

**RAFAEL SANTOS GENRO**

**DETERMINAÇÃO DE UM GEÓIDE GRAVIMÉTRICO PARA O  
ESTADO DO PARANÁ UTILIZANDO  
COLOCAÇÃO POR MÍNIMOS QUADRADOS**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências Geodésicas, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dr.<sup>a</sup> Márcia Cristina Lopes Quintas

CURITIBA

2006

# **TERMO DE APROVAÇÃO**

**RAFAEL SANTOS GENRO**

**DETERMINAÇÃO DE UM GEÓIDE GRAVIMÉTRICO PARA O  
ESTADO DO PARANÁ UTILIZANDO  
COLOCAÇÃO POR MÍNIMOS QUADRADOS**

**Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no  
Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Setor de Ciências da Terra da  
Universidade Federal do Paraná, pela Comissão formada pelos professores:**

**Prof<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup> Márcia Cristina Lopes Quintas – Orientadora (UFPR)**

**Prof. Dr. Quintino Dalmolin – Membro (UFPR)**

**Prof. Dr. Nelsi Côgo de Sá – Membro (USP)**

**Curitiba, 30 de agosto de 2006**

## DEDICATÓRIA

Dedico esta dissertação a toda minha família, composta por meus verdadeiros mestres, modelos reais de perseverança, parceria, dedicação, paciência e ética.

Na eventualidade de algum deles em algum momento de suas vidas precisar obter uma altitude ortométrica através da combinação de um geóide gravimétrico com um sistema GNSS, ofereço, como forma de gratificação, os resultados desta dissertação.

*Aos meus pais Joaquim e Rosa;*

*Aos meus irmãos Antônio, Eduardo e Caroline;*

*À vó Áurea, vó Ayda, tio Paulo, Eloísa, Lúcia, Leonardo, Marcus Vinícius, tio Zé, tia Marilda, Eduardinho, Ana Paula, Guilherme, tio Jeco, tia Sandra, Joselaine, Jonis, tia Elaine, tio Tonho, Fafá, Fernanda e Vilma.*

*“Antes de sentirmos que somos bons mestres,  
estejamos seguros de que somos bons estudantes”.*

**PITÁGORAS**

## AGRADECIMENTOS

- Ao CPGCG (UFPR) pela oportunidade de realização do curso de mestrado;
- À Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup> Márcia Cristina Lopes Quintas pela orientação;
- À banca examinadora pelo intercâmbio de idéias, sugestões e discussões construtivas que delinearão-se durante a qualificação e defesa desta dissertação;
- Aos laboratórios LAIG, LAGE, LAGEO e LPGA da UFPR por disponibilizarem toda sua instrumentação geodésica, possibilitando a realização de levantamentos de campo e por fornecerem dados gravimétricos terrestres utilizados neste trabalho;
- Ao Departamento de Geodésia da UFRGS (Prof. Dr. Sérgio Florêncio de Souza) pela disponibilização dos programas da Escola do Geóide do IGeS (GRAVSOFTE *Package*) e pelo treinamento relacionado aos mesmos realizado em abril de 2005;
- Ao *Dipartimento di Rilevamento* do *Politecnico di Milano – Lombardia / Itália* (Prof. Dr. Riccardo Barzaghi) pelo treinamento referente aos programas da Escola do Geóide do IGeS (GRAVSOFTE *Package*) realizado em setembro de 2004;
- Ao Instituto Astronômico e Geofísico – USP (Prof. Dr. Nelsi Côgo de Sá) e à Escola Politécnica – USP (Prof. Dr. Denizar Blitzkow e Dr.<sup>a</sup> Ana Cristina Oliveira Cancoro de Matos) pelo fornecimento de dados gravimétricos terrestres, referências de nível posicionadas com GPS geodésico e modelo digital de terreno utilizados neste trabalho;
- Ao Departamento de Geodésia do IBGE (Dr.<sup>a</sup> Maria Cristina Barboza Lobianco) pelo fornecimento de dados gravimétricos terrestres e referências de nível posicionadas com GPS geodésico utilizados neste trabalho;
- Ao CNPQ pelo suporte financeiro através da concessão de bolsa de estudos.

## SUMÁRIO

<b>TÍTULO DA DISSERTAÇÃO</b> .....	i
<b>DEDICATÓRIA</b> .....	iii
<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	iv
<b>SUMÁRIO</b> .....	v
<b>LISTA DE ILUSTRAÇÕES</b> .....	vii
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	x
<b>LISTA DE SIGLAS</b> .....	xi
<b>RESUMO</b> .....	xiv
<b>ABSTRACT</b> .....	xv
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	5
2.1 ALGUNS GEÓIDES GRAVIMÉTRICOS DETERMINADOS.....	5
2.2 GEODÉSIA.....	15
2.2.1 Sistema Geodésico de Referência.....	15
2.2.1.1 Sistema Geodésico Brasileiro.....	22
2.2.2 Transformação de Coordenadas entre Sistemas Geodésicos de Referência.....	26
2.3 CAMPO DE GRAVIDADE TERRESTRE.....	29
2.3.1 Geopotencial.....	29
2.3.2 Esferopotencial.....	30
2.3.3 Potencial Anômalo e Equação Fundamental da Geodésia Física.....	31
2.3.4 Elementos do Campo de Gravidade.....	33
2.3.5 Correções Gravimétricas.....	35
2.3.6 Aplicação do Efeito Indireto das Massas Topográficas.....	38
2.3.7 Dados necessários para o Cálculo de um Geóide Gravimétrico e a Técnica da “Remoção-Cálculo-Restauração” ( <i>Remove-Restore</i> ).....	39
<b>3. DETERMINAÇÃO DE UM GEÓIDE GRAVIMÉTRICO UTILIZANDO COLOCAÇÃO POR MÍNIMOS QUADRADOS</b> .....	41
3.1 MODELO MATEMÁTICO.....	42

3.2 DETERMINAÇÃO DE COVARIÂNCIAS.....	46
3.2.1 Covariâncias Esféricas.....	49
3.2.2 Representação das Covariâncias Esféricas.....	52
<b>4. COMPATIBILIZAÇÃO E VALIDAÇÃO DE UM GEÓIDE GRAVIMÉTRICO.....</b>	<b>54</b>
4.1 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	54
4.1.1 Avaliação Absoluta.....	54
4.1.2 Avaliação Relativa.....	55
4.2 MODELAGEM E REMOÇÃO DA COMPONENTE SISTEMÁTICA.....	56
<b>5. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE TRABALHO E DESCRIÇÃO DOS DADOS DISPONÍVEIS.....</b>	<b>60</b>
5.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE TRABALHO.....	60
5.2 DESCRIÇÃO DOS DADOS DISPONÍVEIS.....	60
5.2.1 Organização do Banco de Dados Geodésicos.....	61
5.2.2 Modelos Geopotenciais Globais.....	62
5.2.3 Dados Gravimétricos Terrestres.....	64
5.2.4 Modelos Digitais de Terreno.....	65
5.2.5 Referências de Nível posicionadas com GPS.....	67
<b>6. RESULTADOS.....</b>	<b>69</b>
6.1 PROCESSAMENTO E REPRESENTAÇÃO DOS DADOS.....	70
6.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	85
6.2.1 Avaliação do Geóide Gravimétrico.....	85
6.2.2 Modelagem e Remoção da Componente Sistemática.....	90
6.2.3 Avaliação do Geóide Gravimétrico após a Remoção da Componente Sistemática.....	99
6.3 CRIAÇÃO DO PROGRAMA DE INTERPOLAÇÃO GEOIDEPR2006(CMQ).....	103
<b>7. CONCLUSÕES, RECOMENDAÇÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS.....</b>	<b>106</b>
<b>8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>109</b>

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>GRÁFICO 1</b> – FUNÇÃO COVARIÂNCIA AMOSTRAL E AJUSTADA (ÁREA TOTAL DO PR).....	79
<b>GRÁFICO 2</b> – FUNÇÃO COVARIÂNCIA AMOSTRAL E AJUSTADA (SUB-ÁREA 1 – NOROESTE DO PR).....	80
<b>GRÁFICO 3</b> – FUNÇÃO COVARIÂNCIA AMOSTRAL E AJUSTADA (SUB-ÁREA 2 – NORDESTE DO PR).....	81
<b>GRÁFICO 4</b> – FUNÇÃO COVARIÂNCIA AMOSTRAL E AJUSTADA (SUB-ÁREA 3 – SUDOESTE DO PR).....	81
<b>GRÁFICO 5</b> – FUNÇÃO COVARIÂNCIA AMOSTRAL E AJUSTADA (SUB-ÁREA 4 – SUDESTE DO PR).....	82
<b>GRÁFICO 6</b> – ERRO RELATIVO DO GEOIDEPR2006 (ANTES DA COMPATIBILIZAÇÃO).....	86
<b>GRÁFICO 7</b> – ERRO RELATIVO DO GEOIDEPR2006 (APÓS COMPATIBILIZAÇÃO).....	98
<b>FIGURA 1</b> – METODOLOGIA DE CÁLCULO DO MODELO GEOIDAL DO ESTADO DO PARANÁ.....	4
<b>FIGURA 2</b> – COORDENADAS GEODÉSICAS ( $\varphi, \lambda, h$ ), ALTITUDE ORTOMÉTRICA (H), ONDULAÇÃO GEOIDAL (N) E DESVIO DA VERTICAL (i).....	21
<b>FIGURA 3</b> – COORDENADAS GEODÉSICAS E CARTESIANAS E ALGUNS ELEMENTOS GEOMÉTRICOS DO ELIPSÓIDE DE REVOLUÇÃO.....	27
<b>FIGURA 4</b> – GEOPOTENCIAL E ESFEROPOTENCIAL.....	32
<b>FIGURA 5</b> – SUPERFÍCIE FÍSICA DA TERRA, TELURÓIDE, GEÓIDE E ELIPSÓIDE.....	35
<b>FIGURA 6</b> – PARÂMETROS ESSENCIAIS DA FUNÇÃO COVARIÂNCIA.....	48
<b>FIGURA 7</b> – ABRANGÊNCIA DE DADOS NO PR.....	61
<b>FIGURA 8</b> – DADOS GRAVIMÉTRICOS TERRESTRES NO PR.....	64

<b>FIGURA 9</b> – MODELO DIGITAL DE TERRENO NO PR.....	65
<b>FIGURA 10</b> – RRNN POSICIONADAS COM GPS NO PR.....	68
<b>FIGURA 11</b> – PONTOS DE COMPATIBILIZAÇÃO (PC) E PONTOS DE VALIDAÇÃO (PV) NO PR.....	68
<b>FIGURA 12</b> – GRAVIDADE REAL NO PR.....	70
<b>FIGURA 13</b> – CORREÇÃO AR-LIVRE NO PR.....	71
<b>FIGURA 14</b> – GRAVIDADE REAL COM CORREÇÃO AR-LIVRE NO PR.....	71
<b>FIGURA 15</b> – GRAVIDADE NORMAL NO PR.....	72
<b>FIGURA 16</b> – ANOMALIAS AR-LIVRE NO PR.....	72
<b>FIGURA 17</b> – CORREÇÃO ATMOSFÉRICA NO PR.....	73
<b>FIGURA 18</b> – CORREÇÃO DE TERRENO NO PR (RAIO DE INTEGRAÇÃO DE 10 km).....	74
<b>FIGURA 19</b> – CORREÇÃO DE TERRENO NO PR (RAIO DE INTEGRAÇÃO DE 50 km).....	75
<b>FIGURA 20</b> – CORREÇÃO DE TERRENO NO PR (RAIO DE INTEGRAÇÃO DE 100 km).....	75
<b>FIGURA 21</b> – CORREÇÃO DE TERRENO NO PR (RAIO DE INTEGRAÇÃO DE 200 km).....	76
<b>FIGURA 22</b> – ANOMALIAS DE <i>BOUGUER</i> NO PR.....	77
<b>FIGURA 23</b> – ANOMALIAS DE <i>FAYE</i> NO PR.....	77
<b>FIGURA 24</b> – ANOMALIAS GRAVIMÉTRICAS DO EGM96 NO PR.....	78
<b>FIGURA 25</b> – ANOMALIAS RESIDUAIS NO PR.....	78
<b>FIGURA 26</b> – ALTURA GEOIDAL RESIDUAL NO PR.....	82
<b>FIGURA 27</b> – ALTURA GEOIDAL (CO-GEÓIDE) OBSERVADA NO PR.....	83
<b>FIGURA 28</b> – EFEITO INDIRETO NO PR.....	83
<b>FIGURA 29</b> – MODELO GEOIDAL (GEÓIDE) OBSERVADO NO PR.....	84
<b>FIGURA 30</b> – PRECISÃO DO MODELO GEOIDAL (GEÓIDE) OBSERVADO NO PR.....	84
<b>FIGURA 31</b> – MODELO GEOIDAL NO PR ( $N_{GPS/niv}$ ).....	92
<b>FIGURA 32</b> – COMPONENTE SISTEMÁTICA NO PR.....	93

<b>FIGURA 33</b> – MODELO GEOIDAL COMPATIBILIZADO NO PR.....	93
<b>FIGURA 34</b> – MODELO GEOIDAL NO PR (EGM96).....	99
<b>FIGURA 35</b> – MODELO GEOIDAL NO PR (MAPGEO2004).....	100
<b>FIGURA 36</b> – PROGRAMA DE INTERPOLAÇÃO GEOIDEPR2006(CMQ).....	104
<b>FIGURA 37</b> – DADOS DE SAÍDA DO PROGRAMA DE INTERPOLAÇÃO GEOIDEPR2006(CMQ).....	105

## LISTA DE TABELAS

<b>TABELA 1</b> – COEFICIENTES DO MODELO EGM96 (n=m=5).....	63
<b>TABELA 2</b> – AVALIAÇÃO ABSOLUTA DO GEOIDEPR2006 (ANTES DA COMPATIBILIZAÇÃO).....	86
<b>TABELA 3</b> – AVALIAÇÃO RELATIVA DO GEOIDEPR2006 (ANTES DA COMPATIBILIZAÇÃO).....	87
<b>TABELA 4</b> – AVALIAÇÃO ABSOLUTA DO GEOIDEPR2006 (APÓS COMPATIBILIZAÇÃO).....	94
<b>TABELA 5</b> – AVALIAÇÃO RELATIVA DO GEOIDEPR2006 (APÓS COMPATIBILIZAÇÃO).....	95
<b>TABELA 6</b> – APLICAÇÃO DO GEOIDEPR2006(CMQ) NO CP (UFPR) – MÉTODO ABSOLUTO E RELATIVO (RN REFERENCIAL A 1 km DE DISTÂNCIA).....	102
<b>TABELA 7</b> – APLICAÇÃO DO GEOIDEPR2006(CMQ) NO CP (UFPR) – MÉTODO RELATIVO (RN REFERENCIAL A 30 km DE DISTÂNCIA).....	102
<b>TABELA 8</b> – APLICAÇÃO DO GEOIDEPR2006(CMQ) NO CP (UFPR) – MÉTODO RELATIVO (RN REFERENCIAL A 65 km DE DISTÂNCIA).....	102
<b>TABELA 9</b> – APLICAÇÃO DO GEOIDEPR2006(CMQ) NO CP (UFPR) – MÉTODO RELATIVO (RN REFERENCIAL A 80 km DE DISTÂNCIA).....	103
<b>TABELA 10</b> – APLICAÇÃO DO GEOIDEPR2006(CMQ) NO CP (UFPR) – MÉTODO RELATIVO (RN REFERENCIAL A 110 km DE DISTÂNCIA).....	103

## LISTA DE SIGLAS

ACE	<i>Altimeter Corrected Elevations</i>
ASI	<i>Agenzia Spaziale Italiana</i>
BIH	<i>Bureau International de L'Heure</i>
CCRS	<i>Conventional Celestial Reference System</i>
CHAMP	<i>Challenging Mini-Satellite Payload</i>
CMQ	Colocação por Mínimos Quadrados
CNPQ	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
COPEL	Companhia Paranaense de Energia Elétrica
CP	Centro Politécnico da UFPR
CPGCG	Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da UFPR
CTP	<i>Conventional Terrestrial Pole</i>
CTRS	<i>Conventional Terrestrial Reference System</i>
CTS	<i>Conventional Terrestrial System</i>
DGH	Datum Astro-Geodésico Horizontal
DLR	<i>Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt</i>
DORIS	<i>Doppler Orbitography and Radio Positioning Integrated by Satellite</i>
DTM2002	<i>Digital Terrain Model 2002</i>
EG	Estação Gravimétrica
EGM96	<i>Earth Gravitational Model 1996</i>
FASTCOL	<i>Fast Collocation</i>
FFT	<i>Fast Fourier Transform</i>
GEOIDEPR2006	Modelo Geoidal Gravimétrico determinado para o Estado do PR
GLOBE	<i>Global Land One-kilometer Base Elevation</i>
GLONASS	<i>Global Navigation Satellite System</i>
GNSS	<i>Global Navigation Satellite System</i>
GOCE	<i>Gravity Field and Steady-State Ocean Circulation Explorer</i>

GPM98CR	<i>Geopotential Model 1998, versão CR</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
GRACE	<i>Gravity Recovery And Climate Experiment</i>
GRAVSOF	GRAVSOF <i>Package</i> : programas desenvolvidos em linguagem de programação FORTRAN pelo IGeS, fornecidos pela Escola do Geóide e destinados ao cálculo do geóide
GRS67	<i>Geodetic Reference System 1967</i>
GRS80	<i>Geodetic Reference System 1980</i>
GSFC	<i>Goddard Space Flight Center</i>
IAG	<i>International Association of Geodesy</i>
IAS	<i>Ice Altimetry System</i>
IBGE	Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICRF	<i>IERS Celestial Reference Frame</i>
ICRS	<i>IERS Celestial Reference System</i>
IERS	<i>International Earth Rotation Service</i>
IGeS	<i>International Geoid Service</i>
IGSN71	<i>International Gravity Standardization Net 1971</i>
ITRF	<i>International Terrestrial Reference Frame</i>
ITRS	<i>International Terrestrial Reference System</i>
LAGE	Laboratório de Geodésia Espacial da UFPR
LAGEO	Laboratório de Geodésia Física da UFPR
LAIG	Laboratório de Instrumentação Geodésica da UFPR
LPGA	Laboratório de Pesquisa em Geofísica Aplicada da UFPR
LSC	<i>Least-Squares Collocation</i>
MAPGEO2004	Modelo Geoidal do Brasil 2004 (IBGE)
MDT	Modelo Digital de Terreno
MGG	Modelo Geopotencial Global
MMQ	Método dos Mínimos Quadrados
$N_{\text{GPS/niv}}$	Altura Geoidal de Referências de Nível posicionadas com GPS
NASA	<i>National Aeronautic and Space Administration</i>

NGA	<i>National Geo-spatial Intelligence Agency</i>
NIMA	<i>National Imagery and Mapping Agency</i>
ON	Observatório Nacional
OSU	<i>Ohio State University</i>
PEC	Padrão de Exatidão Cartográfica
PETROBRÁS	Petróleo Brasileiro S.A.
ppm	parte por milhão
PR	Estado do Paraná
QUASARS	<i>Quasi Stellar Radio Source</i>
RBMC	Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo
RENEGA	Rede Nacional de Estações Gravimétricas Absolutas
RGB	Rede Geodésica Brasileira
RGFB	Rede Gravimétrica Fundamental Brasileira
RINEX	<i>Receiver Independent Data Exchange Format</i>
RN	Referência de Nível
RRNN	Referências de Nível
SAD69	<i>South American Datum 1969</i>
SGB	Sistema Geodésico Brasileiro
SGR	Sistema Geodésico de Referência
SIRGAS2000	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas 2000
SLR	<i>Satellite Laser Ranging</i>
SRTM	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
TDB	<i>Barycentric Dynamical Time</i>
UFPR	Universidade Federal do Paraná
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
USP	Universidade de São Paulo
VLBI	<i>Very Long Baseline Interferometry</i>
VT	Vértice de Triangulação
WGS84	<i>World Geodetic System 1984</i>

## RESUMO

O modelamento do geóide é um tópico fundamental nas pesquisas referentes às Ciências Geodésicas. Ultimamente, modelos geoidais têm sido desenvolvidos com a finalidade de transformar as altitudes geométricas provenientes dos receptores GPS em altitudes contendo significado físico, baseadas portanto no campo gravitacional terrestre, denominadas altitudes ortométricas. O objetivo deste trabalho é calcular um Geóide Gravimétrico para o Estado do Paraná, cuja área localiza-se entre as latitudes de  $-27^\circ$  e  $-22^\circ$  e longitudes entre  $-55^\circ$  e  $-47,5^\circ$ . A tradicional técnica de “Remoção-Cálculo-Restauração” (*Remove-Restore technique*), também conhecida como técnica de “Decomposição da Altura Geoidal”, é usada neste estudo para o cálculo do geóide, no qual utiliza-se o método de Colocação por Mínimos Quadrados. Os programas usados fazem parte do pacote GRAVSOF, fornecidos pela Escola do Geóide do IGeS (*International Geoid Service*). Para atingir este objetivo são utilizadas as seguintes informações: EGM96 como modelo geopotencial global (grau e ordem 360); 42.135 observações gravimétricas; modelo digital de terreno SRTM com resolução de 1' (um minuto de arco - aproximadamente 1850 m) e 245 Referências de Nível (RRNN) posicionadas com GPS geodésico. A resolução espacial final do Geóide Gravimétrico determinado para o Estado do Paraná é de 5' (cinco minutos de arco - aproximadamente 10 km), apresentando um erro absoluto de 30 cm (com 68% de confiabilidade) ou 60 cm (com 95% de confiabilidade) e um erro relativo médio de aproximadamente 2 ppm, isto é, 2 mm/km. Além disso, um programa de interpolação de alturas geoidais foi desenvolvido, denominado GEOIDEPR2006(CMQ), no qual coordenadas geodésicas referidas ao Sistema Geodésico Brasileiro (SIRGAS2000) são utilizadas como dados de entrada.

## ABSTRACT

Geoid modelling is a fundamental topic of current geodetic research. Recently, geoidal models have been developed in order to transform ellipsoidal heights provided by GPS measurements to physically meaningful heights based on the Earth's gravity field, which are known as orthometric heights. The objective of this work is to calculate a gravimetric geoid model for Parana State, which is located between latitudes  $-27^{\circ}$  to  $-22^{\circ}$  and longitudes  $-55^{\circ}$  to  $-47,5^{\circ}$ . The traditional Remove-Restore technique for geoid computation is used in this study, in which the method of Least-Squares Collocation is used. The softwares used for this purpose belong to the GRAVSOFT package, supplied for the Geoid School of IGeS (*International Geoid Service*). To achieve this goal, the following information are used: EGM96 to the global geopotential model (degree and order 360); 42.135 gravimetric observations; digital terrain model SRTM with resolution of 1' (one arc-minute – around 1850 m) and 245 benchmarks (RRNN) observed with geodetic GPS receiver. The final resolution of the Gravimetric Geoid computed to Parana State is 5' (five arc-minutes – around 10 km), having an absolute error of 30 cm (with 68% of confidence) or 60 cm (with 95 % of confidence) and a relative error of 2 ppm, that is, 2 mm/km. Besides, an interpolation program of geoidal heights was developed, which was called GEOIDEPR2006(CMQ), and geodetic coordinates referred to Brazilian Geodetic System (*Sistema Geodésico Brasileiro* - SIRGAS2000) have been used as input data.