

Geração do MDT corrigido da Bacia Experimental do Alto Rio Jardim utilizando a base SICAD-DF e dados medidos com DGPS

Jorge Enoch Furquim Werneck Lima¹
Felippe Damião Mello di Silva²

¹ Pesquisador da Embrapa Cerrados
BR 020, km 18, Planaltina - DF, Brasil
jorge.werneck-lima@embrapa.br

² Estagiário da Embrapa Cerrados e Graduando em Gestão Ambiental – UnB
felippedamiao@hotmail.com

Abstract. Several environmental and engineering assessments depend on utilizing Digital Elevation Models (DEMs). In the case of the Upper Jardim River Basin, which is used as an experimental area for hydrological studies, the correct representation of its surface is fundamental for determining the water flow energy and direction, and to define the area of the basin and related information with strong influence in mathematical modeling studies, for example. The aim of this study was to evaluate the DEM generated with the SICAD/DF database and, if necessary, to correct it based on measured DGPS data. The results show that the errors of the DEM generated with the SICAD/DF database are very high and do not follow certain spatial pattern. In the study area, the altitude errors of the SICAD database at the checkpoints ranged from 2.49 to 33.29 m. Using the DEM generated with the SICAD/DF database and the spatial distribution of the error, it was generated a corrected DEM of the Upper Jardim Experimental River Basin. Depending on the accuracy required for performing certain studies, the use of the SICAD altitude database must be corrected or it should not be used. The method presented in this study should be an alternative for certain applications.

Palavras-chave: DEM, Experimental basin, DGPS, MDT, MDE, GPS diferencial.

1. Introdução

As informações derivadas de um modelo digital de elevação (MDE) são extremamente importantes para estudos hidrológicos, geológicos, geomorfológicos, ecológicos, agrícolas e de engenharia.

A maior parte das bases de dados altimétricos disponíveis foram geradas a partir de levantamentos aerofotogramétricos, que se baseiam na interpretação de fotografias aéreas ou imagens de satélite por meio da utilização de métodos estereoscópicos manuais ou automáticos (Wilson e Gallant, 2000). Dados adicionais de elevação podem ser obtidos por meio da digitalização de curvas de nível de mapas topográficos ou pela execução de levantamentos de campo. A difusão e a popularização do uso de equipamentos do tipo GPS (Sistema de Posicionamento Global) também têm contribuído para a obtenção de dados altimétricos para a geração de modelos digitais de elevação. Nesses modelos, os dados digitais de elevação do terreno são organizados em uma das seguintes estruturas de representação: células quadradas regulares (regular grids); rede de triângulos irregulares (*triangulated irregular networks* – TIN); e linhas de contorno (*contours*).

Os erros nos modelos digitais de elevação são, em geral, função do método de obtenção dos dados utilizados e do tipo de modelagem utilizada em sua confecção. De acordo com Barros *et al.* (2005), a correção desses modelos pode ser efetuada por meio de pontos de controle obtidos com técnicas de maior precisão, sendo o uso do DGPS (GPS Diferencial) indicado para esse levantamento. Marín *et al.* (2005), por exemplo, utilizando cotas elipsoidais obtidas com DGPS em levantamentos rápidos, ou seja, com pequeno tempo de permanência nos pontos de controle, concluíram que o erro vertical máximo verificado com essa técnica foi de 60 cm, o que poderia ser reduzido para menos de 10 cm caso a permanência no ponto fosse superior a 30 minutos. Marín *et al.* (2008), comparando dados

obtidos com DGPS e estação total em 12 pontos de controle observaram um erro máximo de 30 cm entre os dados levantados. Destaca-se que erros verticais dessa magnitude, submétricos, são plenamente aceitáveis para estudos ambientais, principalmente no caso de trabalhos em grandes áreas.

A base de dados planialtimétricos oficial do Distrito Federal foi publicada em 1991 pela Companhia de Planejamento do Distrito Federal – Codeplan, integrando o Sistema Cartográfico do Distrito Federal - SICAD. Essa base foi gerada a partir da restituição de fotografias aéreas obtidas com câmara métrica grande-ocular de precisão. Os dados do SICAD foram apresentados no sistema de projeção UTM (Universal Transversa de Mercator) e referenciados segundo a elipsóide internacional Hayford de 1924.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade da base de dados planialtimétricos do SICAD/DF (Codeplan, 1991) e gerar um Modelo Digital de Elevação do Terreno (MDT) da Bacia Experimental do Alto Rio Jardim corrigido com base em dados medidos com DGPS.

2. Metodologia de Trabalho

A Bacia Experimental do Alto Rio Jardim está localizada na parte leste do Distrito Federal (Figura 1), principal região agrícola dessa unidade da federação, onde se destaca o uso do solo para a produção de grãos. A área de drenagem total desta bacia experimental é de 105 km².

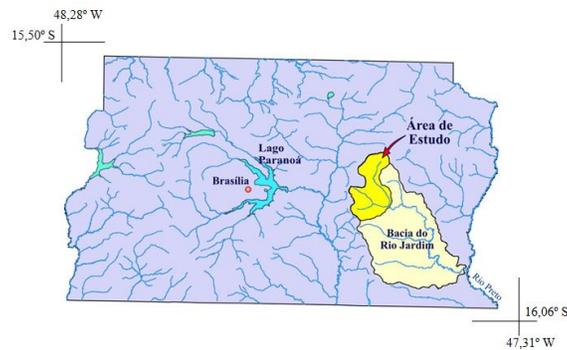


Figura 1. Mapa de localização da Bacia Experimental do Alto Rio Jardim - DF.

O MDE original da Bacia Experimental do Alto Rio Jardim foi gerado a partir da interpolação dos dados altimétricos do Sistema Cartográfico do Distrito Federal (SICAD/DF), disponíveis em formato vetorial na escala 1:10.000, com curvas de nível a cada 5 m de variação de altitude (Figura 2).

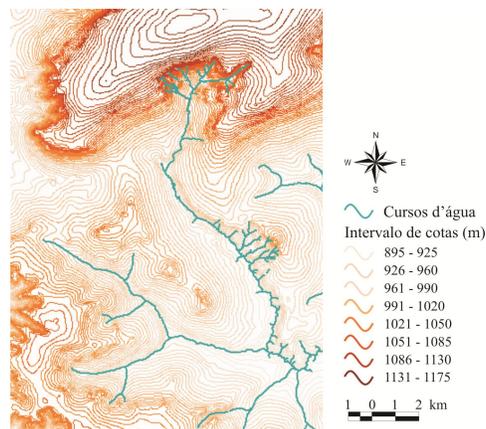


Figura 2. Curvas de nível na área da Bacia Experimental do Alto Rio Jardim extraída da base de dados SICAD/DF (Codeplan, 1991).

Do MDE gerado a partir da base de dados altimétricos do SICAD/DF (Codeplan, 1991), foram extraídas as altitudes em 55 pontos de controle na Bacia Experimental do Alto Rio Jardim (Figura 3). Esses pontos de controle correspondem aos locais dos poços piezométricos instalados para o monitoramento do nível do lençol freático na área da bacia.

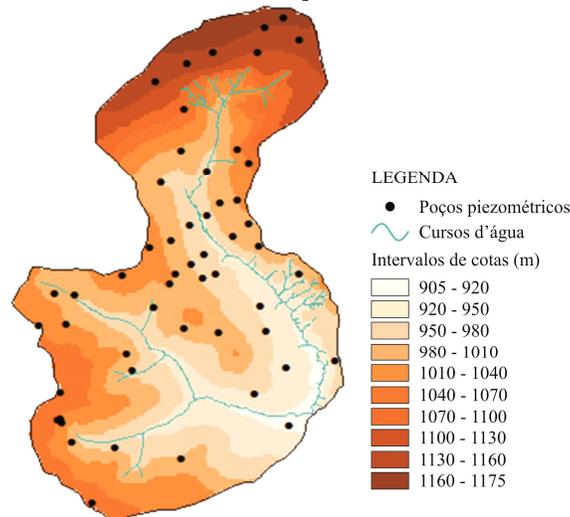


Figura 3. Modelo Digital de Elevação da Bacia Experimental do Alto Rio Jardim gerado a partir dos dados da base SICAD/DF (Codeplan, 1991) e os 55 pontos de controle utilizados na verificação e correção dos dados.

As altitudes nos pontos de controle foram obtidas com o auxílio da ferramenta de informação do ArcView®, em que, acionada a base TIN correspondente ao MDE da bacia gerada a partir da base SICAD (Codeplan, 1991) e posicionado o cursor sobre o ponto de interesse, ao clicar o botão direito do mouse tem-se a posição e a altitude do referido local.

Para a verificação dos dados de altitude nos 55 pontos de controle extraídos da base SICAD (Codeplan, 1991), efetuou-se uma campanha de dois dias na Bacia Experimental do Alto Rio Jardim para o levantamento, utilizando tecnologia DGPS (GPS Diferencial), das cotas reais (plano elipsoidal) desses pontos. Essa etapa do trabalho foi executada com o método DGPS, utilizando o equipamento Leica® GX1230 com receptor GPS de dupla frequência (L1 e L2) e correção diferencial em tempo real (RTK).

Na realização do levantamento de campo, inicialmente, definiu-se um dos pontos a serem medidos como “ponto-base”. Em razão de sua posição central na bacia, o que é fundamental para a comunicação via rádio entre a base GPS fixa e a base móvel, o ponto referente ao poço P40 foi o escolhido para essa função. Posteriormente, as coordenadas reais do ponto P40 (latitude, longitude e altitude elipsoidal) foram definidas a partir do transporte das coordenadas da Estação Brasília da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC), por meio da utilização de tecnologia GPS de dupla frequência (L1 e L2). Assim, os dados medidos em campo nessa estação foram corrigidos e georreferenciados em relação ao Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) do IBGE.

O levantamento das coordenadas e da altitude dos outros 54 pontos de controle foi efetuada a partir da tecnologia GPS de dupla frequência (L1 e L2) com correção diferencial em tempo real (RTK), tendo como ponto-base o ponto P40 supramencionado. Todos os pontos tiveram as coordenadas tridimensionais ajustadas ao ponto P40 após sua correção a partir da RBMC.

O esquema geral do levantamento efetuado com a técnica GPS Diferencial é apresentado na Figura 4.

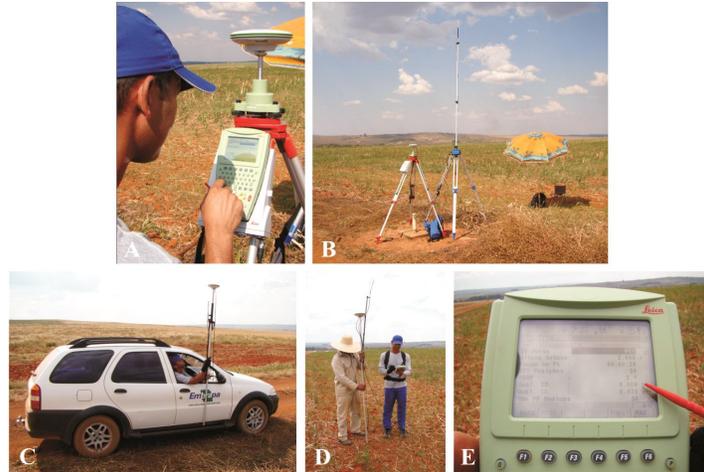


Figura 4. Esquema do levantamento de dados utilizando DGPS.

Na Figura 4A é representada a fase de instalação e configuração inicial do instrumento no ponto-base, no caso, o poço P40. Na Figura 4B é apresentada a estrutura que fica instalada no ponto-base ao longo do processo de obtenção de dados nas demais estações, no caso, as antenas para recepção de dados dos satélites pelo GPS fixo e de emissão de sinais de correção de posição e altitude via rádio para a estação GPS móvel. Uma vez instalada e configurada a estação do ponto-base, há o deslocamento para os demais pontos de controle pré-estabelecidos (Figura 4C). Observa-se que a base GPS móvel também é composta por uma antena de recepção GPS e outra de sinais de rádio da estação fixa no ponto-base. Na Figura 4D, ilustra-se a forma de obtenção de dados nos pontos da superfície desejados. Dados coletados no poço P11 são apresentados na Figura 4E como exemplo de informações obtidas com o DGPS, como o tempo de coleta de dados, o tamanho da haste da antena GPS, o número de repetições da medição e o erro verificado entre as repetições, tanto na medição das coordenadas quanto na medição da cota altimétrica.

Os erros absolutos obtidos entre os dados altimétricos da base SICAD e aqueles determinados com a tecnologia DGPS, nos 55 pontos de controle, foram analisados para a verificação de sua média, amplitude e possibilidade de correção da base SICAD, em caso de erros sistemáticos.

Para a geração do Modelo Digital de Elevação do Terreno (MDT) corrigido da Bacia Experimental do Alto Rio Jardim, primeiramente, efetuou-se a espacialização dos erros obtidos entre a base SICAD e os dados medidos com DGPS. Esse procedimento foi efetuado por meio da interpolação dos dados pontuais dos erros, utilizando a ferramenta TIN do ArcView®. Em seguida, esses dados foram convertidos no formato grid, com células de 30 x 30 metros, para permitir operações algébricas com esses dados. O mesmo procedimento foi realizado com o MDE original gerado em formato TIN com dados do SICAD. Utilizando a ferramenta “Map calculator” do ArcView®, efetuou-se a soma algébrica dos dados do MDE original e dos valores distribuídos dos erros, gerando-se o MDT corrigido da Bacia Experimental do Alto Rio Jardim.

3. Resultados e Discussões

Na Tabela 1, são apresentados os dados de altitude dos 55 pontos de controle na Bacia Experimental do Alto Rio Jardim extraídos do MDE gerado a partir da base de dados altimétricos do SICAD/DF (Codeplan, 1991).

Tabela 1. Dados de altitude dos 55 pontos de controle extraídos do MDE gerado a partir da base de dados altimétricos do SICAD/DF (Codeplan, 1991).

Ponto de Controle	MDE SICAD Alt. (m)	Ponto de Controle	MDE SICAD Alt. (m)	Ponto de Controle	MDE SICAD Alt. (m)
P55	1140,90	PZT5	1027,56	P18	942,27
P11	1150,80	PZT4	1031,68	P17	964,83
P57	1156,43	PZT3	1031,41	P49	978,24
P1	1132,04	PZT2	1031,58	P3	974,69
P12	1165,00	P6	1062,80	P13	1004,54
P56	1160,51	P59	976,33	P46	1075,00
P50	1151,56	P41	997,98	J1	994,81
P47	1034,90	P42	1006,96	J2	1000,47
P4	1046,07	P5	1041,00	J3	977,23
P16	1012,34	P22	994,86	J4	956,97
P52	987,95	P44	986,08	J5	1010,50
P38	977,03	P36	1036,42	J6	951,58
P26	957,92	P20	980,03	J7	973,74
P27	915,06	P37	1030,00	J8	995,37
P31	981,67	P10	999,19	J9	1002,73
P30	970,67	P40	993,08	Guido	985,00
P8	1053,09	P24	950,46	Trentin	992,21
P54	990,00	P25	935,22		
PZT1	1035,49	P33	950,65		

Na Tabela 2, são apresentados os dados de altitude dos 55 pontos de controle na Bacia Experimental do Alto Rio Jardim obtidos no levantamento realizado com o uso do DGPS, bem como o erro médio absoluto de cada uma das medições, que representa o desvio médio absoluto das repetições de medidas realizadas no ponto em relação à média.

Tabela 2. Dados altimétricos dos pontos de controle obtidos com o uso do DGPS e corrigidos em relação à Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (Sist. coord.: WGS84 - UTM23).

Ponto de controle	Alt. elipsoidal (m)	Erro médio absoluto (m)	Ponto de controle	Alt. elipsoidal (m)	Erro médio absoluto (m)
P55	1.133,11	0,0192	P22	983,08	0,0145
P11	1.139,37	0,0446	P44	968,07	0,0167
P57	1.146,78	0,0171	P36	1.025,43	0,0247
P1	1.119,21	0,0232	P20	963,65	0,0314
P12	1.153,31	0,0199	P37	1.020,58	0,0250
P56	1.149,02	0,0210	P10	981,86	0,0165
P50	1.136,96	0,0209	P40*	981,90	0,0000
P47	1.009,81	0,0177	P24	939,21	0,0262
P4	1.024,33	0,0266	P25	923,43	0,0650
P16	995,11	0,0151	P33	941,42	0,0165
P52	970,57	0,0211	P18	931,66	0,0303
P38	955,92	0,0909	P17	956,06	0,0254
P26	944,46	0,0422	P49	973,93	0,0241
P27	903,68	0,0254	P3	956,59	0,0163
P31	970,59	0,0168	P13	993,49	0,0279
P30	958,10	0,0338	P46	1.066,49	0,0205
P8	1.042,52	0,0212	J1	984,02	0,0217
P54	986,89	0,0488	J2	995,35	0,0152
PZT1	1.029,47	0,0180	J3	967,95	0,0239
PZT5	1.019,17	0,0268	J4	948,39	0,0280
PZT4	1.025,07	0,0207	J5	1.000,67	0,0167
PZT3	1.024,30	0,0425	J6	948,79	0,0190
PZT2	1.024,02	0,0190	J7	963,68	0,0483
P6	1.052,43	0,0128	J8	976,26	0,0152
P59	967,08	0,0227	J9	989,98	0,0143
P41	991,19	0,0146	GUIDO	951,71	0,0157
P42	995,30	0,0127	TRENTIN	978,60	0,0360
P5	1.029,65	0,0135			

* Ponto-base utilizado como referência fixa para correção dos demais.

Como se observa na Tabela 2, o maior erro médio absoluto obtido entre as medições altimétricas em um mesmo ponto foi de cerca de 9,0 cm. O valor do erro médio dessas medições foi de apenas 2,5 cm, o que representa um excelente indicativo da qualidade dos dados medidos em campo.

Na Tabela 3, observa-se que em todos os pontos de controle os valores dos erros obtidos pela diminuição dos dados extraídos da base SICAD e aqueles determinados com o uso de tecnologia DGPS foram sempre positivos, indicando que as altitudes do SICAD na área da bacia estão superestimadas. Na média, esse erro é de 11,88 m, variando entre 2,49 m e 33,29 m, o que sugere que os erros obtidos ao longo da área de estudo são aleatórios.

É importante ressaltar que os dados altimétricos da base SICAD foram referenciados segundo a elipsóide internacional Hayford de 1924, enquanto os dados medidos com o DGPS foram referenciados com base na elipsóide WGS84 ou SIRGAS2000; contudo, essa diferença não justifica a variação nos valores dos erros encontrados na comparação dos dados altimétricos obtidos com as duas bases.

Tabela 3. Erro medido da base SICAD em relação aos dados determinados com a tecnologia DGPS e corrigidos em relação à “Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo” nos 55 pontos de controle da Bacia Experimental do Alto Rio Jardim.

Ponto de Controle	Erro SICAD-DGPS (m)	Ponto de Controle	Erro SICAD-DGPS (m)	Ponto de Controle	Erro SICAD-DGPS (m)
P55	7,79	PZT5	8,39	P18	10,61
P11	11,43	PZT4	6,61	P17	8,77
P57	9,65	PZT3	7,11	P49	4,31
P1	12,83	PZT2	7,56	P3	18,10
P12	11,69	P6	10,37	P13	11,05
P56	11,49	P59	9,25	P46	8,51
P50	14,60	P41	6,79	J1	10,79
P47	25,09	P42	11,66	J2	5,12
P4	21,74	P5	11,35	J3	9,28
P16	17,23	P22	11,78	J4	8,58
P52	17,38	P44	18,01	J5	9,83
P38	21,11	P36	10,99	J6	2,79
P26	13,46	P20	16,38	J7	10,06
P27	11,38	P37	9,42	J8	19,11
P31	11,08	P10	17,33	J9	12,75
P30	12,57	P40	11,18	Guido	33,29
P8	10,57	P24	11,25	Trentin	13,61
P54	3,11	P25	11,79		
PZT1	6,02	P33	9,23		
				MÉDIA	11,88

Para uma melhor análise da distribuição dos erros da base SICAD (Codeplan, 1991), os valores apresentados na Tabela 3 foram organizados na curva de probabilidade acumulada de ocorrência dos erros (Figura 5).

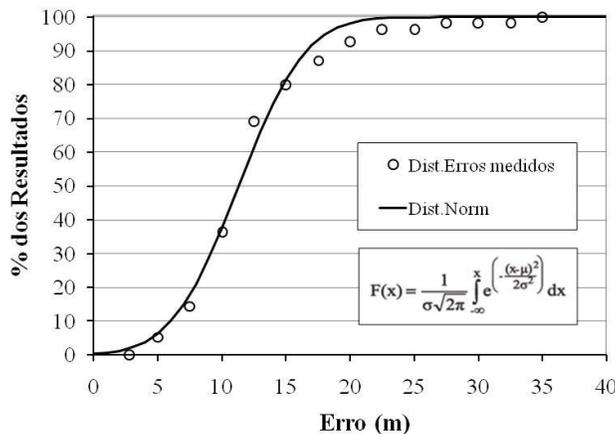


Figura 5. Probabilidade acumulada de ocorrência de erro nos dados da base SICAD em relação aos valores de altitude medidos com tecnologia DGPS na Bacia Experimental do Alto Rio Jardim.

Como se observa na Figura 5, os erros da base SICAD seguem uma distribuição normal, o que comprova estatisticamente que os valores dos erros não seguem um padrão, sendo aleatórios. Assim, para a correção dos dados da base SICAD a partir dos erros verificados nos pontos de controle, efetuou-se a espacialização dos erros determinados entre a base SICAD e os dados medidos com DGPS (Figura 6).

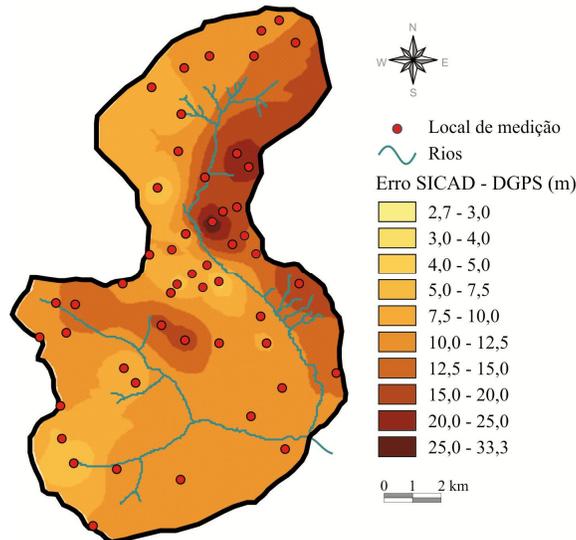


Figura 6. Distribuição espacial dos erros observados entre os dados obtidos com a base SICAD (Codeplan, 1991) e aqueles obtidos nos pontos de controle com o DGPS.

Como se observa na Figura 6, também não é possível identificar qualquer padrão de distribuição espacial do erro dos dados altimétricos da base SICAD. O que se pode extrair da referida figura é que os maiores erros nos dados foram observados na margem esquerda do rio Jardim, região leste da bacia.

A partir da transformação do MDE gerado com a base SICAD e da distribuição espacial dos erros observados em formato grid, foi possível realizar a operação algébrica para a definição do MDE corrigido da Bacia Experimental do Alto Rio Jardim, de forma distribuída. No caso, como a base SICAD apresentou valores sempre superiores aos dados medidos com o DGPS, efetuou-se seguinte operação matemática em cada célula de 30 x 30 m:

$$\text{MDE SICAD (Fig.3)} - \text{Erro Distribuído (Fig.6)} = \text{MDT Corrigido (Fig.7)} \quad (\text{Eq.1})$$

O Modelo Digital de Elevação do Terreno (MDT) corrigido da Bacia Experimental do Alto Rio Jardim é apresentado na Figura 7.

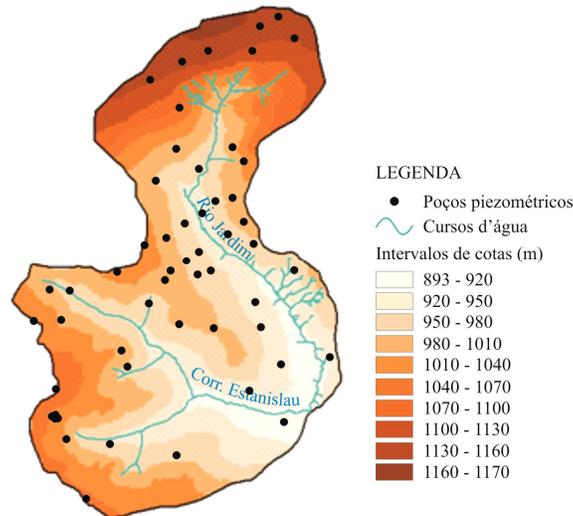


Figura 7. MDT corrigido da Bacia Experimental do Alto Rio Jardim.

Como se pode observar no desenvolvimento do trabalho, o MDT apresentado na Figura 7 representa uma correção da base altimétrica do SICAD por meio da utilização de 55 pontos de controle como referência, onde os dados altimétricos foram determinados com o uso de tecnologia DGPS, que é mais precisa que aquela utilizada na geração da base SICAD, a de restituição de fotos aéreas.

4. Conclusões

1. Os resultados indicam que os valores dos erros altimétricos da base SICAD (Codeplan, 1991) não seguem determinado padrão espacial, sendo aleatórios, o que dificulta e insere incertezas no processo de correção desta base de dados;
2. Na área de estudo, a Bacia Experimental do Alto Rio Jardim, os erros altimétricos da base SICAD (Codeplan, 1991) nos pontos de controle variaram de 2,49 m a 33,29 m;
3. Dependendo do nível de precisão requerido para a realização de determinado estudo, a utilização da base altimétrica do SICAD deve passar por processo de conferência e correção;
4. Obteve-se êxito na geração de um Modelo Digital de Elevação corrigido da Bacia Experimental do Alto Rio Jardim, dado fundamental para a realização de estudos hidrológicos na área.

Referências Bibliográficas

Barros, R.S.; Cruz, C.B.M.; Reis, R.B.; Costa Jr., N.A. **Avaliação do modelo digital de elevação do SRTM na ortorretificação de imagens Landsat 7 – Área de aplicação: Angra dos Reis – RJ.** In: Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Goiânia: INPE, 2005. p.3997-4004.

Codeplan. Sistema Cartográfico do Distrito Federal – SICAD. **Cartas planialtimétricas em formato vetorial, na escala 1:10.000.** Brasília, 1991.

Marín, L.E.; Steinich, B.; Escolero, O.A. Precision estimates for ellipsoidal height determinations for short baselines using DGPS system. **Geofísica Internacional**, 44(4), 2005. p.391-394.

Marín, L.E.; Balcazar, M.; Ortiz, M.; Steinich, B.; Hernández-Espriu, J.A. Comparison of elevation heights using a Differential Global Positioning System (DGPS) and a Total Station. **Geofísica Internacional**, 47(1), 2008. p.81-83.

Wilson, J.P.; Gallant, J.C. **Terrain Analysis: Principles and Applications.** New York: John Wiley & Sons. 2000. 479p.