

## Dez Anos de Monitoramento do Nível do Mar no IBGE

Uma das primeiras preocupações dos responsáveis pelo início da implantação, em 1945, da Rede Altimétrica de Alta Precisão (RAAP) do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) foi a definição da origem de suas altitudes, isto é, o estabelecimento do Datum Vertical (ou altimétrico). Naqueles tempos, não havia dúvida quanto aos aspectos teóricos dessa questão – as altitudes das Referências de Nível (RRNN) do SGB teriam o Geóide como origem. O grande problema era a materialização dessa referência, já que o procedimento mais aceito era considerar coincidentes o Geóide e o nível médio dos mares de 18,6 anos, e, então, não havia marégrafos com tanto tempo de observação. Já que o estabelecimento da RAAP foi iniciado no litoral sul de Santa Catarina, optou-se por implantar uma linha de nivelamento até Torres, no limite do Rio Grande do Sul com Santa Catarina, onde a Comissão da Carta Geral do Brasil havia operado um marégrafo entre 1919 e 1920. Apesar do marégrafo não mais existir, suas observações haviam sido referidas a um marco geodésico do antigo SGE (hoje DSG, Diretoria do Serviço Geográfico, do Exército), o qual foi incluído na linha de nivelamento entre Criciúma e Torres, permitindo a utilização do nível médio, dado por aquele marégrafo, como datum vertical provisório, denominado Datum de Torres.

Mesmo tecnicamente recomendável, o então Conselho Nacional de Geografia (CNG, hoje Fundação IBGE) optou por não envolver-se na operação de marégrafos, preferindo manter o procedimento utilizado em Torres – conectar à RAAP as RRNN dos marégrafos, o que permitiria, se necessário, o aproveitamento dos respectivos níveis médios. Isso possibilitou correlacionar, posteriormente, os níveis médios em diversos pontos da costa com o Datum de Imbituba, concluindo-se, por exemplo, que o nível médio do mar em Salvador estaria cerca de 1 cm acima do Datum, enquanto que em Fortaleza essa diferença chegaria a 30 cm. Mais recentemente, o reajustamento global da RAAP – que corrigiu as distorções introduzidas pelos sucessivos ajustamentos de blocos isolados – alterou tais valores para 15 cm e 55 cm, respectivamente.

A opção do CNG de não envolver-se com a operação de marégrafos deveu-se, em parte, à chegada do *Inter-American Geodetic Survey* (IAGS). Em 1948, o IAGS, unidade da antiga agência militar de mapeamento (DMA, hoje NIMA) dos EUA, iniciou um extenso programa de colaboração com diversas instituições brasileiras, dentre as quais o CNG, que recebeu grande apoio em suas operações geodésicas. O IAGS também apoiou o então Departamento Nacional de Portos, Rios e Canais (DNPRC, depois Portobrás, hoje extinta) com a implantação de nove estações maregráficas na costa brasileira. O período de operação de tais estações não foi homogêneo, variando de poucos anos (e.g., Salinópolis, MA) até duas décadas (p.ex., Fortaleza, Salvador e Imbituba). Em 1968 o IAGS encerrou suas atividades maregráficas no Brasil, doando os equipamentos e instalações ainda operacionais ao Instituto de Pesquisas Hidroviárias (InPH, sucessor da Divisão de Hidrografia do DNPRC), que também experimentou dificuldades em manter sua operação.

Em 1959, quando a RAAP já alcançara o Estado da Paraíba, totalizando mais de 10 mil RRNN implantadas e 30 mil quilômetros de duplo nivelamento, foi realizado seu terceiro reajustamento. Contrariamente aos ajustamentos anteriores, que haviam mantido o Datum de Torres, neste ajustamento o CNG introduziu um novo datum vertical, melhor definido através da média das observações do nível do mar no marégrafo do IAGS em Imbituba, SC, entre 1949 e 1957. A comparação direta das altitudes referidas aos dois *data* não é possível, já que os respectivos ajustamentos consideraram redes bastante diferentes – o último ajustamento referido a Torres foi realizado em 1952, com aproximadamente metade das observações do ajustamento de 1959. Entretanto, a fim de permitir correlações isoladas, foi determinado um valor médio de 5,84 cm para a elevação do Datum de Torres acima do Datum de Imbituba.

Um aspecto ainda não esclarecido é o motivo que levou à definição do Datum Vertical com base apenas em Imbituba, já que a estação maregráfica de Salvador contava com observações no mesmo período e já havia sido conectada à RAAP.

Depois da introdução de Imbituba, em 1959, não foram feitas alterações na definição do Datum Vertical do SGB, apesar de existirem observações em Imbituba e outras estações, para períodos bem maiores, já que a análise dos dados desses períodos indicava que não haveria perda de precisão se a necessidade de 18,6 anos de observação não fosse respeitada.

Datam de 1976 as primeiras discussões, no IBGE, acerca da viabilidade de iniciar a operação de estações maregráficas nesse órgão, em vista da desativação de um crescente número de estações importantes (com grandes períodos anteriores de observação). Ao longo dos anos seguintes foram feitos contatos com o InPH e com a Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) da Marinha do Brasil, a fim de que o IBGE assumisse a operação das estações do IAGS. Tais contatos foram bastante úteis para a aquisição de conceitos por parte dos técnicos do IBGE, mas, em termos práticos, somente resultaram na conexão plani-altimétrica das estações maregráficas da Petrobrás ao SGB.

O envolvimento efetivo do Departamento de Geodésia (DEGED) do IBGE no monitoramento do nível do mar teve início em abril de 1993, quando entrou em operação a Estação Maregráfica Experimental de Copacabana (EMEC). Tal estação foi reconfigurada pelo DEGED, com apoio da DHN e do InPH, a partir dos componentes instalados pela COPPE/UFRJ alguns anos antes como parte dos estudos dessa instituição sobre a Lagoa Rodrigo de Freitas, na cidade do Rio de Janeiro.

A EMEC operou entre abril de 1993 e março de 1994, quando foi destruída pelas grandes ondas associadas à passagem de uma forte frente fria (“ressaca”). Por tratar-se de estação bastante singela (marégrafo convencional diário, sem abrigo) e instalada em local inadequado (raso e sem controle de acesso do público), o DEGED preferiu não recuperar a EMEC, optando por estabelecer uma nova estação em local mais favorável e que não acarretasse uma superposição com estações de outras instituições. No entanto, o objetivo da EMEC foi cumprido integralmente – o DEGED adquiriu experiência nos procedimentos de coleta e tratamento de dados do nível do mar. Essa foi uma etapa essencial do processo de capacitação dos técnicos do IBGE, após vários anos de contato com diversas instituições atuantes no campo do nível do mar. Um dos principais resultados da experiência em Copacabana foi a constatação de que os registros de marégrafos convencionais podem indicar variações de nível do mar fictícias, fruto de derivas instrumentais e movimentos verticais das RRNN de controle. Também merecem destaque os estudos da influência das ondas sobre a observação do nível do mar com marégrafos convencionais, que permitiram aprimorar o planejamento e a especificação das estações maregráficas de interesse geodésico, necessariamente instaladas em costa aberta, i.e., em locais sujeitos à ação de ondas de alta e média frequência.

Assim, em novembro de 1994 o DEGED assumiu a operação de um marégrafo convencional da Petrobrás no Porto de Imbetiba, em Macaé, RJ. Gradualmente, foram introduzidos aprimoramentos na estrutura dessa estação maregráfica, transformando-a numa estação piloto da futura Rede Maregráfica Permanente para Geodésia (RMPG). Dentre esses aprimoramentos, vale destacar a operação simultânea de pelo menos dois marégrafos, iniciada em novembro de 1995 com a instalação de um segundo marégrafo convencional. Esse padrão de operação ainda prevê que os equipamentos possuam princípios de funcionamento diferentes, com o objetivo de minimizar a ausência de observações por falha instrumental, e que pelo menos um dos marégrafos seja digital (armazenamento e transferência dos dados), para que as observações estejam disponíveis em tempo real, sempre que necessário. O primeiro marégrafo digital, cujo princípio de funcionamento elimina a possibilidade de ocorrência de deriva instrumental, foi instalado em Macaé em abril de 1998. A esse marégrafo

juntou-se, em julho de 2001, um segundo equipamento digital, de projeto mais completo e robusto, com operação baseada na observação e conversão da pressão hidrostática em altura da coluna d'água. A utilização desse tipo de sensor deve ser feita com bastante cuidado, devido à possibilidade de efeitos anômalos decorrentes da conversão para nível d'água e da ocorrência de variações não-lineares da pressão hidrostática (p.ex., em função da propagação de ondas). A existência de equipamentos baseados em diferentes princípios de operação também permite controlar a incidência dessa espécie de problema.

A experiência do DEGED na Estação Maregráfica de Macaé também levou ao desenvolvimento do padrão de instalação da RMPG, constituído de abrigo (adaptado para o nivelamento da referência de leitura dos equipamentos), poços de tranqüilização com pequena necessidade de manutenção (tubos de PVC de alta pressão com orifícios em tampas cônicas auto-limpantes) e régua de marés com trilhos-guia e graduação usinada de alto contraste, que facilita enormemente a operação e a manutenção.

A concepção da RMPG data de 1997, quando foram definidos preliminarmente os locais para instalação das estações da rede: Imbituba, Macaé, Salvador, Fortaleza e Santana. Além do critério de espaçamento regular, a definição desses locais baseou-se na importância histórica como Datum (além de Imbituba, o SGB tem como Datum Altimétrico o nível médio do mar determinado no Porto de Santana, AP) e a coincidência de antigas estações do IAGS com Unidades do IBGE (Salvador e Fortaleza) que facilitaria sua operação e manutenção. No entanto, a efetiva implantação da RMPG foi possível somente a partir de 2001, com a chegada dos primeiros equipamentos digitais adquiridos pelo próprio IBGE, instalados em Macaé e Imbituba. Nesta última, os administradores do porto operam um marégrafo convencional desde 1999, cujas observações estão sendo correlacionadas às do marégrafo digital. Em 2002, foi instalada a Estação Maregráfica de Salvador, com equipamentos emprestados pela DHN e apoio logístico da Companhia de Desenvolvimento Regional (CONDER) da Bahia.

Contrariamente ao que se pode supor em vista da implantação da RMPG, o IBGE não pretende alterar a definição do Datum Altimétrico do SGB. O principal objetivo da RMPG é fornecer elementos para a correlação do Datum de Imbituba com outros referenciais maregráficos. Para tanto, são necessárias duas etapas distintas. A primeira será constituída pela correlação temporal entre as observações atuais de Imbituba e aquelas utilizadas para a definição do Datum. As observações atuais, por sua vez, poderão ser correlacionadas espacialmente com as observações para os mesmos períodos das outras estações. Nesse contexto, três outros tipos de observação geodésica terão papel essencial : a repetição das linhas de nivelamento entre as estações maregráficas, com informações gravimétricas, possibilitará a determinação rigorosa das altitudes científicas de suas RRNN ; o controle tridimensional dessas RRNN, através de estações GPS permanentes ou da repetição freqüente de campanhas GPS, identificará movimentos crustais que poderiam introduzir variações anômalas nos resultados de nível médio ; e a altimetria por satélites, que levará à minimização dos efeitos da topografia do nível médio, através da aplicação de modelos adequados para a correção da perda de resolução nas regiões costeiras.

Assim, a disponibilidade de dados contínuos nas atuais estações da RMPG (Macaé, nov/1994; Imbituba, jun/1999; Salvador, dez/2002) ainda não permite a realização das correlações mencionadas. Além disso, o tratamento da grande quantidade de dados gráficos vem desenvolvendo-se em um ritmo mais lento que o desejado. Mas essas dificuldades estão sendo superadas, com a priorização da RMPG nas atividades do DEGED, esperando-se que, nos próximos dois anos, os primeiros resultados possam ser divulgados.