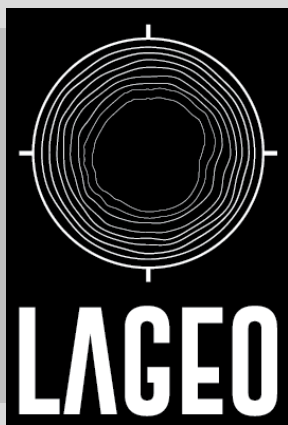


UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL



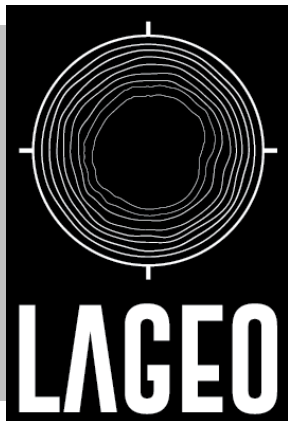
# SAPGU 2019

IX SEMINÁRIO ANUAL DE PESQUISAS EM GEODESIA DA UFRGS – 2019  
Organização LAGEO – LABORATÓRIO DE PESQUISAS EM GEODESIA

## ANAIS

IGEO  
2019

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS



# SAPGU 2019

IX Seminário Anual de Pesquisas em Geodésia da UFRGS – 2019  
Organização LAGEO – Laboratório de Pesquisas em Geodésia  
Porto Alegre, RS 13 de dezembro de 2019

## ANAIS

Coordenadores  
Gilberto Gagg  
Reginaldo Macedonio da Silva

IGEO - INSTITUTO DE GEOCIENCIAS Porto  
Alegre, 2019

# UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

**Reitor:** Rui Vicente Oppermann

**Vice-Reitora:** Jane Fraga Tutikian

## INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**Diretor:** André Sampaio Mexias

**Vice-Diretor:** Nelson Luiz Sambaqui Gruber

S471 Seminário Anual de Pesquisas em Geodésia da UFRGS (9. : 2019. : Porto Alegre, RS). [Anais] ... / coordenadores: Gilberto Gagg; Reginaldo Macedonio da Silva. – Porto Alegre, RS: IGEO/UFRGS, 2019.

ISBN: 978-85-61424-77-0

1. Geodésia. 2. Cartografia. 3. Território. I. Gagg, Gilberto. II. Silva, Reginaldo Macedonio da. III. Laboratório de Pesquisas em Geodésia – LAGEO. IV. Título.

CDU 528(063)

---

Catálogo na Publicação

Biblioteca Instituto de Geociências - UFRGS

Renata Cristina Grun

CRB 10/1113

# Efeito da curvatura terrestre na Refletometria GPS/GNSS

V. H. Almeida Junior<sup>1</sup>, M. T. Matsuoka<sup>2</sup>, F. Geremia Nievinski<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Bolsista Capes, Mestrando no Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul; Laboratório Ricardo Norberto Ayup Zouain, Departamento de Geodesia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (vitorhugo.jr@hotmail.com)

<sup>2</sup> Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, UFRGS; Universidade Federal de Uberlândia, Campus de Monte Carmelo (tomiomatsuoka@gmail.com)

<sup>3</sup> Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul; Laboratório Ricardo Norberto Ayup Zouain, Departamento de Geodesia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (felipe.nievinski@ufrgs.br)

O nível médio dos mares (NMM) vem aumentando gradativamente em detrimento de mudanças climáticas de nível mundial. A média global do nível médio dos mares aponta a subida deste, mas, as variabilidades dos mares em torno do globo terrestre apresentam-se tanto com subida como queda de NMM, de magnitudes diferentes. O conhecimento sobre o estado do NMM é muito importante para zonas costeiras, visto que são áreas que sofrem maior impacto com as variações altimétricas dos mares, sendo necessária a realização de medições e monitoramento do NMM. Assim, a refletometria GNSS (GNSS-R) desponta como uma solução alternativa aos métodos convencionais, sendo uma técnica de sensoriamento remoto que usa ondas de rádio contínuas provindos de satélites GNSS que refletem na superfície terrestre. A partir da comparação da onda refletida em relação à onda que chega diretamente ao receptor GNSS, é possível determinar a altimetria da superfície refletora. Os receptores usados em GNSS-R são dispostos nas costas litorâneas e, em muitos casos, sobre estruturas altas como faróis e falésias. Esta configuração de altura de receptor, em função do ângulo de visada do satélite, aumenta a distância entre o receptor e o ponto de reflexão, permitindo obter informação do NMM a maiores distâncias, mas pode agregar erros advindos da curvatura terrestre na determinação destes pontos de reflexão. Essa determinação é feita sobre um modelo de superfície usado para se obter o atraso de propagação da onda refletida em relação a onda direta, a partir da qual será obtida a altimetria. Em geral, o modelo de superfície adotado é o plano tangente ao elipsoide diretamente abaixo do receptor GNSS-R. Por outro lado, uma opção de modelo de superfície também utilizado GNSS-R é o esférico osculante ao elipsoide, sendo um modelo mais complexo que o modelo plano, porém mais simples que a utilização do elipsoide. O emprego do modelo esférico osculante oferece a determinação da posição do ponto de reflexão com maior acurácia por modelar a curvatura terrestre; mas este modelo é menos adotado em estações terrestres por sua complexidade matemática e computacional superior ao modelo plano. Assim, este estudo averiguou os limites para os quais o efeito da curvatura terrestre em GNSS-R é significativo para observações do NMM, em contraposição ao modelo plano. Tendo em vista que o distanciamento do ponto de reflexão em relação ao receptor depende da configuração de altura de receptor e ângulo de elevação do satélite, os modelos foram comparados a partir de simulações em Matlab com base em variações nessas duas variáveis, sendo que se simulou a altura do receptor com variação de 10 m a 1000 m e o ângulo de elevação variou-se de 10° a 90° (zênite). A partir dessa comparação, foram obtidas diferenças para a posição do ponto de reflexão, nos seus eixos horizontal (x) e vertical (y), e para o atraso de propagação. Com base no comportamento do erro nestas variáveis, modelou-se uma correção para a curvatura terrestre aplicando-se a derivada das diferenças do atraso de propagação entre os modelos em função do seno dos ângulos de elevação. No que tange ao posicionamento do ponto de reflexão, os modelos esférico e plano mostram diferenças na determinação do ponto de reflexão quando este se distancia mais aproximadamente 560 m do receptor. O aumento da distância do ponto de reflexão é dado em função do aumento da altura do receptor e redução do ângulo de elevação e, dessa forma, os piores cenários das diferenças são dados aos 1000 m de altura e 10° de elevação. Nessa configuração, o eixo horizontal (x) apresentou diferenças entre os modelos de -46 m. O sinal negativo dessa diferença aponta que a curvatura terrestre aproxima o ponto de reflexão, pois o valor encontrado para esta componente é menor no modelo esférico do que no plano. Já no eixo vertical (y) encontrou-se a diferença de -2,5 m, apontando que o ponto de reflexão é rebaixado 2,5 m no modelo esférico em detrimento da curvatura terrestre. Este erro no posicionamento do ponto de reflexão afeta positivamente o atraso de propagação, pois o mesmo é aumentado. Já aos 1000 m e 10° de elevação, o atraso de propagação é aumentado em quase 1 m e, a partir de 100 m e 10° de elevação, este atraso já possui diferenças de 1 cm entre os modelos. Quando aplicada a equação de correção da curvatura nessas diferenças do atraso de propagação, verificou-se que os erros provenientes da curvatura terrestre são maiores que 1 cm a partir de 50 m e 10° de elevação e aos 200 m a correção da curvatura é maior 1cm independente do ângulo de elevação. Além disso, a correção ultrapassa 1 m aos 600 m de altura e 10° de elevação e aos 1000 m e 10° de elevação, esta correção é de 2,5 m. Portanto, nota-se que o efeito é crescente na direção dos menores ângulos de elevação e maiores alturas. Demonstrou-se também que o efeito da curvatura terrestre, para um limiar de 1cm, não é desprezível já para receptores a aproximadamente 50 m de altura e que, aos 600 m de altura, a correção altimétrica em medições GNSS-R pode chegar a 2,5 m aos 1000 m de altura.

**Palavras-chave:** Sensoriamento Remoto, GNSS-R, Nível médio do mar, Modelo de superfície.