

Modelagem altimétrica do Fundo do Reservatório da Usina Hidrelétrica Itaipu Binacional a partir de informações históricas de 1979

Luiz Paulo Johansson¹
Dirceu de Menezes Machado Júnior¹
João Paulo Bueno do Prado¹
Haroldo Virgílio¹

¹ ITAIPU Binacional
Av. Presidente Tancredo Neves, 6731 – Caixa Postal 1563 – Foz do Iguaçu-PR, Brasil
{johanson, dirceu, jpprado, hvirgilio}@itaipu.gov.br

Abstract. The correct management of a territory or water environment passes through a necessary knowledge of it in all its different nuances, from the location of points of interest, to the determination of its effective area and knowledge of altimetric characteristics, actual and historical. In the formation of the reservoir of Itaipu Binacional much of the information about the unique characteristics of the territory previously held at the site changed dramatically, or by the filling of the reservoir or by the process of sedimentation of it. So, it is of fundamental importance rescue and preserve this data to allow consultation and future use as a subsidy for a series of studies that may be needed. The project of altimetric modeling aims to meet an old issue of both the Technical Directory and Coordination Directory of Itaipu Binacional, where they seek a model, prior to the filling of the reservoir, to perform hydrological simulations and allow several sedimentometrics studies. The work was carried out jointly between the geoprocessing units of Brazil and Paraguay (ODRA.CD and ODRA.CE), thus promoting further integration between professionals of different nationalities. This article attempts to describe the steps taken to build the Digital Elevation Model made from the original analog data available.

Palavras-chave: geoprocessing, Digital Elevation Model, altimetric modeling, reservoir.

1. Introdução

Este artigo tem por objetivo descrever o trabalho e os procedimentos adotados para construção do modelo altimétrico do reservatório de Itaipu Binacional a partir dos dados originais oriundos do vôo fotogramétrico de 1979 realizado pela Aerofoto Cruzeiro, anterior ao enchimento do Reservatório.

2. Metodologia

2.1 Histórico e contextualização do problema

Em 1979, início da construção da Usina Hidrelétrica de Itaipu, foi contratada a realização de um vôo fotogramétrico na escala de 1:30.000. O vôo abrangeu toda a região com potencial a ser inundada pelo enchimento do Reservatório de Itaipu. O produto obtido do vôo foi ortorretificado na escala de 1:10.000, contendo a altimetria do leito original do Rio Paraná até o limite da Poligonal envolvente (PE) de ambas as margens nessa mesma escala. A Poligonal envolvente demarca o fim da área desapropriada pela Itaipu Binacional para construção do reservatório da Usina.

O produto cartográfico final, ortofotocartas analógicas, foi armazenado em locais distintos dentro da Empresa, as ortofotocartas referentes ao lado brasileiro foram estocadas nos escritórios do Brasil, aquelas referentes ao lado Paraguaio, foram guardadas em escritórios localizados no Paraguai.

As ortofotocartas brasileiras foram digitalizadas e vetorizadas na própria Itaipu Binacional e manteve-se o sistema original de referência das cartas (Sistema de Projeção UTM, Datum Astro Chuá, Fuso 21S), enquanto que a digitalização e vetorização das cartas paraguaias foram terceirizadas pela UNA e, durante o processo, o sistema de referência

original das cartas foi alterado usando parâmetros de transformação desconhecidos, uma vez que a documentação do processo realizado se perdeu.

Os procedimentos distintos adotados por cada país, no processo descrito no parágrafo anterior, inseriu uma discrepância entre os conjuntos das ortofotos, impossibilitando desta forma a união das mesmas em um produto único. (Figuras 1 e 2).

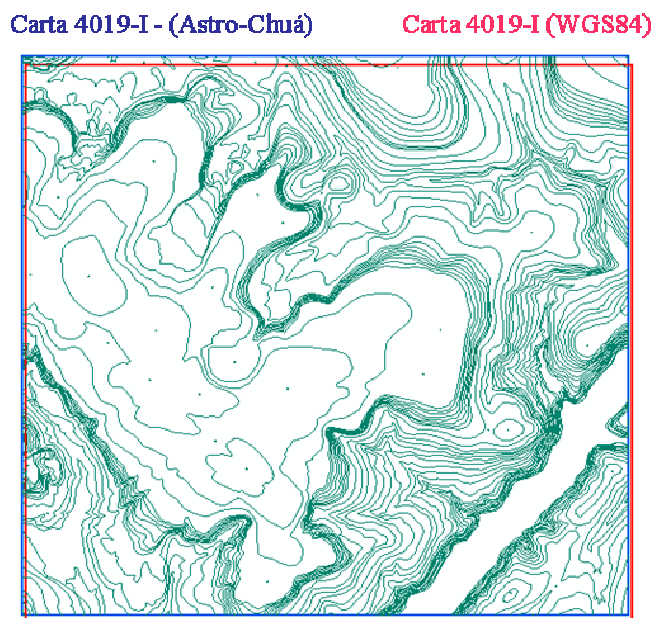


Figura 1 – Representação do deslocamento entre duas ortofotocartas sobrepostas.

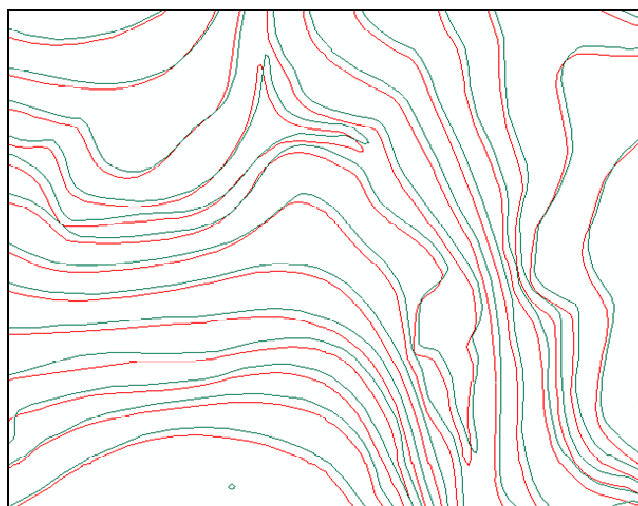


Figura 2 – Zoom da figura anterior destacando o deslocamento entre as duas ortofotocartas.

Como pode-se notar nas figuras acima, o deslocamento entre curvas de mesma cota variam dependendo da posição em que se encontram, essa característica do deslocamento inviabilizava a criação de um mosaico das cartas das duas margens em um produto único.

Como primeira alternativa para a efetiva modelagem do Reservatório contatou-se a empresa Base Aerofotogrametria, detentora do material original de 1979, acerca do custo para aquisição dos diapositivos e produto altimétrico integrado em meio digital. Como resposta foi estimado um custo de aproximadamente US\$ 150.000,00 para o produto a ser adquirido.

Paralelamente, foi realizada uma reunião entre as áreas das duas margens da Diretoria de Coordenação da Itaipu Binacional para discussão de propostas para trabalhos integrados entre as duas diretorias. Nesta reunião constatou-se que o lado paraguaio também tinha interesse em

ter o Modelo Digital do Terreno (MDT) anterior ao enchimento do Reservatório e a partir daí se estudou a possibilidade de novamente ser digitalizada e vetorizada as informações altimétricas existentes na Margem Direita, desta vez mantendo-se o sistema de referência original das cartas.

2.2 Etapas de execução do projeto

2.2.1 Tratamento e extração de dados das ortocartas

Para a execução do trabalho descrito neste artigo foram adquiridas por meio de empréstimo, as ortocartas da Margem Direita que estavam armazenadas no escritório da Unidade de geoprocessamento do lado paraguaio.

Com a posse das cartas, num total de 179, foi iniciado uma série de testes de digitalização para definição da melhor resolução a ser usada para a rasterização das ortocartas existentes.

Ao final dos testes, foi definido a resolução para rasterização de 400dpi, resolução radiométrica de 1 bit e se optou pela utilização do software ArcGIS.

A resolução de 400 dpi foi definida após a digitalização de uma ortofoto nas resoluções de 50, 100, 150, 200, 300 e 400dpi. O critério de escolha foi a relação entre a qualidade do traço gerado no arquivo digital pelo tamanho da imagem (em Kbytes) final gerada (quanto menor a resolução usada, menor o tamanho do arquivo). Pelas análises viu-se que até uma resolução de 400dpi, arquivo de 3 MBytes em média, a imagem gerada era facilmente tratada com os recursos computacionais existentes e o traço gerado era bem formado (nas cartas com maior qualidade de preservação original).

Após a definição da resolução de digitalização as ortocartas existentes foram digitalizadas em equipamentos scanner de rolo no edifício de produção da Itaipu. Em seguida a digitalização foi feita uma conferência das imagens geradas para verificar a qualidade final dos produtos. Nesta conferência constatou-se que muitas das cartas existentes encontravam-se em um mal estado de conservação, seja pela idade do material ou pelo mal armazenamento, gerando falhas e deterioração da informação contida, mas que, de forma geral, não causaria um impacto relevante no produto final.

O modelo de transformação espacial utilizado foi o polinomial de 2º grau, com a seleção de 10 a 12 pontos de controle, procurando sempre preservar a extremidade das cartas (de modo a permitir uma menor distorção na execução do mosaico com a carta seguinte – Figuras 3 e 4).

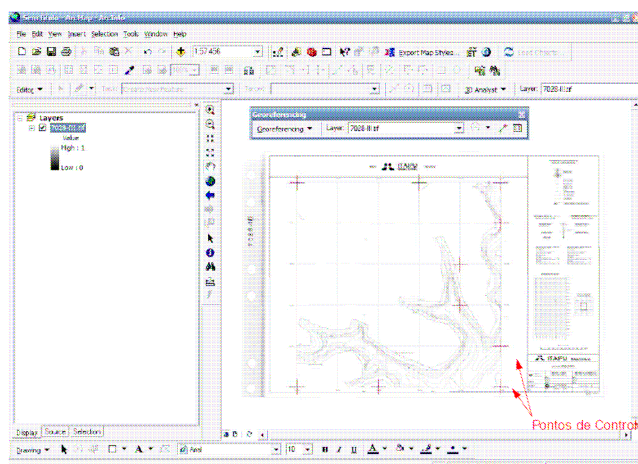


Figura 3 – Exemplo do processo de georreferenciamento de uma Ortocarta.

Link	X Source	Y Source	X Map	Y Map	Residual
1	5,714985	20,728777	765000,000000	7280000,000000	0,21521
2	25,372358	1,043831	770000,000000	7275000,000000	0,04352
3	25,334907	20,726099	770000,000000	7280000,000000	0,41988
4	5,689855	1,063836	765000,000000	7275000,000000	0,35767
5	25,332513	16,781284	770000,000000	7279000,000000	0,78907
6	25,374921	4,973767	770000,000000	7276000,000000	0,21548
7	21,447332	12,843578	769000,000000	7278000,000000	0,46517
8	21,442431	8,911285	769000,000000	7277000,000000	0,54948
9	17,525029	20,731228	768000,000000	7280000,000000	0,55975
10	13,565058	1,053887	767000,000000	7275000,000000	0,66227

Transformação Geométrica

Auto Adjust Transformation: 2nd Order Polynomial Total RMS Error: 0,47872

Figura 4 – Tabela dos Pontos de Controle

O parâmetro para controle de qualidade do processo de georreferenciamento utilizado foi o Erro Médio Quadrático (Root Mean Square – RMS). RMS ou valor eficaz é uma medida estatística da magnitude de uma quantidade variável. Consiste na medição da diferença entre o valor estimado (ou informado) e o valor real do ponto elevado ao quadrado. Isto feito para todos os pontos de controle, soma-se esses valores e divide-se pelo número de pontos. O valor de RMS, usado neste trabalho, foi definido com no máximo 0,7 pixels.

O processo de vetorização utilizado foi o semi-automático, ou seja, com a participação do operador em virtude da complexidade das informações contidas nas ortocartas e para evitar erros devido a má qualidade de armazenamento das cartas (por vezes gerando falhas na carta digitalizada).

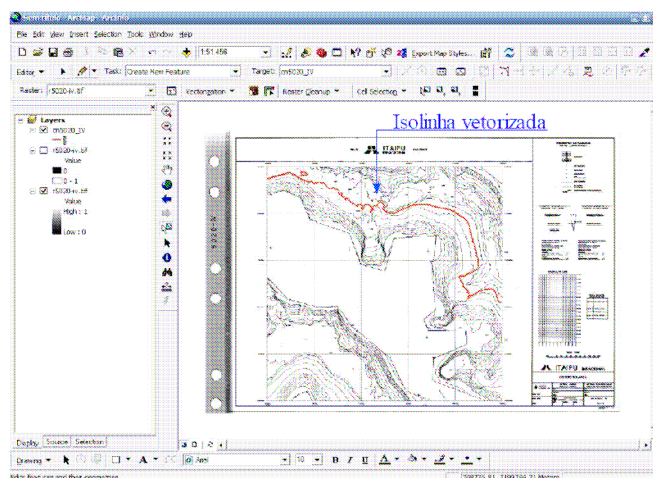


Figura 5 – Exemplo de vetorização de uma ortocarta.

Os dados vetorizados de cada ortocarta foram:

- **Curvas de Nível:** Curva de nível é a linha equípontencial que une pontos de mesma cota em uma carta. As curvas de nível de cada carta foram vetorizadas com suas respectivas cotas armazenadas em um arquivo .dbf indexado espacialmente. Para cada ortocarta foi gerado um arquivo de vetorização, de forma a se poder trabalhar, quando necessário, a informação de forma isolada;
- **Pontos Cotados:** Pontos cotados são pontos notáveis em uma carta que identificam pontos de cota fracionária e que normalmente indicam pontos mais altos ou mais baixos de uma região. Assim como nas curvas de nível, os pontos cotados foram identificados pela primitiva gráfica de um ponto com seu valor de cota armazenado em um arquivo .dbf indexado espacialmente. Para cada ortocarta foi gerado um arquivo de vetorização (independente do arquivo contendo as curvas de nível da ortocarta);

2.2.2 Geração do MDT

O primeiro passo para a construção do modelo foi a união das informações altimétricas geradas através da vetorização das ortocartas em um único produto contendo a altimetria da Margem Direita do Reservatório (Figura 6).

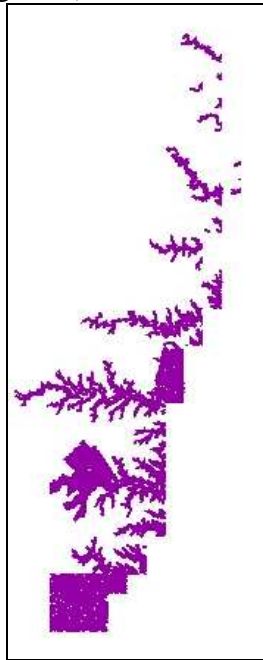


Figura 6 – Mosaico da altimetria da Margem Direita do Reservatório

A próxima etapa do processo consistiu em unificar e homogeneizar a altimetria existente na Margem Esquerda com o mosaico formado pela altimetria da Margem Direita, de modo a formar um único produto altimétrico englobando as duas margens. Esse processo foi efetuado no software Spring 4.3 pela facilidade na unificação das tabelas existentes em cada produto (Figura 7).

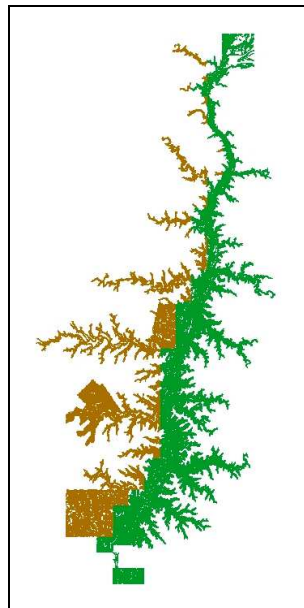


Figura 7 – Fusão das curvas de nível da MD (marrom) e ME (verde)

Com as curvas de nível entre as margens transformadas em um único produto partiu-se para execução do Modelo Digital do Terreno do Reservatório.

Foi feita construção de um TIN (Triangle Irregular Network – Rede Irregular de Triângulos) a partir das cotas das curvas de nível. Uma malha triangular é um conjunto de poliedros cujas faces são triângulos, como ilustrado na Figura 8. Os vértices do triângulo são geralmente os pontos amostrados da superfície. Esta modelagem, considerando as arestas dos triângulos, permite que as informações morfológicas importantes, como as discontinuidades representadas por feições lineares de relevo (cristas) e drenagem (vales), sejam consideradas durante a geração da grade triangular, possibilitando assim, modelar a superfície do terreno preservando as feições geomórficas da superfície. (CÂMARA & FELGUEIRAS, 2002).

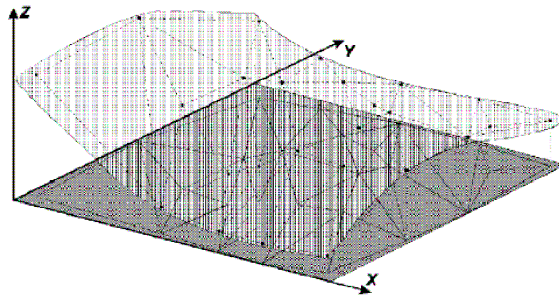


Figura 8 – Representação de um TIN.

A rede triangular obtida a partir das curvas de nível integradas foi gerada com o uso da extensão 3D Analyst do ArcGIS 9.1. O TIN gerado é mostrado nas Figuras 9 e 10.

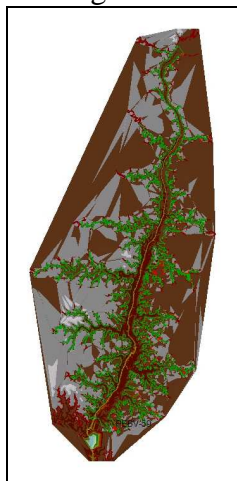


Figura 9 – Rede Triangular gerada

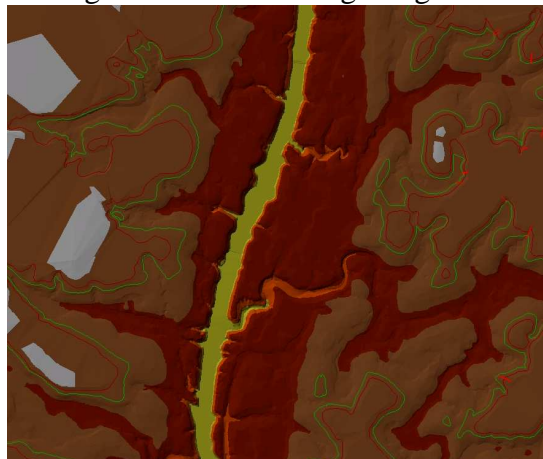


Figura 10 – Detalhe da Rede Triangular gerada.

Com base no TIN criado a partir das curvas de nível foi possível gerar a superfície do Modelo Digital de Terreno do Reservatório. Neste ponto do processo, foi efetuado uma série de testes de geração de MDT utilizando diferentes resoluções (tamanho do pixel da imagem formada). Estes testes serviram para se definir a resolução máxima que se pode alcançar com o equipamento em uso na Unidade de Geoprocessamento.

Foram gerados modelos com resoluções de 50, 45, 40, 35, 30, 20, 10 e 5m. A geração do MDT foi executada através da extensão 3D Analyst do ArcGIS. A resolução de 5m, apesar de ser a mais próxima do ideal tornou-se inviável em virtude do tempo de processamento necessário para geração e manipulação da mesma, portanto a resolução utilizada foi a de uma imagem (MDT) com resolução espacial (tamanho do pixel) de 10m.

Nas figuras 11 e 12 pode ser visualizado o Modelo Digital de Terreno gerado com a resolução de 10m.

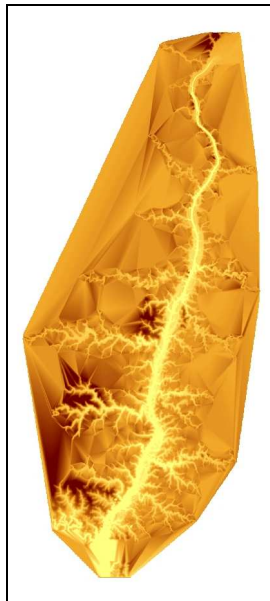


Figura 11 – Modelo Digital de Terreno gerado com resolução de 10m

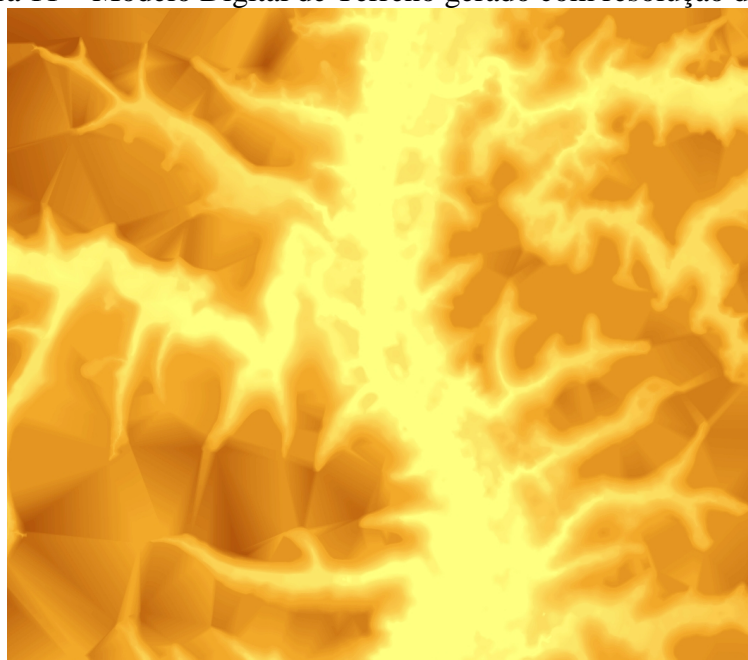


Figura 12 – Detalhe do MDT gerado

3 Resultados e Discussão

O resultado final do trabalho pode ser dividido basicamente na geração de dois produtos complementares: a informação altimétrica (curvas de nível) consolidada da realidade regional de antes do enchimento do Reservatório e o Modelo Digital de Terreno derivado desta informação altimétrica.

A partir destes resultados podem-se derivar uma série de informações de interesse das diversas áreas da Itaipu Binacional tais como: Cálculo de Área/Volume do Reservatório em diferentes cotas (alçamento/deplecionamento), mensuração do recuo/avanço do espelho d'água do Reservatório em pontos de interesse para casos de alçamento/deplecionamento, estudos sedimentométricos, estudos de implantação de Parques Aquícolas com maior precisão, entre outros.

O trabalho desenvolvido e apresentado neste artigo trata-se de uma primeira aproximação para definição mais precisa de cálculos de área/volume, porém algumas limitações de ordem técnica impedem que o mesmo possua a precisão necessária.

Uma limitação importante é a deterioração do material analógico, fonte dos dados gerados neste trabalho. O material analógico original é de 1979 e, em função do manuseio e do armazenamento o material sofreu deformações que comprometeram a qualidade do produto gerado.

Outra limitação é a resolução final do modelo gerado. Como as estimativas de cálculo de área/volume variam em escalas centimétricas a resolução de 10m para o produto final mostra-se incompatível com a escala ideal (resolução próxima a 1m). Em virtude dos recursos computacionais existentes atualmente na Unidade de Geoprocessamento não permitirem uma resolução menor na geração do modelo adotou-se a resolução de 10m para primeiras simulações de resultado. O valor obtido de área/volume é, então, uma estimativa do software dentro de cada pixel de borda do modelo, podendo haver nesta estimativa distorções significativas nos resultados calculados.

O modelo gerado ainda não leva em consideração, para estimativa de cálculo de volume, o volume original do Rio Paraná anterior ao enchimento do Reservatório. Portanto, o volume calculado a partir do MDT deve sofrer a adição do valor do volume do Rio Paraná no seu leito original à época do levantamento, tomado a partir dos levantamentos batimétricos da fase-rio.

Vale ressaltar que o produto gerado deverá ainda ser refinado com a inserção/derivação de novas informações de forma a minimizar as distorções existentes no modelo atual.

Referências Bibliográficas

Felgueiras, C. A.; Câmara, G. Modelagem Numérica de Terreno. In: Câmara, G.; Davis, C.; Monteiro, A. M. V. (Org.). **Introdução a ciência da geoinformação**. São José dos Campos, 2002. cap. 7, disponível em: <<http://dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/>>. Acesso em 20.out.2008