

O USO DO “SISTEMA DE POSICIONAMENTO GLOBAL/GPS” PARA ELABORAÇÃO DE BANCO DE DADOS GEO-REFERENCIADOS

APPLICATION OF GLOBAL POSITIONING SYSTEM (GPS) IN GEO-REFERENCED DIGITAL DATABASE

José Vicente Elias BERNARDI¹
Paulo Milton Barbosa LANDIM²

Resumo: O “Sistema de Posicionamento Global/GPS” é um sistema que permite ao usuário determinar sua localização espacial, além de apresentar a grande vantagem de poder integrar-se com outros sistemas, destacando-se o Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Cuidados, porém, devem ser tomados para evitar problemas de compatibilidade entre os dois Sistemas. Bancos de dados digitais são, normalmente, baseados em cartas analógicas de qualidade variável e isso ocorre porque as redes geodésicas convencionais, que na maioria servem de base ao mapeamento nacional, encerram imprecisões e distorções decorrentes principalmente da diversidade de técnicas e instrumentos utilizados e do resultado de sucessivos ajustamentos a que foram submetidas. O pesquisador deve então, num primeiro momento, buscar uma solução intermediária que possa incluir os dois tipos de dados, com o menor prejuízo possível para o um banco de dados geo-referenciados e procurar, se possível, passar a construir sua base de dados totalmente a partir dos levantamentos GPS (em WGS-84). Como estudo de caso é apresentado uma amostragem geo-referenciada no Parque Estadual da Ilha do Cardoso, no litoral sul do Estado de São Paulo.

Palavras-Chave: Sistema de Posicionamento Global; Banco de Dados Digitalizados; Parque Estadual da Ilha do Cardoso; Estado de São Paulo.

Abstract: Global Positioning System (GPS) is a system that allows the user to determine space location, besides presenting the great advantage of integrating with other systems, as Geographic Information Systems (GIS). Caution should be taken, however, to avoid compatibility problems between the two Systems. Digital databases are, usually, based on analogical maps of variable quality because the conventional geodesic nets, that in most cases serve as base to the national surveying, contain imprecision and distortion. The researcher should then, in a first moment, look for an intermediate solution that includes the two types of data, with the smallest possible damage for the geo-reference database and to seek, if possible, to build up your own database totally based upon GPS values in WGS-84 format. As an application example is presented a geo-reference sampling in the State Park of Cardoso Island, in the southern coast of the State of São Paulo.

Keywords: Global Positioning System; Digital Database; State Park of Cardoso Island; São Paulo State.

1 – Departamento de Biologia, Núcleo de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Rondônia. CEP 78900-970, Porto Velho – RO (e-mail: bernardi@unir.br).

2 – Departamento de Geologia Aplicada, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP/ campus de Rio Claro. CEP 13506-900, Rio Claro -SP (e-mail: plandim@rc.unesp.br).

INTRODUÇÃO

O “Sistema de Posicionamento Global/GPS” é um sistema multi-propósitos, que permite ao usuário determinar sua localização expressa em latitude, longitude, altura geométrica ou elipsoidal, velocidade e o tempo em relação a um sistema de referência definido para qualquer ponto sobre ou próximo da superfície da Terra.

Com a criação e aperfeiçoamento do GPS nas últimas décadas houve um significativo avanço tecnológico nas áreas da Geodésia e da Cartografia. As técnicas de posicionamento de um ponto na superfície terrestre, ou fora dela em relação a um referencial, tem melhorado sensivelmente no sentido de que precisões cada vez melhores são atingidas.

A grande vantagem deste sistema é a sua capacidade de integração com outros sistemas, ressaltando sua relação com os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), capaz de produzir mapas digitais em tempo real com alta precisão. A interface entre os dois sistemas permite uma maior velocidade na obtenção e tratamento dos dados georreferenciados, sendo o GPS o ponto chave da junção destes dois sistemas, pois permite inicialmente a aquisição dos dados, os quais constituirão a base geométrica para a análise espacial pelos SIGs. Desse modo pode-se alcançar grande velocidade e precisão na coleta de dados, conduzindo a uma significativa melhoria nos mapeamentos geológicos, geodésicos e ambientais.

Outro ponto importante, e que merece muito cuidado, refere-se à questão de fornecer adequadamente as medidas levantadas pelo GPS para o SIG. As coordenadas obtidas pelo rastreamento de satélites do GPS referem-se a um *datum* geocêntrico internamente consistente, o “World Geodetic System/1984” (WGS-84), enquanto os SIG’s operam sobre coordenadas de carta, normalmente referidas a um *datum* continental, nacional ou local. Embora ambas tecnologias, e em especial o GPS, possam ser consideradas consolidadas em termos tecnológicos, a perspectiva futura é a de que o problema de compatibilidade entre elas persista, já que o levantamento por satélites deve permanecer dominando o cenário de apoio à cartografia. Isto, por si só, confere grande importância à questão da transformação entre os sistemas de levantamentos por GPS e por carta para mapeamentos. Além desta questão de incompatibilidade de *datum* há, também, o problema da qualidade do dado cartográfico disponível. Qualquer banco de dados digital é, normalmente, baseado em cartas analógicas de qualidade variável, por vezes bastante precária. Isto ocorre porque as redes geodésicas convencionais, que na maioria dos países ou continentes servem de base ao mapeamento nacional, encerram imprecisões e distorções decorrentes principalmente da diversidade de técnicas e instrumentos utilizados e do resultado de sucessivos ajustamentos a que foram submetidas. Por exemplo, no Brasil o *datum* de referência para o mapeamento nacional foi, até a década de 70, o Córrego Alegre. A partir de então, o sistema de referência foi mudado para o SAD69, baseado no reajustamento, de duas redes de triangulação de primeira ordem. Estes ajustamentos acarretaram distorções artificiais em certas partes da rede, as quais foram por consequência

transferidas para a base cartográfica. Como o Brasil apresenta uma grande extensão territorial o problema pode tornar-se ainda mais determinante. Maiores detalhes, em português, sobre o funcionamento, características e aplicações do GPS podem ser encontrados, entre outros, em Segantine (1999), Mônico (2000) e Bernardi & Landim (2002).

Nos últimos anos o GPS tem sido utilizado no estabelecimento e adensamento de redes geodésicas com diferentes finalidades, tornando disponíveis coordenadas de qualidade em WGS-84. Ao mesmo tempo seu emprego em um número grande de projetos de geologia, ecologia, geografia, engenharia cartográfica, urbanização, cadastro de utilidades públicas, transportes e tantos outros assumiram um caráter praticamente cotidiano. Como consequência, a inclusão destes levantamentos na base de dados existentes se apresenta como uma necessidade vital, para que o manuseio dos dados possa ser realizado por meio de um SIG. Esta inclusão, entretanto, não deve acarretar descontinuidade nem tampouco perda de precisão, já que as bases de dados, como discutido acima, contêm distorções locais ou regionais. Se a base de dados que vai alimentar o SIG não apresentar características mínimas de homogeneidade, pouco resultado prático deverá ser esperado dos recursos oferecidos pelo SIG.

O pesquisador de um banco de dados se depara, então, com três opções de ação: **1)** mantém a base dados obtida exclusivamente a partir das cartas antigas e não incluir os dados GPS; **2)** passar a construir sua base de dados totalmente a partir dos levantamentos GPS (em WGS-84) e abandonar os dados antigos ou **3)** buscar uma solução intermediária que possa incluir os dois tipos de dados, com o menor prejuízo possível para o desempenho do GIS. Claramente a opção **(3)** é a que deve ser adotada no momento, tornando crucial a questão da transformação entre o sistema do levantamento e o da base de dados para o SIG. Espera-se, entretanto, que em futuro próximo a tendência seja para a escolha da opção **(2)**.

A transformação utilizada para viabilizar a inclusão dos novos levantamentos deve ser capaz de modelar corretamente as distorções da base cartográfica e sua escolha pode ser tratada segundo enfoques conceitualmente distintos. Uma abordagem pode ser adoção de um modelo de transformação, assumido como adequado, mas por vezes estabelecido com outra finalidade. Por exemplo, no caso brasileiro adotou-se o método de Helmert, com base em três parâmetros de translação, para a transformação entre os *datum* WGS-84 e SAD-69 (*datum* de referência da base cartográfica). Conseqüentemente, esta mesma transformação tem sido automaticamente utilizada, em todo o território nacional, para incluir dados de levantamentos por GPS na base de dados existente. Sabe-se, porém, que esta transformação funciona bem em termos globais, mas que não se deve esperar bons resultados quando aplicada localmente, especialmente quando se está afastado da origem do *datum* SAD-69.

Torna-se, portanto, importante buscar uma outra forma de enfocar o problema. Ao contrário de adotar-se diretamente um modelo, submetem-se diferentes modelos de transformação a uma análise de desempenho, realizada sobre dados

representativos da área de interesse. O objetivo é definir o método mais adequado para solucionar o problema específico em questão. Isto é atingido graças à avaliação das respostas de cada método a um conjunto de critérios, estabelecidos para avaliar propriedades específicas da transformação. Por exemplo, é desejável que a transformação reversa conduza ao mesmo resultado de partida e que em qualquer dos sentidos um resultado único seja produzido. Ou ainda, que formas sejam mantidas após a transformação, ou que a transformação possa ser aplicada fora da área para a qual ela foi definida.

Os mapeamentos geológicos e ambientais feitos anteriormente à adoção do Sistema Geodésico Mundial (WGS-84), encontram-se defasados no que se refere à determinação exata das coordenadas. Por este motivo torna-se necessário adotar rapidamente esta tecnologia, para a devida adequação de maneira a obter uma ótima precisão e acurácia no posicionamento de pontos de amostragem ou de referenciamento. Isso significa que, tendo em vista o desenvolvimento da tecnologia GPS, os novos mapeamentos nas áreas de geologia e ambiental necessitam se adequar a ela, para a obtenção de mapas que contenham informações as mais precisas possíveis.

Nesse sentido é indicado o endereço www.ibge.gov.br e, no item “Geociências”, tomar contato com as pretendidas mudanças de referencial para o Brasil, estando aí incluindo o SIRGAS (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas”).

ESTUDO DE CASO: AMOSTRAGEM GEO-REFERENCIADA NO PARQUE ESTADUAL DA ILHA DO CARDOSO/SP

O Parque Estadual da Ilha do Cardoso, administrado pelo Instituto Florestal da Secretária do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, localiza-se no litoral sul do Estado de São Paulo na divisa com o Estado do Paraná, abrangendo uma área aproximada de 151 km², situando-se entre as coordenadas 48°05'42" W, 25°03'05" S e 48°53'48" W, 25°18'18" S, separada do continente pelo canal de Trememlé. A localização e vias de acesso ao Parque Estadual da Ilha do Cardoso (PEIC) têm como referência os municípios de Cananéia e de Ilha Comprida. A topografia da Ilha é predominantemente montanhosa, com a parte central dominada por elevações acima de 814 m.

O Parque Estadual da Ilha do Cardoso é uma das poucas áreas com remanescentes da Mata Atlântica e apresenta uma amostra em escala reduzida de todos os tipos de vegetação ocorrentes na costa atlântica do Brasil (Melo & Mantovani 1994). Segundo Noffs & Baptista- Noffs (1982), ocorrem cinco formações vegetais naturais na Ilha: vegetação pioneira de dunas, vegetação de restinga arbórea e arbustiva (scrub), floresta pluvial tropical da planície litorânea, floresta pluvial tropical de encosta da Serra do Mar e vegetação de mangue. Barros *et al.* (1991) propuseram outras duas formações: uma arbustiva situadas nos topos de morros e aquelas decorrentes da ação antrópica sobre as diferentes formações naturais tratadas como “vegetação secundária”.

Estas sete formações de vegetação podem estar relacionadas com diversos fatores ambientais tais como geoquímica (tipos de rochas e solos, nutrientes), salinidade,

nível do lençol freático, temperatura, umidade, radiação solar e competição pelos nichos ecológicos. Os tipos de vegetação, conforme observados em campo, mostram grandes diferenças e se encontram na forma de um gradiente em relação a estrutura e composição florística, desde a zona da praia até a região montanhosa. Os cinco litotipos presentes, segundo o mapa geológico do Estado de São Paulo (IPT 1981), originam solos geoquimicamente diferentes, restando saber até que ponto estes teores geoquímicos condicionariam as estruturas das vegetações distribuídas no espaço.

Com a finalidade de realizar um estudo quantitativo sobre a estrutura da vegetação, para um possível plano de conservação e manejo da Ilha, Bernardi (2001) executou um trabalho tendo como meta principal fornecer subsídios sobre os teores geoquímicos e sua correlação espacial com as diversas áreas de vegetação.

Para que a partir de um determinado número de observações, isto é, de amostras, se possa estimar o comportamento do conjunto de todas as observações em potencial, ou seja, da população, é necessário que esses subconjuntos sejam coletados de tal modo que cada observação tenha a mesma chance de ser escolhida. Para tanto, existem diversos esquemas de amostragem, os quais são empregados conforme o objetivo. Na citada pesquisa foi escolhida a “amostragem estratificada”, em que amostras são sistematicamente coletadas segundo um padrão pré-determinado. Desse modo, utilizando cartas topográficas, dividiu-se a área da Ilha do Cardoso em um número suficiente de quadrículas e decidido que em cada uma delas deveria ter um ponto de amostragem. Para a coleta de dados foi então necessário, preliminarmente, um planejamento para a marcação dos pontos de amostragem e, para a organização do banco de dados geo-referenciados, foi utilizado o GPS.

Para a marcação dos transectos e pontos de coleta de dados utilizou-se três cartas altimétricas para se formar o mapa base, imagens de satélite LANDSAT-TM e fotografias aéreas na escala 1:35.000. As cartas altimétricas adotadas, foram: Cartas do Ministério do Exército-Departamento de Engenharia e Comunicação - Folha Cananéia (SG-23-V-GI-1 - MI-2845/1); Folha Barra do Ararapira (SG-23-V-GI-1 - MI-2844/4) e IBGE - Folha Ariri (X-D-III-2 - MI2844/2), apresentando-se na escala 1:50.000, digitalizada em AutoCAD R14 (Autodesk, Inc.1997). Devido as distorções destas cartas tornou-se necessário nova digitalização e uma correção no geo-referenciamento, feito com auxílio do GPS modelo GARMIM 48, que opera em modulo diferencial, permitindo assim uma precisão com um erro que pode variar de 1 a 5 m. Desta forma foram medidos dois pontos com marcos testemunhos conhecidos da Marinha Brasileira, sendo o primeiro no Morro do Pereirinha, localizado junto a Base do Parque (marco nº 81091) e o segundo no marco do Tratado de Tordesilhas, localizado na Ponta de Itacuruçá, à leste da Ilha. A partir destes dois pontos conhecidos foram realizadas 12 horas de medições para cada ponto com GPS, sendo armazenadas as leituras a cada 30 minutos para as correções. Internamente este GPS possui um sistema de armazenamento que permite ao equipamento armazenar as medidas a cada 15 segundos, fornecendo assim

PONTO MARCO	COORDENADA REAL	COORDENADA GPS 48
Ponta de Itacuruçá/ Tratado de Tordesilhas	208150 W - 7220250 S	208148 W - 7220250 S
Morro do Pereirinha	204970 W - 7224223 S	204973 W - 7224226 S

durante os 30 minutos o valor médio das leituras. O sistema diferencial é feito com auxílio de um receptor DGPS diferencial modelo GBR21, consistindo resumidamente em captar sinais do satélite e de uma estação de rádio conhecida (para este caso esta sendo usado os sinais de rádio da Ilha da Moela, próxima de Santos). O GPS faz a conversão automaticamente com um erro aproximado de 15 m e o sensor corrige a leitura com um erro que varia de 1 a 5 m. As comparações feitas das leituras do GPS corrigidas com as dos marcos permitiu um ajuste em torno de 2 m para a ponta do Itacuruçá e 3 m para o Morro do Pereirinha, conforme a diferença encontrada ilustrada na tabela abaixo. O restante dos pontos levantados a precisão média foi de 2 m com um desvio médio de 1.5 m.

Desse modo, foram dispostos 15 transectos, ao longo dos quais foram distribuídos 120 pontos. Esta configuração tornou-se necessária para viabilizar a locomoção na área de estudo, devido ao fator relevo, muito acidentado na serra e ainda pela vegetação fechada que dificulta o acesso para seu interior. Este padrão de coleta possibilitou praticamente um recobrimento de toda a Ilha do Cardoso, como se constata na figura 1.

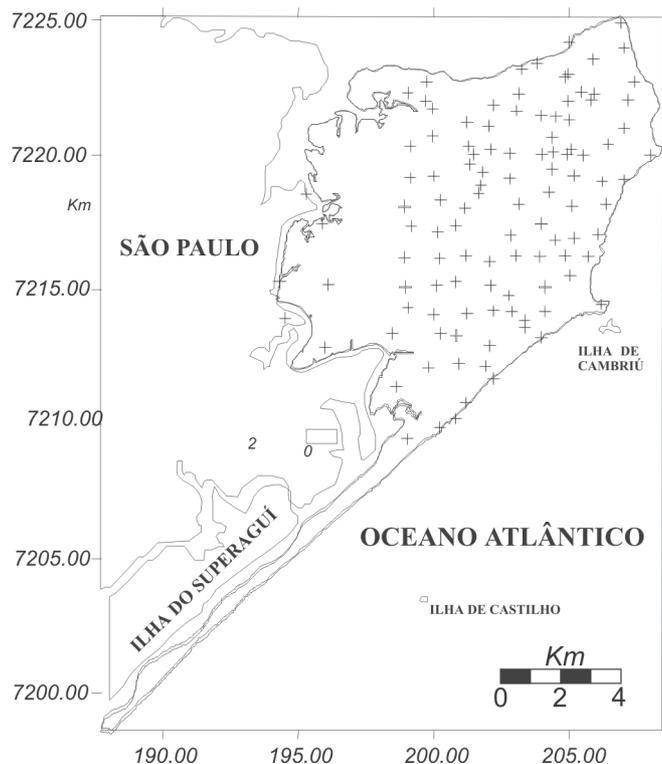


FIGURA 1: Mapa de Localização de amostragem na Ilha do Cardoso.
FIGURE 1: Sampling Location Map in the Cardoso Island.

As coordenadas dos pontos de amostragem foram extraídas do mapa planialtimétrico, digitalizado com o software AutoCAD R14 (Autodesk, Inc.1997), após correção das distorções, e a partir daí armazenadas as rotas na memória do GPS.

Quando da marcação das posições dos pontos em floresta densa, os mesmos foram marcados no dossel das árvores com auxílio de equipamentos de alpinismo. A escalada pelos troncos das árvores foi necessário para que o GPS, pudesse captar o maior número possível de satélites com um sinal de frequência mais nítido e sem ruídos.

A partir da carta topográfica corrigida e com auxílio do GPS, iniciou-se o geo-referenciamento da imagem de satélite sensor Landsat TM5. Nesta etapa foi necessário geo-referenciar barras de rios, afloramentos rochosos e os contornos de praias e costões rochosos da parte leste/sudeste da Ilha, que pudessem ser localizados na imagem. O geo-referenciamento foi feito adotando-se o datum Córrego Alegre para posterior correção geométrica, conforme mostra a figura 2.

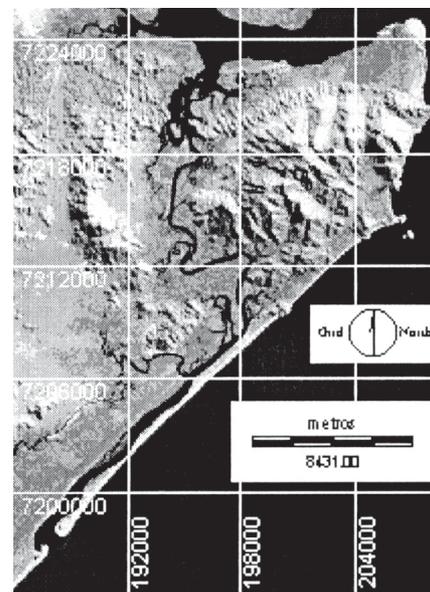


FIGURA 2: Imagem de satélite georreferenciada do Parque Estadual da Ilha do Cardoso (sensor Landsat TM5).

FIGURE 2: Geo-referenced satellite image of the Cardoso Island São Paulo State Park (Landsat TM5 sensor).

As coletas de dados foram realizadas durante os anos de 1998 (setembro e outubro), 1999 (janeiro, fevereiro, julho, setembro e dezembro) e 2000 (janeiro, fevereiro, abril e maio), com uma permanência média em campo de cerca de 20 dias para cada mês.

Durante as campanhas de campo os diversos dados foram coletados em conjunto, para cada ponto geo-referenciado

pelo GPS. Porém o banco de dados foi organizado em 5 tabelas separadas da seguinte maneira: para variáveis biológicas; variáveis físicas e variáveis geoquímicas da superfície da serrapilheira, do solo nas profundidades de 0 a 30 cm e 90 a 120 cm. Os resultados obtidos encontram-se no citado trabalho de Bernadi (2001). Segundo esse autor, na Ilha do Cardoso, a partir da praia até a área montanhosa, são encontrados sete tipos de vegetação: vegetação pioneira de dunas, vegetação de restinga, floresta pluvial tropical da planície litorânea, floresta pluvial tropical de Encosta da Serra do Mar, vegetação arbustiva de topo de morros altos, vegetação secundária e vegetação de mangue. Estão presentes também cinco litotipos: metassedimentos (Proterozóico Superior), suítes graníticas pós-tectônicas (Paleozóico Inferior), rochas sedimentares da Formação Cananéia (Pleistoceno), depósitos de baixos terraços marinhos, dunas, mangues e coluviões e, ainda, sedimentos continentais indiferenciados (Holoceno). O estudo espacial com relação ao comportamento mútuo destes dois conjuntos de dados, a partir do banco de dados organizado e correspondente controle de campo, foi de grande importância para o entendimento da dinâmica desse ecossistema insular, corroborando com a hipótese de dependência espacial geoquímica da estrutura da vegetação encontrada.

Nesse trabalho, o GPS mostrou-se uma ferramenta extremamente importante pois, aplicado na confecção de banco de dados geo-referenciados e no mapeamento, permitiu correções *a posteriore* e em tempo real, melhorando sensivelmente a acurácia e precisão dos pontos geo-referenciados.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo/FAPESP pelo apoio financeiro (Processo 97/06545-5) e bolsa de doutorado (Processo 97/06546-0) e ao Instituto Florestal do Estado de São Paulo pela permissão de efetuar a pesquisa na Ilha do Cardoso. De modo idêntico aos relatores que, com suas observações, melhoraram o texto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AUTOCAD RELEASE 14.0. 1997 - Autodesk, Inc.
- BARROS, F.; MELO, M.M.R.F.; CHIEH, S.O.C.; KIRIZAWA, M.; WANDERLEY, M.G.L.; JUNG-MENDAÇOLLI, S.L. 1991. - *Caracterização Geral da Vegetação e listagem de espécies ocorrentes*: In: FLORA FANEROGÂMICA DA ILHA DO CARDOSO. São Paulo, Instituto de Botânica v. 1, 184p.
- BERNARDI, J. V. E. 2001 - *Estudo quantitativo da estrutura da vegetação do Parque Estadual da Ilha do Cardoso/SP*. Tese de doutoramento, Rio Claro, 200 p. Instituto Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista.
- BERNARDI, J.V.E. & LANDIM, P.M.B. 2002 - *Aplicação do Sistema de posicionamento Global (GPS) na coleta de dados*: Laboratório de Geomatemática, Depto. Geologia Aplicada/IGCE/UNESP, Rio Claro - Texto Didático 10, (www.rc.unesp.br/igce/aplicada/landim).

MELO, M. M. R. F. & MANTOVANI, W. 1994 - Composição Florística e Estrutura de Trecho de Mata Atlântica de Encosta, na Ilha do Cardoso (Cananéia, SP, Brasil). *Bol. Inst. Bot.*, **9**: 107-157.

MONICO, J.F.G. 2000 - *Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS: descrição, fundamentos e aplicações*. Editora UNESP 287p.

NOFFS, M.S. & BAPTISTA-NOFFS, L.J. (1982) . Mapa da vegetação do Parque Estadual da Ilha do Cardoso - as principais formações. In: CONGRESSO NACIONAL DE ESSÊNCIAS NATURAIS. Campos do Jordão. *Anais...* Campos do Jordão. p. 613-619.

SEGANTINE, P. C. L. 1999 - *GPS - Sistema de Posicionamento Global*. Apostila didática da Universidade de São Paulo Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Transportes. p 181.