



Universidade do Estado do Rio de Janeiro
Centro de Tecnologia e Ciências
Faculdade de Engenharia

Simone Greicy Cruz Moura

**APLICAÇÃO DAS FÓRMULAS DE VINCENTY NOS CÁLCULOS DAS CORREÇÕES
DOS EFEITOS DO RELEVO NA GRAVIDADE E NA ALTURA GEOIDAL**

Rio de Janeiro

2010

Simone Greicy Cruz Moura

**APLICAÇÃO DAS FÓRMULAS DE VINCENTY NOS CÁLCULOS DAS CORREÇÕES
DOS EFEITOS DO RELEVO NA GRAVIDADE E NA ALTURA GEOIDAL**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-graduação em Engenharia da Computação da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Geomática.

Orientador: Prof. Dr. José Carlos Penna de Vasconcellos

Co-orientador: Prof. Dr. Íris Pereira Escobar

Rio de Janeiro

2010

Simone Greicy Cruz Moura

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ/REDE SIRIUS/CTC/B

S237 Moura, Simone Greicy Cruz.

Aplicação das Fórmulas de Vincenty nos Cálculos das Correções dos Efeitos do Relevo na Gravidade e na Altura Geoidal./Simone Greicy Cruz Moura- 2010.
67f.: il.

Orientador: Prof. Dr. José Carlos Penna de Vasconcellos.
Co-orientador: Prof Dr. Íris Pereira Escobar

Dissertação (mestrado) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia.
Bibliografia: 66-67.

1. Correções Topográficas. 2. Efeito Indireto.
3. Geodésica. I. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. II. Vasconcellos, José Carlos Penna de. III. Título.

CDU 528

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta dissertação.

Assinatura

Data

Simone Greicy Cruz Moura

**APLICAÇÃO DAS FÓRMULAS DE VINCENTY NOS CÁLCULOS DAS CORREÇÕES
DOS EFEITOS DO RELEVO NA GRAVIDADE E NA ALTURA GEOIDAL**

Dissertação apresentada, como requisito para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Computação, da Faculdade de Engenharia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Geomática.

Aprovado em ____ de maio de 2010 _____

Banca Examinadora: ____^a Defesa de Dissertação para Concessão do Grau de Mestre em
Engenharia de Computação, Área de Concentração Geomática.

Prof. Dr. José Carlos Penna de Vasconcellos (Orientador)
Faculdade de Engenharia da UERJ

Prof. Dr. Íris Pereira Escobar (Co-orientador)
Faculdade de Engenharia da UERJ

Prof. Dr. Amauri Ribeiro Destri
Faculdade de Engenharia da UERJ

Prof. Dr. Cosme Ferreira da Ponte Neto
Observatório Nacional

Rio de Janeiro

2010

DEDICATÓRIA

A Deus,
“Tudo o que fizerem, seja em palavra ou em ação, façam-no em nome do Senhor Jesus, dando por meio dele graças a Deus Pai.”
Colossenses 3:17

AGRADECIMENTOS

A Jesus Cristo, o mestre dos mestres, sem quem nada do que foi feito se faria.

Aos meus pais e irmãos, pelo esforço e paciência.

Ao querido e amado Eduardo, pelo incentivo, amor e ajuda.

Aos orientadores Vasconcellos e Íris, por todo estímulo, paciência, parceria e confiança ao longo do período de trabalho.

Aos professores, pelas informações e conhecimentos que nos deram.

Aos amigos: Rodrigo Kuriyama, Evanilsa e Alexandre Uchôa.

Aos amigos da Diretoria de Hidrografia e Navegação em especial as pessoas da Divisão de Cartografia e da Superintendência de Ensino pelo apoio e desejo que pudesse me aperfeiçoar e aprimorar conhecimentos.

Aos membros da banca examinadora cujas valorosas presenças muito me honram.

Aos meus familiares e irmãos em Cristo, pelo apoio e oração.

Aos funcionários da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, pelo apoio ao longo do curso.

Por fim, aos meus avós, *in memoriam*, pelo exemplo cristão e amor incomensurável que nem a distância e a saudade me farão um dia esquecer.

RESUMO

MOURA, Simone Greicy Cruz. *Aplicação das Fórmulas de Vincenty nos Cálculos das Correções do Efeito do Relevo na Gravidade e na Altura Geoidal*. 2010. 65 f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia de Computação) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

O presente trabalho apresenta a aplicação das fórmulas de Vincenty nos cálculos das correções do terreno e do efeito indireto, que desempenham papel relevante na construção de cartas geoidais. Implementa-se um programa de processamento que realiza a integração numérica sobre o modelo digital do terreno, discretizado em células triangulares de Delaunay. O sistema foi desenvolvido com a linguagem de programação FORTRAN, para a execução de intensos algoritmos numéricos usando compiladores livres e robustos. Para o cálculo do efeito indireto, considera-se a redução gravimétrica efetuada com base no segundo método de condensação de Helmert, face ao pequeno valor de efeito indireto no cálculo do geóide, em função da mudança que este produz no potencial da gravidade devido ao deslocamento da massa topográfica. Utiliza-se, o sistema geodésico SIRGAS 2000 como sistema de referência para o cômputo das correções. Simplificando o exame dos resultados alcançados, distingue-se o processamento e desenvolvimento do trabalho em etapas como a escolha de ferramentas geodésicas para máxima precisão dos resultados, elaboração de subrotinas e comparação de resultados com cálculos anteriores. Os resultados encontrados foram de geração sadia e satisfatória e podem ser perfeitamente empregados no cálculo do geóide em qualquer área do globo.

Palavras-chave: Correção do terreno, Efeito Indireto, Geóide.

ABSTRACT

An application of Vincenty's formulas has been presented for computing terrain corrections and indirect effect, that have important role in geoidal maps generation. A software is implemented, that performs numerical integration over a digital terrain model discretized in Delaunay triangular cells. The system had been implemented in FORTRAN Programming Language, as a natural choice for implementation of intensive numerical algorithms, using free and robust compilers. To calculate the indirect effect is used the gravimetric reductions, based on Helmert Second Condensation Method, because of small indirect effect values in calculation of the geoid, depending on the gravity potential change due to displacement of topographical masses. The Geodetic System SIRGAS 2000 is adopted as the reference system to compute the corrections. Simplifying the analysis of the obtained results, the processing and development of the study in stages like choice of geodetic tools for maximum accuracy of results, preparation of subroutines and compare results with previous calculations. The results observed were sound satisfactory and support conveniently geoid generation in any part of globe.

Keywords: Indirect effect, Terrain Correction, Geoid.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Motivação e apresentação do problema	1
1.2. Objetivo	2
1.3. Justificativas	2
1.4. Metodologia	3
1.5. Estruturação dos capítulos	3
2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	5
2.1. Correção do Terreno	5
2.1.1. Terra Normal	7
2.1.2. Aceleração da Gravidade Normal	8
2.1.3. Reduções Gravimétricas	10
2.1.4. Anomalia de Ar Livre	10
2.1.5. Anomalia de Bouguer	12
2.1.6. Anomalia de Helmert	13
2.2. O Efeito Indireto	14
2.2.1. Determinação Gravimétrica do Geóide	15
2.2.2. Dificuldades na aplicação da fórmula de Stokes	16
2.3. Fórmulas de Vincenty	17
2.3.1. Projeção Plana Equidistante Azimutal	21
2.3.2. Distribuição Espacial - Triangulações	21
3. METODOLOGIA	23
3.1. Parcela Referente à Correção do Terreno	23
3.2. Correção do Efeito Indireto	25
3.3. Dados Utilizados	25
4. RESULTADOS	27
4.1. Introdução	27
5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES	40
ANEXO	42
LISTA DE REFERÊNCIAS	66

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Correção do Terreno	5
Figura 2.2 – Representação da atração da massa de um cilindro sobre um ponto P, situado no seu eixo	6
Figura 2.3 – Gabarito para Correção do Terreno com a técnica do ábaco	6
Figura 2.4 – Geometria de um prisma triangular de topo inclinado	7
Figura 2.5 – Redução de Ar Livre	11
Figura 2.6 – Coordenadas esféricas e coordenadas polares	16
Figura 2.7 – Modelo Digital do Terreno do município de Volta Redonda	22
Figura 3.1 – Prisma vertical triangular com topo inclinado e todos os seus vértices no continente	24
Figura 3.2 – Cálculo da distância da estação gravimétrica até o baricentro de cada triângulo do Modelo Digital do Terreno	24
Figura 4.1 – Dados de entrada com os pontos a calcular as correções topográficas e efeito indireto	27
Figura 4.2 – Relatório com o cálculo das correções do terreno na versão antiga do programa TRITER	28
Figura 4.3 – Relatório com o cálculo das correções do terreno e efeito indireto no programa desenvolvido para este trabalho	29
Figura 4.4 – Mapa da topografia da área teste	30
Figura 4.5 – Representação do relevo da área teste, no Estado do Rio de Janeiro	31
Figura 4.6 – Mapa de dados para cálculo das correções do terreno e efeito indireto da área teste	32
Figura 4.7 – Mapa das correções do terreno da área teste	33
Figura 4.8 – Mapa do efeito indireto da área teste	34
Figura 4.9 – Mapa de Correções do Terreno menos Correções do Terreno calculada com o programa TRITER	35
Figura 4.10 – Parte do histograma dos resultados de Correções do Terreno da área teste	37
Figura 4.11 – Parte do histograma dos resultados de Correções do Terreno e Efeito Indireto da área teste	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Sistema Geodésico de Referência 1967	8
Tabela 2.2 – Sistema Geodésico Mundial 1984 – Gravidade Normal	9
Tabela 2.3 – Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS 2000)	9