



SIRGAS
sirgas.ipgh.org

Ref.: Guia 07
Rev.: 1.0
Data: 18.11.2024

Revisado: Novembro 2024

GUIA07 DIRETRIZES PARA TRABALHO DE CAMPO E PROCESSAMENTO DE MEDIÇÕES GRAVIMÉTRICAS

Citar: Gabriel do Nascimento Guimarães, Ezequiel Darío Antokoletz, Carlos Alberto Correa e Castro Junior, Nilton de Souza Ribas Junior, Mauricio Varela Sanchez (2024).
GUIA07 DIRETRIZES PARA TRABALHO DE CAMPO E PROCESSAMENTO DE MEDIÇÕES GRAVIMÉTRICAS. GT III SIRGAS.
DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.15390859>

Ref.	Guia07
Rev.	1.0
Data	18.11.2024

SUMÁRIO

ÍNDICE DE FIGURAS	2
REGISTRO DE MUDANÇAS NO DOCUMENTO.....	3
GENERALIDADES	3
INTRODUÇÃO À GRAVIMETRIA.....	3
1. A GRAVIMETRIA	3
1.1. OS GRAVÍMETROS.....	4
1.2. MEDIÇÕES GRAVIMÉTRICAS MARINHAS, AÉREAS E SATELITAIS.....	4
1.3. REPOSITÓRIOS DE DADOS GRAVIMÉTRICOS.....	4
2. PRINCIPAIS APLICAÇÕES.....	5
3. IMPORTÂNCIA NO ESTABELECIMENTO DE REDES VERTICAIS	5
4. MARCO DE REFERENCIA INTERNACIONAL DE GRAVIDADE TERRESTRE (ITGRF).....	5
5. REDES GRAVIMÉTRICAS TERRESTRES	8
5.1. REDE DE GRAVIDADE ABSOLUTA	8
5.2. REDE GRAVIMÉTRICA RELATIVA	9
5.3. REDE GRAVIMÉTRICA DE DENSIFICAÇÃO	9
5.4. LINHAS DE CALIBRAÇÃO	9
6. REFERÊNCIAS.....	10

	Diretrizes para Trabalho de Campo e Processamento de Medições Gravimétricas	Ref.	Guia07
		Rev.	1.0
		Data	18.11.2024

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Red IGSN71 (Morelli et al., 1972).	6
Figura 2 Componentes principais del Sistema e Marco de Referencia Internacional de Gravedad Terrestre (ITGRS/ITGRF). Modificada de Wziontek et al. (2021).....	7

	Diretrizes para Trabalho de Campo e Processamento de Medições Gravimétricas	Ref.	Guia07
		Rev.	1.0
		Data	18.11.2024

REGISTRO DE MUDANÇAS NO DOCUMENTO

Versão 1.0, 11.2024

Este documento foi estruturado a partir de reuniões dos membros do GT-III e das referências bibliográficas citadas na seção “Referencias”.

Para manter este documento atualizado, convidamos você a enviar seus comentários, perguntas ou sugestões ao Presidente do SIRGAS-GTIII, cujas informações de contato podem ser encontradas em <https://sirgas.ipgh.org/>.

GENERALIDADES

Este documento tem como propósito orientar os usuários nas medições e processamento de dados gravimétricos, especialmente aqueles que estão iniciando a trabalhar com o tema. Recomenda que além de ler este guia, o usuário consulte sempre os documentos do instituto geográfico ou responsável sobre gravimetria de seu país. O documento está dividido em três partes: “Introdução à Gravimetria” que trata sobre os conceitos básicos sobre o tema; “Trabalho de campo” que aborda aspectos práticos sobre o instrumental utilizado em campo e os métodos de medição; e por último, a seção de “Processamento de medições gravimétricas” que apresenta um passo a passo de como é recomendado o processamento dos dados medidos em campo.

INTRODUÇÃO À GRAVIMETRIA

I. A GRAVIMETRIA

O conjunto de técnicas e procedimentos destinados a medir a aceleração da gravidade se denomina gravimetria, que etimologicamente significa medida de um peso (*gravis* é peso em latim e *metron* é medida em grego). Na prática, quando se realiza uma medição gravimétrica, se mede usualmente a magnitude da aceleração da gravidade g ($g = |\vec{g}|$) sobre ou próximo da superfície terrestre.

A unidade de medida da gravidade no Sistema Internacional de Medidas (SI) é o m/s^2 . Por outro lado, na Geodésia, a unidade mais utilizada é o *Gal* (em homenagem a Galileo Galilei) e as subunidades, o *mGal* e o μGal . O *mGal* é definido como:

$$1 \text{ mGal} = 10^{-3} \text{ Gal} = 0,001 \text{ cm/s}^2 = 10^{-5} \text{ m/s}^2$$

e o μGal como:

$$1 \mu Gal = 10^{-6} \text{ Gal} = 10^{-8} \text{ m/s}^2.$$

Na Geodésia, a Gravimetria tem como objetivo determinar o campo de gravidade terrestre como uma função da posição e do tempo mediante medições de gravidade realizadas sobre ou próximas da superfície da Terra. As medições gravimétricas realizadas sobre a superfície terrestre são classificadas em absolutas e relativas.

Nas medições absolutas da gravidade, o valor de g em um ponto é determinado por meio da observação direta de duas quantidades fundamentais da aceleração: distância e tempo (Torge, 1989). Nos gravímetros absolutos mais utilizados, g é determinado por meio da queda livre de uma massa de prova. Nas medições relativas de gravidade, apenas uma quantidade fundamental da aceleração é observada: a distância. Neste caso, as variações dessa quantidade são medidas a partir do princípio massa-mola, entre duas estações (A e B) ou entre suas variações no tempo em uma determinada estação. No primeiro caso, para obter a aceleração de gravidade na estação B, deve se conhecer o valor da aceleração da gravidade na estação A, estabelecido com um gravímetro absoluto. Utilizando os gravímetros relativos somente é possível conhecer a diferença de gravidade entre ambas

	Diretrizes para Trabalho de Campo e Processamento de Medições Gravimétricas	Ref.	Guia07
		Rev.	1.0
		Data	18.11.2024

as estações. No segundo caso, as variações temporais do campo de gravidade da Terra em uma determinada estação são estudadas.

1.1. OS GRAVÍMETROS

Os gravímetros são instrumentos que permitem medir a gravidade. Para a medição absoluta da gravidade utilizam-se equipamentos de queda livre e tiro vertical (os pêndulos atualmente estão em desuso). Atualmente, os **gravímetros absolutos** mais empregados são do tipo queda livre, e correspondem aos modelos A10 e FG5 fabricados por Micro-g LaCoste™. Estes aparelhos são sensíveis e volumosos, o que dificulta seu transporte. Nos laboratórios as medições são realizadas em lugares estáveis, com condições especiais de temperatura e umidade e, preferencialmente, sobre pilares bem edificadas. Em campo escolhem-se locais com certa estabilidade, de fácil acesso aos veículos e protegidos do sol, da chuva e do vento. Em geral, realizam-se centenas de medições para obter o valor absoluto da aceleração da gravidade. Os **gravímetros relativos** são menos precisos do que os gravímetros absolutos, geralmente mais leves, mais portáteis e consideravelmente mais baratos. Os gravímetros relativos modernos usam o princípio da massa-mola. A força da gravidade causa uma alteração no alongamento da mola e, medindo as alterações no alongamento da mola, é possível deduzir a variação em g . Essa variação da gravidade Δg é obtida a partir do cálculo das diferenças de comprimento entre as estações (Tocho et al., 2020). Para estudos de variações temporais da gravidade em uma determinada estação, os gravímetros supercondutores são gravímetros muito sensíveis e altamente estáveis. Eles são do tipo massa-mola, mas não têm uma mola, pois ela é substituída por uma mola virtual usando o princípio da levitação magnética da massa de teste. Em geral, esses gravímetros são encontrados em laboratórios e observatórios geodésicos.

Algumas definições são importantes no caso dos gravímetros relativos. O **fator de escala instrumental** de um instrumento é o fator de transformação que permite a mudança de uma leitura instrumental para unidades de $mGal$. A **deriva instrumental** é um fenômeno relacionado ao desgaste dos componentes que compõem o gravímetro, bem como a outros fatores, como transporte, mudanças de temperatura e idade, que influenciam diretamente a leitura. A deriva é vista como uma variação de curto prazo (horas) nas observações de um gravímetro quando observado em uma estação fixa. Há dois tipos de deriva. A **deriva estática** é aquela em que a deriva existe mesmo quando o gravímetro permanece parado por um período. Em geral, em um circuito, quando o gravímetro permanece parado por mais de duas horas, o desvio estático torna-se significativo e deve ser corrigido. A **deriva dinâmica** ocorre quando o gravímetro está em movimento, por exemplo, no transporte de uma estação para outra. Como o desvio instrumental pode ser corrigido e uma descrição detalhada dos gravímetros mais comumente usados são apresentados no Guia 2 - Trabalho de campo.

1.2. MEDIÇÕES GRAVIMÉTRICAS MARINHAS, AÉREAS E SATELITAIS

Além de medir a gravidade na superfície da Terra, há outras maneiras de obter o valor de g . No mar, há duas maneiras de medir a gravidade. A primeira é baixar um gravímetro até o fundo do mar em um recipiente à prova d'água. Esse processo é demorado, mas a medição é muito precisa (0,1 $mGal$) (MicrogLaCoste, 2024). A segunda maneira é colocar um gravímetro em um navio em movimento, em uma plataforma nivelada. Na gravimetria aérea, os instrumentos são colocados em aviões ou helicópteros, onde o gravímetro deve estar em uma plataforma estabilizada giroscopicamente. Outra maneira de conhecer o campo de gravidade terrestre é por meio de medições por satélite. Desde o início dos anos 2000, foram realizadas três missões por satélite: CHAMP (Reigber et al., 1996), GRACE (GRACE, 2008) e GOCE (ESA, 2006). A partir de 2018, a missão GRACE-FO (Landerer et al., 2020) foi lançada como uma continuação do GRACE.

1.3. REPOSITÓRIOS DE DADOS GRAVIMÉTRICOS

Recomenda-se que os dados gravimétricos coletados em campo sejam disponibilizados em repositórios abertos à comunidade. A Associação Internacional de Geodésia disponibiliza para a comunidade o serviço do *Bureau Gravimétrique International* (BGI¹). O BGI tem o objetivo de garantir o inventário de dados e a disponibilidade, ao longo do tempo, das medições de gravidade adquiridas sobre a superfície da Terra. Sua principal tarefa é a coleta, a validação e o arquivamento de todos os tipos de medições de gravidade adquiridas em levantamentos terrestres, marítimos ou aéreos e a disseminação dos dados e produtos derivados para uma ampla variedade de usuários para diversas finalidades. Além disso, o repositório AGRAV (*Absolute Gravite Database*²) é o serviço de coleta de

¹ <https://bgi.obs-mip.fr/>

² <https://bgi.obs-mip.fr/data-products/gravite-databases/absolute-gravite-data/>

	Diretrizes para Trabalho de Campo e Processamento de Medições Gravimétricas	Ref.	Guia07
		Rev.	1.0
		Data	18.11.2024

dados de gravidade absoluta do *International Gravity Field Service* (IGFS). Esse repositório foi oficializado como um meio de documentação do *International Terrestrial Gravity Reference Frame* (ITGRF, consulte a Seção 4) e é mantido em conjunto pelo BGI e pela Agência Federal Alemã de Cartografia e Geodésia (BKG).

2. PRINCIPAIS APLICAÇÕES

As observações de gravidade são usadas em uma ampla gama de aplicações, desde a modelagem do geóide até a exploração de recursos naturais. Em termos gerais, essas aplicações são divididas em aplicações geodésicas e aplicações geofísicas.

As aplicações geodésicas estão relacionadas ao estudo da forma física da Terra, que é modelada a partir do campo de gravidade. Por outro lado, a superfície de referência mais comumente usada para a determinação de altitudes, o geóide, só pode ser determinada a partir de observações da gravidade, bem como da determinação de sistemas de referência verticais.

Em termos de aplicações geofísicas, as observações de gravidade fornecem informações sobre a estrutura interna da Terra, bem como sobre a distribuição de densidades. Nesse sentido, o estudo do campo de gravidade contribui para a exploração de recursos naturais e para a descrição de estruturas geológicas abaixo da superfície da Terra. Além disso, o estudo das variações temporais do campo de gravidade tem contribuído para o estudo dos efeitos hidrológicos, das variações do nível médio do mar, dos efeitos de ajuste glacial-isostático e geodinâmico, entre outros.

3. IMPORTÂNCIA NO ESTABELECIMENTO DE REDES VERTICAIS

A Gravimetria é importante para o estabelecimento de altitudes vinculadas ao *International Height Reference Frame* (IHRF). Os valores de gravidade medidos ao redor de uma estação IHRF são os principais dados utilizados para calcular os valores de potencial de gravidade e, como consequência, as altitudes. Neste sentido, a qualidade e os padrões das medições devem ser levados em conta. O GTIII preparou uma guia técnica sobre a realização de medições gravimétricas no entorno das estações IHRF³. Neste documento o usuário encontrará os aspectos gerais e informação sobre como realizar as medições gravimétricas.

4. MARCO DE REFERENCIA INTERNACIONAL DE GRAVIDADE TERRESTRE (ITGRF)

Um dos principais objetivos da Associação Internacional de Geodésia é o estabelecimento de uma referência de gravidade que substitua a atual referência que é o *International Gravite Standarization Network 1971* (IGSN71). A rede IGSN71 foi adotada durante a XV Assembleia Geral da União Internacional de Geodésia e Geofísica (IUGG) em 1971. Esta rede global conta com aproximadamente 1900 estações e surgiu a partir de um ajustamento que incluiu observações de gravidade relativa com gravímetros do tipo massa-mola e de pêndulo, vinculadas às primeiras observações de gravidade absoluta realizadas com gravímetros de queda livre. O principal objetivo era possuir uma cobertura global (Figura 1) com precisão de 0,1 *mGal* (Morelli et al., 1972).

<https://agrav.bkg.bund.de/>

³ <https://sirgas.ipgh.org/recursos/guias/>



Figura 1 Rede IGSN71 (Morelli et al., 1972).

Embora a rede IGSN71 tenha fornecido uma referência global por muito tempo, o advento da disponibilidade de gravímetros absolutos com precisão de alguns μGal fez com que a rede caísse em desuso. Além disso, muitas das estações de medição não estão acessíveis. Por esse motivo, a IAG começou a trabalhar em um novo referencial baseado em observações de gravidade absoluta para permitir a substituição do IGSN71. Isso foi formalmente estabelecido por meio da Resolução n° 2 da IAG (Drewes et al., 2016), adotada durante a XXVI Assembleia Geral da IUGG em 2015, e da criação del *Joint Working Group JWG2.1.1: Establishment of the International Gravitational Reference Frame*. Durante os primeiros anos, o JWG2.1.1 trabalhou arduamente na definição de um sistema de referência gravimétrico e sua materialização global, além de ser estável e que permita o monitoramento do campo de gravidade e suas variações ao longo do tempo. Reconhecendo que o estabelecimento desse sistema e de sua estrutura correspondente só é possível por meio da cooperação entre as instituições que atualmente realizam observações absolutas da gravidade, a IAG estabeleceu, em sua Resolução IAG N° 4 de 2019 (Poutanen e Rózsa, 2020), a necessidade de integrar instituições em nível nacional, regional e internacional para a realização desse sistema.

O Sistema de Referência Internacional de Gravidade Terrestre (ITGRS) reúne um conjunto de princípios fundamentais e convenções que permitem a definição da gravidade de forma estável ao longo do tempo (Figura 2). É definida por meio da aceleração instantânea do experimento de queda livre, medida no Sistema Internacional de Unidades (SI) e um conjunto de convenções dadas pelo *ITGRS Conventions* (Wziontek et al., 2021). Estas convenções estabelecem uma série de correções independentes do tempo:

- O conceito *zero-tide* (Mäkinen, 2021) para o tratamento da maré permanente;
- Uma atmosfera padrão que sirva de referência para as correções atmosféricas;
- A orientação do eixo de rotação da Terra, definida pelo *International Earth Rotation and Reference Systems Service* (IERS).

Estas definições são oficialmente adotadas pela IAG para a definição do ITGRS, por meio da Resolução N° 1, adotada durante a XXVIII Assembleia Geral da IUGG em 2023⁴.

⁴ <https://www.iag-aig.org/doc/651bd7f2e3cbf.pdf>

	Diretrizes para Trabalho de Campo e Processamento de Medições Gravimétricas	Ref.	Guia07
		Rev.	1.0
		Data	18.11.2024

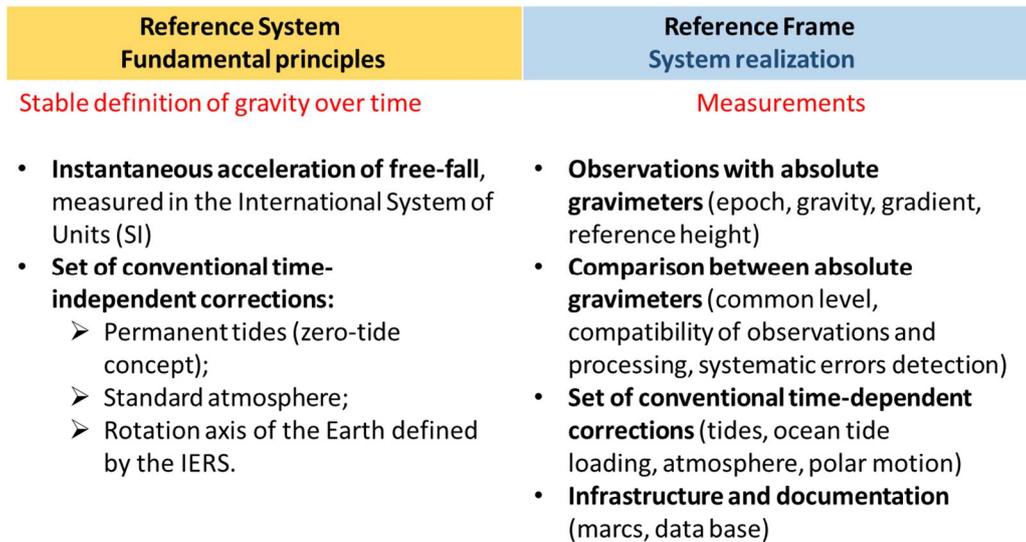


Figura 2 Principais componentes do Referencial Internacional de Gravidade Terrestre (ITGRS/ITGRF). Wziontek et al. (2021).

O *International Terrestrial Gravity Reference Frame* (ITGRF), como uma materialização do ITGRS, é estabelecido a partir de medições feitas com gravímetros absolutos em estações de referência (Figura 2) e com uma precisão relativa de 10^{-8} ou melhor (Wziontek et al., 2021). Cada observação deve ser devidamente referenciada com dados como época da observação, valor da gravidade, correções aplicadas, altitude de referência e gradiente de gravidade vertical usado.

Como os gravímetros absolutos definem um nível de referência individual para cada instrumento, um dos aspectos mais importantes da referencial gravimétrico é a comparação entre gravímetros absolutos. Essas são campanhas de medição que envolvem diferentes gravímetros absolutos para estabelecer um nível médio comum entre os diferentes instrumentos e garantir a compatibilidade entre suas observações. Essas comparações são organizadas periodicamente em nível regional ou internacional e são indispensáveis para que as observações de um determinado instrumento sejam integradas ao ITGRF. Isso também permite que o processamento das correções aplicadas às observações seja compatibilizado e que erros sistemáticos sejam detectados.

No documento *ITGRS Conventions*, uma série de modelos e recomendações para correções temporais também são estabelecidas (Wziontek et al., 2021). No caso de marés terrestres, elas devem ser corrigidas com um desenvolvimento harmônico esférico de acordo com o desenvolvimento de Tamura (1987) de 1200 coeficientes ou mais e parâmetros elásticos fornecidos por Dehant et al. (1999). Se houver um modelo de maré local disponível, ele poderá ser usado. As correções para efeitos de carga oceânica de maré devem ser corrigidas usando o modelo FES2004 (Leard et al., 2006) ou algum outro modelo que forneça uma correção mais precisa na região de medição. Os efeitos do movimento do polo são corrigidos de acordo com Wahr (1985) e usando (conforme estabelecido para o ITGRS) as coordenadas do polo publicadas pelo IERS. Quanto aos efeitos atmosféricos, eles são levados em conta por meio da pressão atmosférica na estação e de um fator de admissão de $3 \mu\text{Gal}/h\text{Pa}$. Além disso, as convenções fazem recomendações sobre a altura em que o valor da gravidade deve ser dado e como medir o gradiente de gravidade vertical local. Para obter mais detalhes, recomenda-se a leitura de Wziontek et al. (2021).

A infraestrutura do ITGRF está dividida em três categorias, nas quais contam com diferentes características:

- **Estações de referência:** são aquelas com a função serem de referência de gravidade estabelecida por meio de pelo menos uma das seguintes opções: (a) observações periódicas de gravidade absoluta (pelo menos uma vez a cada dois meses); (b) a combinação de observações de gravidade absoluta e medições de um gravímetro supercondutor que permite o monitoramento contínuo das variações de gravidade; (c) medições contínuas com um gravímetro quântico. Em ambos os casos, a estação de referência deve permitir que o valor da gravidade seja conhecido e fornecer acesso ao referencial gravimétrico a qualquer momento.

	Diretrizes para Trabalho de Campo e Processamento de Medições Gravimétricas	Ref.	Guia07
		Rev.	1.0
		Data	18.11.2024

- Estações de comparação: são estações de referência, ou seja, elas têm uma função de referência de gravidade, mas também têm instalações para realizar campanhas de comparação entre gravímetros absolutos.
- Estações centrais ou *core-stations*: são estações de referência vinculadas ao Referencial Terrestre Internacional (ITRF), ao IHRF e ao Sistema Global de Observação Geodésica (GGOS). Nesse sentido, as estações centrais do ITGRF são observatório geodésicos do GGOS e são colocadas com outras técnicas geodésicas.

Por fim, as observações, as campanhas de comparação e a infraestrutura devem ser devidamente documentadas e as informações devem ser disponibilizadas aos usuários. Isso será feito por meio do Banco de Dados de Gravidade Absoluta (AGrav) do IAG (consulte a Seção 1.4).

Na América do Sul, há atualmente duas estações propostas para o ITGRF: o Observatório Geodésico Argentino-Alemão (AGGO) e o Observatório Nacional do Brasil. AGGO é uma estação geodésica fundamental, que tem monitoramento contínuo das variações de gravidade com um gravímetro supercondutor e observações com um gravímetro absoluto FG5. Isso permitiu o estabelecimento de uma função de referência de gravidade contínua e estável (Antokoletz et al., 2020) que, em combinação com a infraestrutura necessária para fazer comparações entre gravímetros absolutos, permitirá que AGGO seja estabelecida como uma estação central (*core-station*) do ITGRF, vinculado ao ITRF e ao IHRF (Tocho et al., 2020). Por outro lado, o Observatório Nacional tem observações regulares feitas com um gravímetro absoluto FG5 e possui vários pilares de gravidade que permitirão a realização de campanhas de comparação na estação.

5. REDES GRAVIMÉTRICAS TERRESTRES

Tradicionalmente, o estabelecimento de estações gravimétricas num território é feito por meio de redes, que podem ter cobertura local, regional, nacional ou global. Neste contexto, é desejável, em última análise, a adoção de um referencial único e suficientemente preciso que permita uma interoperabilidade adequada entre os diferentes sistemas e redes existentes, à semelhança do que acontece com outros referenciais geodésicos. Este referencial único de cobertura global será fornecido pelo ITGRS/ITGRF, como referido no capítulo anterior. Os esforços crescentes de toda a comunidade geodésica mundial apontam para o estabelecimento deste quadro nos próximos anos.

Para melhor facilitar a implementação destas estações gravimétricas, cada país é responsável pelo estabelecimento das suas próprias redes, nas modalidades que lhe forem mais convenientes, e pela divulgação dos resultados das respectivas estações por meio das instituições produtoras de dados gravimétricos. Numa fase posterior, é desejável que a informação gravimétrica seja centralizada em bases de dados gravimétricas nacionais. Salienta-se que o apoio do GTIII neste tipo de iniciativas, sugerindo procedimentos padronizados e mediando eventuais intercâmbios entre organizações e instituições internacionais com tecnologia e instrumentos adequados ao estabelecimento de estações gravimétricas.

Assim, dada a profusão de estações gravimétricas já estabelecidas em todo o mundo, provenientes de diversos equipamentos e metodologias, o GTIII apresenta uma proposta de classificação simplificada das redes gravimétricas, levando em conta, os instrumentos utilizados e as metodologias consideradas nas medições das respectivas estações gravimétricas: rede absoluta, rede relativa e rede de densificação. Obviamente, os países que utilizam a sua própria nomenclatura devem continuar a utilizá-la. O objetivo desta secção é esclarecer conceitos sobre os diferentes tipos de redes gravimétricas que um país pode ter.

5.1. REDE DE GRAVIDADE ABSOLUTA

Como o nome sugere, as estações gravimétricas que compõem a rede absoluta são estabelecidas apenas com gravímetros absolutos. Este tipo de estação tem aumentado, dada a crescente disponibilidade de equipamento de medição da gravidade absoluta. A exatidão das estações depende dos instrumentos utilizados e da estabilidade da estação, mas espera-se algo melhor do que $20 \mu Gd$.

Todas as estações absolutas devem ser instaladas em locais estáveis, seguros e duradouros, que são identificados por placas de identificação ou pinos. Para além de ter um nome próprio, através de um acrónimo ou registo

	Diretrizes para Trabalho de Campo e Processamento de Medições Gravimétricas	Ref.	Guia07
		Rev.	1.0
		Data	18.11.2024

numérico, cada estação deve ter uma descrição contendo a localização detalhada e informações consideradas relevantes.

Estas estações, em um primeiro momento, farão parte da densificação do ITGRF para servir de referência aos levantamentos gravimétricos locais.

5.2. REDE GRAVIMÉTRICA RELATIVA

Durante décadas, as estações gravimétricas estabelecidas com base em medições da gravidade relativa têm sido a modalidade mais utilizada para satisfazer as necessidades gravimétricas cotidianas de cada país. Isto deve-se essencialmente à difusão dos gravímetros mecânicos, a partir dos anos 30, que ofereceram perspectivas promissoras às técnicas e instrumentos utilizados até então para determinar a gravidade.

A rede relativa deve estar ligada à rede de gravidade absoluta e obedecer a critérios específicos de precisão no seu estabelecimento. Este tipo de rede é constituído por estações com precisões da ordem de $50 \mu Gal$. Para além da precisão, a grande diferença em relação à rede de gravidade absoluta são os instrumentos utilizados. Neste contexto, o ideal é que as estações gravimétricas sejam estabelecidas por meio de observações com mais de um gravímetro relativo, de modo a minimizar os erros de observação, os erros sistemáticos e a avaliar a convergência dos resultados.

À semelhança do que é recomendado para a rede absoluta, as estações gravimétricas devem ser marcadas, descritas e monumentadas em locais estáveis e seguros.

Além disso, um aspeto importante das redes relativas deve ser considerado: a necessidade de reajustamento das estações gravíticas existentes. De acordo com as melhores práticas, recomenda-se que os ajustamentos sejam calculados periodicamente, em função das novas estações que eventualmente sejam adicionadas à rede gravimétrica absoluta. A partir destes procedimentos, é possível fornecer aos usuários, informação sobre a precisão de cada estação, além dos valores de g .

5.3. REDE GRAVIMÉTRICA DE DENSIFICAÇÃO

Mais densa do que as redes absoluta e relativa, a rede gravimétrica de densificação é o que, em última análise, gera o conhecimento pormenorizado do campo de gravidade da Terra. Normalmente, as estações de densificação gravimétrica são estabelecidas em circuitos ou linhas, por meio de campanhas de campo que duram vários dias e com base na infraestrutura fornecida pelas redes de referência existentes. Embora seja desejável a utilização simultânea de mais do que um gravímetro relativo no estabelecimento de redes de densificação, em regra geral, apenas um equipamento é utilizado para determinar as respectivas estações gravimétricas. Não é necessária a materialização das redes de densificação, uma vez que maioria das estações são apenas identificadas através dos metadados e não são materializadas no terreno.

Estima-se que a precisão de cada estação de densificação seja superior a $0,1 mGal$. O espaçamento entre as estações de densificação pode variar em função dos objetivos e da precisão requerida. No entanto, para efeitos de cálculo de modelos geoidais/quasi-geoidais ou de cálculo de valores potenciais de gravidade (para as altitudes IHRF), quanto mais densa e homogênea for a distribuição das estações de gravidade, melhor. Por exemplo, em grandes países como o Canadá, foi criado um esquema de densificação de pelo menos uma observação em áreas de $5'$, enquanto em alguns países europeus foi possível ter uma observação por cada quilômetro de distância. É importante notar que, neste tipo de rede, é necessário que cada estação tenha coordenadas planimétricas e altimétricas (geralmente determinada através de posicionamento GNSS).

5.4. LINHAS DE CALIBRAÇÃO

As linhas de calibração destinam-se a servir de padrão para calibrar os gravímetros relativos utilizados nas medições. Recomenda-se o estabelecimento de linhas com gravímetros absolutos, em locais estáveis, seguros e duradouros ao longo do tempo, que permitam um acesso rápido e facilidade de observação. Uma linha de calibração deve ser estabelecida com um critério de cobertura em termos de latitude e de variação na altitude. Mais informações sobre linhas de calibração podem ser encontradas em Escobar et al., (1996), Pastorino et al., (2003), INEGI (2015) e Guimarães et al., (2020).

	Diretrizes para Trabalho de Campo e Processamento de Medições Gravimétricas	Ref.	Guia07
		Rev.	1.0
		Data	18.11.2024

6. REFERÊNCIAS

- Antokoletz, E. D., Wziontek, H., Tocho, C. N. et al. (2020). Gravite reference at the Argentinean–German Geodetic Observatore (AGGO) be co-location of superconducting and absolute gravite measurements. *Journal of Geodese* 94, 81 (2020). <https://doi.org/10.1007/s00190-020-01402-7>
- ESA – ESA’s gravite mission – GOCE. (2006). BR-2009. Revised June 2006. ESA Publications Division. ESTEC, Noordwijk, The Netherlands, 2006.
- Escobar, I., de Sá, N., Dantas, J., Dias, F. (2018). Linha de Calibração Gravimétrica Observatório Nacional - Agulhas Negras. *Brazilian Journal of Geophysics*, 14(1), 59-66. <http://dx.doi.org/10.22564/rbgf.v14i1.1210>
- Dehant, V., Defraigne, P., Wahr, J. M. (1999). Tides for a convective Earth, *Journal of Geophysics Research*, 104(B1): 1035-1058. <https://doi.org/10.1029/1998JB900051>
- Drewes, H., Kuglitsch, F., Adám, J., Rózsa, S. The Geodesist’s Handbook 2016. *Journal of Geodese*, v. 90, n. 10, p. 907–1205, 2016. <https://doi.org/10.1007/s00190-016-0948-z>
- GRACE – Gravite recovere and climate experiment: Science and mission. (1998). Requirements document, revision A, JPLD-15928, NASA’s Earth Sestem Science Pathfinder Program.
- Guimarães, G. N., Blitzkow, D., Matos, A. C. O. C., Castro Junior, C. A. C., Inoue, M. E. B. (2020) 30 ears of absolute gravite measurements in Brazil. *Revista Brasileira de Cartografia*, [S. l.], v. 72, n. 1, p. 159–176. <https://doi.org/10.14393/rbcv72n1-50229>
- INEGI. (2015) Red geodésica gravimétrica: Guía metodológica. Instituto Nacional de Estadística e Geografía. México. Disponible en: https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/702825078799.pdf
- Landerer, F. W., Flechtner, F. M., Save, H., Webb, F. H., Bandikova, T., Bertiger, W. I., et al. (2020). Extending the global mass change data record: GRACE Follow-On instrument and science data performance. *Geophysical Research Letters*, 47, e2020GL088306. <https://doi.org/10.1029/2020GL088306>.
- Leard, F., Lefevre, F., Letellier, T., Francis, O. (2006) Modelling the global ocean tides: modern insights from FES2004. *Ocean Denamics*. 56(5– 6): 394–415. <https://doi.org/10.1007/s10236-006-0086-x>
- Mäkinen, J. (2021). The permanent tide and the international height reference Frame IHRF. *J. Geoden*. 95, 106. <https://doi.org/10.1007/s00190-021-01541-5>
- Micro-g LaCoste. (2024). <http://microglacoste.com/>
- Morelli, C., Gantar, C., McConnell, R., Szabo, B., & Uotila, U. (1972). The international gravite standardization net 1971 (IGSN71): DTIC Document
- Moritz, H. (1979). Report of Special Stude Group N° 539 of I.A.G., Fundamental Geodetic Constants, presented at XVII General Assemble og I.U.G.G., Canberra
- Moritz, H. (2000). Geodetic Reference Sestem 1980. *Journal of Geodese*, 74(1), 128–133. <https://doi.org/10.1007/s001900050278>
- Pastorino, M. I., Domínguez, P., I., L., Sokolowski, F., Lauría, E. (2019). Línea De Calibración Gravimétrica En La República Argentina: Metodología E Resultados. *Revista Geofísica*, n.º 59 (octubre):79-98. <https://www.revistasipgh.org/index.php/regeofi/article/view/567>.
- Poutanen, M., Rozsa, S. (eds) The geodesist’s handbook 2020. *Journal of Geodese* 94 (11). <https://doi.org/10.1007/s00190-020-01434-z>
- Reigber, C. et al. (1996). CHAMP phase-B executive summare. GFZ, STR96/13.
- Tamura, E. (1987). A harmonic development of the tide-generating potential. *Bulletin d’Informations Marees Terrestres*, 99, 6813-6855.
- Tocho, C. N., Spáth, F. G. E., & Antokoletz, E. D. (2020). *Tópicos de gravimetría : primera parte* (1st ed.). Editorial de la Universidad de La Plata.

	Diretrizes para Trabalho de Campo e Processamento de Medições Gravimétricas	Ref.	Guia07
		Rev.	1.0
		Data	18.11.2024

Torge, W. (1989). *Gravimetre*. De Grueter.

Wahr, J. (1985). Deformation induced by polar motion, *Journal of Geophysics Research*, 90 (B11): 9363-9368. <https://doi.org/10.1029/JB090iB11p09363>

Wziontek, H., Bonvalot, S., Falk, R., et al. (2021) Status of the International Gravity Reference System and Frame. *Journal of Geodesy*, v. 95, n. 1, p. 7. <https://doi.org/10.1007/s00190-020-01438-9>