídio à elaboração de alternativas para a decisão da política de uso e ocupação do solo nas bacias hidrográficas, assim como, ordenamento territorial, e definição de equipamentos urbanos cujo auxiliem no monitoramento ambiental.

Atualmente, o geoprocessamento vem auxiliando fortemente uma das áreas de estudo da hidrologia, que é a ciência dos eventos hidrológicos extremos, tido como enchentes, haja vista que permitem a elaboração de modelos cujo auxiliam no comportamento hidráulico da bacia, permitindo que sejam tomadas ações que visem ao uso sustentável da bacia. Aliado a isto, o geoprocessamento permite a identificação das áreas de drenagem, classificação de uso e ocupação do solo de modo a permitir um crescimento ordenado ao longo do leito do rio.

Correia et al. (2006) relata que a utilização de tecnologias que empregam representações computacionais do espaço geográfico para subsidiar e disponibilizar as informações sobre os recursos hídricos no Estado é de extrema relevância, pois garantem a gestão dos recursos hídricos.

2.1.3 Imagens adquiridas por meio de perfilamento a laser (LIDAR)

LACTEC (2011) define que o perfilamento a laser LIDAR (Light Detection and Ranging), também conhecido como LADAR (Laser Detection And Ranging) é uma ferramenta para o mapeamento direto da superfície física através de emissão de pulsos laser em sua direção. Com o emprego das tecnologias LIDAR e imagens aéreas digitais, produtos cartográficos de qualidade e alta precisão podem ser produzidos com agilidade no tempo de aquisição dos dados e a não variação temporal das informações obtidas pelos diferentes sensores (laser e câmara).

Segundo Pires (2005) os sistemas a laser aerotransportados, baseados na tecnologia LIDAR, permitem a obtenção de informações tridimensionais a cerca da superfície terrestre com alta precisão, isso ocorre, pois esse tipo de tecnologia utiliza a energia LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) para medir distância de objetos a um determinado alvo (Figura 1).

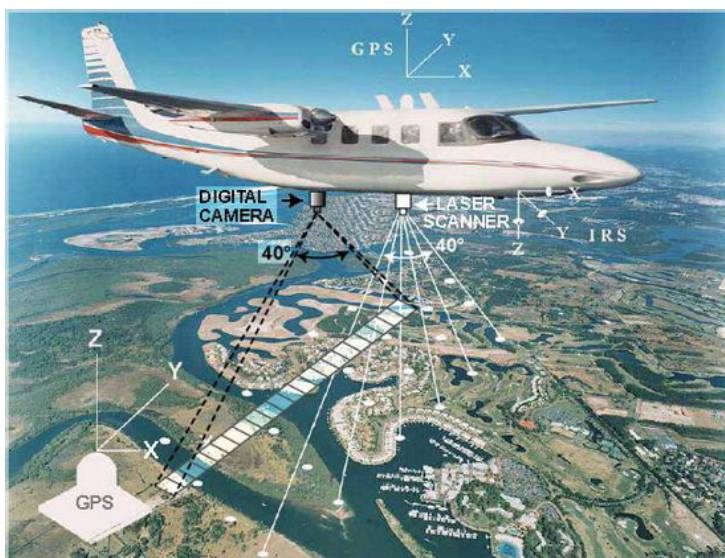


Figura 1 - Componentes do sistema LIDAR.

Conforme FALAT (2005) uma das principais características da tecnologia LIDAR é a medição do primeiro e do último retorno de cada pulso, além da detecção de reflexões múltiplas oriundas de objetos pequenos como fios e cabos suspensos acima do solo. Um mesmo pulso pode atingir vários objetos em seu trajeto até a superfície levantada. Sendo assim, o ponto mais próximo ocasionará um retorno mais rápido (first pulse); enquanto que o ponto mais distante ocasionará um retorno mais demorado (last pulse), esta característica permite que se faça a distinção de objetos acima do solo, resultando na obtenção de dois produtos distintos o Modelo Digital de Elevação (MDE) e o Modelo Digital de Terreno (MDT), conforme Figuras 2 e 3.

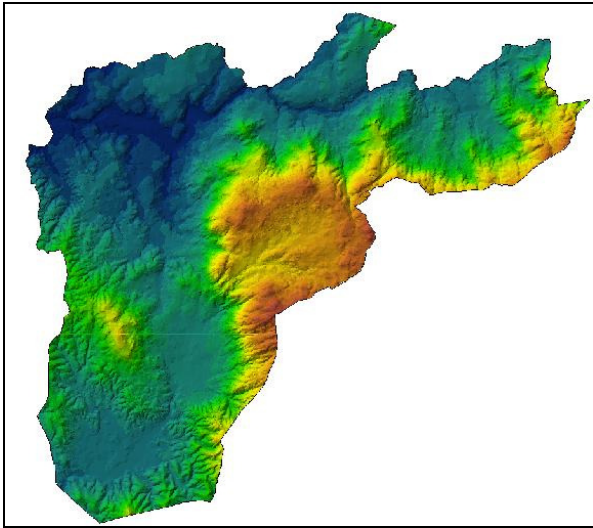


Figura 2 - Modelo Digital de Terreno (MDT). Fonte: ESTEIO, 2011.

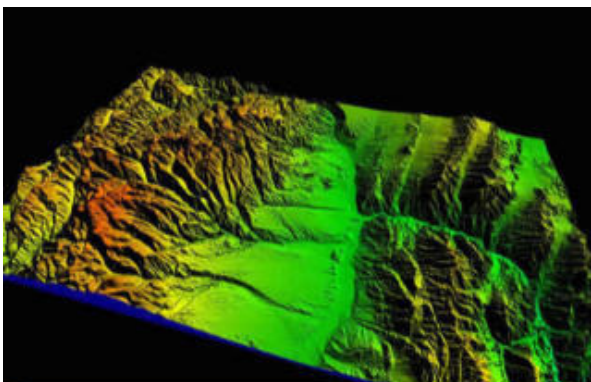


Figura 3 - Modelo digital de elevação (MDE). Fonte: AGRISAT, 2011.

Com a difusão desta nova tecnologia, a aplicação do LIDAR que no início era de obter o MDT, passou a ser bastante diversificada uma vez que outros resultados do perfilamento a

laser foram surgindo em variadas áreas, tais como, hidrologia, florestal, arquitetura, urbanismo, geologia, etc.

2.1.4 Barragens para contenção de cheias

Tucci (2003) define que a barragem de controle de enchentes funciona retendo o volume do hidrograma durante as enchentes, reduzindo o pico e o impacto a jusante do barramento. Sendo assim, a barragem de controle de enchentes possui um volume de espera, que corresponde à parcela do volume útil do reservatório destinada ao amortecimento de ondas de cheia, visando ao atendimento às restrições de vazão de jusante. Estas restrições são, em geral, ditadas pela capacidade da calha do canal de jusante e pelo não comprometimento da infraestrutura existente, como pontes, rodovias ou áreas urbanas. O volume de espera pode variar conforme a época do ano, uma vez que a ocorrência de chuvas intensas varia ao longo do período hidrológico (UEHARA, 2002).

Fonseca et al. (2006) relata que os reservatórios de amortecimento de cheias vêm sendo executados há décadas em países como Austrália, Canadá, Estados Unidos, França, entre outros, tornando-se uma prática na concepção de projetos de drenagem. Diversas cidades como Dallas, Seattle, Washington e Elburn nos Estados Unidos, Adelaide e Camberra na Austrália, utilizam os reservatórios de amortecimento de forma a reduzir os efeitos negativos da urbanização sobre os processos hidrológicos, possibilitando a redução de vazões de pico a valores compatíveis com os encontrados antes da ocorrência da urbanização.

Silva et al. (2010) descreve que as barragens existentes na América do Sul geralmente foram projetadas para uma das seguintes finalidades: produção de energia, abastecimento de água, irrigação e navegação, poucos são os empreendimentos voltados apenas para o controle de enchentes na região, como é o caso da bacia do rio Itajaí-Açu em Santa Catarina.

Fonseca (2006) menciona que no Brasil, diversas cidades vêm adotando os reservatórios de amortecimento como uma medida não convencional importante no controle de cheias urbanas. Neste sentido, Pernambuco foi um dos Estados que construiu barragens de controle de cheias (exemplo: as barragens de Carpina e Goitá) devido às sucessivas ocorrências de inundações na bacia do rio Capibaribe que datam do século anterior.

Cordero (1999) destaca que entre as medidas intensivas, os reservatórios de controle de cheias ocupam um lugar de destaque, seja pela imponência das obras de engenharia hidráulica que na sua execução muitas vezes comporta, seja pela eficácia na redução das vazões hídricas que eles conseguem obter. Dessa forma, a determinação do eixo barrável deve levar em consideração os condicionantes físicos de volume de armazenamento e menor número possível de construções atingidas com a inundação da área a ser construída a barragem. Sendo assim, vem se utilizando diversas ferramentas tecnológicas como geoprocessamento, imagens obtidas a partir do perfilamento a laser LIDAR, MDT para estimar com precisão a localização da possível obra a fim de mitigação dos prejuízos financeiros, ambientais e sociais.

CAPÍTULO III – ÁREA DE ESTUDO

3.1 BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MUNDAÚ

A bacia hidrográfica do rio Mundaú denominada de Unidade de Planejamento Hídrico (UP6) com extensão de 150 km e área de aproximadamente 4.090,39 km² está localizada nos estados de Pernambuco e Alagoas. O rio Mundaú nasce a oeste, no município de Garanhuns, com extensão de 54 km e área de 2.155,70 km² inserida no estado de Pernambuco. O seu regime fluvial é intermitente e os principais afluentes em Pernambuco, pela margem direita são: o riacho Conceição, riacho Salgado e rio Corrente e, pela margem esquerda, o rio Caruru e o rio Canhoto (PERNAMBUCO, 1998).

O rio Canhoto, que deságua no rio Mundaú no estado de Alagoas, é o tributário mais importante do rio Mundaú e tem, por sua vez, como principal contribuinte o rio Inhaúma, que drena todo o município de Palmeirinha. Cerca de 70 km da extensão do rio Canhoto drenam áreas dos municípios pernambucanos. Nas nascentes do rio Canhoto, destaca-se o riacho do Mel, que serve de divisor entre os municípios de Capoeiras e Caetés (PERNAMBUCO, 2006).

A bacia está localizada na Mesorregião do Agreste Pernambucano, onde abrange os territórios de 15 municípios, dos quais apenas 8 estão com sua sede inserida na bacia contado com uma população estimada de 215.705 habitantes. No estado de Alagoas a bacia está inserida na Mesorregião do Leste Alagoano, onde estão compreendidos os territórios de 15 municípios, sendo que apenas 10 são sedes municipais, abrangendo uma população estimada de 224.630 habitantes (COTEC, 1999).

A bacia hidrográfica do rio Mundaú abrange 15 municípios, no Estado de Pernambuco, dos quais apenas 8 municípios tem suas sedes inseridas na bacia (Figura 4).

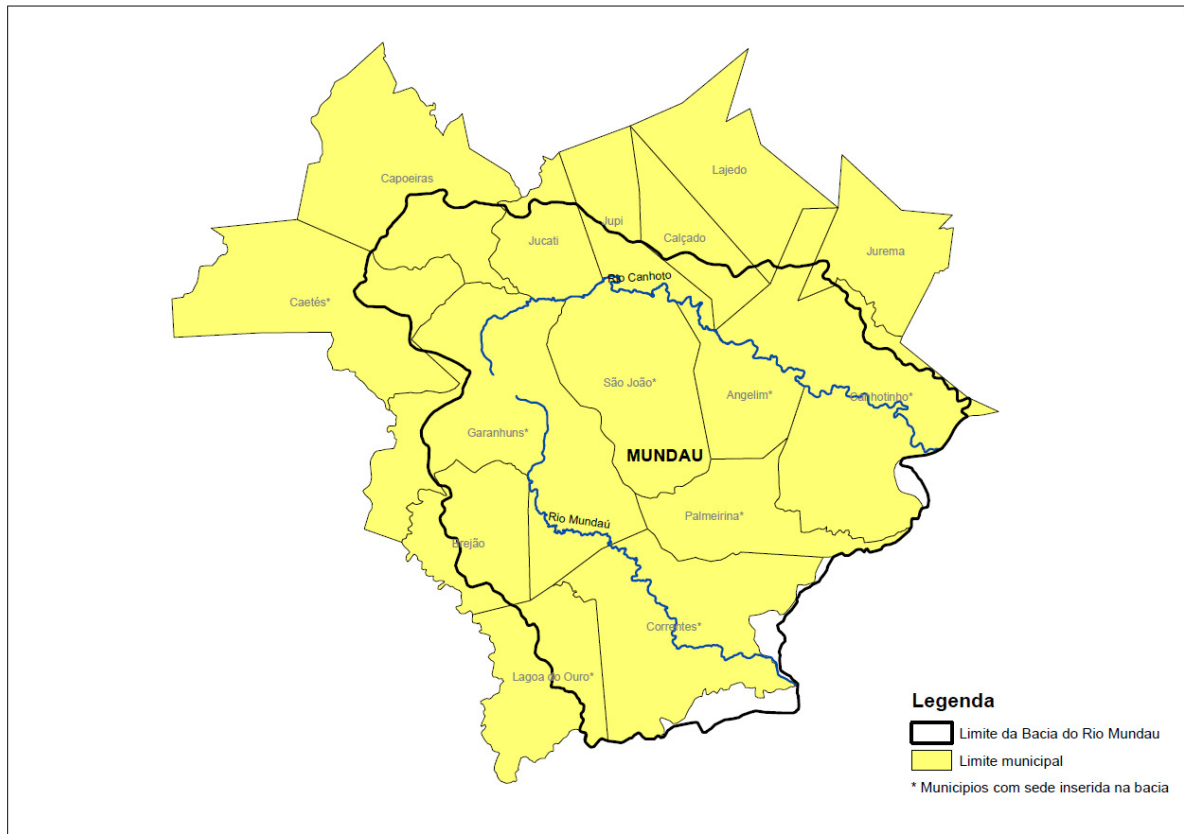


Figura 4 - Bacia hidrográfica do rio mundaú

O clima da bacia é quente com temperaturas médias anuais em torno de 24°C. Os meses de fevereiro a julho correspondem a aproximadamente 72,6% de toda precipitação anual local, isto ocorre devido à convergência dos alísios e brisas terrestres que intensificam as chuvas, principalmente a noite. O rio Mundaú tem uma precipitação média anual de 900 mm e uma vazão média anual de 30,6 m³ s⁻¹ (SILVA et al., 2008).

A geologia da bacia do Rio Mundaú é praticamente representada por rochas cristalinas e cristalofílicas do Pré-Cambriano, apenas com coberturas descontínuas dos depósitos aluviais recentes (PERNAMBUCO, 1998).

Segundo Silva et al. (2007) a bacia do rio Mundaú encontra-se em acelerado processo de degradação ambiental devido a práticas antrópicas deteriorantes como o lançamento de esgoto sanitário; deficiência na coleta e disposição inadequada de resíduos sólidos; assoreamento; ocorrência de cheias; lançamento de efluentes industriais não-tratados; exploração indiscriminada dos recursos naturais; baixa participação social no gerenciamento da bacia;

ocupação desordenada de áreas de risco e urbanização não consolidada e práticas agrícolas e de pesca inadequadas.

3.2 BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA

A Unidade de Planejamento Hídrico UP-20, que corresponde à bacia hidrográfica do grupo de pequenos rios interiores GI1 apresenta uma área de 1.389,56 km² estando parcialmente inserida no estado de Pernambuco (PERNAMBUCO, 1998).

O grupo GI1 tem como principais cursos d'água o rio Traipu, o rio Paraíba e o riacho Seco, com extensões aproximadas de 12 km, 46 km e 90 km, respectivamente. O rio Paraíba, cujo atravessa a divisa com o estado de Alagoas é o principal curso d'água deste grupo, juntamente com seu afluente principal, o riacho Seco (PERNAMBUCO, 2006).

O rio Paraíba nasce no município de Saloá em Pernambuco, a cerca de 800 metros de altitude e deságua na lagoa Manguaba, no município de Pilar em Alagoas, percorrendo uma extensão de cerca de 177 km, dos quais cerca de 46 km no estado de Pernambuco (COTEC, 2001).

Segundo levantamentos da COTEC (2001) a bacia possui 284.275 habitantes compreendidos em 9 municípios do estado de Pernambuco, dos quais apenas 5 apresentam suas sedes inserida na bacia (Figura 5).

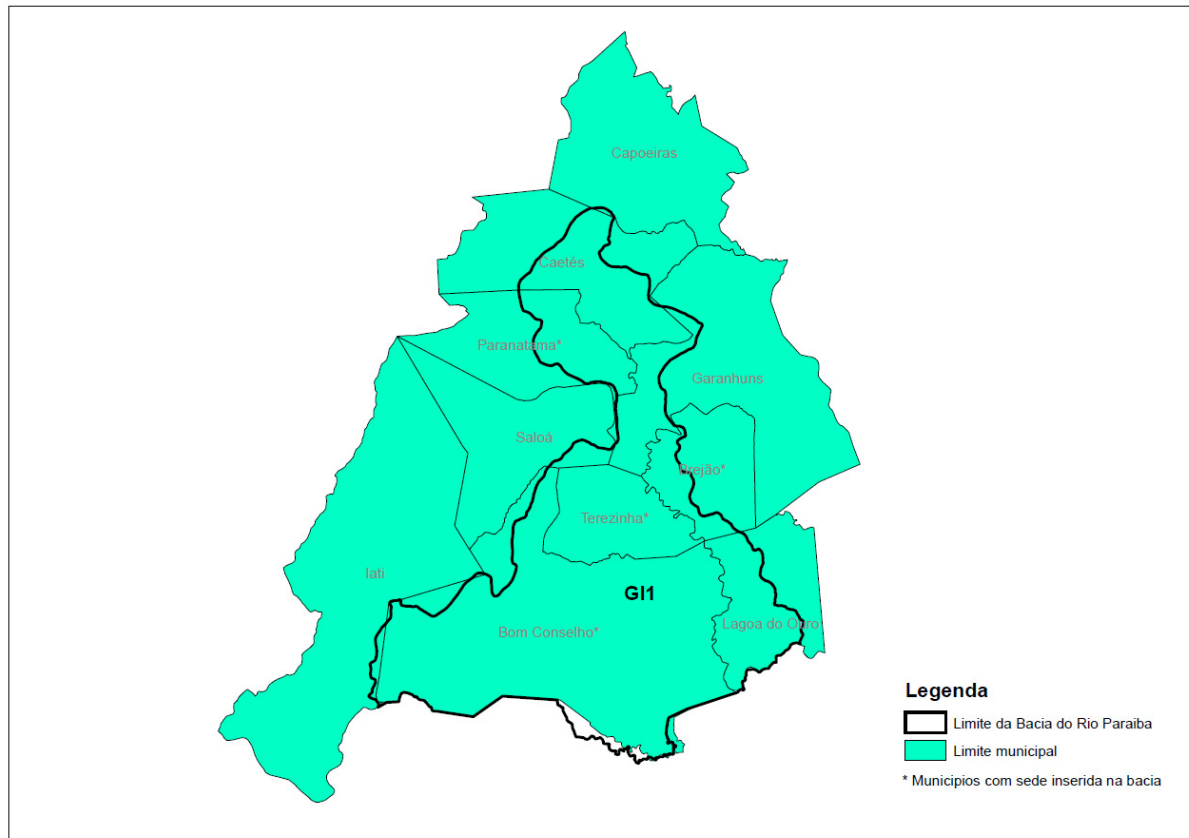


Figura 5 - Bacia hidrográfica do grupo de pequenos rios interiores (GI1)

A geologia da bacia se apresenta bastante diversificada, dentro do conjunto de rochas cristalinas e cristalofílicas do embasamento pré-cambriano, pertencentes ao Maciço Mediano Pernambuco-Alagoas (PERNAMBUCO, 1998).

De acordo com COTEC (2001) a classificação climática da bacia a partir de KÖPPEN é o clima tropical chuvoso ou megatérmico úmido (A); com Verão seco e chuva de inverno com antecipação ou atraso normal da estação chuvosa (s'); e Mês mais quente com temperatura média mensal superior a 22°C (a).

CAPÍTULO IV – METODOLOGIA

4.1 ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado na bacia hidrográfica do Rio Mundaú, juntamente com o seu afluente principal, o Rio Canhoto, e a bacia hidrográfica do Rio Paraíba, ambas as áreas inseridas no estado de Pernambuco.

4.2 MATERIAL

Os dados utilizados para o desenvolvimento deste estudo foram produzidos pelo Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (LACTEC) e fornecidos pela Secretaria de Recursos Hídricos e Energéticos do estado de Pernambuco (SRHE – PE) após aquisição realizada em 2011.

O estudo foi baseado em ortofotos digitais e no Modelo Digital de Terreno (MDT) obtidos a partir do perfilamento a laser LIDAR em escala igual a 1:5.000, sendo considerada uma área de 850 metros para cada lado no entorno do eixo central dos rios. O equipamento utilizado para a obtenção dos dados foi o modelo ALTM 2050 (*Airborne Laser Terrain Mapper*) que possui precisão de 70 cm na planimetria e 25 cm na altimetria. Os dados obtidos no perfilamento foram classificados no sistema geodésico de referencia SIRGAS2000 e projetados no sistema de coordenadas UTM (Universal Transversa de Mercator) no fuso 24S.

4.3 MÉTODOS

Os rios Mundaú, Canhoto e Paraíba tiveram suas áreas divididas em 35, 43 e 29 cenas, respectivamente, tanto para as ortofotos, quanto para o MDT (Figuras 6, 7 e 8).

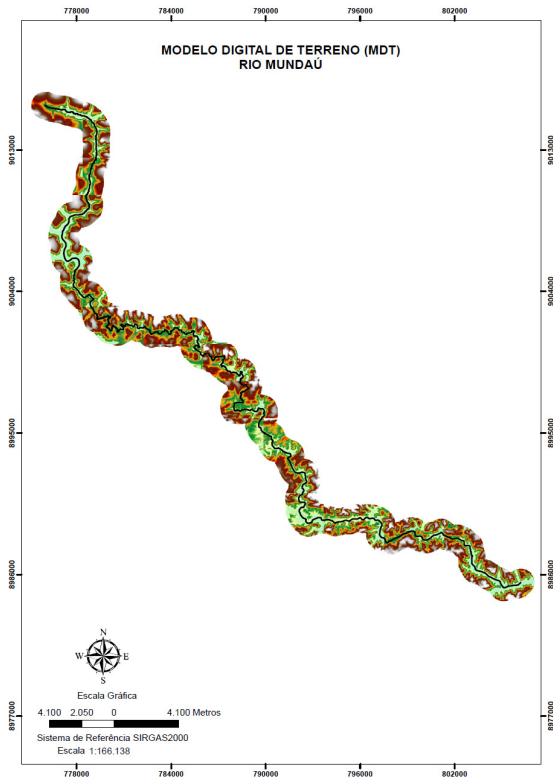


Figura 6 - Modelo Digital de Terreno (MDT) do rio Mundaú em território pernambucano.

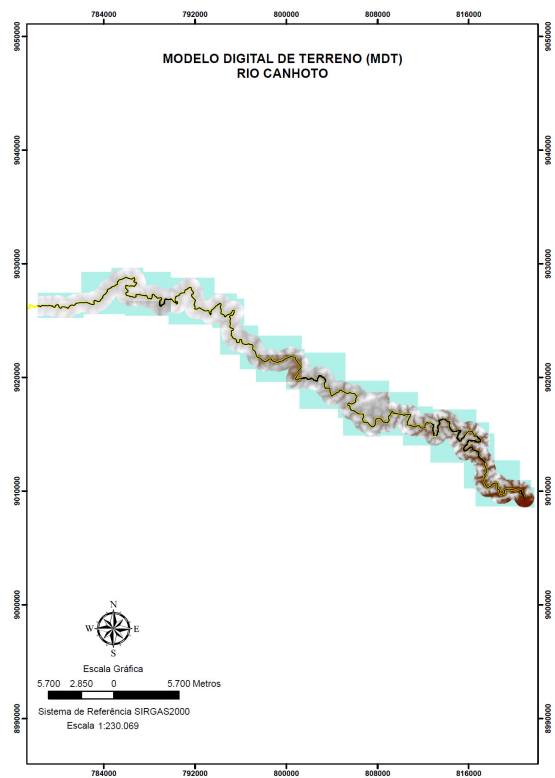


Figura 7 - Modelo Digital de Terreno (MDT) do rio Canhoto em território pernambucano.

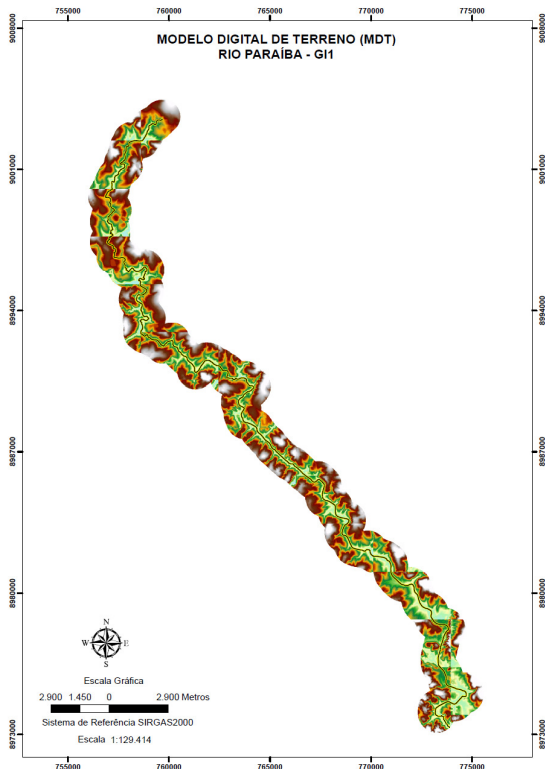


Figura 8 - Modelo Digital de Terreno (MDT) do rio Paraíba em território pernambucano.

O levantamento do perfil dos rios foi realizado individualmente a cada cena com ajuda da ferramenta *Create Profile Graph* do software ArcGIS¹. Os dados obtidos no levantamento do perfil foram exportados para o Excel, em conjuntos de 30.000 pontos por gráfico para posterior identificação de ponto que apresente altura relevante, e possível capacidade de acumulação. A partir da definição deste ponto, que serviu como eixo barrável, gerou-se com o auxílio da ferramenta *Extract By mask* as áreas de inundação das respectivas cotas para que posteriormente com o auxílio das ferramentas *3D Analyst*, *Surface Analysis* e *Area and Volume* do software ArcGIS fosse possível obter os dados de cota x área x volume dos rios a cada 1 m para elaboração da respectiva curva no Excel. A descrição das etapas metodológicas encontra-se presentes no fluxograma abaixo (Figura 9).

¹ ArcGIS é marca registrada da ESRI

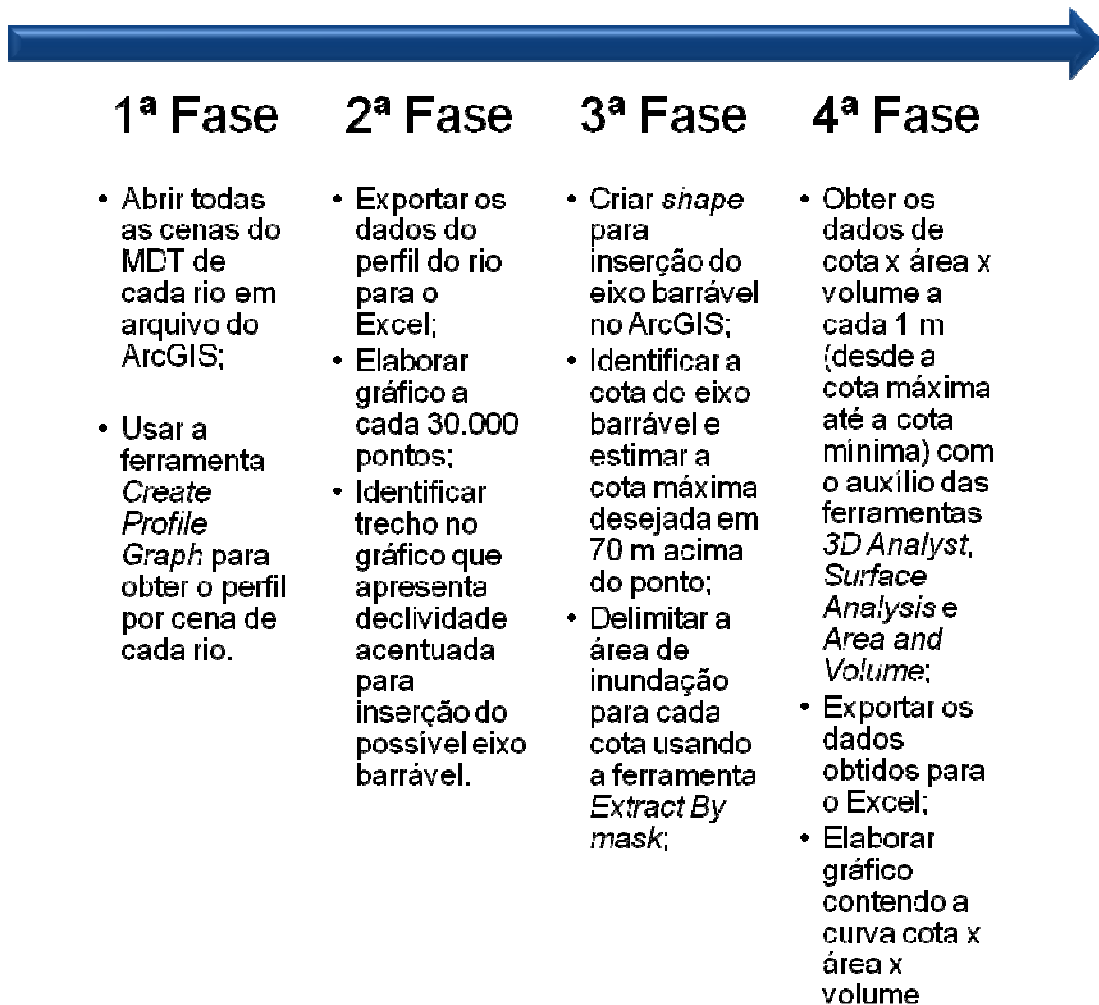


Figura 9 - Fluxograma contendo as etapas metodológicas do estudo.

Dessa forma, levando em consideração estudos hidrológicos realizados e relatórios de estudos de campo de monitoramento de barragens da SRHE, foram tomados como valores de referência para escolha do eixo barrável no presente estudo: eixo barrável de 2 km de extensão; a cota máxima da barragem em 70 m; e a capacidade de acumulação de 100.000.000 m³.

CAPÍTULO V – RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MUNDAÚ

O perfil do rio Mundaú foi repartido em 6 (seis partes), devido à quantidade de cenas usadas para abranger toda a extensão do rio. As curvas do perfil do rio mundaú estão apresentadas nas Figuras 10, 11, 12, 13, 14 e 15 onde foi possível demarcar a localização do possível eixo barrável (Figuras 10, 12, 13 e 14) com base na declividade apresentada nos resultados gerados para que posteriormente fossem realizados as estimativas hidrológicas.

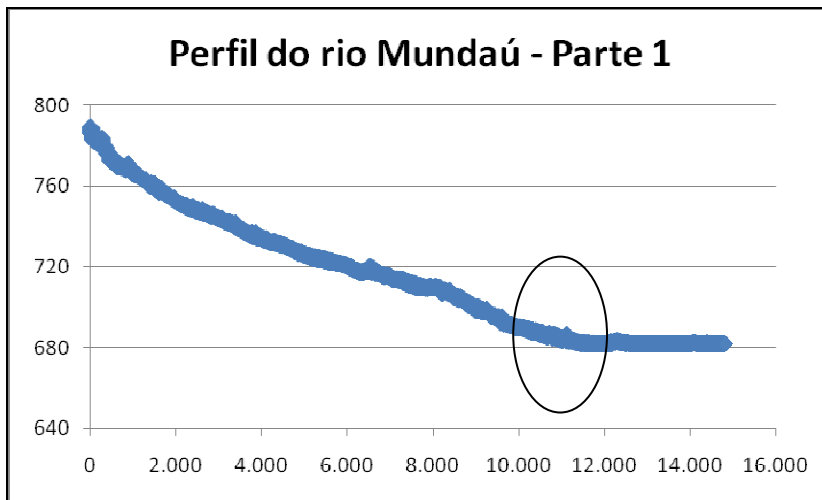


Figura 10 - Perfil do rio Mundaú (1ª parte) e localização do possível eixo.

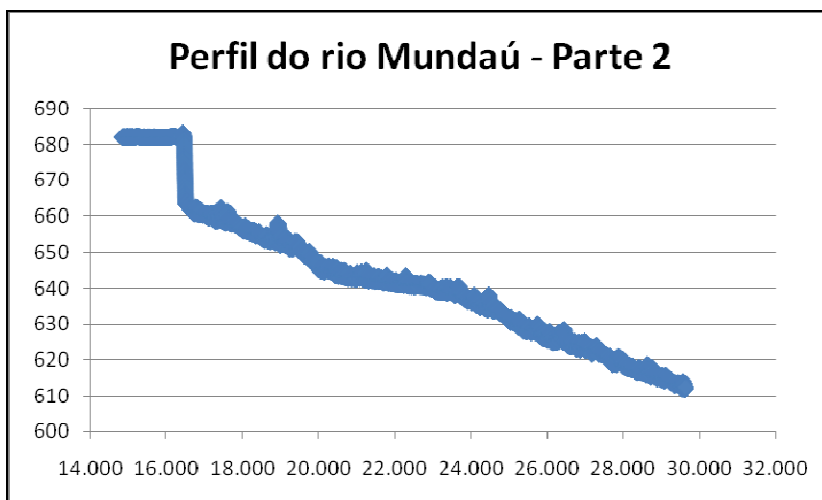


Figura 11 - Perfil do rio Mundaú (2ª parte).

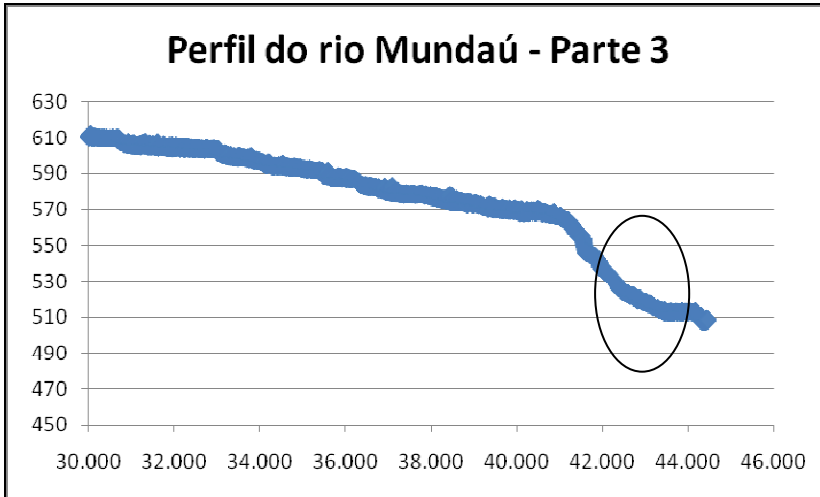


Figura 12 - Perfil do rio Mundaú (3ª parte) e localização do possível eixo.

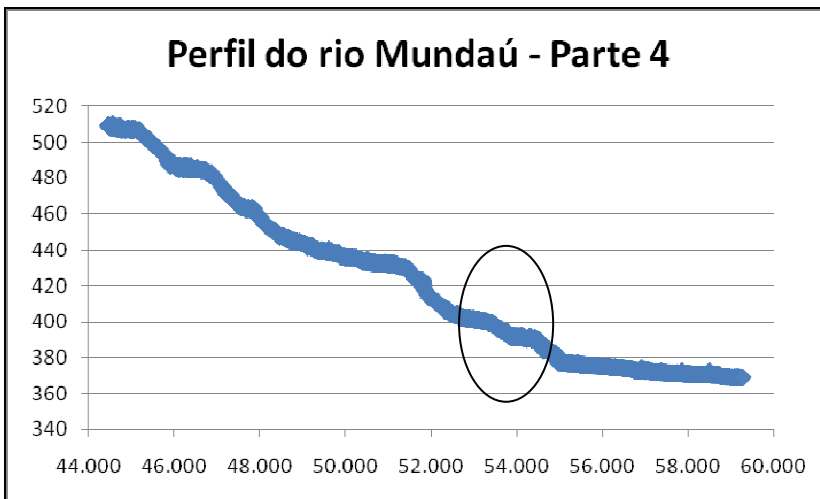


Figura 13 - Perfil do rio Mundaú (4ª parte) e localização do possível eixo.

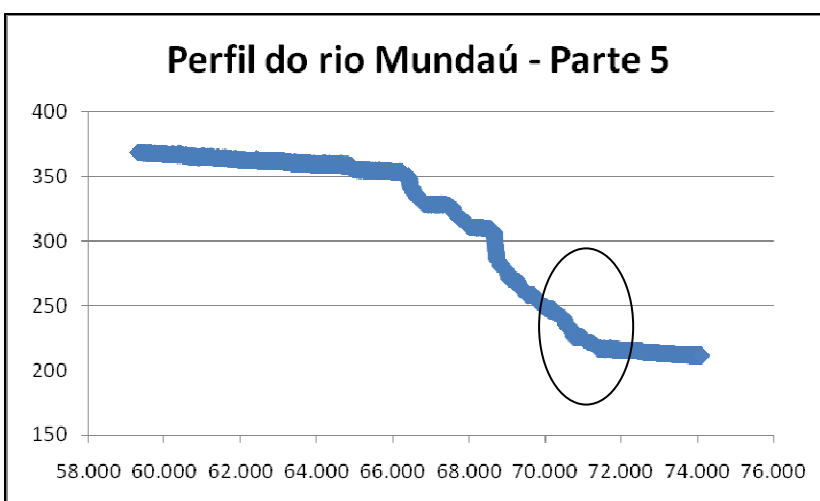


Figura 14 - Perfil do rio Mundaú (5ª parte) e localização do possível eixo.

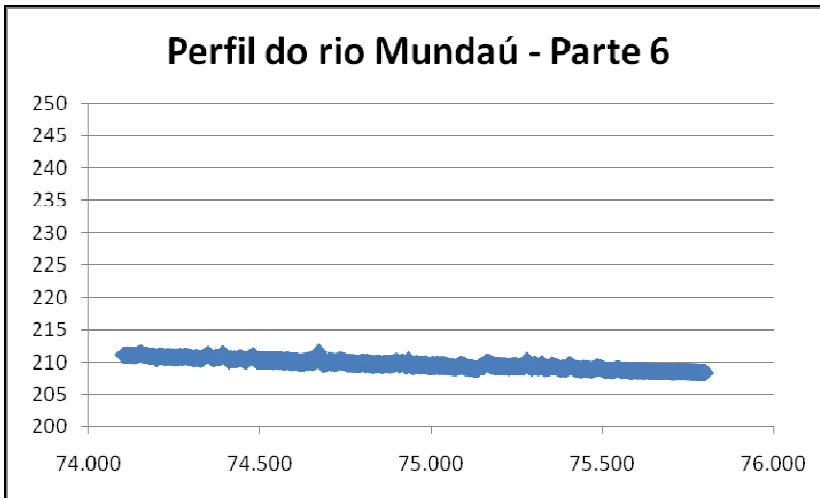


Figura 15 - Perfil do rio Mundaú (6ª parte).

De acordo com os resultados obtidos no perfil do rio, os eixos barráveis sugeridos apresentaram as seguintes cotas máxima e mínima, respectivamente: Parte 1 - 797 m e 727 m (Figura 16 - A); Parte 3 - 545 m e 475 m (Figura 16 - B); Parte 4 - 463 m e 393 m (Figura 16 - C); Parte 5 - 286 m e 216 m (Figura 16 - D), sendo delimitado a área de inundação de cada cota respectivamente conforme apresentado abaixo.

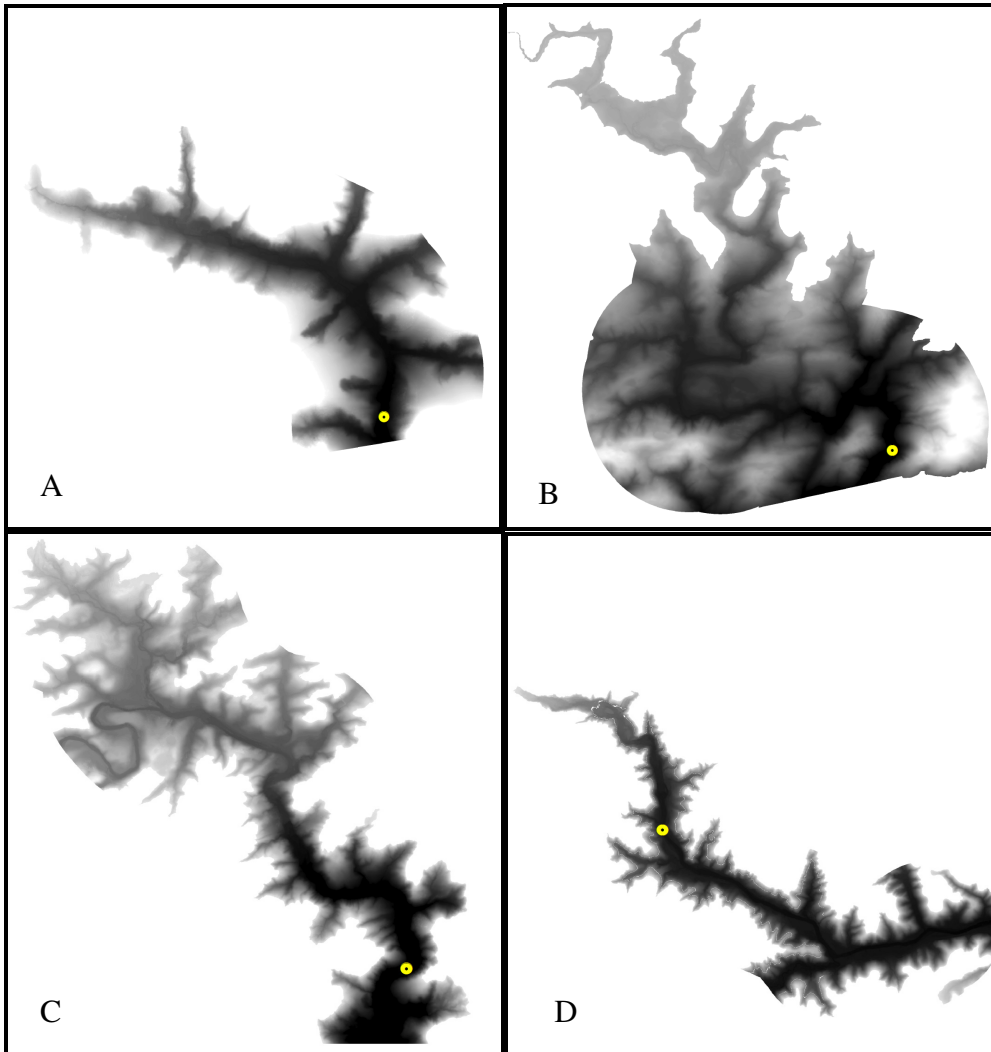


Figura 16 - (A) Cota máxima de 797 m; (B) Cota máxima de 545 m; (C) Cota máxima de 463 m; (D) Cota máxima de 286 m, dos eixos barráveis identificados no rio Mundaú.

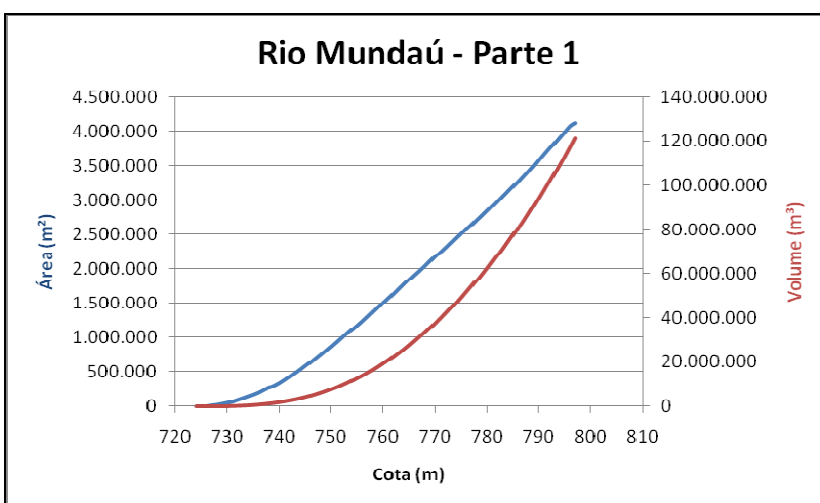


Figura 17 - Curva cota x área x volume do rio Mundaú (1ª parte).