

## Introdução

A determinação do campo da gravidade tem se mostrado ser um trabalho impressionante. Atualmente, os dados coletados a partir de uma dezena de satélites são utilizados nesta tarefa de determinar o campo de gravidade da terra, que contém importantes informações para o conhecimento da forma estrutura e dos processos dinâmicos que ocorrem no interior da terra. Nos últimos anos, com a evolução da informática, lançamento de satélites artificiais e desenvolvimento de novos algoritmos vem possibilitando o processamento destas informações com muita agilidade, alterando assim a coleta e a integração dos dados geodésicos, dando suporte para ampliar a resolução e escala de representação do campo da gravidade. O conhecimento desse potencial gravitacional em escala global com alta resolução, é base pra várias pesquisas em diversas áreas do conhecimento como geodésia, oceanografia e geofísica.

## Objetivo

Este trabalho tem como objetivo principal apresentar um estudo cronológico dos modelos geopotenciais já desenvolvidos desde 1960 com o intuito de entender os métodos utilizados, os erros e as melhoras com o passar do tempo. Esse estudo cronológico é uma etapa inicial de um trabalho que posteriormente pretende gerar um geóide gravimétrico de alta resolução para o Estado do Rio Grande do Sul; estudar posicionamento de referências de nível para avaliação e aprimoramento de modelos digitais do geóide obtidos por dados diferentes em tipo e precisão; estudar o geopotencial e suas implicações na definição do sistema altimétrico através dos estudos das diferentes altitudes científicas.

## Metodologia de Desenvolvimentos dos Modelos

### Representações em Harmônicos Esféricos do Campo da Gravidade

Sobre a representação do campo da gravidade em harmônicos esférico cabe um embasamento teórico. As variações do campo geopotencial em relação ao campo esferopotencial, podem se descritas da seguinte forma: o potencial anômalo (T) é representado pela diferença do geopotencial  $W(r, \theta, \lambda) - U(r, \theta, \lambda)$ . O primeiro termo da equação representa o potencial gravitacional da terra real já o segundo termo da equação representa o potencial gravitacional da terra normal. Nesse estudo as comparações dos modelos baseia-se na altura geoidal (N) que em harmônicos esféricos é representada por

$$N = \frac{GM}{\gamma r} \sum_{n=2}^{n_{\max}} \left(\frac{a}{r}\right)^n \sum_{m=0}^n [\bar{C}_{nm} \cos(m\lambda) + \bar{S}_{nm} \sin(m\lambda)] P_{nm}(\sin\theta)$$

### Determinação e Representação dos Coeficientes do Modelo Geopotencial

O cálculo do potencial gravitacional em harmônicos esféricos envolve prévia determinação dos coeficientes da série. Destes, somente os de baixo grau ( $n, m \leq 180$ ), são determinados a partir de dados resultantes de satélites, isto porque fornecem apenas informações do efeito gravitacional associado às feições de grandes dimensões. Há várias técnicas matemáticas pelas quais os coeficientes podem ser calculados, mas o princípio básico consiste em montar um sistema de equações de observação, nas quais os coeficientes aparecem como incógnitas, e resolver o sistema. Os coeficientes de alto grau são determinados a partir dos de baixo grau, combinados com dados topográficos, gravimétricos, terrestres e oceânicos na forma de modelos digitais.

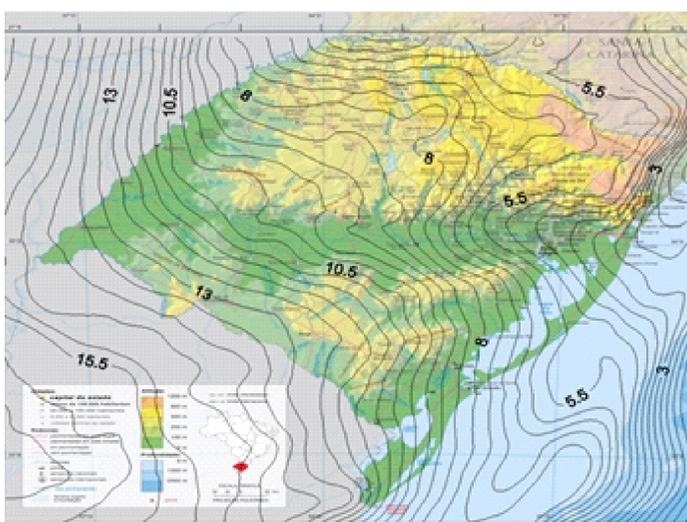


FIG. 1 - Anomalias gravimétricas e altitudes geoidais para o Estado do Rio Grande do Sul

### Avaliação dos Coeficientes do modelo Geopotenciais

Os modelos geopotenciais podem ser avaliados através de qualquer componente do campo da gravidade anômalo que eles representam, desde que, esta seja adequada para a resolução escolhida. As avaliações do modelo podem ser realizadas através da análise das componentes do campo, isto é, anomalias geométricas, alturas geoidais, etc. Neste trabalho utilizaremos a altura geoidal para fins de avaliação e comparação entre determinado modelo e o EGM2008.

$$N_r = N_{\text{EGM2008}} - N$$

### Metodologia da Pesquisa

Os dados de cada modelo foram obtidos gratuitamente na página do ICGEM. Para todos os modelos analisados, foram utilizados parâmetros padrões, sendo estes: resolução de 5', incluem grau zero, o elipsoide de referência foi o GRS80 por este ser compatível com o elipsoide do datum SIRGAS2000 (datum oficial brasileiro) e não contém componentes de maré. Com estes dados, foram extraídos os grids de cada modelo e com o uso do software surfer 8.0 foram feitas plotagens. Foi feita comparações diretas entre modelos de mesma década e do modelo em questão com o EGM2008. Foram gerados arquivos seriais de cada década destacando o melhor modelo para cada época e iniciado a geração de gráficos de dispersão comparando modelos e evoluções temporais na qualidade.

## Modelos do Geopotencial

### 1966 à 1978

No período de 1966 até 1978, foram desenvolvidos modelos com baixo grau de truncamento. Utilizando apenas dados de gravidade e de localização por satélite, pouco representavam a realidade do geóide. Com a comparação direta ao melhor modelo desenvolvido até o momento verificou-se que o GEM10B (figura 2) foi o que apresentou maior qualidade.

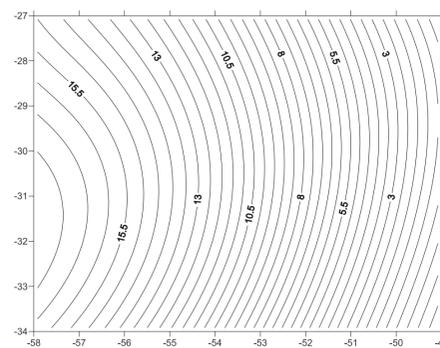


FIG. 2 - Representação do geopotencial do melhor modelo da época

### 1981 à 1990

Com entrada da utilização de dados altimétricos no desenvolvimentos dos modelos de geopotencial, houve uma melhora na qualidade. Porém o único modelo a utilizar dados de uma missão espacial foi o que obteve pior resultado se parecendo muito com os modelos da década sessenta. Com essa significativa melhora de qualidade, se destacou a série OSU, apresentando o modelo OSU89B (figura 3).

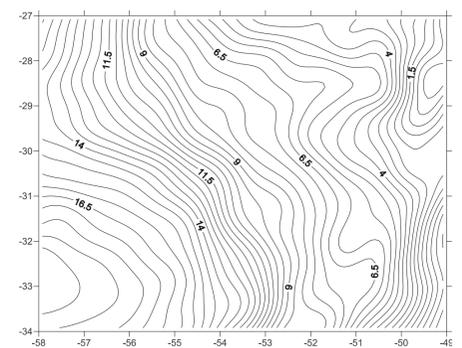


FIG. 3 - Representação do geopotencial do melhor modelo da época

### 1991 à 2000

Nesse período, foi bastante comum a utilização de dados de modelos anteriores para desenvolvimento de novos. Nesta período houve uma constante alternância entre a qualidade de modelos desenvolvidos, tendo alguns dos mais recentes não apresentando resultados tão significativos que anteriores.

Porém, em relação ao grau de truncamento, não houve um aumento em relação ao período anterior, tendo como máximo 360. Houve o surgimento da série EGM, com seu primeiro modelo gerado em 1996, o EGM96 (figura 4) obteve o melhor resultado do período dividindo o posto com o GFZ95A (figura 5).

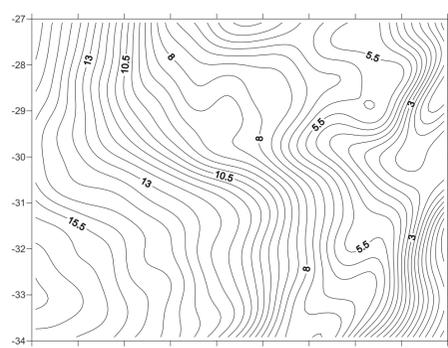


FIG. 4 - Representação do geopotencial do melhor modelo da época

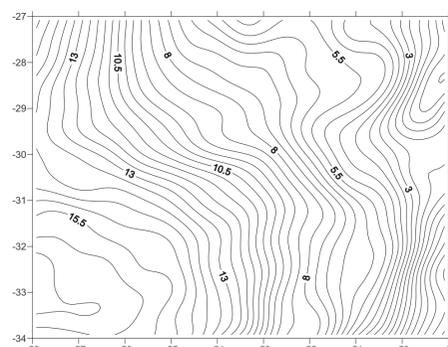


FIG. 5 - Representação do geopotencial do melhor modelo da época

### 2002 à 2014

A partir de 2002, todos os modelos desenvolvidos foram gerados principalmente com dados advindos das missões espaciais. Também, algumas séries como GGM e EIGEN, nos dois primeiros anos deste período, utilizaram dados de modelos já desenvolvidos anteriormente.

Através de uma análise dos graus de truncamento dos modelos desse período, verifica-se uma grande heterogeneidade nos valores apresentados mesmo tendo sido utilizados dados semelhantes. Essas diferenças advêm dos diferentes métodos utilizados para o desenvolvimento do modelo, o que é importante, pois gera discussão sobre o aferimento dos dados utilizados.

Em respeito à qualidade dos modelos deste período, a série EIGEN foi a que mais se aproximou do EGM e também que apresentou resultados inovadores, em contraponto os outros pouco apresentaram melhora significativa.

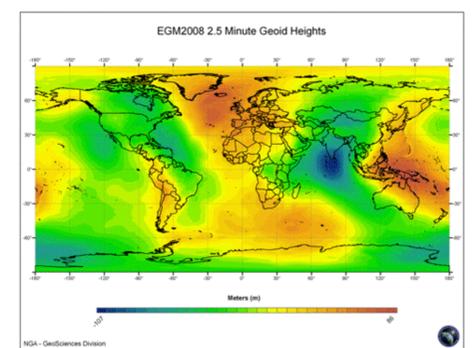
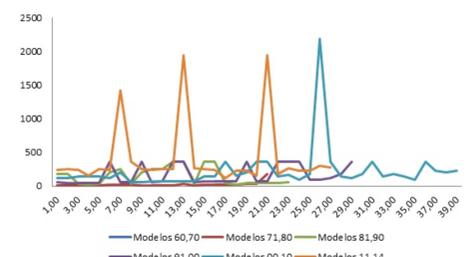


FIG. 6 - Imagem do modelo geopotencial EGM2008 em escala global



## Conclusão

Através do estudo histórico realizado, foi possível verificar a evolução da qualidade dos modelos ao longo do passar dos anos. Destacou-se a importância da tecnologia para o aumento notável nos graus de truncamento, fruto das missões espaciais e de novos métodos de desenvolvimentos de modelos de geopotencial. Também, destaca-se a importância deste projeto para estudos futuros na área havendo já um conhecimento das diferenças entre modelos com o passar do tempo e com diferentes fontes de dados.