

INVESTIGAÇÃO DA EXATIDÃO DE COORDENADAS OBTIDAS COM A FASE DA PORTADORA L1 DO GPS

MAURO MENZORI⁽¹⁾
PAULO CÉSAR LIMA SEGANTINE⁽²⁾
RICARDO ERNESTO SCHAAL⁽²⁾

(1) Universidade Federal de Juiz de Fora
Escola de Engenharia de São Carlos - EESC
Departamento de Transportes – STT
São Carlos, SP – Brasil
mauro@logatti.edu.br

(2) Universidade de São Paulo
Escola de Engenharia de São Carlos - EESC
Departamento de Transportes – STT
São Carlos, SP - Brasil
[seganta, schaal]@sc.usp.br

ABSTRACT - The new millennium began with some very satisfying news about Navigation Artificial Satellite Systems, bringing large access promises to the worldwide users. The expansion of Global Navigation Satellite System (GNSS) with the recently implementation of Galileo, created and managed by European Space Agency (ESA), and the Compass Navigation Satellite Experimental System, also called Beidou-1, developed by the China Academy of Space Technology (CAST), has promised a partial working around 2010 four operational systems to provide navigation and positioning. It will be possible once the Russian Global Navigation Satellite System (GLONASS) is in full ascension and the most important system of GNSS, the USA Global Positioning System (GPS), is running their modernization in a fast way. In despite of the noticed quick evolution, some themes remain less researched in GNSS, no matter if the system is in use. One of these themes is the relationship between the accuracy and the precision of estimated coordinates, which is the central focus in the present paper. The recent regulation approved in Brazil in 2001, as the Federal Law 10.267, established that the all-rural proprietaries that are willing to get an official registration, must follow a few group of rules to get the propriety limits measurements. Among them, one defines all characteristics that must have in the point coordinates, which defines the boundaries with at least fifty centimeters accuracy that should be obtained comparing at least two different measurements realized by the bordering owners. In a complement for that decision, the same regulation obligate that the maximum baseline extension is up to 20 kilometers, when using the GPS L1 carrier phase receivers, as a way to reach the established accuracy. Maybe due to the regulation be recent or due to there is a few boundaries points measured under the mentioned conditions, the acceptance to the official registration have been done just by analyzing the precision of measurements in contrast to the accuracy analysis. It is a very dangerous situation because the measurement precision does not inform the dimension of errors in the real position of the point in the ground. In addition, there is no satisfactory research about the 20 kilometers baseline limit to use the GPS L1 phase receivers and again we have a delicate situation that must be researched and this research was worked on it. Two years of GPS acquired data was applied in a data mining process using computational decision software to interpret the action of errors sources in the GPS phase measurements. Data mining is the process of sorting through large amounts of data and picking out relevant information. In the present paper, the data mining process was used to establish the intended relationship between precision and accuracy and to make prediction about the quality of an independent GPS L1 phase measurement, once known the quality of a group of GPS L1 phase monitored measurement.

1 INTRODUÇÃO

Coordenadas de pontos no terreno podem ser obtidas por meio da tecnologia GNSS no modo relativo o que envolve o uso de, no mínimo, de um par de receptores, estando um deles com a sua antena devidamente instalada em um ponto de coordenadas conhecidas a-priori. Alimentando um programa específico com os dados coletados pelos receptores se determinam as componentes cartesianas geocêntricas: dx, dy e dz, do vetor que une os pontos observados. Como a quantidade de dados coletados pelos receptores é muito superior ao necessário para se obter a solução das equações matemáticas envolvidas no problema, os programas usam o Método dos Mínimos Quadrados (MMQ), que fornece uma indicação da qualidade estatística da solução e uma visão gráfica dos resíduos do ajustamento. O principal problema desta solução é que a sua precisão não representa diretamente a exatidão das coordenadas obtidas. Por este motivo, se procurou pesquisar nas fontes de perturbação do espalhamento das soluções, a correlação entre a precisão e a exatidão de um conjunto significativo de dados coletados em dois locais de coordenadas conhecidas.

A pesquisa investigou as principais fontes de perturbação no resultado final do processamento dos dados, indicadas na literatura: a atividade solar, a refração ionosférica, a refração troposférica e as reflexões nos locais próximos às antenas.

2 COLETA EM CAMPO DAS OBSERVÁVEIS

Para analisar a acurácia de uma coordenada relativa, utilizou-se a estação STTU como referência, localizada Escola da Engenharia de São Carlos, SP, onde está instalada uma antena Leica modelo AT-202 conectada a um receptor modelo SR9400, de mono-frequência, e foi considerado como estação a ser determinada a estação CIAGRI, localizada na Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba SP, onde funciona um receptor Trimble L1 ProXL com antena modelo *compact dome*. Ressalta-se que no presente trabalho foram consideradas somente as observáveis coletadas dos satélites componentes do sistema GPS.

A partir dos dados disponíveis, foram selecionadas 1696 sessões, cobrindo dois dias de coleta ininterrupta a cada mês em horários contemplando o movimento sideral da constelação e incluindo dias que se registraram expressivas atividades solares. Os dados foram pós-processados com o programa Trimble Geomatics Office, versão 1.0, com ângulo de corte de quinze graus.

A análise das causas do espalhamento dos resultados foi realizada comparando-se a diferença entre as coordenadas obtidas e as coordenadas tomadas como

referência. Para isso aplicaram-se três formas distintas de processamento dos dados:

Processamento 1: *Uso dos dados na forma como foram coletados, inclusive sob atividade solar expressiva, sem qualquer correção ou filtragem. Obteve-se 196 soluções “Fixas”, que teoricamente devem apresentar menor espalhamento, e 1500 soluções “Float”. Estes resultados serviram de referência na comparação com os resultados obtidos nos outros dois tipos de processamento.*

Processamento 2: *A refração da ionosfera não é igual nos extremos de uma linha-base com dezenas de quilômetros, podendo causar medidas de fase distintas para o mesmo satélite. No processamento relativo esta diferença é minimizada, mas, não é totalmente eliminada sendo uma das causas das soluções “Float”. Neste processamento foi introduzida a correção da refração ionosférica, usando o modelo transmitido de Klobuchar e os coeficientes transmitidos de ionosfera, esperando-se uma considerável mudança na proporção das duas soluções.*

Processamento 3: *Similarmente, foi introduzida a correção devida a refração troposférica usando o modelo de Hopfield, com os dados meteorológicos registrados no instante da observação, esperando-se outra proporção entre as soluções obtidas.*

Esta etapa produziu 5088 conjuntos de coordenadas do ponto CIAGRI, sendo que parte deste conjunto foi utilizada para povoar o banco de dados e modelar o comportamento do espectro dos resultados de coordenadas obtidos.

3 RESULTADOS

Devido ao fato de que cada vetor ter sido processado mais de uma vez, o elemento de comparação teve que ser único, para servir como um referencial na confrontação daquilo que se pretendia comparar, ou seja, a exatidão da posição do ponto medido. Por isso, foram usadas as coordenadas UTM, no sistema WGS84, de cada solução. Os três processamentos produziram 5088 resultados, agrupados de acordo com o tipo de solução obtida e condição de atividade solar, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Soluções obtidas

Solução	Condição	Tipo 1		Tipo 2		Tipo 3	
		Casos	%	Casos	%	Casos	%
Fixa	Atividade solar normal	179	10	179	10	157	9
"Float"	Atividade solar normal	1302	77	1302	77	1324	78
Fixa	Atividade solar expressiva	17	1	17	1	17	1
"Float"	Atividade solar expressiva	198	12	198	12	198	12
Totais		1696	100	1696	100	1696	100

A correção da perturbação da ionosfera e da troposfera não modificou significativamente a solução de cada vetor submetido aos três tipos de cálculo, e demonstrou que:

- Este tipo de correção não é uma condicionante para se chegar à fixação das ambigüidades inteiras, como demonstram os 179 vetores cuja solução Fixa foi obtida sem a introdução de parâmetros de correção.*
- Este tipo de correção não garante a mudança do "status" das soluções, ao ponto de convertê-las de "Float" em Fixas, como demonstram os 1500 resultados "Float" submetidos aos três tipos de cálculo.*

Este conjunto de soluções permitiu também ver o comportamento das observáveis do sistema GPS, expresso pelo grau de espalhamento das soluções, apresentado na Figura 1.

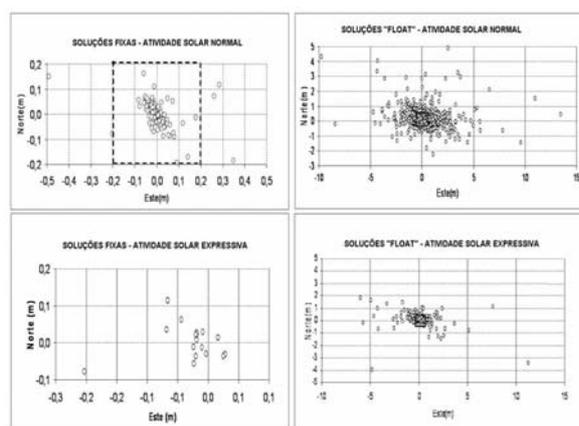


Figura 1 – Desvio das coordenadas UTM em relação ao valor esperado.

Dos conjuntos com solução "Float" se estabeleceu o banco de dados conhecidos, tomado como referência para estabelecer a correlação entre a precisão da solução e a exatidão, mostrada na Figura 2, que demonstra que a precisão da solução não informa diretamente a exatidão da medida, mas, está com ela relacionada.

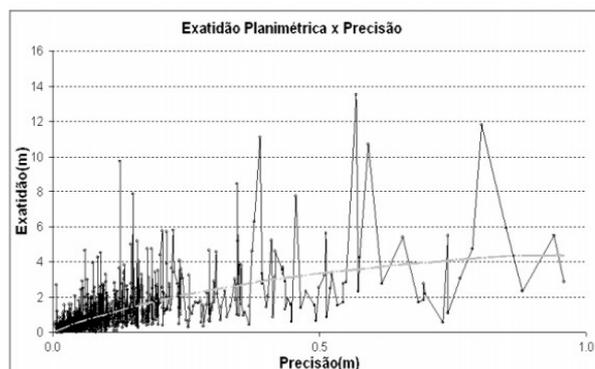


Figura 2 - Correlação entre precisão da solução e a exatidão na solução "Float".

4 ÁRVORE DE DECISÃO

Para modelar o comportamento do GPS e estabelecer a correlação entre a precisão da solução e a exatidão das coordenadas foi empregada a Estatística Inferencial Computacional, através da técnica de Aprendizado de Máquina (AM).

As técnicas de AM são cada vez mais empregadas para tratar de problemas em diferentes áreas, como por exemplo: na Matemática, na Medicina e na Biologia, devido a sua capacidade de aprender automaticamente a partir de grandes quantidades de dados, produzindo hipóteses aplicáveis. A aprendizagem é uma característica do sistema computacional que consegue se modificar, permitindo que da próxima vez, a tarefa tirada de um mesmo grupo de dados possa ser feita com mais eficiência e eficácia (RICH & KNIGHT, 1991). Entre as atuais técnicas de AM se encontram:

- 1) As Rede Neural, ou rede Multi Layer Perceptron (MLP), indicada para a classificação múltipla de eventos, onde a quantidade de exemplos de aprendizado é tipicamente de grande monta.*
- 2) O algoritmo de Support Vector Machines (SVM), extremamente rápido, mas, com a desvantagem de resolver somente problemas binários, envolvendo apenas duas classes.*
- 3) A Árvore de Decisão (AD), concebida para trabalhar com um número ilimitado de exemplos de teste, possui a capacidade de produzir infinitas classes, revelando as regras utilizadas no processo de classificação, conforme o modelo associado.*

Toda medição feita através do GNSS é constituída de diferentes atributos que podem ser modelados, tais como: observável utilizada, taxa de gravação, tempo de coleta, perturbação ionosférica e troposférica e atividades solares. Logo, elas são passíveis de serem analisadas por uma AD.

Por este motivo, este trabalho usou a técnica de Árvore de Decisão para embasar o método proposto de avaliação da exatidão das medidas obtidas por meio do sistema GPS. Além disso, uma AD aprende com o treinamento computacional desenvolvido a partir de um banco de dados confiável para estabelecer as regras de inferência, se capacitando para analisar as novas medições, e, na pesquisa se dispunha de um excelente banco de dados sobre o comportamento das observáveis GPS.

Segundo LEVINE et al. (1988), a AD é uma estrutura de dados constituída recursivamente por: nós de decisão e folhas, que correspondem respectivamente, a um teste sobre algum atributo e as classes resultantes, conforme mostra a Figura 3.

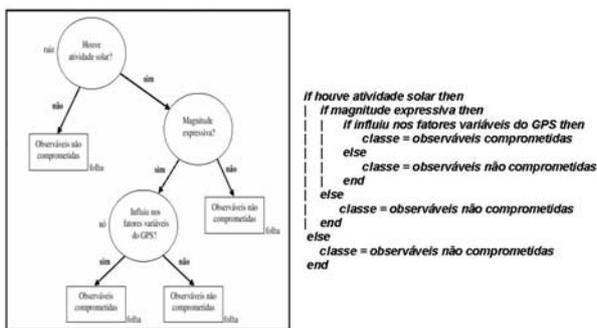


Figura 3 – Estrutura da Arvore de Decisão.

Assim como em todo procedimento automatizado e repetitivo existem vantagens e desvantagens no seu uso, a AD oferece facilidades e dificuldades, mas em seu favor podem ser destacadas as seguintes vantagens:

- 1) *É facilmente inteligível.*
- 2) *Não exige a definição “a-priori” de qualquer parâmetro dos dados em análise.*
- 3) *O número de exemplos utilizados, a qualidade do banco de dados e a intensidade do treinamento controlam os algoritmos geradores, que são considerados instáveis e sensíveis variações nos dados de treinamento. Isto minimiza o surgimento de resultados fracos nos pontos de decisão da árvore (nós) e impede que um erro de inferência se propague para todas as ramificações subsequentes.*
- 4) *Ela permite a classificação simultânea de dados alfa e numéricos, com a condição de que o atributo de saída seja sempre uma classe alfa.*
- 5) *Rapidez na classificação do resultado.*

A AD é uma técnica indicada para explicar de forma clara alguns problemas de grande complexidade e de difícil conceituação, e apresentou um bom desempenho na classificação da exatidão das medidas obtidas com o uso de observáveis obtidas do sistema GPS.

5 TREINAMENTO DOS DADOS

Uma vez que não se pode dimensionar diretamente a exatidão das coordenadas do novo ponto, resta estimar o seu afastamento da posição verdadeira. Para isso, o banco referencial deve possuir os dados colhidos em pontos conhecidos e que representem o comportamento das observáveis no período de tempo em que a coleta dos dados foi realizada. Identificando-se a variação da exatidão nos pontos conhecidos, pode-se inferir a variação em um ponto qualquer. Neste trabalho o comportamento foi determinado em função das soluções obtidas para a estação CIAGRI, que foi sempre considerada como incógnita, embora tivesse as suas coordenadas conhecidas, o que possibilitou o registro sistemático da variação das medidas.

Neste contexto, diferentes bancos de dados foram produzidos, fazendo variar o número de atributos de treinamento em cada caso, e diferentes AD's foram treinadas e induzidas em cada caso. Foram estudadas as seguintes situações:

- 1) *Considerando somente os atributos estatísticos da solução.*
- 2) *Considerando somente as condições ambientais: solar, iono, tropo.*
- 3) *Combinando as situações 1 e 2.*
- 4) *Considerando somente a geometria orbital da constelação.*
- 5) *Combinando as situações 1, 2, 3 e 4.*

Cada uma das AD's foi capacitada para classificar a exatidão de medidas novas, apresentando previsões de exatidão com grau de confiança variando entre 60% e 90%. Isto equivale a dizer que a pior estimativa de exatidão produzida pela AD continha uma probabilidade de acerto de 60%.

A Árvore de Decisão usada para concluir este trabalho foi treinada e induzida a partir de dados que representavam os resultados conhecidos de exatidão obtidos sob atividade solar e com correção da refração troposférica, uma vez que ficou demonstrado que em linhas base desta dimensão o efeito da ionosfera poderia ser negligenciado.

No paradigma construído, cada uma das 1696 sessões de observação deveria contribuir para o banco referencial com dois tipos de resultado: o primeiro sem qualquer tipo de correção, o segundo com correção de troposfera. Porém o banco de dados referencial ficou constituído por 3053 instâncias de treinamento, porque em algumas sessões observadas em 2005 não foram coletadas as informações ambientais para a correção da troposfera.

5.1 Árvore de Decisão produzida

A árvore usada na conclusão deste trabalho foi induzida a partir de seis atributos: troposfera, ionosfera (sempre “não”), atividade solar, RMS da solução, variância de referência e desvio padrão e apresentou um índice de 87% de aproveitamento do banco de dados inicial e um potencial de acerto de 64% em termos absolutos, o que foi confirmado nos testes de validação.

A criação do banco de dados e a classificação da exatidão foram desenvolvidas com o programa computacional WEKA (Waikato Environment Knowledge Analysis), versão 3.4.4, desenvolvido pelo Departamento de Ciências Computacionais da Universidade de Waikato, Nova Zelândia. Este programa requer a organização dos dados na forma de um arquivo extensão “arff”, com a estrutura do exemplo a seguir.

```
@relation geral_geral           Nome do Banco
@attribute tropo {sim,não}
@attribute iono {sim,não}
@attribute solar {sim,não}
@attribute rms real            Atributos de Treinamento
@attribute refvar real
@attribute dp real
@attribute classe {A,B,C,D,K}

@data
não,não,não,0.017,22.47,0.002,A
sim,não,não,0.034,95.20,0.019,B
não,não,não,0.016,16.31,0.001,B
: : : : :
sim,não,não,0.016,15.49,0.001,A
```

Neste formato de arquivo ficam definidos no cabeçalho além do nome do banco de dados, os atributos usados no treinamento para a criação das regras de inferência usadas na classificação da exatidão. Os atributos considerados neste exemplo foram: correção troposférica (s/n), correção ionosférica (s/n), presença de atividade solares expressiva (s/n), fator RMS, Variância de Referência e Desvio Padrão da solução e a classe conhecida da sessão usada como referência. A classe de exatidão de cada sessão foi tabulada dentre cinco classes estabelecidas “a priori”, que foram:

- Classe A = exatidão menor que 0,10 metro
- Classe B = exatidão entre 0,11 e 0,50 metro
- Classe C = exatidão entre 0,51 e 1,00 metro
- Classe D = exatidão entre 1,01 e 10 metros
- Classe K = exatidão acima de 10 metros

Logo abaixo da identificação dos atributos de treinamento fica a área dos dados usados como referência. Ela é indicada pela notação “@data” e contém cada solução conhecida organizada na forma de um registro, composto por campos que contêm: as informações sobre

as condições ambientes no instante da coleta, sobre a qualidade estatística da solução e sobre a classe de exatidão do resultado conhecido.

A partir destas informações o programa computacional executa o treinamento dos dados e subdivide o conjunto inicial em grupos menores de acordo com a proximidade entre as suas características, formando desta maneira as famílias estatísticas que equivalem às folhas da árvore de decisão.

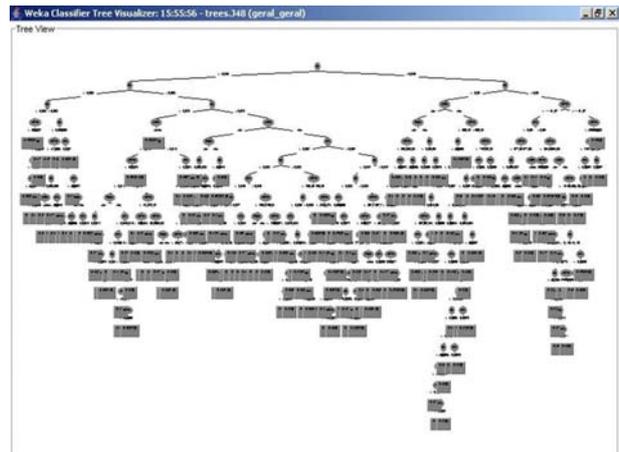


Figura 5

A AD induzida neste trabalho tendo por base os 3053 dados conhecidos resultou com 1881 instâncias de treinamento consideradas estatisticamente corretas, estruturadas em 213 folhas da AD, representando os casos possíveis de classificação, com o seguinte potencial de acerto na estimativa de cada classe:

Tabela 2 - Potencial de estimativa por classe

Classe	Exatidão estimada entre	Potencial de Acerto
A	0 e 0,10m	79%
B	0,11 e 0,50m	62%
C	0,51 e 1,00 m	34%
D	1,01 e 10,00 m	66%
K	acima de 10m	15%

5.2 Classificação da exatidão

A classificação é uma componente importante na solução de muitos problemas e segundo RICH & KNIGHT (1991), em sua forma mais simples ela é considerada como uma tarefa direta de reconhecimento. Classificar também é o processo de atribuir a uma determinada informação recebida, o nome e a classe a qual ela pertence. Para uma AD induzida na pesquisa isto significa encontrar com certo grau de confiabilidade à família a qual pertence o resultado da solução das observáveis que está sendo avaliado, tomando por base os seus atributos.

Qualquer nova medida, da qual não se conheça a exatidão, pode ser submetida à análise da AD através de um arquivo em formato “arff” que contenha os seus atributos, para a qual se solicita que a AD faça uma previsão de exatidão. O arquivo de consulta tem a estrutura do exemplo a seguir:

```
@relation novel_novel_predicted

@attribute Instance_number numeric
@attribute tropo {sim, não}
@attribute iono {sim, não}
@attribute solar {sim, não}
@attribute rms numeric
@attribute refvar numeric
@attribute dp numeric

@data
11 não não não 0,052 185,184 0,079 ?
```

É uma estrutura similar à dos registros que compõem o banco referencial, diferindo apenas no atributo classe, que neste caso é desconhecido. O exemplo trata da sessão de medição número 11, como indica o primeiro atributo, cujos dados foram coletados em um dia no qual não houve registro de atividades solares expressivas, como indica o atributo 4. No pós-processamento dos dados desta sessão não foram feitas as correções de ionosfera e de troposfera como indicam os atributos 2 e 3 e as coordenadas resultantes da solução do ajustamento do ajustamento paramétrico têm a sua qualidade representada pelo indicador RMS, pela variância de referência e pelo desvio padrão iguais à 0,052 m, 185,184 e 0,079 m, como mostram respectivamente os três últimos atributos.

No arquivo existe ainda um campo final, indicado pelo ponto de interrogação, que indica que a exatidão desta medida é desconhecida e orienta o programa computacional a encontrar dentre os grupos de medidas conhecidas àquele que contém os atributos mais próximos aos atributos da sessão 11.

Este procedimento faz com que seja encontrada na AD a folha à qual pertence a medida que está sendo analisada, uma vez que a classe dos demais integrantes desta família se relaciona com ela através de regras de inferência. Nesta condição pode-se afirmar que a nova medida possui qualidade similar as demais medidas que compõem a folha identificada. Seja qual for a folha identificada e por consequência a classe de exatidão encontrada se pode afirmar também que a exatidão prevista para ela seja verdadeira, com a margem de risco estabelecida na indução da AD, através do seu grau de confiança.

6 VALIDAÇÃO DO MÉTODO

Toda vez que a AD é solicitada para analisar uma nova medida, ela retorna como resposta, a classe de

exatidão estimada para ela, limitada às cinco classes possíveis. Quando assumido como correta a exatidão prevista pela AD, considera-se que a exatidão verdadeira continua desconhecida, porém, situada dentro do intervalo de variação da classe informada. O risco em assumir tal previsão está diretamente ligado ao potencial de acerto estabelecido pela AD, para cada uma das classes, como foi mostrado na Tabela 2. Para comprovar o nível de acerto da AD gerada neste trabalho, é que foi desenvolvida a etapa de validação. A validação serviu também para atestar o método proposto e foi feita aplicando vértices de coordenadas conhecidas, situados em diferentes locais do Brasil e não usados na fase de treinamento dos dados.

A partir desses vértices foram medidas 180 linhas base com diferentes dimensões que variaram entre 40 e 120 km. As novas coordenadas produzidas para estes vértices em cada sessão de pós-processamento foram submetidas à AD e tiveram a sua exatidão estimada por ela. Como os vértices possuíam coordenadas conhecidas foi fácil confirmar diretamente a exatidão da solução em cada sessão e por consequência a previsão produzida pela árvore em cada análise efetuada. A seguir é apresentado na Tabela 3 um resumo de toda a etapa de validação.

Tabela 3 - Resultados obtidos na validação

Linha Base			Validação		
Vetor	UF	Dimensão (km)	Número Casos	Total Acertos	Total Erros
Coplana - Sttu	SP	78,4	23	20	3
Bom Jesus - Barreiras	BA	210,4	26	24	2
Coplana - Pirangi	SP	57,1	22	20	2
Pres. Prudente-Quatá	SP	79,8	24	23	1
Coplana - Araraquara	SP	49,8	1	1	0
Salvador - Feira Santana	BA	99,2	24	24	0
Brasília - Unaf	DF	114,1	24	22	2
Pres. Prudente-Quatá2	SP	79,8	24	22	2
Brasília - Unaf2	DF	114,1	7	6	1
Araraquara - Ciagri	SP	114,8	5	5	0
Total			180	167	13

A variedade de dimensão das linhas base classificadas nesta etapa de validação acabou por validar também o poder de generalização de previsão da árvore a partir de um modelo local, sem perder o nível de confiabilidade da classificação.

7 CONCLUSÕES

Confirma-se que a solução relativa L1 “Fixa” é válida também para linhas-bases maiores que 20 km.

É possível o posicionamento de pontos a partir de linhas-base com dimensão de 80 km, usando exclusivamente a fase da portadora L1, mas, deve-se

exigir a solução com fixação de ambigüidade inteira para a maior segurança do resultado.

O uso dos modelos de refração ionosférica e troposférica no processamento relativo da portadora L1 não resulta em sensível melhora na exatidão das coordenadas.

O tratamento dispensado aos dados mostrou que a correção das perturbações provocadas pela ionosfera e pela troposfera em linhas-base com dimensões até 80 km, nos dados coletados com receptores de uma frequência, não são determinantes para a fixação da ambigüidade inteira da solução.

O uso da Arvore de Decisão para classificar a exatidão implícita numa determinada solução de posicionamento a partir de observáveis do sistema GPS se mostrou viável, devido à facilidade de treiná-la a partir de um grande número de medições compostas por múltiplos parâmetros de avaliação e a confiança do resultado.

Finalizando a reflexão crítica do estado da arte, este estudo conclui que os modelos de dinâmica urbana necessitam cada vez mais vincular-se à referência geográfica e à escala temporal. Para satisfazer esta exigência, as tecnologias de geoinformação tornam-se instrumentos indispensáveis, pois agregam ferramentas para a análise espacial e temporal de dados por meio do SIG e das técnicas emergentes. A vantagem da integração desses modelos é possibilitar, através do SIG, o posicionamento geográfico das entidades sobre o território e, mediante as técnicas emergentes, proporcionar a avaliação das transformações ocorridas durante o tempo.

De fato, a modelagem da dinâmica urbana feita através da integração entre técnicas emergentes (AC e SMA) e SIG mostra-se adequada para análise de fenômenos por meio da abordagem *bottom-up*, sobretudo pelo modo em que estas técnicas são estruturadas. Desta forma, a abordagem *bottom-up* possibilita a construção de um modelo que contemple as particularidades da dinâmica urbana acerca dos fatores que estão envolvidos neste fenômeno. Sendo assim, este perfil de modelo pode subsidiar políticas de planejamento que atuam nos pormenores do problema. Ou seja, um modelo que atua de forma a considerar cada fator como uma célula AC ou como um agente SMA e, por conseguinte, otimizando a atuação do mesmo conforme a sua interação com as demais células e/ou com os demais agentes do modelo, visando atingir um resultado emergente desejado conforme parâmetros de sustentabilidade urbana.

Portanto, o desenvolvimento de modelos de dinâmica urbana usando os recursos disponíveis pelas tecnologias da geoinformação colabora para a obtenção de resultados cada vez mais condizentes com a realidade observada e potencia melhores tomadas de decisão no planejamento. Isto se deve à integração da componente espacial e temporal da simulação do modelo, sem que o

mesmo perca o vínculo com a referência geográfica, esta que possibilita a posterior associação do *output* do modelo no mundo real e a construção de cenários fidedignos da evolução previsível para o território.

REFERÊNCIAS

LEICK, A.: GPS-Satellite Surveying, Editora John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey 2004.

LEVINE, R.I. et Al. (1988), Inteligência Artificial e Sistemas Especialistas, Editora McGraw-Hill – São Paulo.

MENZORI, Mauro (2005). Classificação da Exatidão de Coordenadas obtidas com a fase da portadora L1 do GPS. Tese de doutorado. EESC/USP, 152 páginas.

MYERS R., WALPOLE R.: Probability and Statistics for Engineers and Scientists, Second Edition, Macmillan Publishing Co. Inc., New York, 1978.

RICH, E. & KNIGHT, K.: Artificial Intelligence, Second Edition, Editora MacGraw Hill – U.S.A., 1991.

SEEBER, G.: Satellite Geodesy, Editora Walter de Gruyter & Co. Berlin. 2003.

SEGANTINE, Paulo César L. GPS: Sistema de Posicionamento Global. Editado pela EESC/USP, 2005.

WAENY, J.: Controle Total da Qualidade em Metrologia, Makron Books Editora Ltda., São Paulo 1992.

WELLS, D. et al.: Guide to GPS Positioning, Editora Canadian GPS Associates, Fredericton 1987.