



RESUMO EXPANDIDO

**Hidrologia: Modelagem Hidrológica**

**ANÁLISE DA PRECISÃO ALTIMÉTRICA DE DIFERENTES MODELOS DIGITAIS DE TERRENO PARA A  
DELIMITAÇÃO DE ÁREAS DE INUNDAÇÃO NA CIDADE DE PELOTAS/RS.**

Felipe Machado D'Avila, Agência para o Desenvolvimento da Bacia da Lagoa Mirim,  
felipemd@outlook.com

Alexandre Felipe Bruch, Universidade Federal de Pelotas, afbruch@gmail.com

George Marino Soares Gonçalves, Universidade Federal de Pelotas, george.marino.goncalves@gmail.com

Nelva Bugoni Riquetti, Agência para o Desenvolvimento da Bacia da Lagoa Mirim,  
nelva.bugoni@gmail.com

Henrique Mathias Reis, Agência para o Desenvolvimento da Bacia da Lagoa Mirim,  
henrique-m.reis@hotmail.com

Eduardo Matielo Moraes da Silva, Agência para o Desenvolvimento da Bacia da Lagoa Mirim,  
eduardomatieloalm@gmail.com

Gilberto Loguercio Collares, Agência para o Desenvolvimento da Bacia da Lagoa Mirim,  
gilbertocollares@gmail.com

**Resumo:** Os Modelos Digitais de Terreno (MDTs) são representações matemáticas tridimensionais da superfície terrestre que desempenham um papel crucial em diversas áreas, sendo elas o planejamento urbano, agricultura, gestão de recursos hídricos e previsão de inundações. Neste sentido, este estudo objetiva investigar a precisão altimétrica de diferentes MDTs aplicados na cidade de Pelotas/RS, com foco na modelagem de inundações. Neste estudo foram avaliados seis MDTs: URB, Aster, Alos Palsar, SRTM, Topodata e Geo Pelotas, com foco na precisão cartográfica, seguindo os critérios estabelecidos pelo Padrão de Exatidão Cartográfica dos Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD). Os resultados indicaram que o MDT URB alcançou a maior precisão, sendo classificado na mais alta categoria, ou seja, a categoria A do PEC-PCD. O estudo conclui que o MDT URB é o mais preciso para servir como ferramenta base para áreas suscetíveis a inundações em Pelotas, já que apresenta escalas centimétricas, enquanto os outros MDTs apresentam escalas métricas e foram classificados na categoria D.

**Palavras-chave:** Modelo Digital de Terreno, Padrão de Exatidão Cartográfica dos Produtos Cartográficos Digitais, Acurácia, Precisão, Global Navigation Satellite System.

## 1. INTRODUÇÃO

Os Modelos Digitais de Terreno (MDTs) são ferramentas fundamentais em diversas áreas, não só no planejamento urbano e rural, mas também na gestão de recursos hídricos. Desta forma, somados a outras disciplinas, como a hidrologia, permitem analisar e tomar decisões sobre o uso da água, auxiliando na drenagem urbana, na construção de barragens, nas estradas e pontes, além de fornecer informações essenciais para simular fluxos de água, prever enchentes e gerenciar áreas propensas a alagamentos. Já no meio rural, os MDTs também são fundamentais na análise de terrenos para

identificar áreas de risco e planejar atividades agrícolas de forma eficiente (FILGUEIRAS, 2023; IPT, 2023).

A utilização dos MDTs de alta precisão e acurácia são fundamentais para a identificação e modelagem de áreas de risco, pois esses modelos possibilitam uma análise detalhada das regiões vulneráveis com base na topografia e nas características específicas do terreno (BRUCH et al., 2024). Neste contexto, o presente estudo tem como objetivo avaliar a eficácia dos MDTs: MDT URB, Aster, Alos Palsar, SRTM, TOPODATA e Geo Pelotas, através do Padrão de Exatidão Cartográfica dos Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD), visando à sua aplicação no município de Pelotas (SANTOS et al., 2016 e BRUCH et al., 2019).

## 2. REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

O uso de tecnologias GNSS (Global Navigation Satellite System) em levantamentos de terrenos urbanos é considerado altamente eficiente, conforme apontado por (SEEBER, 2003), citado por (GAMA et al., 2012). Quando operando em conjunto com a estação total, o GNSS apresenta velocidade e precisão na coleta de dados. Todavia, encontra dificuldades decorrentes de obstruções causadas por ações antrópicas, por exemplo, edificações e torres. Esses autores destacam que fazer uso das técnicas GNSS seria mais adequado para ambientes abertos, sem interferências externas, resumindo sua aplicação em ambientes urbanos, onde o GNSS seria utilizado principalmente para determinar os pontos de referência.

No método de posicionamento relativo cinemático em tempo real (RTK), conforme descrevem (MÔNICO, 2008; SCUSSEL, 2011), a precisão do sistema é obtida por meio de dois receptores. O primeiro desses receptores é móvel, chamado também de *Rover* e é utilizado nos pontos de controle, sua posição é corrigida em tempo real por um sinal de correção. Esse sinal é gerado pelo receptor fixo (base), que está posicionado sobre um ponto com coordenadas conhecidas e calcula o erro entre a posição estimada pelos satélites e a posição real. Então o erro é transmitido via rádio para o rover, corrigindo sua localização instantaneamente. Scussel (2011) explica também que, no modo RTK, a precisão refere-se à dispersão dos pontos medidos, enquanto a exatidão está relacionada à diferença entre a coordenada conhecida e a informada pelo receptor.

Um Modelo Digital de Terreno (MDT) aproxima uma parte ou a totalidade da superfície contínua do terreno por meio de um conjunto de pontos discretos com valores de altura únicos sobre pontos 2D. As altitudes são, aproximadamente, distâncias verticais entre os pontos do terreno e uma superfície (HIRT, 2016). Assim, um MDT representa a topografia do terreno excluindo a influência de objetos superficiais, como vegetação, estruturas artificiais e outros elementos antrópicos, concentrando-se exclusivamente na configuração da superfície terrestre.

A norma ET-ADGV (CONCAR, 2011) introduziu o Padrão de Exatidão Cartográfica dos Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD), que é uma evolução do Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) estabelecido no Brasil pelo Decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984, tornando-se mais

rigorosa e criando uma nova classe de acurácia, com os produtos cartográficos agora classificados em quatro categorias: A, B, C e D.

### 3. METODOLOGIA

Inicialmente, os MDTs foram importados para um ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG), no no formato TIFF (Tagged Image File Format). Na sequência, foram definidos o Sistema Geodésico de Referência Planialtimétrico em SIRGAS 2000 e o Sistema Geodésico de Referência Altimétrico em Imbituba. Por fim, a projeção correspondente à área de estudo foi configurada em Universal Transversa de Mercator, no fuso 22, hemisfério sul.

Para avaliar a precisão dos MDTs, foram rastreados 32 pontos de controle altimétricos (Figura 1) utilizando um receptor GNSS (Global Navigation Satellite System) geodésico (BRUCH et al., 2024), empregando a técnica NTRIP (Networked Transport of RTCM via Internet Protocol), conforme apresentados na Figura 1. Essa tecnologia permite o transporte de dados GNSS utilizando o protocolo TCP-IP, que transmite dados de correção para que os receptores GNSS operem em modo RTK (Real Time Kinematic) (IBGE, 2013). Esse protocolo de comunicação é utilizado para transmitir correções diferenciais de GNSS em tempo real via acesso à internet.

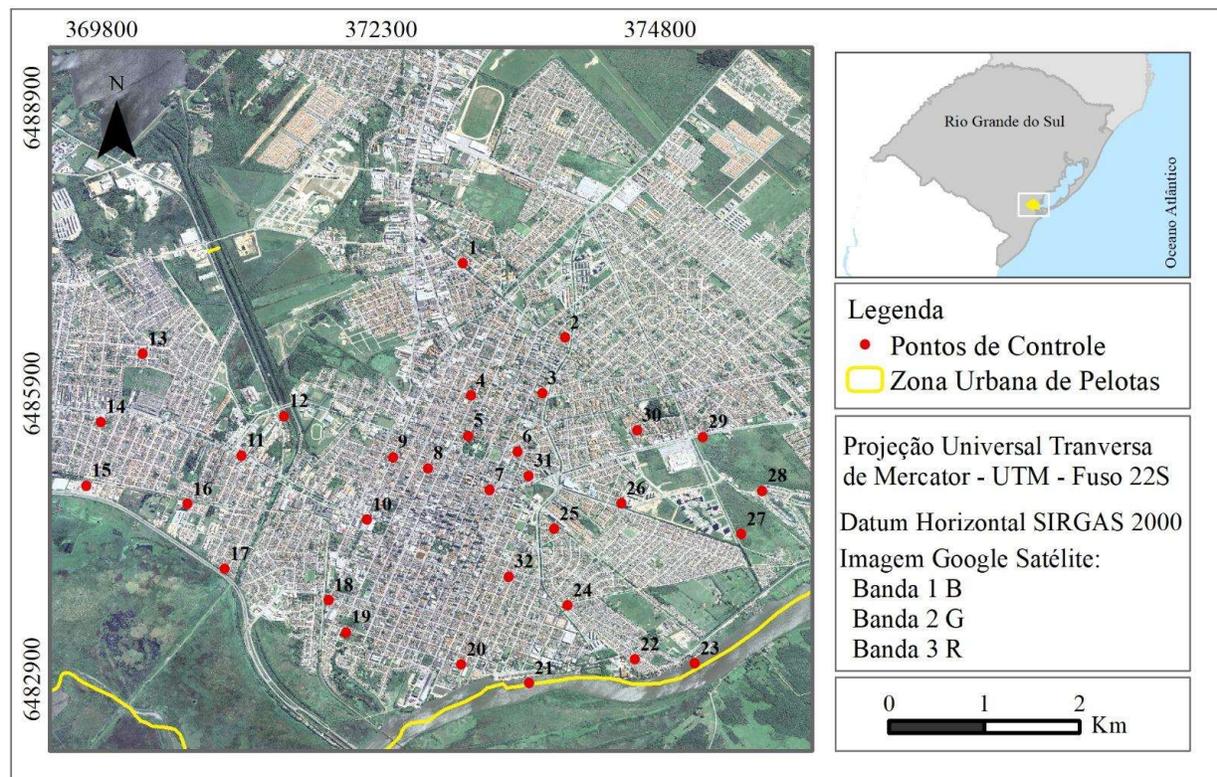


Figura 1: Mapa de localização dos pontos de controle, na cidade de Pelotas/RS.

A partir dos dados gerados com os 32 pontos de controle, as altitudes dos seis MDTs foram comparadas e apuradas as defasagens de acordo com o Padrão de Exatidão Cartográfica Brasileiro, para produtos digitais PEC-PCD conforme a metodologia descrita por Galo e Camargo (1994), com adaptações propostas por Nogueira Jr. (2003), Silva (2015) e Bruch et al. (2019).

Assim, realiza-se a comparação entre os valores de referência, obtidos por meio do GNSS, e as características identificadas nos MDTs com escala de precisão de 1:1.000. O Erro Padrão (EP) e o Desvio Padrão na PEC são considerados sinônimos (BRUCH et al., 2019). A Tabela 1 apresenta a comparação das classes PEC e PEC-PCD com as tolerâncias utilizadas para avaliar a acurácia altimétrica dos pontos cotados.

Tabela 1: PEC Altimétrica de pontos cotados, MDE, MDS e MDT em produtos cartográficos digitais.

Classe PEC	Classe PEC-PCD	PEC (m)	EP (m)
-	A	0,27	0,17
A	B	0,50	0,33
B	C	0,60	0,40
C	D	0,75	0,50

Fonte: DSG (2015).

#### 4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Em virtude da alta precisão necessária para a elaboração de produtos voltados à gestão de recursos hídricos, em especial para determinar modelos das áreas de inundação na cidade de Pelotas/RS, os testes de precisão e acurácia altimétrica cobijam a Classe A do PEC-PCD, onde 90% dos pontos não podem apresentar erro superior a 0,27m e o Desvio Padrão (DP) não deve apresentar resultados superiores ao limite de 0,17m.

De acordo com a Tabela 2, é possível observar que as discrepâncias entre o MDT URB e os pontos de controle são centimétricos, estando de acordo com o exigido pela Classe A do PEC-PCD.

Tabela 2: Discrepâncias Média e Desvio Padrão dos MDTs.

Discrepância dos MDTs	Média	Desvio Padrão
URB	0,019	0,100
ASTER	10,129	3,007
ALOS PALSAR	-11,264	4,079
SRTM	-2,264	4,119
TOPODATA	-1,673	3,990
GEO PELOTAS	0,098	1,029

Também pode ser observado através da tabela anterior que a discrepância entre os demais MDTs está na escala métrica, ou seja, os MDTs Aster, Alos Palsar, SRTM, TOPODATA e Geo Pelotas exibiram discrepância altimétrica média acima dos limites impostos pelas Classes A, B e C.

Respectivamente os MDTs apresentaram desvio padrão acima dos limites impostos pela Classe A, sendo todos pertencentes à classe D.

Conforme a Figura 2, os pontos que apresentam maior discrepância altimétrica entre si são os: 4, 12, 19, 25 e 28, que majoritariamente estão posicionados nas bordas dos pontos de controle. Por sua vez, os MDTs com discrepâncias altimétricas mais acentuadas, como no caso dos MDTs Aster e Alos Palsar que estão dispostos nos limites do gráfico, podem estar relacionadas com o deslocamento posicional planimétrico dos produtos utilizados.

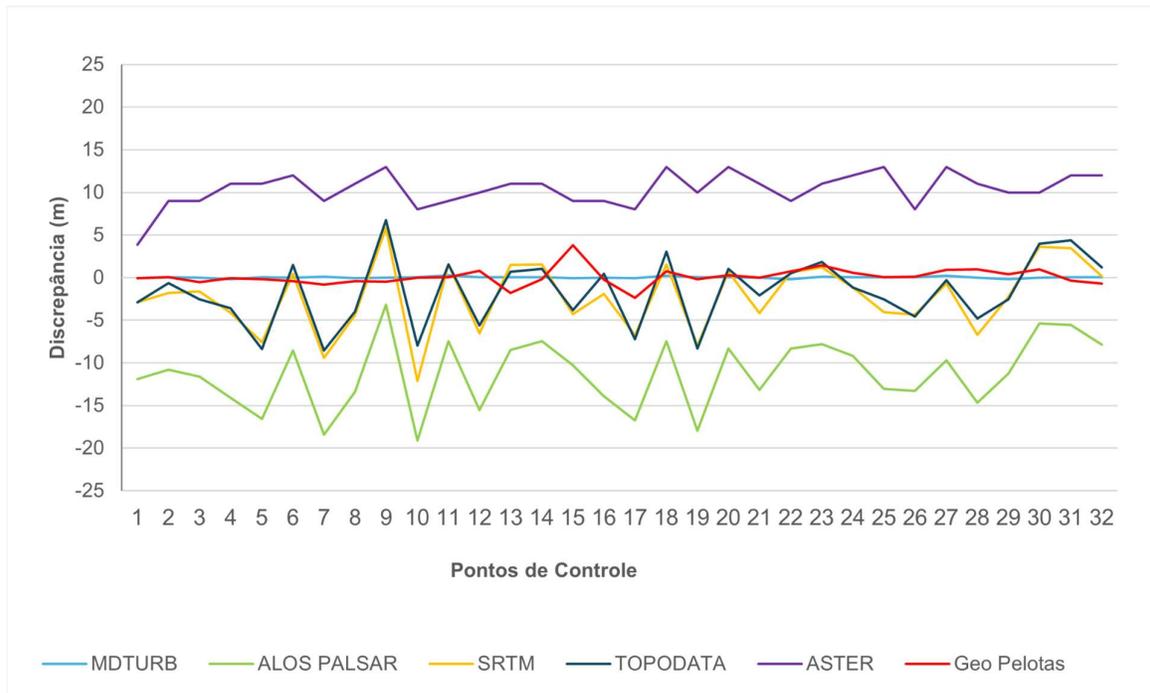


Figura 2: Discrepância dos MDTs através dos pontos de controle.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os MDTs são fundamentais para a identificação e delimitação de áreas de risco de inundação. A precisão dos MDTs é crucial para garantir decisões assertivas e a execução de ações eficazes. Neste estudo, foram avaliados a precisão e o enquadramento no PEC-PCD de seis MDTs utilizados em Pelotas/RS para a identificação de áreas de inundação e caracterização topográfica. O MDT URB apresentou os melhores resultados, com uma discrepância posicional vertical de 0,019m e um desvio padrão de 0,100m, quando comparado com as altitudes de referência obtidas por GNSS em campo. O MDT URB foi classificado como Classe A no PEC-PCD para produtos cartográficos digitais. Cabe destacar que o MDT URB possui uma capacidade altimétrica com precisão em centímetros, ou seja, serve como ferramenta para delimitar áreas de inundações, o que difere dos demais MDTs que apresentam uma acurácia vertical em metros.

## 6. REFERÊNCIAS

BRUCH, A. F.; CAMARGO, K. R.; GONÇALVES, G. M. S.; COLLARES, G. L.; CARNEIRO, M. Avaliação da Acurácia Altimétrica de Diferentes Modelos Digitais de Terreno-MDTS da Cidade de Pelotas/RS como Ferramenta de Modelagem de Inundação. ALMEIDA, F.M. In: Explorando las ciencias exactas: teoría y aplicaciones en el mundo de los números 2. Ponta Grossa: Atena Editora, 2024. Cap.2, p 21-36.

BRUCH, A. F.; CIROLINI, A.; THUM, A. B.; CARNEIRO, M. Avaliação da Acurácia das Cubagens de Volumes de Mineração através de Levantamentos Convencionais e Fotogramétricos. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 12, n. 1. p. 283-298, 2019.

CONCAR; EXÉRCITO BRASILEIRO – CONCAR-EB. Especificação Técnica para a Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais. Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais. Brasil. 2011. 2.ed.

DIRETORIA DO SERVIÇO GEOGRÁFICO. ET-ADGV: Especificação Técnica para a Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais. 2 ed. Brasília: DSG, 2015.

GALO, M. e CAMARGO, P. O. Utilização do GPS no controle de qualidade de cartas. Artigo apresentado no 1º Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário, Florianópolis – Brasil, Tomo II, 1994, 41-48.

GAMA, L.F.; DE SEIXAS, A; SILVA E.V.; OLIVEIRA M.P.M.; DE ARAUJO M.G. Análise Metodológica de Levantamentos GNSS/GPS em Área Urbanizada. Revista Brasileira de Cartografia, nº 62/2, 2012.

HIRT, C. Digital terrain models. In: Encyclopedia of Geodesy. Springer, Berlin, New York, 2016.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. IBGE une internet sem fio a GPS e lança serviço gratuito para posicionamento e navegação. 2013. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/13644-asi-ibge-une-internet-sem-fio-a-gps-e-lanca-servico-gratuito-para-posicionamento-e-navegacao> Acesso em 03/09/2024.

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Manual de Procedimentos Metodológicos: delimitação de planícies de inundação e de áreas inundáveis. São Paulo, 1a Ed. IPT, 2023

MÔNICO, João F. Galera. Posicionamento por ponto de Alta Precisão utilizando o GPS: uma solução para a geodinâmica. Revista Brasileira de Geofísica, vol 1891, 2000.

SEEBER, G. Satellite Geodesy: foundations, methods and applications. 2ª.ed. Berlin, New York: Walter de Gruyter, 2003.



**I Congresso Nacional da Associação Brasileira de Engenharia Hídrica  
Engenharia Hídrica: o futuro dos recursos hídricos começa agora**

SCUSSEL, Alexandre - Revista MundoGeo. Disponível em <http://mundogeo.com/blog/2011/0630/trimble-lanca-nova-tecnologia-rtx-para-correcao-gnss/> acessado em 02 de outubro de 2024.

SILVA, C. A. Avaliação da acurácia dos ortomosaicos e modelos digitais do terreno gerados por vant e sua aplicação no cálculo de volume de pilhas de rejeito da pedra cariri. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade Federal do Ceará – CE, 2015. 148p.