

LUIZ FERNANDO MACEDO MORESCKI JUNIOR

**MODELAGEM DA FORÇA DE RE-EMISSÃO TÉRMICA SOBRE O
SATÉLITE GPS DURANTE SUA PASSAGEM PELA SOMBRA DA TERRA**

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

Orientadores:

Prof. Dr. Luiz Danilo Damasceno Ferreira
Prof. Dr. Germano Bruno Afonso

**CURITIBA
2006**

Há quase dez anos uma pessoa querida se foi.

Há quase um ano uma pessoa querida chegou.

Este trabalho é dedicado à minha família, especialmente
à Luciana, minha esposa
à Manuela, minha filha
e a Luiz Fernando Macedo Morescki (*in memoriam*)

AGRADECIMENTOS

Sinceros agradecimentos a todas as pessoas que contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho, em especial as aqui relacionadas.

Ao Prof. Dr. Luiz Danilo Damasceno Ferreira, do Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, a orientação e a oportunidade de inserção no meio científico.

Ao Prof. Dr. Germano Bruno Afonso, do Departamento de Física, a co-orientação nas atividades.

Aos amigos do Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas Ângela Cararo, Alex Babinski, Glauber Acunha e Jorge Gomes, a disponibilidade em ajudar nas mais diversas situações.

À minha esposa Luciana Emilia Merlin, a paciência em momentos delicados.

Por último, mas não menos importante, ao amigo Pe. Ciríaco Bandinu, a confiança inesgotável depositada em minha pessoa.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	v
LISTA DE TABELAS	vii
RESUMO	viii
ABSTRACT	ix
1.0 INTRODUÇÃO	1
2.0 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1 ELEMENTOS ORBITAIS.....	5
2.2 O MOVIMENTO PERTURBADO DO SATÉLITE.....	6
2.3 A RE-EMISSÃO TÉRMICA.....	9
2.4 MODELOS TÉRMICOS.....	12
2.4.1 Modelagem da Força de Re-emissão Térmica (Modelo I).....	12
2.4.2 Distribuição de Temperaturas na Superfície Segundo o Modelo Esférico.....	12
2.4.3 Força Térmica Resultante (Modelo Esférico).....	17
2.4.4 Distribuição de Temperaturas Segundo o Modelo Cilíndrico.....	18
2.4.5 Força Térmica Resultante (Modelo Cilíndrico).....	20
2.4.6 Modelo Plano.....	22
2.4.7 A Re-emissão Térmica Durante a Passagem do Satélite pela Sombra da Terra (Modelo II).....	23
3.0 A MODELAGEM DURANTE A SOMBRA	25
3.1 ENTRADA E SAÍDA DA SOMBRA.....	25
3.2 A FORÇA DE RE-EMISSÃO TÉRMICA NA SOMBRA DA TERRA.....	28
3.2.1 As Constantes C_C , C_P , f_{0C} e f_{0P}	29
3.3 A ACELERAÇÃO PERTURBADORA DURANTE A SOMBRA.....	33
3.3.1 O Tempo de Relaxação.....	33
4.0 APLICAÇÃO DA MODELAGEM	35
4.1 DADOS CONSIDERADOS E RESULTADOS.....	35
4.2 O MÓDULO DA ACELERAÇÃO DURANTE A SOMBRA.....	38
4.3 A ACELERAÇÃO EM COMPONENTES.....	40
4.3.1 As Componentes e o Módulo.....	42
4.4 ELEMENTOS ORBITAIS PERTURBADOS E NÃO PERTURBADOS.....	44
5.0 ANÁLISE DOS RESULTADOS	51
6.0 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	53
7.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55
APÊNDICES	57

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1 -	ELEMENTOS ORBITAIS; $X'Y'Z'$ – SISTEMA INERCIAL.....	5
FIGURA 2.2 -	PRINCIPAIS ACELERAÇÕES PERTURBADORAS ATUANTES EM UM SATÉLITE.....	7
FIGURA 2.3 -	FORÇA DE RECUO AGINDO SOBRE O SATÉLITE DEVIDO À RE-EMIÇÃO DE FÓTONS.....	10
FIGURA 2.4 -	ÂNGULO ZENITAL DO SOL θ'	11
FIGURA 2.5 -	COMPONENTES NOITE-DIA E INVERNO-VERÃO.....	11
FIGURA 2.6 -	COORDENADAS DO PONTO 'P' NA SUPERFÍCIE DO SATÉLITE.....	13
FIGURA 2.7 -	REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA.....	19
FIGURA 2.8 -	REPRESENTAÇÃO CILÍNDRICA – CASO GPS.....	19
FIGURA 2.9 -	ELEMENTO DE ÁREA EM COORDENADAS CILÍNDRICAS – CASO GPS.....	21
FIGURA 3.1 -	PARÂMETROS, VETORES E GEOMETRIA DA ÓRBITA DO SATÉLITE GPS.....	25
FIGURA 3.2 -	LONGITUDES DE ENTRADA E SAÍDA DA SOMBRA.....	27
FIGURA 4.1 -	SATÉLITE GPS BLOCO IIA.....	36
FIGURA 4.2 -	MÓDULO DA ACELERAÇÃO SOBRE O CORPO-GPS.....	39
FIGURA 4.3 -	MÓDULO DA ACELERAÇÃO SOBRE OS PAINÉIS-GPS.....	40
FIGURA 4.4 -	COMPONENTES DA ACELERAÇÃO – CORPO-GPS.....	41
FIGURA 4.5 -	COMPONENTES DA ACELERAÇÃO – PAINÉIS-GPS.....	42
FIGURA 4.6 -	COMPONENTES E MÓDULO DA ACELERAÇÃO – CORPO-GPS.....	43
FIGURA 4.7 -	COMPONENTES E MÓDULO DA ACELERAÇÃO – PAINÉIS-GPS.....	43
FIGURA 4.8 -	DIFERENÇA SEMI-EIXO MAIOR – RESFRIAMENTO.....	45
FIGURA 4.9 -	DIFERENÇA SEMI-EIXO MAIOR – REAQUECIMENTO.....	45
FIGURA 4.10 -	DIFERENÇA EXCENTRICIDADE – RESFRIAMENTO.....	46
FIGURA 4.11 -	DIFERENÇA EXCENTRICIDADE – REAQUECIMENTO.....	46
FIGURA 4.12 -	DIFERENÇA INCLINAÇÃO – RESFRIAMENTO.....	47
FIGURA 4.13 -	DIFERENÇA INCLINAÇÃO – REAQUECIMENTO	47

FIGURA 4.14 - DIFERENÇA ASCENÇÃO RETA DO NODO ASCENDENTE – RESFRIAMENTO	48
FIGURA 4.15 - DIFERENÇA ASCENÇÃO RETA DO NODO ASCENDENTE – REAQUECIMENTO.....	48
FIGURA 4.16 - DIFERENÇA ARGUMENTO DO PERIGEU – RESFRIAMENTO	49
FIGURA 4.17 - DIFERENÇA ARGUMENTO DO PERIGEU – REAQUECIMENTO.....	49
FIGURA 4.18 - DIFERENÇA ANOMALIA MÉDIA – RESFRIAMENTO.....	50
FIGURA 4.19 - DIFERENÇA ANOMALIA MÉDIA – REAQUECIMENTO.....	50

LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1 -	FORÇAS PERTURBADORAS PRINCIPAIS.....	7
TABELA 2.2 -	EFEITOS DE PERTURBAÇÕES NA ÓRBITA DE UM SATÉLITE GPS.....	8
TABELA 2.3 -	EFEITOS DE PERTURBAÇÕES SOBRE SATÉLITES GPS APÓS 4 HORAS.....	9
TABELA 4.1 -	CONSTANTES INERENTES AOS SATÉLITES GPS (BLOCOS II-IIA).....	35
TABELA 4.2 -	ELEMENTOS ORBITAIS DOS SATÉLITES.....	37
TABELA 4.3 -	TEMPO DE PERMANÊNCIA NA SOMBRA.....	37

RESUMO

Levando em conta a força de re-emissão térmica, os períodos em que o satélite encontra-se na sombra da Terra (eclipse) são tão importantes quanto aqueles em que ele se encontra iluminado pela luz do Sol. Neste trabalho modela-se e analisa-se a força perturbadora devido à re-emissão térmica durante a passagem do satélite GPS pela sombra da Terra, considerando o Sol como fonte principal de calor. O modelo proposto trata e analisa os painéis e o corpo-GPS separadamente. Compara-se o tempo que o satélite permanece na sombra com o tempo de relaxação do gradiente de temperatura para o corpo do satélite e para os painéis. Analisa-se também o comportamento dos elementos orbitais do satélite durante a entrada e a saída da sombra. Os resultados indicam que o semi-eixo maior da órbita do satélite apresenta os desvios mais significativos, os valores são comparáveis a 10^{-6} m durante o resfriamento (entrada na sombra) e a 10^{-3} m durante o aquecimento (saída da sombra).

ABSTRACT

By taking into account the thermal re-emission force, the time intervals where the satellite is under the shadow of the Earth (eclipse) are so important as those time intervals where the satellite is hit by the sun light. In this work we model and analyze the perturbation force due to thermal re-emission during the GPS satellite shadow Earth transition, taking into account the Sun as the main heat source. The model that we propose treats and analyze the panels and the body of the GPS satellite separately. We compare the time that satellite lasts in the shadow to the body and panels relaxation time of the temperature gradient. We also analyze the satellite orbital elements behavior during the entrance in the shadow and the exit from the shadow. The outcomes indicate that the orbit's semi-major axis presents the more significant deviations, the values are comparable to 10^{-6} m during the cooling process (entrance in the shadow) and to 10^{-3} m during the heating process (exit from the shadow).